

F.E.M.을 이용한 단상 변압기의 전자력 해석

이현진 · 허창수 · 정종일 · 조한구 · 박영두
인하대학교 · 한국전기연구소 · 동미전기공업(주)

The analysis of the single transformer by using F.E.M

· Hyun-Jin Lee, Chang-Su Huh · Jung-il Jeong, Han-Goo Cho · Yeong-Doo Park

· Inha Univ. Energy Conversion Lab. · Korea Electrotechnology Research Institute Changwon, · Dongmi electroc Ind. Co.

Abstract - The single transformer appeared the electro-magnetic force must be constructed to support it. it must construct the single transformer to supporting the electro-magnetic force appeared by the cut-off current. the problem is that the electro-magnetic occurs the modification of the single transformer and an serious accident. In the case of the molding-transformer, the part of the molding cast used in the construction occurs the crack, because of the strong force. therefore, in this paper, the molding material used in the molding-transformer is settled by comparing the results from commercial soft ware of F.E.M and a out-equipment circuit.

Key Wards

:The single transformer, F.E.M.
Epoxy resin

1. 서론

몰드 변압기는 우수한 전기절연성과, 내구성 때문에 처음 개발된 이래로 배전급의 변압기로서 많이 사용되어 왔다. 이러한 몰드 변압기는 권선을 절연하고 있는 에폭시 몰딩 부가 권선 내의 소선간 절연을 담당하고 있다. 이때, 변압기 내부 코일에 단락 전류가 흐르게 되면, 코일간에 최대 힘이 발생하게 된다. 본논문은 1 ϕ 50(kVA) 몰드변압기를 제작하기 위하여, 설계와 동시에 단락전류가

발생함에 따른 전자력을 계산하여 이 힘이 변압기에 작용했을 때 코일사이에 있는 몰딩 수지가 힘을 견딜수 있는 기계적 강도를 가지고 있는지를 F.E.M.방법을 통해 알아보았다. 단락 전류에 의한 전자력에 의해 절연을 담당하고 있는 epoxy수지가 힘을 견디지 못하면 사고로 이어지므로 절연부를 받고 있는 에폭시 수지는 1차 코일과 2차 코일에서 발생한 힘을 견뎌야 한다. 해석 프로그램으로는 FLUX2D를 사용하였고, 결과치를 산출하는데 있어서는, 각 부분에 작용하는 힘을 개별로 산출하여 이를 토대로 각 부분에 미치는 힘을 벡터 합으로 결과를 도출하였다. 이 힘을 에폭시 수지의 기계적 강도와 비교 하였다. 에폭시 수지의 특성표는 일반적으로 사용되는 에폭시 몰드 수지의 배합 종류와 일반 에폭시 수지의 물성 값을 토대로 작성한 것이다.

2. 실험

2-1 F.E.M.이란.(finite element method)

공학분야에서 제기되는 물리적 제반현상들은 일반적으로 복잡한 분포특성을 갖는 연속적인 현상이라고 할 수 있는데, 이러한 현상들은 그 물리 장을 지배하는 지배방정식에 의해 표현되는 것이 보통이다. 또한 이와 같은 지배방정식을 만족하는 함수분포는 그 함수에 의해서 성립되는 지배방정식인 미분방정식의 해를 구함으로써 알 수 있게 된다. 그러나, 공학 상에서 직면하게 되는 이와 같은 미분방정식들에는 항상 여러 가지의 물리적 조건들이 부여되기 때문에, 이러한 미분

방정식의 해석적인 해를 구한다는 것은 대단히 어려우며, 또한 불가능한 것도 많이 존재한다. 따라서, 최근에는 이러한 미분방정식들의 해를 구하기 위해서 해석적인 방법을 사용하는 대신, 전자계측기에 의한 수치계측에 의해 해를 구하는 방법을 많이 사용하고 있다. 한편, 이러한 수치계측에 의한 방법에서는 주어진 미분방정식을 시간이나 혹은 변역에 대해서 이산화해야 하는 것이 보통이다. 그러나 여기서 현상을 기술하는 미분방정식을 이산화하는 방법 대신, 현상 그 자체를 이산화 하여서 문제를 다루는 방법도 생각할 수 있다. 예를 들면, 어떤 물리적 현상을 나타내는 함수의 분포영역을 특별한 기하학적 형태로 세분하고, 세분된 미소영역을 독립적으로 보아 각각의 미소영역에서의 함수분포가 서로 연속되고, 또한 이들이 종합적으로 결합되어 전 영역에서의 연속현상을 나타내는 함수분포를 구성한다고 보면, 고찰 대상의 해석영역을 세분된 미소영역으로 이산화하고 이산된 각 미소영역에 대해 함수특성을 나타내는 관계방정식을 적용시켜 이 방정식들의 전 해석영역에 대한 집합이 종합적으로 구성된 방정식이라고 보아 수치해석을 하는 이산적인 방법을 생각할 수 있다. 지금 해석대상영역을 미소영역으로 세분하고, 세분된 각 미소영역에 대한 함수분포를 미시적인 관점에서 분해해 보면 다음과 같은 사실을 알 수 있다. 즉, 전 영역에 대해서는 비록 복잡하게 분포를 하는 함수라 할지라도, 세분된 미소영역에서는 단순한 변화를 한다고 볼 수 있다. 따라서 이렇게 복잡하게 변화하는 함수를 미소영역에 대해서 단순변화를 하는 함수형으로 근사 시켜도 큰 오차는 생기지 않는다.

2-2 제작

표 1 변압기 구성 재질의 사양

구분	재질	초기 비투자율	특징
Core	규소강판	1500	포화자속밀도 1.5(Wb/m ²)
Primary coil	Cu	1.0	1836 turns
Second coil	Cu	1.0	32 turns

실험 제작된 변압기의 기본 재질의 사양을

표 1에서 나타내었다. core은 포항제철의 PN-30 계열의 B-H Curve를 근사화하여 입력하였으며 포화자속밀도는 1.5 [Wb/m²], 초기 선형 비투자율은 1500으로 가정하였다.

2-3 F.E.M.을 이용한 해석

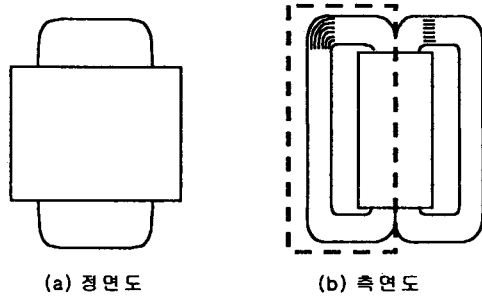


그림 1. 해석 영역

외철형인 변압기의 해석을 평면 F.E.M.으로 해석하기 위해 변압기의 반 즉, 그림 1에서 결정한 해석 영역을 토대로 F.E.M. 해석을 하였다.

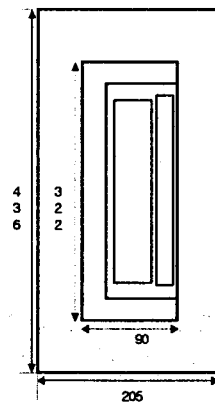


그림 2. 철심(simulation model)

F.E.M. 해석 영역으로는 그림 1에서 철심과 1,2차 코일 그리고 공기 덕트로 구성된 영역을 선택하였다. 몰드 변압기의 단면 전체를 해석하는 방법도 있다. 하지만 여기서는 변압기가 외철형이어서 중심으로부터 양 대칭을 이루므로 이를 간소화하여 해석 영역을

1/2로 하였다. 그림 2는 전체 해석 영역에서 철심의 규격을 나타낸 것이고 그림3은 내부에 몰딩된 부분 즉, 1,2차 코일과 이들을 절연하는 epoxy수지의 수치를 나타낸 것이다.

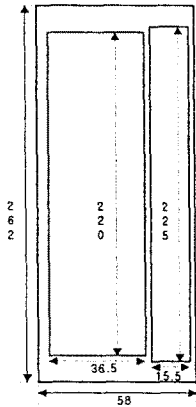


그림 3. 1,2차 코일과 에폭시 수지의 규격

그림 2,3 는 외철형 변압기의 1/2를 해석하기 위해 철심과 에폭시를 포함한 권선부의 규격을 나타내었다.

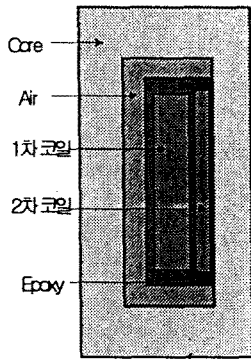
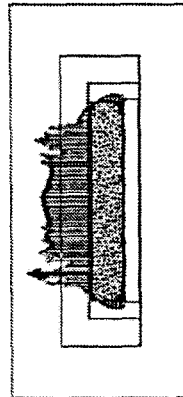


그림 4. Simulation model(완성형)

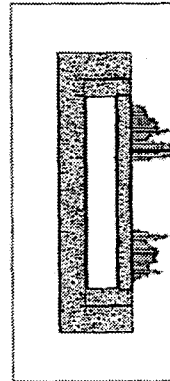
그림4는 Flux2d를 사용하여 완성한 Geometry를 나타낸 것이다.

그림 5는 1차 코일이 받는 정전 응력을 나타낸다.



Mag. pressure max.
(Yellow vector)
0.062086 N/mm2

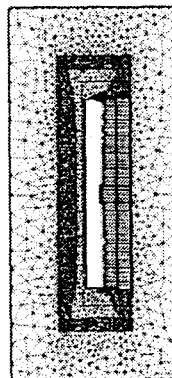
그림 5. 1차 코일



Mag. pressure max.
(Yellow vector)
0.27603 N/mm2

그림 6. 2차 코일

그림 6은 2차 코일이 받는 정전 응력을 나타낸다.



Mag. pressure max.
(Yellow vector)
0.044385 N/mm2

그림 7. 철심

그림 7은 철심이 받는 정전 응력을 나타내었다.

결과적으로, F.E.M.을 통해 분석한 그림 5, 6, 7에서 얻어낸 정전 응력 값을 벡터 합으로 계산하여 결과를 산출할 수 있었다.

표 2. epoxy수지의 기계적 강도

평가항목	특성치	목적 및 검증방법
기계적 특성	인장강도 (MPa)	88
	굽힘강도 (MPa)	144
	압축강도 (MPa)	184
	충격강도 (kJ/m ²)	7.8
	내크랙성 (cycle)	>14
		기계적특성 검증 JIS K6911 「열경화성 플라스틱 일반 시험법」에 준함 몰드 제품에 있어서 최고 중요 성능의 하나 볼트 법에 의한 냉열 냉동 시험

표2는 일반적으로 사용되는 에폭시 몰드 수지의 배합 종류와 일반 에폭시 수지의 물성 값을 토대로 작성한 것이다.

3. 결과 및 고찰

1차, 2차 코일 사이에 작용하는 힘, 즉 정전 응력을 계산 한 결과치는 에폭시 수지가 지니고 있는 기계적인 강도에 비해 아주 작으므로 이 힘은 이 몰딩 변압기에 영향을 줄 수 없었다. 또 하나의 힘에 차관하여 열 응력을 고려한다면, 코일사이에 작용하는 힘이 더 커진다. 이때는 지금처럼 무시할 수 있는 수치가 아닐 것이다.

결과적으로, 단상, 50(kVA) 몰드변압기에서는 몰딩 수지의 기계적 강도가 단락 전류에 의한 코일간에 작용하는 응력을 견딜 수 있었다. 이 결과를 토대로, 용량이 50(kVA)가 아닌 더 큰 용량 75(kVA)이

상의 몰드 변압기에서 내부 응력이 어떻게 작용하며 그 크기가 얼마가 되는지 알아 낼 수 있다. 단상변압기의 내부 응력을 고려하여 제작시 몰딩부재료를 선택함으로써 오랜 기간동안 이 변압기를 안전하게 사용할 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(2000-1-30200-011-3)지원으로 수행되었음

[참고 문헌]

- [1] 임달호, "전기계의 유한요소법", 동명사, 1992
- [2] Takashi Hasegawa, "Application Technology of Molded Products in the Field", Takaoka Review, 1996
- [3] 오무송외 1, "전기기기설계", 형설출판사, 1996
- [4] 천희영외 1, "전기기계", 청문각, 1995