

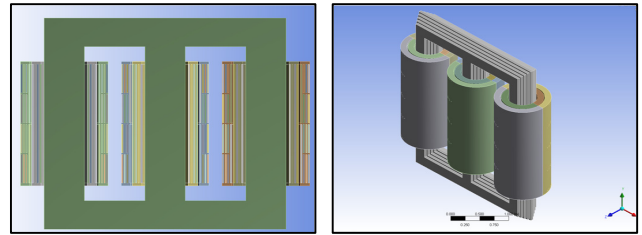
대용량 몰드변압기의 열유동해석을 통한 온도분포 예측

김지호*, 김종왕*, 이향범*
 송실대학교 전기공학과*

Prediction of Temperature Distribution in Large Scale Cast Resin Transformer Using Heat Flow Analysis

Ji-Ho Kim*, Jong-Wang Kim*, Hyang-Beom Lee*
 Soong Sil University*

Abstract - In this paper, temperature distribution of 24 MVA distribution cast-resin transformers is analyzed by using CFD. Usually heat generated in transformer causes many problems. To radiate the heat, conduction and convection are done through the duct between winding. Considering natural convection, fluid analysis is applied to the fluid region surrounding the transformer. As a result of the analysis, hot spot temperature point is predicted at the low-voltage winding. Through this paper, heat distribution and cooling characteristics property can be predicted by analyzing transformer heating characteristic required when designing.



(a) 변압기 단면모델 (b) 변압기 3D 모델
 <그림 1> 변압기 해석모델

1. 서 론

도시 확장에 따른 변전소의 부지 확보로 기존의 옥외 변전소 대신에 옥내 변전소 및 지하 변전소의 건설이 늘어나고 있는 실정이다. 이러한 설치공간의 부족현상과 서비스의 향상에 대한 요구가 증대되어 소형화, 저손실화, 고효율화로 개발하고 있다.

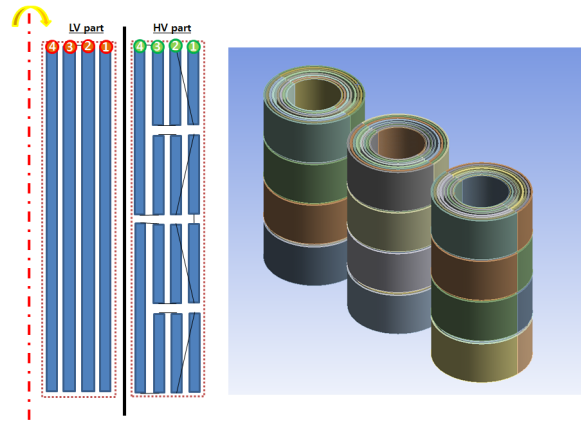
이에 옥내 및 지하 변전소에 설치되는 변압기는 난연성 절연유를 사용하는 변압기와 몰드 변압기를 사용하고 있다. 몰드변압기는 구리, 알루미늄 등의 도체를 권선하여 에폭시 수지로 몰딩하는 기술로서 냉각 및 절연기술, 강도가 요구된다. 절연 및 권선의 온도를 낮추기 위한 매질로 에폭시 수지를 사용하고 있으며, 변압기로 인한 지하수 및 토양 오염 감소를 위한 친환경 기기이며, 변압기 사고시 발생할 수 있는 화재로부터 위험이 비교적 안전한 난연성 변압기이다. 몰드변압기 권선부의 발열 및 적층 철심의 발열이 변압기의 온도를 상승시키는 주된 원인이 되며, 변압기 운전시 발생하는 열은 변압기의 수명 및 성능을 저하시키는 큰 원인이기 때문에 최적의 방열 구조로 변압기를 설계하는 것이 중요하다. 몰드변압기의 경우, 절연물의 몰딩 제조공정에서 수반되는 보이드나 가혹한 환경이나 장기간 사용에 의해 일단 열화가 시작되면 계속적으로 열화가 진행되어 절연 파괴로 진전되는 특성이 있다. 또한 전력용 변압기에 비해 상대적으로 전압이 낮고, 소형화 기기로 인식되어 있다.

이에 본 논문에서는 대용량의 몰드변압기의 적용을 위한 변압기의 온도분포 예측을 위하여 24MVA 몰드변압기를 해석모델로 선정하여 몰드변압기의 온도 분포를 CFD 상용 프로그램인 FLUENT를 이용하여 3차원 열유동해석을 하였다. 사용되는 유체는 비압축성 이상 공기로 변압기의 냉각방식인 자연 냉각으로 가정하여 난류현상으로 해석하였다. 또한 몰드변압기의 구조별, 영역별 온도분포 및 핫스팟(hot spot) 지점을 예측함으로써, 설계시 요구되는 냉각 설계 및 온도분포를 예측하였다.

2. 본 론

2.1 해석모델

본 논문에서 사용되는 몰드변압기는 <그림 1>과 같이 22.9kV 3상 변압기로 정격전압 22.9kV/6.6kV이며, 해석 변압기의 용량은 24/30 MVA로 이에 따른 냉각방식은 건식 자냉식으로 부하에 따라 유동적으로 조정되어 사용된다. 절연물은 절연 등급이 F급인 에폭시 수지를 사용하였다. 철심은 냉각압연 방향성 규소강판을 사용한 적층형 구조이며, 권선의 배치는 3각 철심에 저압권선과 고압권선이 각 leg에 동심원으로 배치되어 있는 구조이다. <그림 2>는 저압권선과 고압권선의 구조이다. 저압권선의 경우, 하나의 sheet로 4개의 section으로 나뉘어진 구조이며, 고압권선의 경우, 안쪽은 2개의 sheet로, 외부로 나가는 방향으로 3개의 sheet가 4개의 section으로 구성되어 있다.



<그림 2> 변압기 권선의 구조

변압기의 사양은 <표 1>에 나타내었다. <표 2>는 해석모델의 구성 재료인 철심(규소강판), 저·고압권선, 에폭시 수지 등에 대해 밀도, 비열, 열전도도 등의 열적 파라미터를 선정하여 해석하였다.

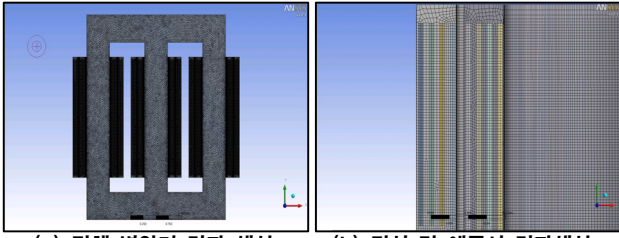
<표 1> 해석 모델 사양

구 분	사 양
정격 용량 [kVA]	24,000
정격 전압 [V]	22,900 / 6,600
정격 전류 [A]	605 / 2,099
주파수 [Hz]	60
절연종별	F종

<표 2> 해석 모델의 주요 재질 물성 값

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

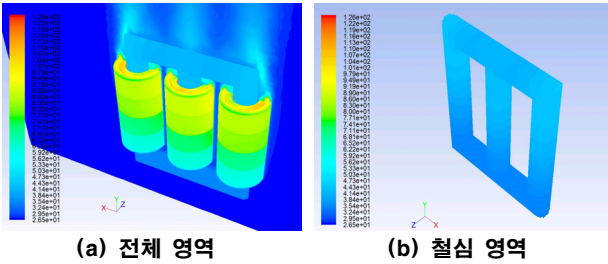
해석을 위한 격자 생성은 ANSYS Workbench의 Meshing Platform을 이용하여 사면체 요소망을 이용하여 수행하였고, 요소망을 구성하는 절점의 수는 약 900만 개이며, 요소망의 수는 약 2,500만 개다. <그림 3>은 3차원 열유동해석을 위하여 설정한 격자 생성 그림을 나타내었다.



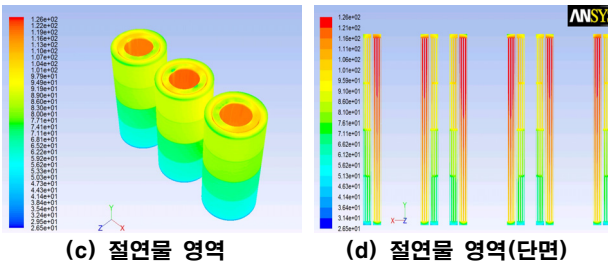
(a) 전체 변압기 격자 생성 (b) 권선 및 에폭시 격자생성
 <그림 3> 전력용변압기의 세부 권선 3D 모델링

2.2 해석결과

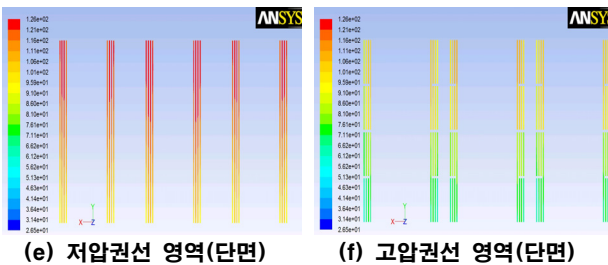
<그림 4>는 변압기의 영역별 온도분포를 나타내었다. 전체 영역의 온도 분포부터 철심 영역, 고압권선 영역, 저압권선 영역, 각 권선의 절연물 영역으로 나누어 온도 분포를 나타내었다. 전체적인 변압기의 온도 분포는 철심의 경우, 권선의 상부와 근접한 부분의 온도 분포가 집중되어 있다. 전체 온도분포는 38.5℃에서 126℃까지 나타났으며, 최고점 온도는 저압권선에서 126℃로 나타났다. 최고점 온도가 나타나는 부분은 상부에서 약 8% 부분에서 나타났다.



(a) 전체 영역 (b) 철심 영역



(c) 절연물 영역 (d) 절연물 영역(단면)



(e) 저압권선 영역(단면) (f) 고압권선 영역(단면)

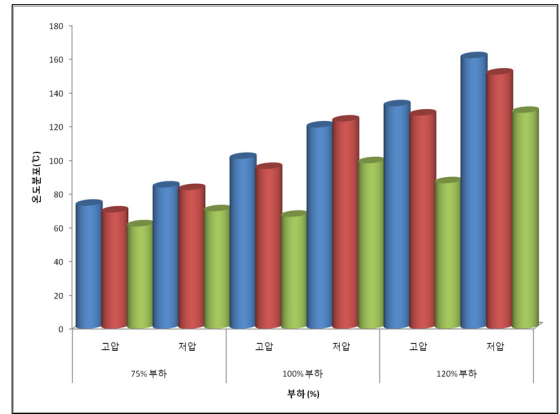
<그림 4> 해석모델의 영역별 온도분포(100% 부하)

<표 3>은 권선의 세부구조에 따라 상·중·하부의 각 섹션별로 온도분포를 나타내었다. 하부와 상부의 온도차는 저압권선의 경우는 약 20℃, 고압권선의 경우는 약 40℃의 차이를 보였다. 권선의 내부와 외부의 차이는 저압권선의 경우는 섹션의 중앙에 있는 2, 3번 영역에서 높은 온도분포를 나타냈으며, 고압권선의 경우 안쪽 부분인 1, 2번 영역에서 높은 온도분포를 나타냈다. 본 논문의 해석모델의 경우 내부 에폭시 부분의 공기 덕트를 설계하게 되면 온도를 낮출 수 있을 것이다.

<그림 5>는 부하에 따른 온도분포를 비교한 결과이다. 75%, 100%, 120% 부하의 결과를 비교하게 되면 고압권선의 온도 증가분보다 저압권선의 온도증가분이 크게 증가하였다.

<표 3> 저·고압권선의 영역별 온도분포(100% 부하)

영역구분	섹션구분	고압권선	저압권선
상부	1	105.3	114.2
	2	104.3	121.2
	3	100.3	122.2
	4	93.3	120.2
중부	1	97.3	124.2
	2	99.3	127.2
	3	94.3	127.2
	4	88.4	113.2
하부	1	63.6	94.43
	2	69.6	103.36
	3	70.6	102.36
	4	62.085	92.8



<그림 5> 부하에 따른 온도분포 비교

3. 결 론

본 논문에서는 배전용 3MVA급 몰드변압기의 온도분포를 상용 CFD 코드인 Fluent를 통하여 열유동해석을 수행하였다. 동시에 자연대류를 고려하여 몰드변압기를 둘러싸고 있는 공기 영역에 대한 유동해석을 적용하였다. 열해석에 적용되는 열원은 권선과 철심의 전력 손실밀도를 적용하였다. 몰드변압기의 모델을 실제형상과 유사하도록 철심은 적층형으로 권선은 공기덕트를 고려하여 3차원으로 모델링하였다. 유한체적법의 이산화를 위하여 속도와 압력의 연계는 SIMPLE 기법으로 처리하였다. 몰드변압기의 온도해석 결과 최고점 온도는 저압권선의 상부에서 나타났다. 영역에 따른 온도 분포는 저압권선은 섹션의 내부에서 높은 온도분포가 나타나며, 고압권선은 섹션의 외부에서 높은 온도분포가 발생한다. 본 논문을 통하여 몰드변압기의 구조 영역별 온도 분포 및 최고점 온도를 예측함으로써, 설계 시 요구되는 냉각 설계 및 온도 분포 정보를 예측할 수 있었다. 이에 따라 몰드변압기의 열적 특성을 분석하여 구성품별 온도분포 및 냉각특성을 미리 파악하여 변압기 설계에 적용하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 기초전력연구원 (R-2008-32)주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

[1] C. C. Hwang, P. H. Tang, and Y. H. Jiang, "Thermal Analysis of Highfrequency Transformers using Finite Elements Coupled with Temperature Rise Method", IEE Proc. Elect. Power Appl., Vol. 152, no. 4, pp.832-836, Jul. 2005
 [2] 오현호 외 2, "변압기의 3차원 온도분포 해석", Journal of the Korean institute of electrical and electronic engineers, vol. 52B, no. 9, pp. 434-441, 2003.
 [3] IEEE Guide for Loading Dry-Type Distribution and Power Transformers, IEEE Std C57.96, pp. 5-13, 1999.
 [4] Linden W. Pierce, "Predicting Hottest Spot Temperatures in Ventilated Dry Type Transformer Windings", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 9, No. 2, pp. 1160-1169, 1994