

**복합절연물내 기체의 압력 및 고체의 두께변화가 AC 절연파괴에 미치는 영향 분석**

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

**AC Breakdown Analysis of Composite-Insulation by the Thickness of epoxy and the Variation of Pressure**

Hae-Eun JUNG, Byoung-Chul KIM, Jae-Hun YUN, 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. In this paper, dry-air and composite-insulation (dry-air+epoxy) as the alternative technology for SF<sub>6</sub> gas insulation is studied. 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.

실험용기내에 dry-air를 주입하기 위하여 터보펌프를 이용하여 10<sup>-6</sup> torr 까지 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. 실험시 정확한 온도 및 습도, 압력을 파악하기 위하여 실험 용기에 센서를 부착하였으며, 실험시 발생하는 아크로 인한 손해가 가지 않도록 장비 각 부분을 접지하였다. 또한, 용기 앞쪽의 모니터 부분을 통하여 전극의 상태 및 표면방전의 여부 등을 파악하였다. 실험에 사용된 가스는 O<sub>2</sub> 20.6%, THC 0.02ppm 이하, H<sub>2</sub>O 0.4ppm 이하, N<sub>2</sub> balance 된 dry-air이다. 본 연구에서 사용한 에폭시의 dielectric strength는 약 13kV/mm이다.

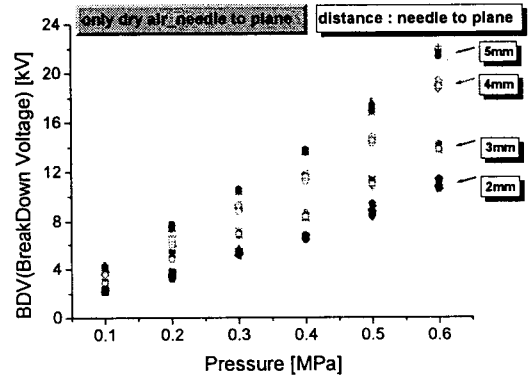
**1. 서 론**

**3. 실험 결과 및 고찰**

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, 온실가스라는 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.

<그림 2>는 불평등전계를 모의한 침대평판 전극에서 dry-air의 압력에 따른 AC 파괴전압을 도시한 것이다. 이는 에폭시를 도포하였을 경우와 비교하기 위해 도출한 데이터이다. 압력에 따라 파괴전압이 거의 선형적으로 증가하고 있으며, 극간 거리가 멀어질수록 즉, 불평등정도가 약할수록 파괴전압의 증가폭이 커짐을 알 수 있다.

본 논문에서는 이러한 SF<sub>6</sub> 가스의 사용을 배제한 친환경적인 dry-air를 절연가스로서 이용하고 이에 부족한 절연능력을 고체절연체인 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.

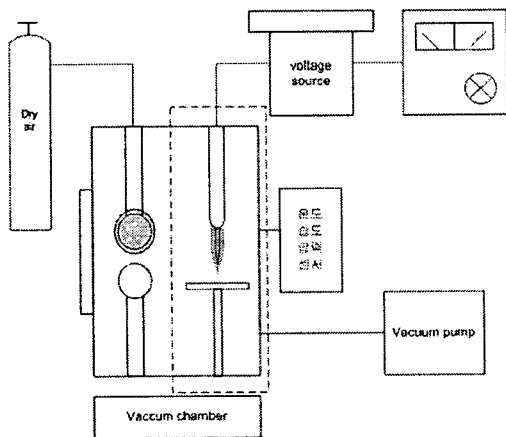


**2. 실험**

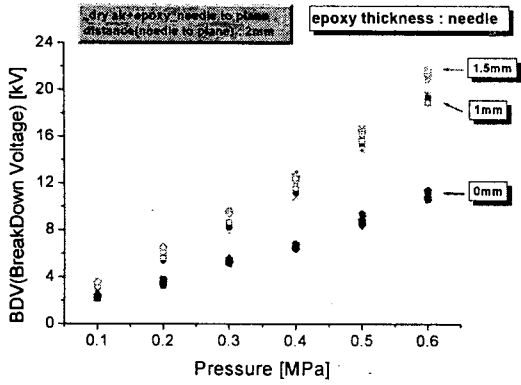
**<그림 2> 불평등전계내 dry-air의 압력에 따른 특성**

<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 직경은 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.

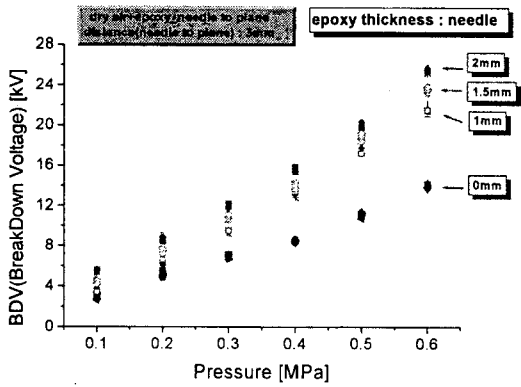
<그림 3>은 각 극간거리마다 에폭시의 두께에 변화를 주어 압력에 따른 AC 파괴전압을 취득한 것이다. (a), (b), (c), (d)는 각각 침과 평판사이의 극간 거리가 2mm, 3mm, 4mm, 5mm 이다. 그림에서 볼 수 있듯이, 에폭시를 전계가 집중되는 부위인 침단에 도포할 경우 파괴전압이 가시적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 특히, 전계 불평등이 심한 (a), (b)의 경우 상승폭이 매우 컸으며, 압력이 높아질수록 그 차이는 더 컸다. 에폭시 두께에 따른 파괴전압은 두께가 두꺼워질수록 상승하고 있으나 그 폭은 크지 않았다. 이러한 결과는 불평등정도가 심할수록 즉, 전계의 집중도가 클수록 고체절연물의 전계집중완화 효과가 매우 크다는 것을 나타내고 있다. (c), (d)의 경우 에폭시 두께에 따른 상승폭이 비교적 일정하게 나타났으며, 역시 그 차이는 크지 않았다. 본 논문에서 제시되지 않았지만 다른 실험 결과로서 전계가 집중되는 침단 부위가 아닌 평판에 에폭시를 도포하였을 경우에도 비슷한 양상을 보였다. 평판에 에폭시를 도포하였을 경우 파괴전압 상승폭이 역시 크게 나타났지만, 두께에 따른 상승은 본 논문에서 연구된 침단에 고체절연물을 도포하는 것보다 그 폭이 미비하였다. 이는 전력기기내 불평등전계가 형성되는 부위에서 고체절연물을 복합하여 절연매질로 사용할 경우 전계의 집중완화 효과를 가지며, 절연파괴 전압의 상승을 가져오지만, 특히 전계가 집중되는 부위에 고체절연물을 도포할 경우 그 효과가 더 클 것으로 사료된다.



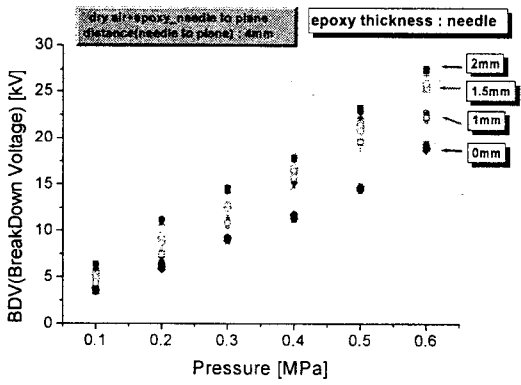
**<그림 1> 실험 구성도**



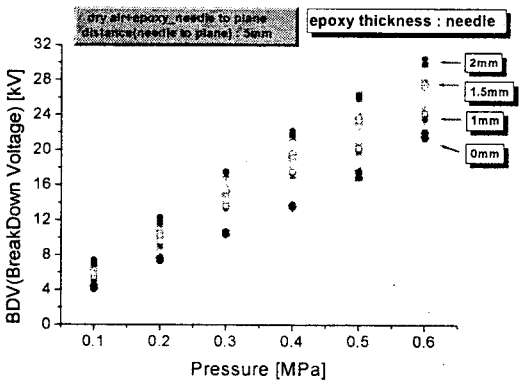
(a) 극간 거리 : 2mm



(b) 극간 거리 : 3mm

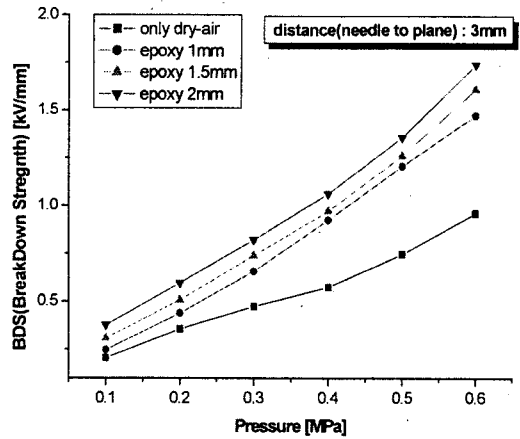


(c) 극간 거리 : 4mm



(d) 극간 거리 : 5mm

<그림 3> 에폭시 두께 및 dry air 압력에 따른 특성



<그림 4> 에폭시 두께 및 dry air 압력에 따른 침단 절연파괴 전계치

<그림 4>는 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. 이는 고체절연물을 이용하여 복합절연물을 구성할 시 집중되는 전계를 완화시킬 수 있는 효과는 가져오지만 두께에 따른 효과는 크지 않으므로, 적당한 두께 산출이 필요할 것으로 사료된다.

#### 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 압력 및 고체 절연물의 두께에 따른 특성을 살펴보고 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 기체의 압력증가에 따라 파괴전압이 거의 선형적으로 증가하고, 극간 거리가 멀어질수록 즉, 불평등정도가 완화된수록 파괴전압의 증가폭이 커짐을 알 수 있었다.

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

셋째, 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 전계안화 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 따라라도 차이가 있기 때문에 보다 면밀한 조사 및 실험이 이루어져야 할 것으로 사료된다.

#### 감사의 글

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

#### [참고 문헌]

- [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