발전기 고정자 권선에 사용되는 절연재료의 기계적 및 전기적 특성

김희동*, 박종정*, 김희곤*, 강도열**, 한상옥***
* 전력연구원, ** 홍익대학교 공대 전자전기공학부, *** 충남대학교 공대 전기공학과

Mechanical and Electrical Properties of Insulation System used in Generator Stator Windings

Hee Dong Kim*, Jong Jeong Park*, Hee Gon Kim*, Dou Yol Kang** and Sang Ok Han***
* Korea Electric Power Research Institute, ** School of Electronics & Electrical Eng., Hongik University
*** Dept. of Electrical Eng., Chungnam Nat'l University

Abstract

Mechanical and electrical properties of mica/epoxy composite materials were investigated by dynamic mechanical analyzer(DMA) and dielectric analysis (DEA). Both modulus and permittivity of sound specimens were higher than those of aged specimens. Two results show that tan δ of sound specimens is lower than that of aged specimens. DMA results showed that glass transition temperatures of sound and aged specimens are observed to be 87.16℃ and 88.38℃, which increases with the increase of aging time.

1. 서론

발전기, 전동기 등의 고압회전기는 냉각방식의 진보와 새로운 절연재료의 사용에 따라 단위 용량이 급격하게 증대하고 있으며 소형 경량화 추세에 있다. 이러한 고압회전기 고정자 권선의 절연재료는 기본적으로 마이카 분말을 결합재와 합성하여 마이카 테이프 형태로 제작하여 사용하고 있다. 마이카는 천연의 플레이크(flake) 마이카가 오래동안 사용되었지만, 오늘날에는 균질하고 전기적 및 기계적 특성이 양호한 집성 마이카가 많이 사용되고 있다. 결합재는 종래에 셀락과 아스팔트 콤파운드 등의 천연수지를 사용하였으나, 고분자 화학의 급속한 발전으로 전기적, 기계적, 열적 및 환경적인 특성이 우수한 합성수지가 개발되었다. 합성수지는 폴리에스터 수지와 에폭시 수지가 사용되었으나 최근에는 에폭시 수지가 주류를 이루고 있다.

본 논문에서는 마이카/에폭시를 주절연으로 사용하는 수소 냉각식 화력용 발전기(정격전압 22kV, 500MW) 고정자 권선을 제작하여 공기중에 권선을 설치한 후 420Hz, 27.5kV 전압을 인가하여 실험실에서 가속 열화 시험을 수행하였다. 따라서 열적, 전기적으로 열화된 권선과 공기중 건전한 권선의 직선형 바(bar)에서 절출한 시편를 사용하여 기계적인 특성을 분석하였다. 또한, 마이카/에폭시 페이퍼(paper, 130㎛)의 건전시편과 열화시편에서 비유전율과 유전정접을 측정하여 전기적 특성을 관찰하였다.

2. 실험방법

본 논문에 사용된 고정자 권선은 수소 냉각식 화력용 발전기(정격전압 22kV, 500MW)로써 가속 열화에 의한 절연 파괴 시험을 수행하기 위하여 직선형 바로 설계하였다. 전기적 가속 열화는 전압을 높여서 시험하는 것이 일반적인 방법이지만, 고정자 권선의 통상적인 절연 설계는 2kV/mm~3kV/mm사이에서 운전하도록 설계되어 있어 가속 열화 전압이 6kV/mm이상일 경우 비정상적으로 열화가 진행될 수 있으므로 부분 방전이 발생하지 않는 한계값인 5.5kV/mm(인가전압 27.5kV, 권선절연 두께 5mm)로 정하여 실험하였다.

또한, 정격 전압 및 정격 주파수에서 권선의 수명은 대부분 100,000시간을 초과하므로 420Hz로 높여 권선의 평균 수명이 20,000시간 이내가 되도록 M-G Set(William I. Horlick Co., 420Hz)를 제작하였으며, 50kV까지의 고전압 발생장치는 AVO Biddle Instruments 회사의 전력용 변압기 및 제어 장치로 구성하였다. M-G 시스템의 입력은 3ϕ, 200V, 80A, 60Hz이며, 출력은 1ϕ, 480V, 420Hz이다. 전력용 변압기는 50kV, 1A, 420/60Hz 겸용으로 사용할 수 있도록 설계되어 있어 가속 열화 및 측정에 모두 사용할 수 있도록 설계하였다. 그리고 건전시편과 열화시편에서 기계적인 특성시험을 위해 DMA (Dynamic Mechanical Analyzer, PERKIN-ELMER 7E)를 사용하였다.

발전기고정자 권선에서 사용되는 마이카/에폭시 페이퍼(130㎛)의 건전시편과 열화시편에서 DEA (Dielectric Analysis, DuPont사, DEA 2970)를 사용하여 비유전율과 유전정접을 측정하였다. 열화시편은 전기로(electrical oven)의 공기 분위기에서 온도를 180℃로 고정하고 72시간 동안 열화시켰으며, 열화 온도 설정은 발전기 고정자 권선 제작시 동바(copper bar)에 마이카/에폭시 테이프를 감은 후 몰딩 프레스 온도를 160℃ 이상으로 상승시킬 뿐만 아

니라 다른 문헌[1]의 시험 조건을 참고하였다.

3. 시험결과 및 고찰

3.1 DMA 분석

건전시편과 열화시편에서 기계적인 특성을 분석하기 위해 3-point bend mode를 사용하여 동적 스트레스(800.0mN), 정적 스트레스(1000.0mN) 및 주파수 1Hz 조건에서 2℃/min 승온하면서 0℃~220℃까지 측정하였다. 그림 1과 그림 2는 각각 공기중 건전시편과 열화시편의 modulus 와 유전정접에 관한 온도 의존성을 관찰하였다.

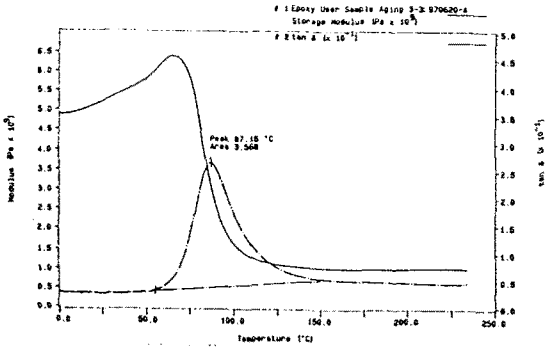

그림 1. 공기중 건전시편의 modulus 와 유전정접에 관한 온도 의존성

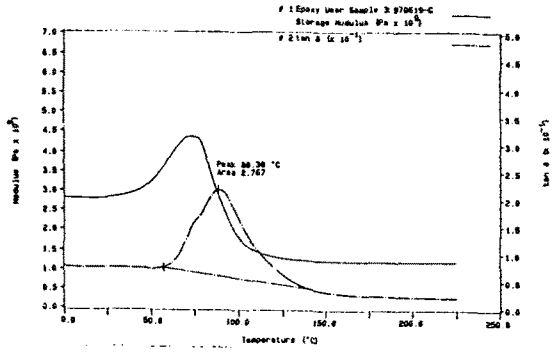

그림 2. 공기중 열화시편의 modulus 와 유전정접에 관한 온도 의존성

그림 1과 그림 2를 비교해 볼 때 modulus는 건전시편이 열화시편에 비해 현저하게 높게 나타나고 있다. 유리전이온도는 건전시편이 87.16℃에서 나타나고 열화시편은 88.38℃에서 나타났는데, 이는 DSC (differential scanning calorimeter)의 분석 결과와 일치하고 있다[2]. 또한, 유전정접은 건전시편이 열화시편에 비해 높게 나타나고 있는데 이는 열화 과정 중에 tanδ의 변화는 분자 결합 상태 변형과 열화 생성물의 변형에 의한 것으로 나눌수 있다. 여기서는 마이카와 에폭시 복합 재료의 계면에서 분자 결합 상태의 변형으로 인해 미소 공극이 감소함에 따라 열화시편에서 tanδ가 감소한 것으로 사료된다.

3.2 DEA 분석

건전시편과 열화시편에서 비유전율과 유전정접 특성을 분석하기위해 2℃/min 승온하면서 30℃~300℃까지 측정하였다. 그림 3과 그림 4는 건전시편과 열화시편에 대한 비유전율의 온도 의존성을 나타냈으며, 5개의 주파수 영역(10, 100, 1,000, 10,000, 100,000Hz)에서 관찰하였다. 건전시편이 열화시편에 비해 비유전율이 현저하게 높게 나타나고 있으며, 건전시편은 125℃ 부근에서 피크가 발생하였다가 225℃에서 급격하게 증가한다.

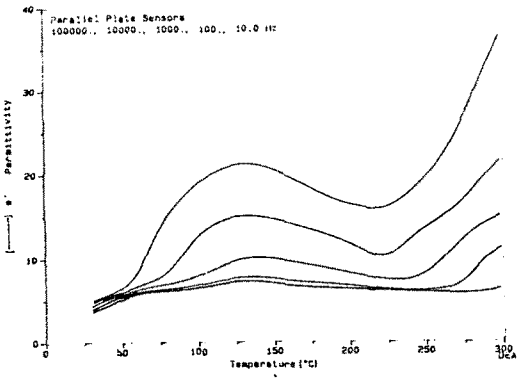

그림 3. 건전시편의 비유전율에 관한 온도 의존성

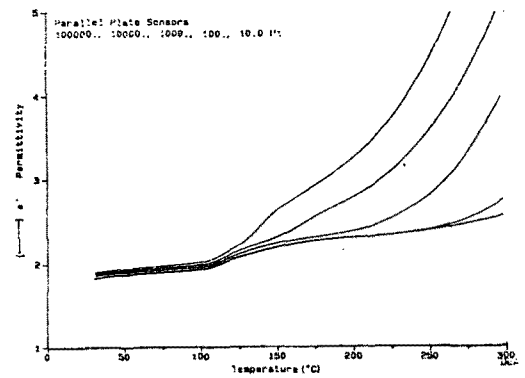

그림 4. 열화시편의 비유전율에 관한 온도 의존성

그림 5와 그림 6은 건전시편과 열화시편에 대한 유전정접의 온도 의존성을 나타냈으며, 5개의 주파수 영역(10, 100, 1,000, 10,000, 100,000Hz)에서 관찰하였다. 열화시편이 건전시편에 비해 유전정접이 현저하게 높게 나타나고 있는데, 이는 그림 1과 그림 2에서 나타낸 결과와 일치하고 있다. 따라서 마이카/에폭시의 건전시편과 열화시편에 대해 비유전율과 유전특성을 분석해 보면 저온 영역에서는 측쇄와 불순물 등의 영향을 받게 되며, 고온 영역에서는 주쇄의 운동에 의한 유전율의 증가 현상이 나타나고 있는데,

이는 일반적으로 에폭시에서 볼 수 있는 현상이다 [3].

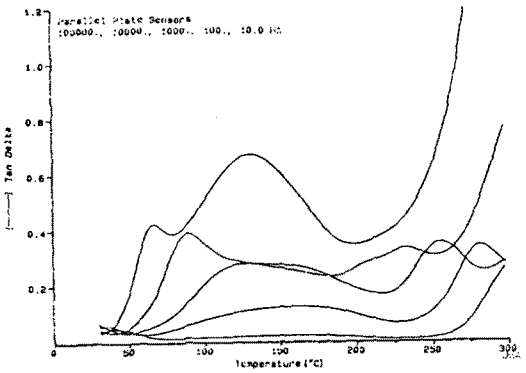

그림 5. 건전시편의 유전정접에 관한 온도 의존성

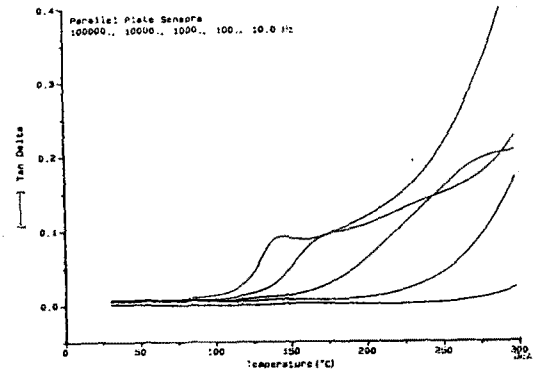

그림 6. 열화시편의 유전정접에 관한 온도 의존성

4. 결론

마이카/에폭시 복합재료의 공기중 건전시편과 열화시편에서 기계적 특성을 분석하였고 마이카/에폭시 페이퍼의 건전시편과 열화시편에서 전기적 특성을 관찰한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

(1) 공기중 건전시편은 열화시편에 비해 modulus는 현저하게 높게 나타났으나, 유전정접은 열화권선에서 낮게 나타났다. 또한, 유리전이온도는 건전시편이 87.16℃에서 나타나고 열화시편은 88.38℃에서 나타남을 확인하였다.

(2) 비유전율은 건전시편이 열화시편에 비해 현저하게 높게 나타났으나 유전정접이 낮게 나타남으로써 기계적 특성과 일치하고 있음을 확인하였다.

참고문헌

[1] K. Kimura and Y. Kaneda, "The Role of Microscope Defects in Multistress Aging of Micaceous Insulation", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 2, No.3, pp. 426-432, Jun. 1995.

[2] 김희동, 김태완, 김정훈, "발전기 고정자 권선으로 사용되는 마이카/에폭시의 열적 분석", 한국전기전자재료학회 춘계학술대회 논문집, pp. 330-333, 1997.

[3] F. P. La Mantia, R. Schifani and D. Aciero, "Dielectric Properties of a Filled Epoxy Resin : Effect of Thermal Treatment", Colloid and Polymer Sci., Vol. 260, pp. 297-302, 1982.