

## 복합절연물내의 에폭시 두께에 따른 AC 절연파괴 분석

정해은, 윤재훈, 김병철, 강성화\*, 임기조  
충북대학교, 충청대학교\*

### AC Breakdown Analysis by Epoxy Thickness in Composite-Insulation

Hae-Eun Jung, Jae-Hun Yun, Byoung-Chul Kim, Seong-Hwa Kang\* and Kee-Joe Lim  
ChungBuk Univ., ChungCheong Univ.\*

**Abstract :** SF<sub>6</sub> gas used widely as insulating component in electric power industry has excellent in insulation and arc extinguishing performance in gas-insulated switchgear. However, the concern about eco-friendly alternative gas is currently rising, because SF<sub>6</sub> gas is one of the main greenhouse gases. As one of the study for SF<sub>6</sub> free technology, composite-insulation technology is focused in this paper. To analyze the influence by epoxy thickness change, the composite-insulation composed of dry-air and epoxy was used in this paper. To analyze AC breakdown by the epoxy thickness, needle-plane electrode was used and needle was molded by epoxy. Under the gas pressure ranged from 0.1 to 0.6MPa, the breakdown voltage of dry-air were measured in AC electric field. The data of composite-insulation were acquired by changing the thickness of epoxy used in each composite-insulation under the same condition.

**Key Words :** composite insulation, epoxy thickness, dry air, AC breakdown

### 1. 서론

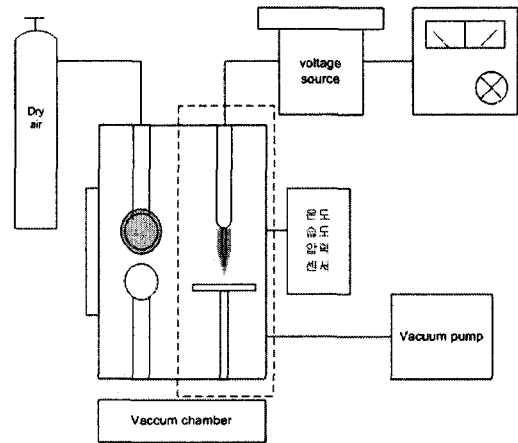
SF<sub>6</sub> 가스는 화학적으로 안정성, 무취, 무독성 및 비폭발성 등 많은 장점을 가지고 있어 전력산업 전반에 걸쳐 광범위하게 이용되고 있고[1], 그 중 대표적으로 가스절연개폐장치 (Gas-insulated Switchgear : GIS)의 절연가스로 많이 이용되고 있다. 하지만, 온실가스는 치명적인 약점으로 인하여, 현대산업에서 부각되고 있는 친환경적인 요구를 만족시키지 못하고 있다. 따라서 SF<sub>6</sub> 가스의 절감대책으로 N<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub> 및 기타 가스와의 혼합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.[2] 하지만, 이러한 절감대책 역시 SF<sub>6</sub> 가스의 사용을 배제시키지 못하고 있기 때문에 여전히 문제로 남아있다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 이러한 SF<sub>6</sub> 가스의 사용을 배제한 친환경적인 dry-air를 절연가스로서 이용하고 이에 부족한 절연능력을 고체 절연체인 에폭시 및 가스의 압력을 이용하여 보완함으로써 기존 SF<sub>6</sub> 가스의 절연내력에 대응시키고자 하였다. 따라서 dry-air 및 dry-air와 에폭시로 구성된 혼합절연체의 압력에 따른 절연파괴 특성을 전극간 거리에 따른 에폭시 두께의 변화를 통하여 에폭시의 두께 및 가스의 압력에 따른 특성을 분석하였다.

### 2. 실험

<그림 1>은 실험 구성을 보여주고 있다. 스테인리스 재질의 높이 20cm, 직경 20cm 크기의 실험 용기는 정면에 아크릴로 모니터 부분을 제작하여 전극 간에 발생하는 현상들을 관찰할 수 있도록 하였다. 불평등 전계를 모의하기 위하여 침대평판 전극을 사용하였고, 침과 평판은 스테인리스 재질이며, 침의 직경

은 1mm, 침단곡률반경은 100um, 평판의 직경은 50mm, 두께 5mm이다. 에폭시를 침전극에 1mm, 1.5mm, 2mm로 도포하였다. 실험에 사용된 전극의 극간거리는 Block Gauge를 사용하여 2~5mm까지 조정하였다.

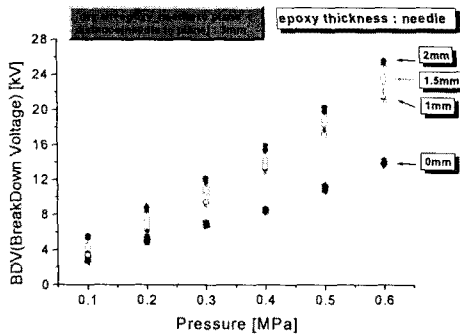


<그림 1> 실험 구성도

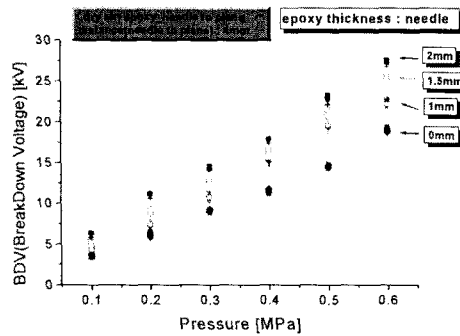
실험용기내에 dry-air를 주입하기 위하여 터보펌프를 이용하여 10<sup>-6</sup>torr까지 진공상태를 만든 후, 0.1~0.6MPa까지 가압하였다. GIS내부의 전계 취약부위를 모의하고, 불평등 정도에 따른 특성을 분석하기 위하여 침대 평판 전극의 극간거리를 조정해가며 에폭시의 두께 및 가스압력의 변화를 주었다. 인가전압은 0~50kV의 변압이 가능한 유절연변압기를 이용하였다. 실험 시 정확한 온도 및 습도, 압력을 파악하기 위하여 실험 용기에 센서를 부착하였으며, 실험 시 발생하는 아크로 인한 손해가 가지 않도록 장비 각 부분을 접지하였다. 실험에 사용된 가스는 O2 20.6%, THC 0.02ppm 이하, H2O 0.4ppm 이하, N2 balance 된 dry-air이다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

<그림 2>는 각 극간거리마다 에폭시의 두께에 변화를 주어 압력에 따른 AC 파괴전압을 취득한 것이다. (a), (b)는 각각 침과 평판사이의 극간 거리가 3mm, 4mm이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 에폭시를 전계가 집중하는 부위에 침단에 도포할 경우 파괴전압이 가시적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히, 전계 불평등이 심한 (a)의 경우 상승폭이 매우 컸으며, 압력이 높아질수록 그 차이는 더 컸다. 에폭시 두께에 따른 파괴전압은 두께가 두꺼워질수록 상승하고 있으나 그 폭은 크지 않았다. (b)의 경우 에폭시 두께에 따른 상승폭이 비교적 일정하게 나타났으며, 역시 그 차이는 크지 않았다.

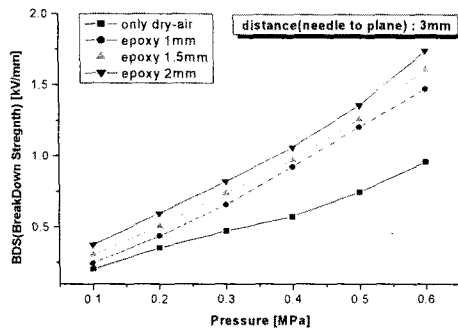


(a) 극간 거리 : 3mm



(b) 극간 거리 : 4mm

<그림 2> 에폭시 두께 및 dry air 압력에 따른 특성



<그림 3> 에폭시 두께 및 dry air 압력에 따른 침단 절연파괴 전계치

<그림 3>은 측정된 절연파괴전압을 토대로 침단에서의 절연파괴 전계치를 계산하여 도시한 그림이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 에폭시를 도포할 경우 파괴전계치가 높아짐을 알 수 있다. 하지만 두께에 따른 변화폭은 크지 않다.

### 4. 결 론

절연기체를 대체하여 고체와 기체의 혼합절연체를 사용할 경우, 절연체의 종류 선정 및 고체절연체의 두께 설계가 가장 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서는 SF6 가스를 대체할 방법으로 에폭시와 dry-air의 복합절연물 사용을 제시하였고, 모의실험을 통하여 고체 절연물의 두께에 따른 특성을 살펴보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 고체절연물을 이용하여 복합절연물을 구성하였을 경우 가시적인 파괴전압 상승을 가져왔으며, 전계 불평등이 심한 경우 그 상승폭이 더 컸음을 나타냈다.

둘째, 고체절연물의 두께를 변화하였을 경우, 두께상승에 따른 변화폭은 크지 않음을 나타내었다. 이는 고체절연물을 이용하여 복합절연물을 구성할 시 집중되는 전계를 완화시킬 수 있는 효과는 가져오지만 두께에 따른 효과는 크지 않음을 나타낸다. 또한, 전계가 집중되는 부위가 아닌 평판에 에폭시를 도포하였을 경우와 비교하여 대체적으로 비슷한 양상을 보였으나, 침단에 에폭시를 도포한 경우가 파괴전압 상승폭이 좀 더 컸으며 이는 복합절연물을 구성할 시 전계가 집중되는 부위에 고체절연물을 구성함이 더욱 효과적임을 나타낸다.

본 연구를 통하여 전계가 집중되는 부위에서 고체절연물을 사용하여 복합절연물을 구성할 경우 AC 파괴전압의 상승 및 전계 완화 효과에 대해 특성을 얻을 수 있었다. 하지만, 에폭시와 같은 고체절연물은 열화 등에 의하여 절연능력이 저하될 경우, 설계되어진 절연내력을 발휘할 수 없기 때문에 이를 고려한 설계가 중요하다. 따라서 에폭시의 열화를 완화시킬 수 있는 방법을 추후 고려해야 될 것으로 사료된다. 또한, 에폭시의 절연특성은 에폭시수지의 종류 및 경화형태에 따라서도 차이가 있기 때문에 보다 면밀한 조사 및 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 산업자원부의 대학전력연구센터 지원사업의 지원으로 이루어 졌으며, 이에 관계자 분들께 감사드립니다.

### [참 고 문 헌]

- [1] N. H. Malik and A. H. Qureshi, "Breakdown Mechanisms in Sulphur-Hexafluoride", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-13, No 3, pp. 135~144, June. 1978.
- [2] N. H. Malik and A. H. Qureshi, "A Review of Electrical Breakdown in Mixtures of SF6 and Other Gases", IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. EI-14, No 1, pp. 1~13, February. 1979.
- [3] Li Ming et. al. "Behaviour and Effect of Conducting Spiral Particles under AC Voltage in a Gas Insulated Electrode System", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 3, No.1, pp. 159~164, 1988