

에폭시의 마이크로 나노 필러 함량에 따른 DC절연파괴특성 평가

권정훈, 조성훈, 김유민, 임기조
충북대학교

Investigation on DC Breakdown Characteristic of Nano/Micro Epoxy

Jung-Hun Kwon, Sung-Hoon Cho, Yu-Min Kim, Kee-Joe Lim
Chungbuk U niversity

Abstract - 현재 사용되는 전력기기와 전기에너지로 구동되는 기기들은 환경 조화와 에너지 절약을 목표로 고전압 · 대용량화, 축소 · 소형화 및 고효율화가 진행되는 과정에 있다. 이런 기기들은 전위를 유지하기 위해서 전기절연기술이 필수적이다. 특히 전기절연재료의 역할이 중요해서 재료의 특성이 기기전체의 종합성능을 지배하기도 한다. 본 연구에서는 몰드 변압기의 절연수지로 사용되는 에폭시 복합체와 마이크로 SiO₂와 Ag 각 시편의 열팽창률과 유전 특성 및 온도에 따른 절연파괴강도를 측정하여 열적 특성 및 전기적 특성을 검토하고 분석한다.

1. 서 론

산업의 발달과 함께 재료특성의 향상에 대한 요구가 제기되고 있으며 이에 따라 기존재료보다 우수한 강도 및 특성을 갖는 재료 개발에 많은 연구가 집중되고 있다. 재료 특성의 향상을 위한 접근 방법중 예전부터 많은 관심의 대상이 되고 있는 것이 복합재료의 개념을 이용한 재료 개발이다. 일반적으로 복합재료란 두 가지 이상의 재료가 조합되어 물리적 · 화학적으로 서로 다른 상을 형성하면서 보다 유효한 성능이 나타나는 재료를 말한다. 최근 나노크기의 극미세 영역에서 새로운 물리현상과 향상된 물질특성을 나타내는 연구결과가 보고되면서 나노과학기술이라는 새로운 영역이 출현하였고 절연재료에 나노물질을 첨가한 다양한 나노복합재료에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 본 연구에서는 에폭시 수지에 나노 크기의 TiO₂, 마이크로 크기의 SiO₂ 첨가체를 혼합해 시편을 제작하여 전기적, 열적 특성을 분석해 DC절연파괴 실험을 하였다.

2. 본 론

2.1 시편제작

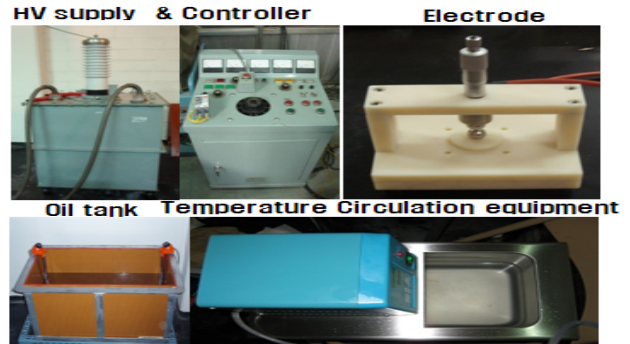
에폭시 나노 복합물의 충전제의 종류와 함량에 따른 DC절연파괴 강도 및 열전도도, 열팽창계수 측정을 위해 각각 15종류의 시편을 제작하였다. 시편은 주재, 경화제, 촉진제, 마이크로 필러, 나노필러로 구성되어 있다. 마이크로 필러는 SiO₂를 사용하였고, 나노필러는 TiO₂ 그리고 Ag는 50 [20nm]의 입자 크기를 가진 나노 파우더로 나노 복합물을 만들었다.

시편 제작 순서는 교반기를 사용해 주재, 경화제, 촉진제, 마이크로 실리카를 넣고 온도는 각각 60℃로 동일하게 설정하고 교반기에서 500[rpm], 30[min] 동안 Mixing을 해주었다. 그리고나서 혼합된 용액을 각각 5종류의 나노입자의 충전제를 넣고 적절한 분산을 하기 위해 Planetary Centrifugal Mixer를 이용하여 1000[rpm], 20[min] 동안 mixing을 하였다. 최종적으로 혼합된용액을 120*120*6[mm], 120*120*1[mm], 120*120*6[mm]의 금형 몰드에 넣은 후, Vacuum Oven에서 약 20~30분간 0.08 [MPa]로 에폭시 혼합물 내부의 기포를 빼주는 작업을 하였다. 다음으로 Casting & Curing과정으로 4시간동안 80도, 16시간동안 130도, 4시간 동안 60도에서 서서히 냉각을 시킨 후에 지름 100[mm], 두께 1[mm]정도의 디스크형 시편을 만들었다. 또한, 2차적인 오차를 줄이기 위해 표면을 polishing하여 표면 거칠기를 부드럽게 하였다.

2.2 DC절연파괴 시험

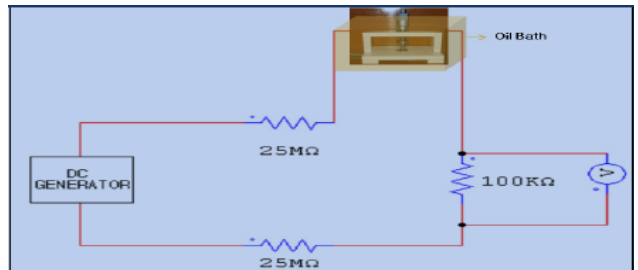
그림 1에서 본 연구를 위한 실험장비로 절연파괴강도를 측정하기 위해 고전압발생기, 구대구 전극계, 절연유조, 온도순환장치로 구성을 하였다. 절연파괴 강도 측정을 위해서는 고전압 변압기, 구대구 전극, 오일 순환장치가 필요하다. 직류 고전압 발생기는 최대 200 kV의 전압을 발생시킬 수 있으며, 측정 전극계는 절연파괴 전압을 측정하기 위해서는 이론적으로는 갭이 전극의 직경보다 적으면 되나 실제로는 전극의 직경이 갭의 10배 정도 이상을 권장하기 때문에, 직경 15 mm의 스테인레스 스틸 구 대 구 전극을 사용하였으며, 시편 및 전극계 전체는 표면 접촉 방지를 위하여 절연

유에 함침된다. 절연파괴 강도를 상온(25℃)과 유리 전이온도 이하 및 이상에서의 측정을 하였다. 실험 시 시편에 일정한 온도를 유지할 수 있도록 별도의 절연유 가열 및 순환 장치를 이용하였다.



〈그림 1〉 DC절연파괴시험용 실험기기 구성

그림 2는 실험을 위한 대략적인 회로도이다. 양단에 고전압저항을 연결하고 보호저항 100kΩ에 전압계를 설치하여 절연파괴시의 전압을 측정하였다.



〈그림 2〉 회로도

2.2 DC절연파괴 시험 결과

절연파괴강도실험을 한 데이터를 와이블 분석으로 scale parameter을 이용한 평균절연파괴강도를 도시하였다.

표 1은 와이블 분포 해석을 통해 나온 절연파괴강도를 상온과 T_g 이하와 이상에서 실험한 결과를 나타낸 것이다.

〈Table 1〉 Breakdown strength of specimens

| Specimen | 30℃ | 60℃ | 90℃ |
|----------|------------------|------------------|------------------|
| | η_l (kV/mm) | η_l (kV/mm) | η_l (kV/mm) |
| #1-5 | 27.25 | 27.97 | 26.63 |
| #1-10 | 26.57 | 27.52 | 27.18 |
| #1-15 | 25.27 | 25.74 | 25.15 |
| #2-5 | 23.73 | 26.72 | 27.35 |
| #2-10 | 24.54 | 26.76 | 26.43 |
| #2-15 | 23.92 | 28.69 | 28.63 |

2.3 열전도도 측정

제작된 시편에서 샘플크기를 30*70[nm]로 다시 재가공하여 Mathis사의 TC-30 장비를 이용하여 열전도도를 측정하였다. 표준물질은 Lecan, Pyroceram, Titanium, Hastalloy를 이용하였고, 측정시간은 10초, 시작시간 4초, 냉각시간 5분, 시험온도는 30±℃로 하고 측정횟수는 3회를 측정하여 평균값을 내었다. 표준곡선은 ASTM C-518에 준거한 Calibration Standard 물질을 사용하여 샘플과 비교하였다.

2.3.1 열전도도 측정 결과

시간 t동안 뜨거운 면에서 차가운 면으로 판을 통해 전달된 에너지를 Q라고 하면, 단위시간당 전달되는 에너지를 열전도율이라고 하는데, 이 열전도율을 바탕으로 열전도도를 측정된 결과는 표 2와 같다.

<Table 2> Thermal Conductivity

| Specimen | Thermal Conductivity [w/mK] |
|----------|-----------------------------|
| #1-5 | 0.697 |
| #1-10 | 0.788 |
| #1-15 | 0.828 |
| #2-5 | 0.715 |
| #2-10 | 0.912 |
| #2-15 | 0.835 |

2.4 열팽창계수 측정

장기적인 변압기 운용 시 금속과 에폭시 절연물의 열팽창계수의 차이 때문에 계면에서 보이드 발생으로 인해 반복되면 정상적인 절연 특성을 가질 수 없게 된다. 따라서 절연물의 열팽창계수가 금속과 비슷한 수준으로 하는 것이 중요하다.

열팽창계수를 측정된 기기는 Thermomechanical Analyzer (TMA 2940) 이고 제작된 시편을 1mmφ 사이즈로하여 열팽창계수를 측정하였다. 측정온도의 범위는 30℃에서 최고 150℃까지 초당 2℃씩 증가하는 방식으로 측정하였다.

2.4.1 열팽창계수 측정 결과

제안된 각 시편의 열팽창계수 측정결과, 전체적으로 열팽창계수 저하를 가져왔으나, 금속과의 비슷한 열팽창계수 값은 같지 못하고, 최소 약 2배 정도의 열팽창계수 값을 보였다. 표 3은 열팽창계수의 측정 결과이다.

<Table 3> Thermal expansion coefficient

| Specimen | Thermal expansion coefficient [$\times 10^{-5}/K$] |
|----------|--|
| #1-5 | 5.31 |
| #1-10 | 4.36 |
| #1-15 | 5.79 |
| #2-5 | 4.54 |
| #2-10 | 5.39 |
| #2-15 | 6.23 |

3. 결 론

본 연구는 몰드 변압기용 절연 수지의 전기적 열적 특성을 검토하기 위해 DC절연과피 실험과 열팽창 계수를 측정하였다.

1) DC절연 파괴 실험 결과 약 18-29[kV/mm] 정도의 절연과피 강도를 보였고 #1,4,5,시편은 고온에서의 절연과피강도가 상온에 비해 개선되었다.

2) 열전도도의 향상을 목적으로 한 실험 결과, 나노 충전제를 첨가한 경우에 기존 절연수지보다 평균적인 값을 보이거나 조금의 하향된 값을 보였다.

3) 에폭시의 열팽창계수의 결과 #1 시편에서 가장 낮아진 것으로 측정되었다. 그 외 시편들은 만족할 만한 결과를 얻지 못하고, 약 2배 정도의

열팽창계수의 실험 값을 얻었다.

기존 절연수지에 나노 충전제를 첨가한 결과, 실험의 결과는 장단점을 보였다. 추후에 나노 충전제의 종류와 첨가량을 달리 하여 열팽창계수를 줄이는 실험이 요구된다

[참 고 문 헌]

- [1]Z. Dang, L. Fan, S. Zhao and C. Nan, "Dielectric properties and morphologies of composites filled with whisker and nanosized zinc oxide", Mat. Res. Bull., Vol. 38, pp. 499-507, 2003.
- [2]Imai, T., Sawa, F., Ozaki, T., Inoue, Y., Shimizu, T., Tanaka, T., "Roles of Fillers on Properties of Nano-TiO2 and Micro-SiO2 Filler Mixed Composites",
- [3]Castellon, J., Agnel, S., Tourelle, A., Fréchette, M.F., Savoie, S., Krivda, A., Schmidt, "Space charge behaviour on epoxy based dielectrics filled with micro and nano silica", 2010 International Conference on Solid Dielectrics, pp. 1-4, 2010