

에폭시-마이카 복합재료의 FEM에 의한 MODELING 열화 해석

The Modeling Aging Analysis due to Finite Element Method on Epoxy-Mica Composites

Heegon Kim*o, Jungseob Hyun*, Heedong Kim*, Hangu Jo**

* KEPRI, ** KERI

김희곤*o, 현중섭*, 김희동*, 조한구**

* 전력연구원 수화력발전연구실 ** 한국전기연구소 절연재료연구부

Abstracts : This paper was practiced insulation failure test forcing to accelerate on frequency of 420 HZ. There was manufactured generator stator windings for 500MVA thermal plants and selected accelerating deterioration voltage of 5.5kV/mm for electrical aging. Moreover, so as to verification of this experiments, we carried out modeling analysis due to finite element method using to ANSYS5.0 program for common package and imitated multi-stress aging for analyzing electrical and mechanical stress distribution.

제 1 장 서론

산입의 발전에 따른 전력수요의 증가로 전기에너지 공급의 안정화 및 신뢰성은 그 중요성을 더하게 되고 전기에너지의 공급원인 발전기의 운전중 절연파괴 사고는 전력수급에 심각한 영향을 미치게 되었다. 따라서, 오래전부터 발전기는 운전중에 절연파괴 사고가 발생하지 않도록 여러 가지의 비파괴시험 등에 의하여 절연의 열화상태를 판정하여 왔으나 각각의 발전기에 따른 운전 조건의 다양성, 절연열화기구의 복잡성 등 여러 가지 원인에 의하여 열화상태 및 열화위치를 정확히 판단하는 것은 상당히 곤란한 것이었다. 또한, 발전기 고정자권선은 빈번한 기동정지와 장기운전시의 각종 스트레스에 의한 권선의 절연열화 및 Wedge 이완, 이탈현상등 안정운전과 수명관련 문제가 발생하고 전력수요 급증에 따른 DSS(베일기동정지) 및 WSS(주말기동정지)를 실시하는 발전기의 증가, 경제성과 부지선정의 어려움, 수명연장 추세의 정책등으로 설비의 수명평가 및 진단기술개발의 필요성이 대두되었으며¹⁾ 발전기의 권선교체등 설비의 성능공사시 대부분 외국제작업체의 추천에 의존하는 등 우리나라 자체의 절연진단 기술 및 수명평가 기능을 수행할 수 있는 것이 시급하게 되었다.

이를 위한 하나의 방법으로 500MVA 화력용 발전기 고정자권선을 제작하였고 고정자권선의 열화를 전기적으로 열화시키기 위하여 5.5kV/mm의 가속열화전압을 선정하고 420Hz주파수로 가속열화시켜 절연파괴시험을 실시하였다.²⁾

또한, 이러한 실험결과를 검증하기 위하여 구조해석에 많이 사용되는 상용패키지인 ANSYS5.0 프로그램을 이용하여 유한요소법(FEM)에 의한 Modeling을 시도하였으며 전기적, 기계적인 스트레스분포를 분석하여 복합스트레스열화를 모의하였다.

제 2 장 실험재료 및 실험방법

본 논문에서 사용된 고정자권선은 500MVA, 22kV(상전압 12.7kV)급 수냉식 화력용 권선을 실험장치에 적합하도록 그림 1과 같이 직선형으로 제작하였다. 가속열화전압은 5.5kV/mm(인가전압 27.5kV, 권선절연두께 5mm)이며 고정자권선의 일화를 전기적으로 가속시키기 위하여 사진 1과 같은 가속열화장치를 미국의 William I. Horlick사에서 제작하였고 이러한 M-G Set를 사용하여 출력주파수 420Hz로 주파수를 가속열화하여 절연파괴시켰다.

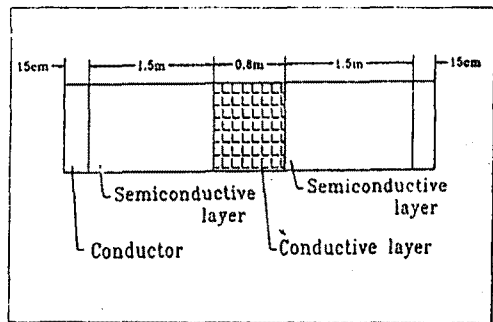


그림 1 시험용 고정자권선의 횡단면

2-1. 유한요소법을 이용한 Modeling 해석

유한요소법이란 해석하고자 하는 문제의 복잡한 영역을 단순한 부영역(Subdomain : finite element 유한요소)의 집합으로 표시하고 각각의 요소에 간단한 근사함수 (interpolating/shape

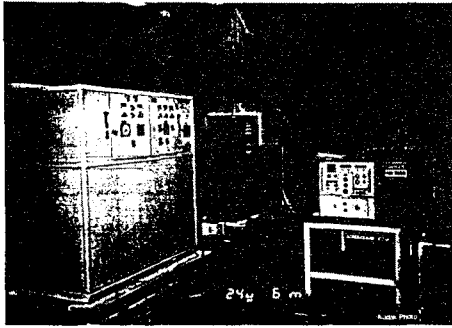


사진 1 주파수 가속열화장치

function)를 적용하여 기계적 및 전기적인 스트레스를 해석하고 복잡한 문제의 해석/설계에 필요한 수치해석기술을 이용한 전산 역학의 하나이다. 그러므로 본 논문의 고정자권선 모델링해석은 실제 구조해석에 많이 사용되는 상용패키지인 ANSYS5.0 프로그램을 이용하여 해석하였다.³⁾ 해석은 두가지의 형태로 행해졌으며 첫째로 고정자권선 끝단 가장자리에 0.1mm 치짐이 발생할 수 있는 하중 500N을 가하였을 때 변형된 형상을 해석하였고⁴⁾ 둘째로 고정자권선의 동도체에 27.5kV를 가하고 외부도체에 그라운드하였을 때 고정자권선 전체에 나타나는 전계의 형상을 해석하였다.

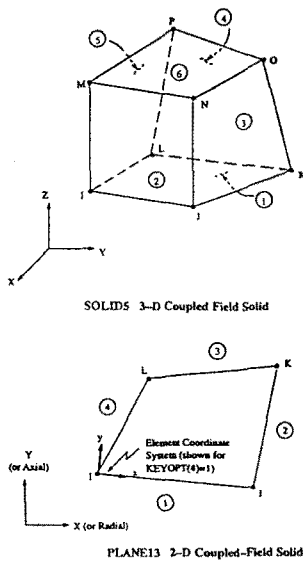


그림 2 SOLID 5 3-D Coupled Field Solid 및 PLANE 13 3-D Coupled Field Solid Type

또한, 실제 500MVA 발전기의 전류(16088A)를 풀러 와전류를 포함한 전전류에 대한 2차원해석을 하였으며 요소(element)의 형태로는 그림 2와 같은 SOLID 5 Type과 PLANE 13 Type을 이용하여 해석하였고 그림 3과 같이 경계조건을 설정하고 요소를 분할하였다.

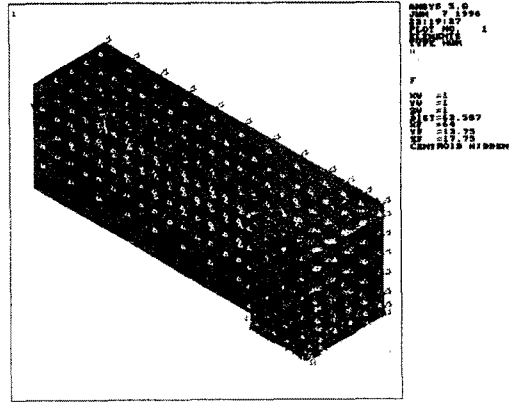


그림3 실험용 고정자권선의 mesh형상 및 경계조건

제 3 장 시험결과 및 고찰

그림 4는 고정자권선의 FEM에 의한 전기적인 스트레스분포이며 동도체에 27.5kV를 인가하고 외부전극에 그라운드하였을 때 나타나는 전계(electric field)를 나타내는 것으로 도전성도료를 고려하여 경계조건을 설정하였으며 옛지부분으로 고정시킨 윗부분에 최대의 전계 5.3kV/mm²가 나타나고 외부전극과 절연물이 접촉되는 부위에 많은 전기적 스트레스(3.5kV/mm²)가 발생하고 있음을 알 수 있다. 이에 대한 실증으로 실제의 절연과파괴 시험시 옛지부분과 동도체의 모서리에서 파괴가 일어났으며 모델링해석에 의한 위치예측방법의 신뢰성을 확인하였다.

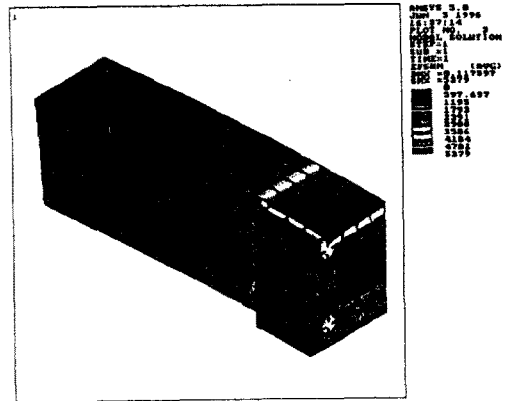


그림 4 고정자권선의 FEM에 의한 전기적스트레스 분포

그림 5는 고정자권선의 끝단 가장자리부분에 전자력에 의한 기계적인 스트레스를 모의하기 위하여 0.1mm의 치짐이 발생할 수 있도록 하중(500N)을 가했을때를 나타내는 그림이며 유한요소 모델에 사용되는 총 절점(node number)은 560이며 총 요소수(element number)는 366이다. 그림 6은 고정자권선 끝단 가장자리에 0.1mm의 치짐을 가했을 때 나타나는 Von Mises Equivalent Stress를 나타낸 것이며 하중이 가해진 부분에 최대

응력 56N/mm^2 이 나타나고 외부전극 부분이 고정되어 있기 때문에 외부전극 윗부분에 인장응력이 작용하고 하단부위에 압축 응력이 작용하고 있음을 볼 수 있다.

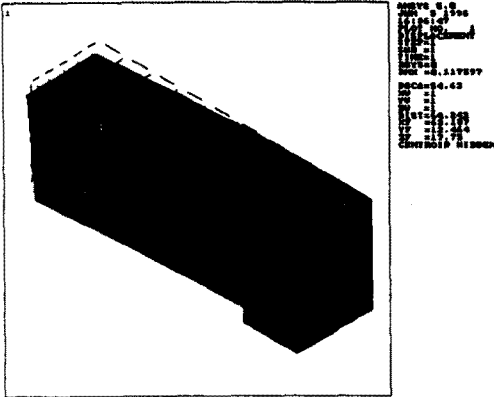


그림 5 고정자권선의 기계적 하중(500N)에 의한 처짐

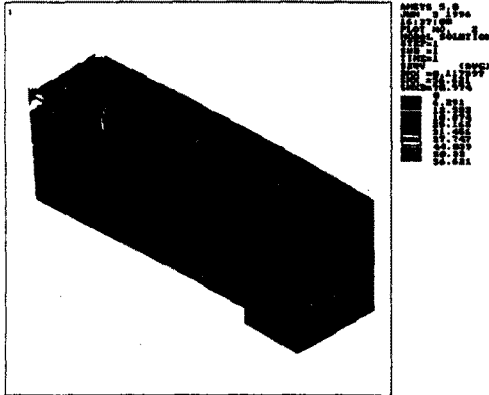


그림 6 고정자권선의 FEM에 의한 기계적 응력분포

그림 7은 실제 500MVA 발전기에 흐르는 전류(16088A)를 흘렸을 때 분포하는 전체전류를 나타내는 그림으로 와전류 성분을 포함하고 있으며 동도체 가장자리에 73.8A/mm^2 의 최대 전류밀도를 나타내며 이로써 주열원에 의한 최대 열화 위치를 예측할 수 있다.

제 4 장 결 론

발전기 고정자권선의 가속열화에 의한 절연파괴시험과 FEM을 이용한 복합스트레스해석의 컴퓨터모델링 모의시험의 결론은 다음과 같다.

1. 유한요소법을 이용한 모델링에 의해 발전기 고정자권선의 열화해석이 가능함을 알았다.

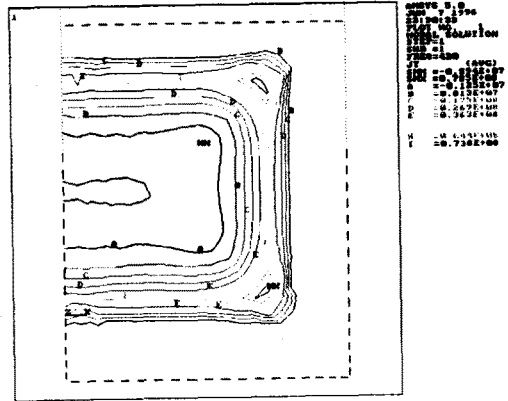


그림 7 고정자권선의 FEM에 의한 전전류 밀도분포

2. 가속열화에 의한 절연파괴의 위치와 유한요소법을 이용한 전기적스트레스의 최대분포값 및 전류밀도의 최대값의 위치가 동일하여 모델링에 의한 열화위치 예측이 가능함을 알았다.
3. 기계적인 스트레스의 분포에 의해 슬롯바깥 부위에 큰 응력을 받고 있음을 알 수 있었다.

참고문헌

- 1) Grunewald P. and Weidner J., "Possibility and Experience with off-line Diagnosis of Turbine Generator Stator winding insulations", CIGRE 11-206, Aug.28-Sept. 3, 1994.
- 2) 김용주 외 "발전기 수명평가 및 진단시스템 개발" 전력연구원 2차년도 중간보고서, 9, 1995.
- 3) SWANSON ANALYSIS SYSTEM INC. "ANSYS User's Manual for Revision5.0", Volume 3 Element, Feb. 1994
- 4) EPRI Final Report by Ontario Hydro Research Division "Motor and Generator Insulation Life Estimation", Volume 1, pp 6-25~6-43, Jan. 1992.