

변압기의 3차원 온도분포 해석

3-D Analysis of Temperature Distribution in Transformers

吳年浩* · 宋基東** · 宣鍾好***

(Yeon-Ho Oh · Ki-Dong Song · Jong-Ho Sun)

Abstract - This paper deals with the temperature characteristics according to the cooling medium and the duct size in model transformers. For the analysis and the temperature-rise tests, two 400kVA model transformers have been manufactured. One has been filled with the alpha oil as the cooling medium and constructed the duct sizes of 3mm and 5 mm in the low-voltage and high-voltage windings respectively. The other has been filled the beta oil and the duct sizes were 4mm and 6mm. The temperature-rise tests have been performed by the back-to-back method and the load factor has been controlled the range of 90%~130%. The temperature values have been measured by the thermocouple and from the sixteen points in each transformer. A commercial CFD program "FLUENT" has been used for the analysis of temperature distribution. The geometry of transformer has been modeled to 3-dimensional by using the hybrid calculation mesh including the radiator. And also, the natural convection velocity has been measured at the oil top position, and compared with the calculated results.

Key Words : 반환부하법, 최고점 온도, 냉각매질, 아라미드지, 열전대, 열전달계수

1. 서 론

변압기는 크게 전류가 흐르는 도체와 절연지, 그리고 철심과 각종 지지물로 구성되어 있다. 변압기 운전시 도체에는 전류가 흐르게 되고 주열(Joule)손에 의한 열이 발생하게 된다. 이 때 발생된 열은 권선부위와 절연물의 온도를 높이게 되며, 온도가 높아질수록 절연물의 열화는 가속화되어 변압기의 수명은 짧아지게 된다. 일반적으로 변압기의 수명은 내부의 전반적인 열적 특성보다는 특정 부위의 온도 값에 의해 결정되며[1], 특히 최고점의 온도(hot spot temperature) 값이 허용치 이상으로 상승할 경우 절연내력의 저하로 인해 변압기의 수명은 급격히 감소한다[2].

최근의 전력용 변압기는 고효율 및 소형화의 추세에 따라 크기와 무게가 감소하고 있지만, 이로 인해 권선의 단위 체적당 열발생률은 증가하고 있어, 냉각설계 및 온도특성 파악에 있어서 보다 세밀하고 정밀한 정보를 요구하고 있다.

변압기의 열적특성을 파악하기 위한 방법으로는 크게 대수적인 수식을 이용하는 방법과 수치해석적인 방법이 있다. 대수적인 수식을 이용하는 방법은 간단하게 변압기의 온도특성을 파악할 수 있다는 장점 때문에 지금까지 일반 제작업체에서 많이 사용하여 왔다[3]. 그러나 특정 부분의 온도 특히, 변압기의 수명에 큰 영향을 미치는 최고점의 부위와 온도를 계

산하는 것이 거의 불가능하다는 단점이 있다. 또한, 변압기의 냉각매질 또는 절연지의 특성이 변경될 경우, 물질의 특성을 고려하는 것이 대단히 어렵다. 따라서 컴퓨터를 이용한 온도분포의 수치 해석이 요구되어 왔지만, 변압기의 특성상 구조가 대단히 복잡하며 구성물질의 개수도 많아서 완전한 모델링이 불가능하였거니와 대단히 긴 계산시간이 요구되었다.

이러한 단점을 극복하기 위해 변압기의 주요 부분에 대해 상용 CFD(computational Fluid Dynamics) 프로그램을 이용하여 2차원 또는 3차원 계산을 수행, 변압기 전체의 열적 특성을 평가하고자 하는 연구결과가 있었다[7].

변압기의 냉각 설계에서 이러한 열적 특성 평가 방법은 대수적인 수식을 이용하는 방법보다 정확하지만, 부분적으로 취한 모델의 경계조건 설정이 까다롭고, 변압기 내부의 발열원 전체를 고려하지 못하여 다소 부정확한 결과를 낼 수 있다.

또한, 온도상승 시험결과와 함께 변압기 전체 특히, 방열판까지 고려한 3차원 온도분포 해석결과를 비교한 보고는 극히 드문 실정이었다.

따라서 본 논문에서는 직접 400kVA 모델 변압기 2대를 제작하여, 1) 부하율에 따른 온도특성, 2) 냉각매질 종류에 따른 온도특성, 3) 덕트 크기에 따른 냉각특성, 4) 오일의 대류 속도 등을 온도상승 시험을 통해 확보하고, 상용 CFD 프로그램인 "FLUENT"로 온도분포 해석을 수행하였다. 온도분포 해석 과정에서 상용 CFD가 제공하는 제한된 기능으로 변압기를 3차원으로 모델링하기 위한 계산격자 구성기법, 권선 층(layer)의 간소화 기법에 대한 검증, 열원(heat source)의 입력, 경계조건 설정 등이 다방면으로 시도되었다. 궁극적으로 본 논문을 통해 시험으로 검증된 해석 또는 모델링 기법을 습득하고, 향후 개발될 변압기의 온도 및 냉각특성을 설계단계에서 사전에 파악할 수 있는 보다 진보된 방안을 확립하고자 하였다.

* 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 研究員

** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 新電力機器그룹 先任研究員

*** 正 會 員 : 韓國電氣研究院 電力設備診斷그룹 先任研究員

接受日字 : 2003年 2月 26日

最終完了 : 2003年 7月 2日

2. 온도상승시험

2.1 모델 변압기

온도측정을 위해 모델 변압기 2대가 제작되었으며, 제작된 모델 변압기 각각의 정격사양은 냉각매질과 덕트(duct)의 크기(그림 3 참조)를 제외하고는 서로 동일하다. 모델 변압기의 정격사양을 정리하면 표 1과 같다. 냉각매질로 사용된 α유와 β유는: 물질특성치가 서로 유사하나 점도값이 α유에 비해 β유가 훨씬 크다. 변압기의 구조는 단상 내철형이며, 냉각방식은 유입자냉식, 그리고 절연지로는 아라미드지(Aramid paper)를 이용하였다.

2.2. 온도상승 시험방법

변압기의 온도상승 시험 방법에는 크게 실부하법과 모의부하법이 있으며, 모의부하법에는 단락법과 반환부하법이 있다. 실부하법은 실부하를 인가한 상태에서 시험을 하는 방법으로 가장 정확한 값을 얻을 수 있다. 단락법은 2차측을 단락시키고 1차측에 전류를 공급하여 동손을 발생시키는 방법이며, 반환부하법은 동일한 피시품 2대를 병렬로 연결, 2차측에 정격전압을 인가하고 1차측에 전류를 공급하는 방법이다.

본 시험에서는 동일 피시품 2대를 이용, 단락법보다 정확한 값을 측정할 수 있는 반환부하법을 채택하여 온도상승 시험을 실시하였다. 반환부하법에 따른 온도상승 시험 회로도와 측정시스템을 그림 1과 그림 5에 각각 나타내었다.

표 1 모델 변압기의 정격사양

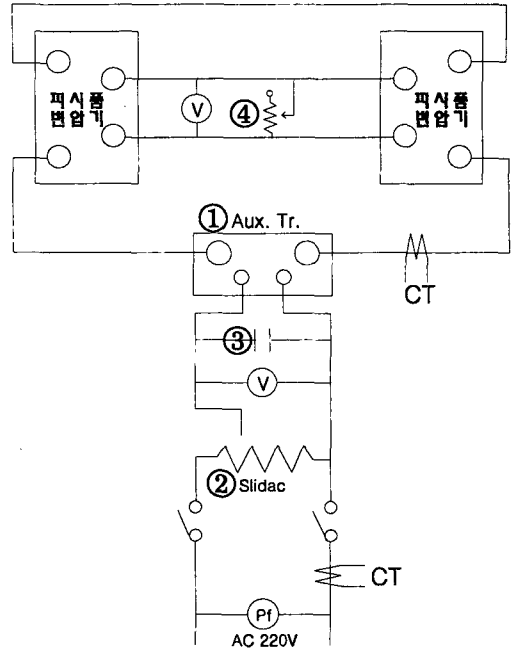
Table 1 The specification of the model transformers

항목	모델 변압기 1	모델 변압기 2
용량	400 kVA	
정격 전압	6600 / 220 V	
정격 전류	60.6 / 1818 A	
상수	단상	
냉각매질	α유	β유
덕트(저압)	3 mm	4 mm
덕트(고압)	5 mm	6 mm

2.3. 온도측정 시스템

본 시험에서는 취급이 용이하고 경제적인 열전대 센서를 설치하여 온도를 측정하였다. 이 방식의 온도 측정원리는 열전대 양단의 온도차에 의해서 나타나는 전압차를 온도측정치로 바꾸는 것이다.

열전대를 사용할 경우 문제점은 권선도체에 직접 접촉될 경우 큰 전압이 유기되므로, 온도측정설비에 전기적 절연상의 문제점을 일으킬 우려가 있다는 것이다. 따라서, 그림 2와 같이 절전대 양단을 에폭시(EPOXY)수지로 몰드한 후 열전도성이 양호하고 절연특성이 좋은 두께 50μm 인 절연필름으로 감쌌다.



- 피시품 권선에 전류를 제공하는 ①보조변압기 및 ②전류조정용 슬라이닥스
- 피시품의 허부하성분을 보상하기 위한 ③진상콘덴서
- 피시품 저압측에 전압을 인가하기 위한 ④슬라이닥스

그림 1 반환부하법에 의한 온도상승 시험 회로

Fig. 1 The temperature-rise measurement by the back-to-back method

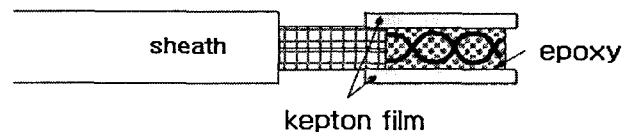


그림 2 수정된 온도센서 구조

Fig. 2 Modified thermocouple for temperature measurement

변압기의 열해석 결과를 보다 정확하게 검증하기 위해서는 권선 도체에 직접 온도센서를 부착하는 것이 바람직하나, 권선이 모두 완성된 단계에서 온도센서를 부착해야 하는 문제로 인해, 온도 측정점은 권선 내의 덕트와 권선 바깥쪽, 그리고 유출입구로 한정되었다.

권선에서의 온도 측정점 위치를 그림 3에 나타내었다. 저압 및 고압 권선 사이의 덕트 내부에 8개(L1~L4, H1~H4), 철심 상단(C3) 및 덕트(C1,C2)에 3개를 부착하였으며, 고압 권선 외측의 도체에 3개(H5~H7)의 온도센서를 부착하였다. 또한 유출입구에 2개의 센서를 취부하여 총 16개의 센서를 부착하였다.

그림 3에서 측정점에 해당되는 권선부의 대지간 전위차가 각각 틀리므로, 측정점이 다른 온도센서 사이에는 유도전압의 차이가 발생하여, 온도설비에 과전압을 발생시킬 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 온도센서 사이의 전압차가 발생하지

않도록 온도센서를 인출해야 하며, 변압기 본체에 그림 4와 같이 PVC 파이프를 삽입하여, 전압차가 작은 그룹으로 분리, 한 그룹씩 PVC 파이프를 통하여 인출하였다.

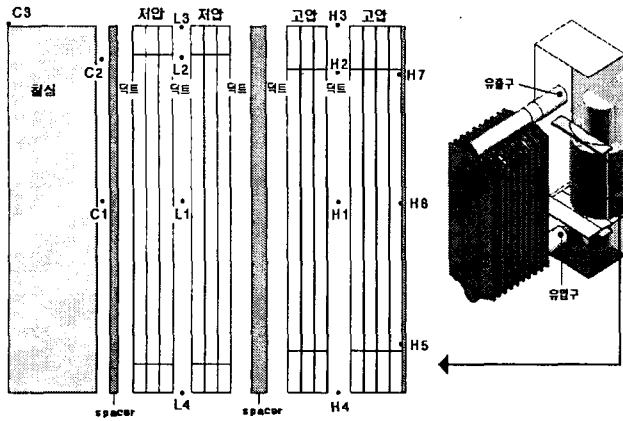


그림 3 권선 및 철심에서의 온도 센서 취부 위치
Fig. 3 The location of sensors within transformer

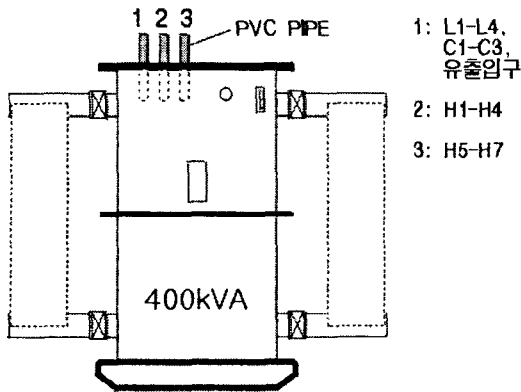


그림 4 온도센서 인출구의 구조
Fig. 4 The PVC pipe for drawing out sensors from the winding

그림 5는 온도측정 시스템의 전체 배치도로서, 온도측정 설비(DAS) 및 전원제어함과 모델 변압기, 그리고 측정데이터를 제어하는 PC로 이루어져 있으며, 모두 실내에 설치하였다.

모델 변압기 1에는 유출구의 냉각 오일(Oil) 속도를 측정하기 위한 장치를 설치하였다. 변압기 내부에서 가열된 오일은 밀도변화에 의해 방열판으로 유출되며, 이 때 냉각 오일의 속도는 오일의 특성과 변압기의 열적 특성에 의해 영향을 받으므로 해석결과의 신뢰성을 판단하는데 유용하다. 유속측정의 경우 유속이 수 [mm/s]의 초저유속 영역이어서 이를 측정할 수 있는 상용화된 장치가 없는 실정이다. 따라서, 별도의 초저유속 측정장치를 고안하여 설치하였다. 이 방식은 아크릴판 내에 염료(잉크)를 주입하여 염료의 이동거리와 이동시간으로부터 유속을 계산할 수 있다. 그림 6에 유출구 속도 측정 장치를 나타내었다.

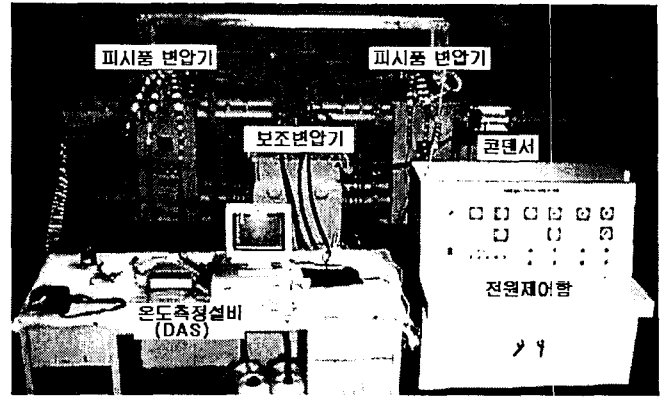
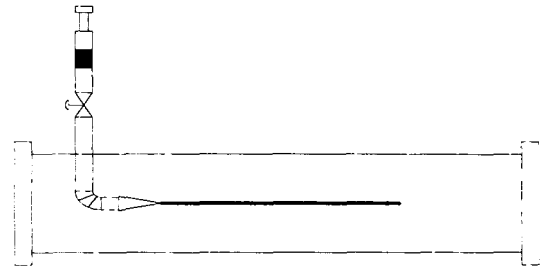
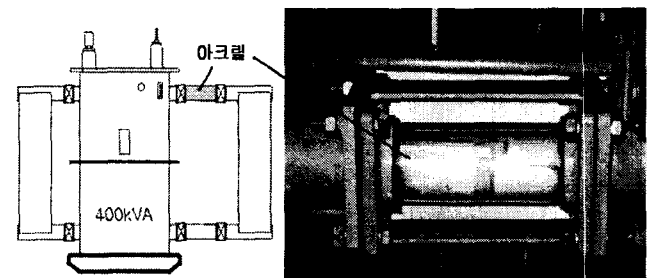


그림 5 온도측정 시스템
Fig. 5 Temperature-rise measurement system



(a) 유선 가시화법에 의한 초저유속 측정장치 개념도
(a) Measurement system for low speed of fluid by visualization



(b) 설치된 초저유속 측정장치
(b) Installation of measuring low speed of fluid

그림 6 유출구 속도 측정 장치 (모델 변압기 1)
Fig. 6 Measurement system for oil velocity in outlet

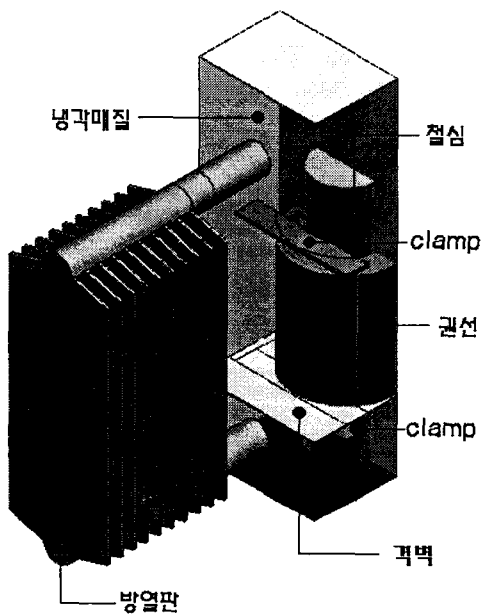
3. 온도분포 해석

3.1 해석 모델

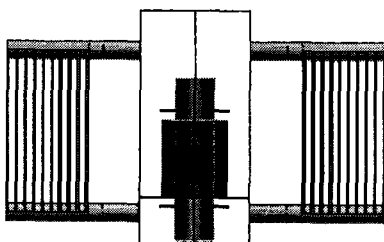
그림 7에 온도특성을 계산하기 위한 모델 변압기 1의 형상 모델을 나타내었다. 변압기 내부에 있는 냉각오일은 권선에서 발생하는 열로 인해 가열되어 위로 상승한 후 유출구를 통하여 방열판으로 유입된다. 유입된 오일의 열량은 방열판

을 통하여 대기로 방출되고 다시 변압기의 아래부분에 있는 유입구로 흘러 들어가 순환하면서 변압기 내부의 온도를 감소시킨다. 모델 변압기 아래 부분의 격벽은 이러한 냉각오일의 흐름을 권선의 덕트로만 유입되도록 하여 냉각효과를 증대시키기 위해 설치되었다(그림 7 참조).

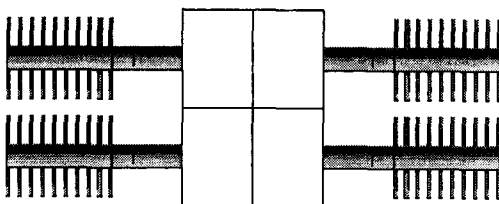
그림 7에서 해석모델의 구조가 좌우로 대칭(symmetry)임을 알 수 있으며, 내부 냉각매질의 순환경로도 대칭으로 발생된다고 판단하여 실제 형상의 1/4만 취하여 온도특성을 계산하였다. 이러한 계산 모델을 취함으로서 요소(mesh)수를 줄이고 계산 시간을 절약할 수 있다. 그림 8은 생성된 요소수 나타내고 있으며, 요소의 개수는 약 50만개이다.



(a) 해석 모델



(b) 단면도 (측면)



(c) 단면도 (위)

그림 7 해석 모델의 형상
Fig. 7 Model for calculating

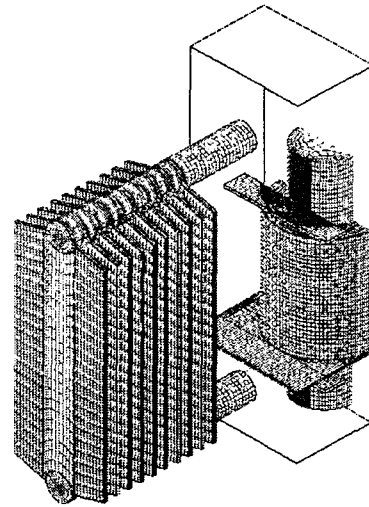


그림 8 계산에 사용된 요소
Fig. 8 Mesh for calculating

3.2. 변압기에서의 열전달 양식 및 지배방정식

열은 일반적으로 전도(conduction), 대류(convection), 방사(radiation)라는 세 가지 양식 중 어느 하나이거나 세 가지 모두의 방법으로 전달된다. 이 중, 변압기 내부에서의 열전달은 냉각매질의 순환에 의한 대류가 가장 큰 비중을 차지한다. 변압기 내부의 열전달 특성을 지배하는 보존방정식(질량, 운동량, 에너지)들은 다음과 같다[7].

질량 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

운동량 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} - (\rho - \rho_{ref}) g_i \quad (2)$$

에너지 보존방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i h) = \frac{\partial}{\partial x_i}(k \frac{\partial T}{\partial x_i}) + \frac{\partial p}{\partial t} + u_i \frac{\partial p}{\partial x_i} + \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \quad (3)$$

여기서,

$$\tau_{ij} = [(u_i + u_j)(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i})] - \frac{2}{3}(u_i + u_j) \frac{\partial u_l}{\partial x_l}$$

x_{ij} : 데카르트좌표계 ($i, j = 1, 2, 3$),

ρ : 밀도,

u_{ij} : x_{ij} 방향의 절대 유속성분,

T : 온도,

h : 엔탈피,

p : 정체압력,

g_i : 중력가속도,

μ_l : 층류점성계수,

μ_t : 등방성난류점성계수

변압기내에서 대류하는 냉각매질의 난류(turbulence)를 고려하기 위하여 본 연구에서는 $k-\epsilon$ 난류모델을 이용하였다 [10].

3.3 경계조건 및 초기조건

모델 변압기의 구성 요소로서는 냉각 오일로 사용된 α유 및 β유, 철심의 재료인 규소강판(Silicone-Iron), 절연재료인 아라미드지(Aramid Paper), 그리고 도체재료인 구리(Copper) 등이다. 각 재료의 물성치를 해당 영역에 부여하였으며, 권선과 철심에는 표 2의 열량을 열원(Heat source)으로 입력하였다. 각 권선 및 철심의 열원은 다음과 같이 계산하였다[8].

먼저 고압권선의 경우 전류는 60.6[A], 권선의 부피는 0.0060875[m³], 저항은 1.11701[Ω]이다. 따라서 고압권선의 손실은 주율열 법칙에 의해

$$I^2R = 4,103 [W] \tag{4}$$

이며, 단위체적당 손실[W/m³]은 다음과 같다.

$$\frac{4,103 [W]}{0.0060875 [m^3]} = 674,003 [W/m^3] \tag{5}$$

저압권선의 전류는 1818[A], 권선의 부피는 0.0051712[m³], 저항은 0.0009808[Ω]이다. 따라서, 저압권선의 단위체적당 손실은 위의 계산방법에 의해 626,925[W/m³]이다.

철심의 경우 재료가 되는 규소강판의 재질 특성에서 단위 무게당 2.14[W/kg]의 손실이 발생하며 다음 (6)식과 같이 철손을 계산할 수 있다.

$$W = k \times G \times w \tag{6}$$

여기서,

k : 적층시 발생하는 철심간 공극에 관련된 계수,

G : 철심중량, 314 [kg],

w : 단위무게당 손실[W/kg]

식 (6)에 의해 전체 철손은 740[W]이며 단위체적당 손실은 18,049[W//m³]이다.

표 2 각 권선 및 철심의 발열량
Table 2 Heat source of windings and core

구분	Heat Source [W/m ³]
L.V. winding	626,925
H.V. winding	674,003
Core	18,049

변압기 내부에서 발생한 열량은 대기와 접해 있는 본체 및 방열판을 통하여 외부 대기로 방출된다. 그러므로 본체 내부의 권선부와 냉각 오일, 방열판, 그리고 외부의 공기장을 동시에 해석하는 것이 바람직하다. 그러나, 이 경우 계산에 필요한 요소수가 증가하고, 계산 시간 및 수렴성에 큰 영향을 미치므로 본 해석에서는 외부의 공기장을 제외하여 계산하였다. 또한 모델 변압기가 실내에 설치되어 있으므로, 태양열에 의한 복사열의 효과는 무시하였다.

외부의 공기장을 제외하고 본체만을 해석할 경우, 두 매체가 접해있는 부분에서의 적절한 경계조건이 필요하다. 본 해

석에서는, 방열판과 본체에 대류 열전달 계수(Heat Transfer Coefficient)를 이용하여 경계조건을 설정하였다. 대류 열전달 계수 h는 자연대류에서 수직평판에 대한 실험식 (7)과 (8)을 이용하여 구할 수 있다[5].

$$h = \frac{Nu_m k}{L} \tag{7}$$

$$Nu_m = 0.68 + \frac{0.67 Ra_L^{1/4}}{[1 + (0.492/Pr)^{9/16}]^{4/9}} \text{ for } 10^{-1} < Ra_L < 10^9 \tag{8}$$

여기서,

Nu_m : Nusselt number, Pr : Prandtl number,
L : 방열판의 길이, Ra : Rayleigh number,
k : thermal conductivity at atmospheric

식 (7)과 (8)을 이용하여 계산한 방열판에 대한 대류 열전달 계수는 5.0[W/m² · °C]이다.

변압기의 바닥은 단열조건을 취하였으며, 외부의 대기 온도는 23[°C]로 설정하였다.

4. 결과 및 검토

4.1 온도측정 결과

그림 9와 10은 정격부하에서 각 모델 변압기의 고압권선 덕트에서의 온도측정 결과를 보여주고 있다. 온도센서의 위치는 그림 3에서 H4, H1, H2 순이며, 권선 높이의 2%, 50%, 95%에 해당된다. 또한 정격부하에 대해 90~130%까지의 전원을 인가하여 온도를 측정하였으며, 권선 높이에 따라 대체적으로 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

그림 9와 10에서, 정격부하 100%에서 모델 변압기 1과 모델 변압기 2의 최고온도는 104[°C]와 109[°C]로서 모델 변압기 1이 5[°C] 낮으며, 다른 부하율에서도 모델 변압기 1의 측정온도가 낮음을 알 수 있다.

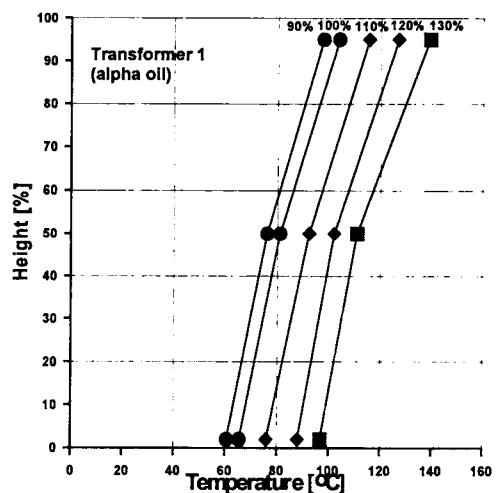


그림 9 권선 높이에 따른 온도분포 (모델 변압기 1, 고압 덕트 내 H4, H1, H2)

Fig. 9 Temperature within HV duct of model transformer 1 (H4, H1, H2)

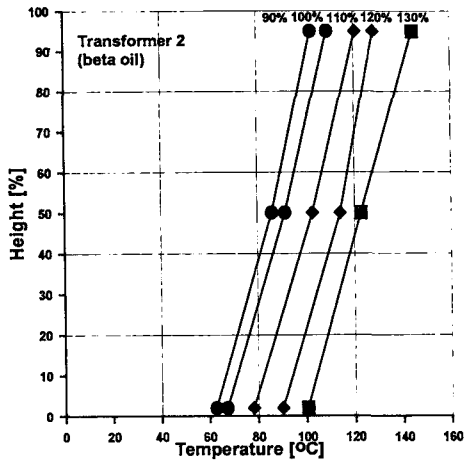


그림 10 권선 높이에 따른 온도분포 (모델 변압기 2, 고압 덕트 내 H4, H1, H2)
 Fig. 10 Temperature within HV duct of model transformer 2 (H4, H1, H2)

4.2. 온도분포 해석결과 및 시험치와의 비교 검토

그림 11은 모델변압기 1의 해석결과로서, 정격부하에서 권선부와 방열판에서의 온도분포를 나타내고 있다. 최고 온도는 고압권선의 상단부에서 111[°C]로 나타났으며, 주위온도는 23[°C]이다.

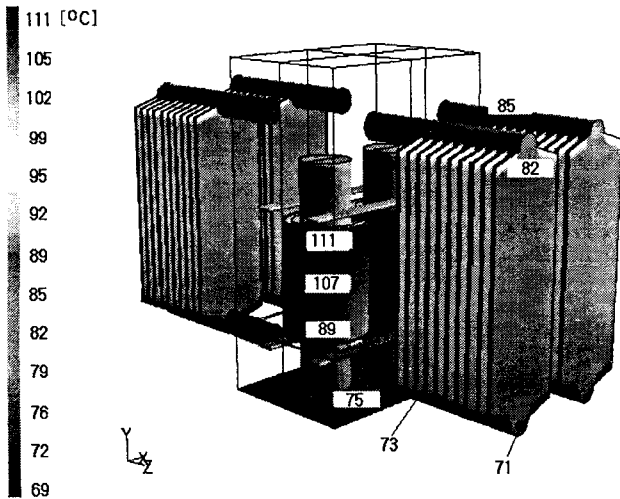


그림 11 권선부 및 방열판에서의 온도분포 (모델 변압기 1)
 Fig. 11 Temperature distribution for model transformer 1

그림 12는 본체 및 방열판 내부의 속도 벡터를 나타내고 있다. 그림 12에서, 내부에서 발생하는 열로 인해 가열된 오일은 유출구를 통해 방열판으로 유입되고, 방열판에서 열량을 방출한 후 다시 유입구를 통해 변압기 내부로 들어오는 과정을 확연히 볼 수 있다.

이 과정에서 유입구 부근에 있는 클램프가 권선의 덕트로 향하는 오일의 흐름을 방해하고 있음을 볼 수 있다. 권선 상부의 클램프도 덕트에서 유출구로 흘러가는 오일의 흐름을 방해

함으로서, 권선 상부의 온도값을 상승시키는 역할을 하고 있다. 따라서, 냉각 오일의 순환을 원활히 하기 위해서는, 권선의 덕트를 가로 막고 있는 클램프의 형상 및 위치를 변경시키거나 오일의 유출입을 위한 통로(hall)를 마련해야 할 것이다.

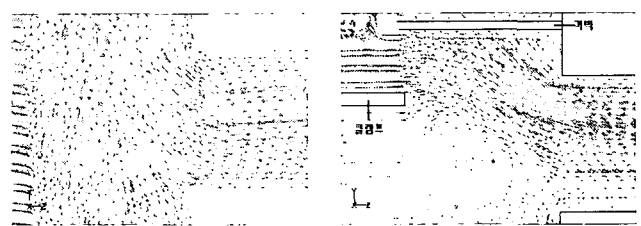
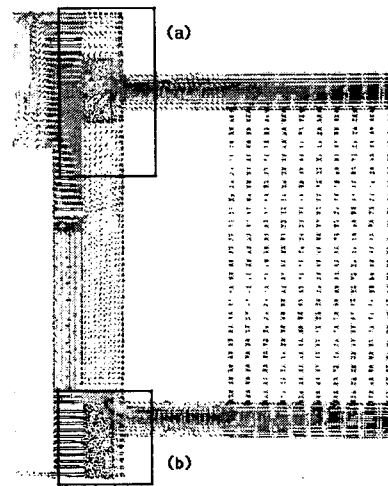
유출구에서 오일의 최대 유속값은 0.019[m/s]로서 측정치의 0.0175[m/s] 보다 8% 정도 높다.

그림 13은 정격부하 100%에서 모델 변압기 1의 권선 높이에 따른 고저압 권선 덕트와 고압권선에서의 온도해석값을 시험치와 비교하여 나타내고 있다. 그림 13(a)와 그림 13(b)는 고압권선 및 저압권선 덕트내의 온도분포를 나타내고 있으며, 덕트 상단 지점에서 측정결과와 8[°C], 11[°C]의 차이를 나타내고 있다.

그림 13(c)는 고압권선 바깥쪽 부분의 H5, H6, H7 위치에서의 해석 결과 및 측정 결과를 나타내고 있으며, 최고 온도는 111[°C]로 동일한 값을 나타내고 있다.

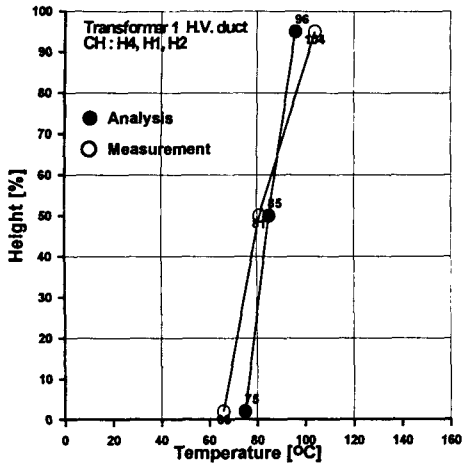
그림 14는 각 부하율에서 최대온도값을 나타내고 있는 고압권선 상단 지점인 H7 위치에서의 해석결과 및 측정결과를 비교하여 나타내고 있다. 측정치에 대해 해석치는 5% 미만의 오차 범위를 갖고 있으며, 부하율이 증가할수록 최고온도는 대체적으로 선형적인 분포를 나타내고 있다.

이처럼 고압권선 상단 지점인 H7 위치에서 최대온도값이 나타나는 이유는, 권선 덕트로만 오일이 흐르도록 설치된 격벽으로 인하여 이 부분에서의 오일의 순환이 원활하지 않기 때문이다. 그러므로 격벽의 형상을 변경하거나 권선 상단 지점에 위치하는 유출구의 형상변화를 통해 이 부분의 순환이 잘 이뤄지도록 해야 할 것이다.

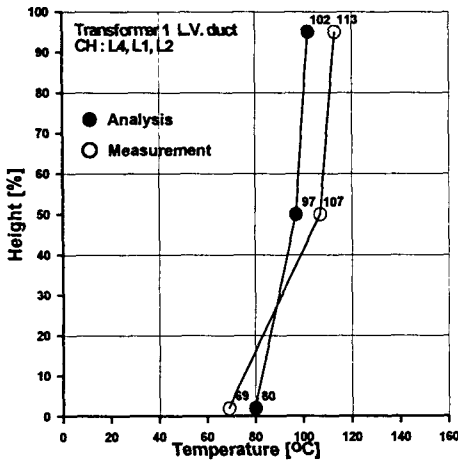


(a) 유출구 (Outlet) (b) 유입구 (Inlet)

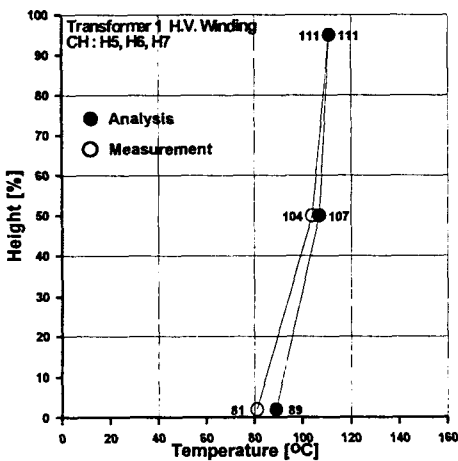
그림 12 본체 및 방열판 내부의 속도 벡터 분포도
 Fig. 12 The velocity vector within radiator and tank



(a) 고압 덕트내 H4, H1, H2



(b) 저압 덕트내 L4, L1, L2



(c) 고압 권선 H5, H6, H7

그림 13 권선 높이별 온도분포 (모델 변압기 1, 정격부하 100%, 주위온도 23°C)

Fig. 13 Longitudinal temperature distribution of windings (model transformer 1, ratio of rated load 100%, ambient temperature 23°C)

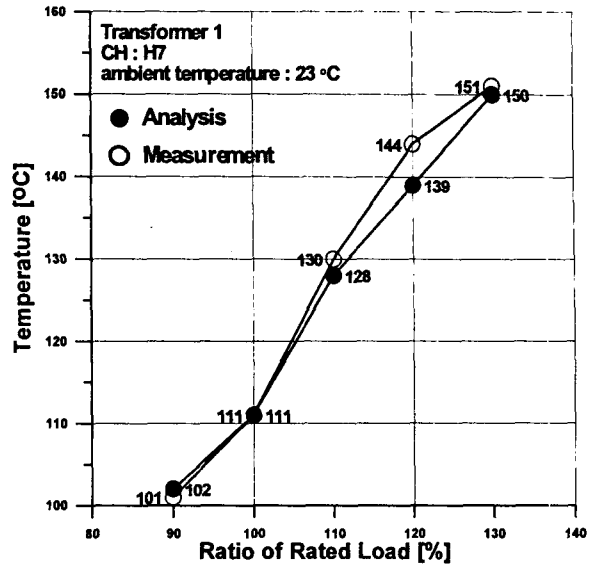


그림 14 부하율에 따른 최고온도 분포

Fig. 14 Hot spot temperature distribution according to ratio of rated load

5. 결론

본 연구에서는 변압기의 열적 특성을 파악하기 위해 수치 해석적인 방법을 재정립하고자 하였으며, 해석결과의 신뢰성을 검증하기 위해 여러 변수에 따른 온도상승 시험을 수행하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 변압기의 형상을 3차원으로 모델링하여 온도분포 해석을 한 결과, 변압기의 냉각효과를 검증할 수 있는 해석기법을 확립할 수 있었다.
- 2) 권선 내 덕트 크기와 냉각매질이 다르고, 사양은 동일한 변압기의 온도상승 시험을 수행한 결과, 점도가 α 유보다 큰 β 유를 사용한 모델 변압기 2가 α 유를 사용한 모델 변압기 1에 비해 냉각효과가 떨어지는 것으로 나타났다. 또한 부하율에 따른 α 유와 β 유의 온도특성 시험결과를 확보하여 정보화(Database)할 수 있었다.
- 3) 권선 및 덕트에서의 온도분포 해석결과, 측정치와 비교하여 최대 14%의 오차를 갖고 있다. 또한 부하율 변경에 따른 최고온도 분포는 측정치에 비해 5% 미만의 오차범위를 가지는 만족스러운 결과를 얻었다.

본 연구결과를 통하여 변압기 온도분포에 대해 매우 신뢰성 있는 예측이 가능하게 되었다. 따라서 변압기 냉각특성에 대한 사전 검증은 물론, 냉각효과를 증대시키기 위해 덕트 구조, 격벽 위치 등의 설계변수를 개선하는데 본 연구결과가 활용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] A. White, M. R. Daniels, "Thermal Assessment of Transformers", Cigre 1990 session, pp. 12-105, 1990. 9.
- [2] W. Lampe, Pettersson, "Hot-Spot Measurements in Power Transformers", Cigre 1984 session, pp. 12-02, 1984. 8.
- [3] K. Karsai D et al., Large Power Transformers, Oxford N.Y., pp. 351-359, 1987. .
- [4] 仲神 芳武 외 2인, "가스變壓器冷却への 流れ解析技術の適用", 富士時報, Vol.69, pp. 481-485, 1996. 9.
- [5] M. Necati Ozisik, Heat Transfer, McGraw-Hill, Inc., pp. 422-436, 1985.
- [6] J. N. Reddy, D. K. Gartling, The Finite Element Method in Heat Transfer and Fluid Dynamics, CRC Press, pp. 188-202, 1994.
- [7] 김순태 외 16인, 지상변압기 품질개선 및 적용기술 연구, 한국전력공사, pp. 310-356, 1994.
- [8] 木村久男, 新版變壓器の設計工作法, 電氣書院, pp. 93-94, 1980.
- [9] Klaus A. Hoffmann, Steve T. Chiang, Computational Fluid Dynamics for Engineers, A Publication of Engineering Education System, pp. 308-334, 1993
- [10] 岩崎 秀夫 외 2인, "熱流體シミュレーション技術", 富士時報, Vol.52, pp. 34-37, 1997.

저 자 소 개



오 연 호(吳年浩)

1969년생. 1991년 동아대 공대 전기공학과 졸업(학사). 1993년 동아대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 연구원
Tel : 055-280-1566, Fax : 055-280-1589
E-mail : yhoh@keri.re.kr



송 기 동(宋基東)

1988년 인하대 공대전기공학과 졸업(학사). 1990년 인하대 전기공학과 대학원 졸업(석사). 2003년 부산대 전기공학과 대학원 졸업(박사). 현재 한국전기연구원 전력연구단 신전력기기연구그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1563, Fax : 055-280-1589,
E-mail: kdsong@keri.re.kr



선 중 호(宣鍾好)

1962년 10월 10일생. 1986년 부산대 전기공학과 졸업. 1988년 부산대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001 동대학원 전기공학과 졸업(2001). 1989-현재 한국전기연구소 전력설비진단연구그룹 선임연구원
Tel : 055-280-1578, Fax : 055-280-1589
E-mail : jhsun@keri.re.kr