

## 에폭시와 dry-air 혼합절연물의 절연파괴특성

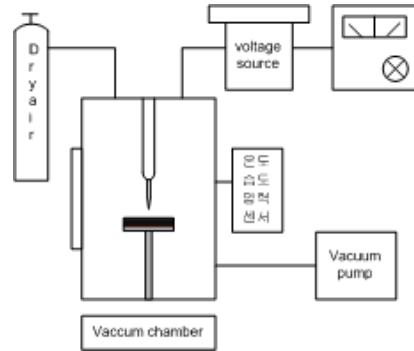
정해은, 오진현, 임종남, 강성화\*, 임기조  
충북대학교, 충청대학교\*

### Electrical Breakdown Characteristics of Epoxy and dry-air Composite Insulation

Hae-Eun JUNG, Jin-Heon OH, Jong-Nam LIM, Seong-Hwa KANG\* and Kee-Jo LIM  
ChungBuk Univ., ChungCheong Univ.\*

**Abstract** - SF6 gas used widely as insulating component is rising as the environment problem. Electrical breakdown characteristics of epoxy and dry-air composite insulation was investigated on thickness of epoxy and pressure of dry-air under non-uniform field. The gap of needle to plane was from 2mm to 5mm. The pressure of dry-air was varied within the range of 0.1~0.6 MPa. The thickness of a needle was 1mm and the curvature radius of a needle end was 100um. The diameter of a plane made of the stainless steel was 50mm. As a result of the experiment, breakdown voltage was increased about 3 times when epoxy was used. The impact that the thickness of epoxy influences on breakdown voltage was poor. It needs suitable thickness computation because the insulating gap of the gas is short as epoxy thickness increases.

인한 손해가 가지 않도록 장비 각 부분을 접지하였다.



<그림 1> 실험 구성도

#### 1. 서 론

SF6 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 SF6 가스의 절감대책으로 N2, CO2 및 기타 가스와의 혼합에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다.[2] 하지만, 이러한 절감대책 역시 SF6 가스의 사용을 배제시키지 못하고 있기 때문에 여전히 문제로 남아있다고 볼 수 있다.

실험에 사용된 가스는 O2 20.6%, THC 0.02ppm 이하, H2O 0.4ppm 이하, N2 balance 된 dry-air이다. 에폭시는 에폰스사에서 제조된 상온 24시간의 경화시간, 내열도 100°C, 절연파괴장도 25kV/mm, 유전율 3~4의 특성을 가지는 범용 전기전자부품 절연용 에폭시인 ES-2를 사용하였다. 구성성분은 Epoxy Resin 40%, Polyamide Resin 30%, Dioctyl Phthalate 10%, Diethylene Tri Amine 9%, Chlorinated paraffin 9%, Carbon Black 2%이다.

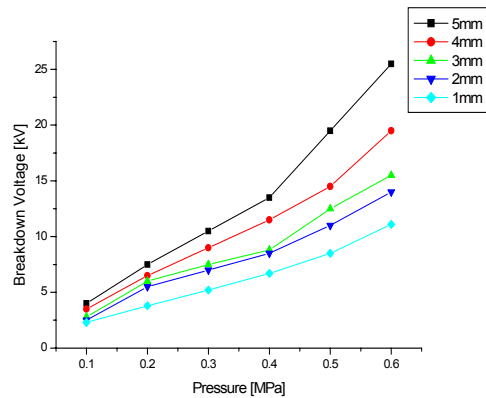
본 논문에서는 이러한 SF6 가스의 사용을 배제한 친환경적인 dry-air를 절연가스로서 이용하고 이에 부족한 절연능력을 고체절연체인 에폭시 및 가스의 압력을 이용하여 보완함으로써 기존 SF6 가스의 절연내력에 대응시키고자 하였다. GIS의 경우 금속이물 혼합 및 내부구조 등에 의해 기기 내에 불평등전계가 형성이 되고, 이로 인하여 부분방전 및 절연파괴가 발생할 가능성이 있다.[3] 특히, SF6 가스를 사용하는 경우 불평등 전계 시 가스 압에 따라 파괴전압이 N특성을 보이기 때문에 내부기기의 절연 설계 시 이러한 불평등전계하에서의 특성이 매우 중요하다고 볼 수 있다. 따라서 본 연구에서는 dry-air 및 dry-air와 에폭시로 구성된 혼합절연체의 압력에 따른 절연파괴 특성을 불평등 전계에서 전극간 거리에 따른 에폭시 두께의 변화를 통하여 에폭시의 두께 및 가스의 압력에 따른 특성을 분석하였다.

#### 3. 결과 및 고찰

<그림 2>는 에폭시를 도포하지 않고 dry-air만 절연기체로 사용하였을 때의 절연파괴 결과를 나타내었다. 거리에 따른 침대평판 전극의 파괴전압을 측정함으로써 불평등전계의 정도에 따른 파괴전압 결과를 파악하고자 하였다. 본 실험에 사용된 침대평판 전극은 기압이 증가함에 따라 거의 선형적으로 파괴전압이 증가하는 양상을 보이고 있다. 0.1 MPa 부근의 낮은 압력에서는 큰 차이가 없지만, 0.6 MPa 부근의 높은 압력에서는 차이가 벌어짐을 확인할 수 있다.

#### 2. 실험

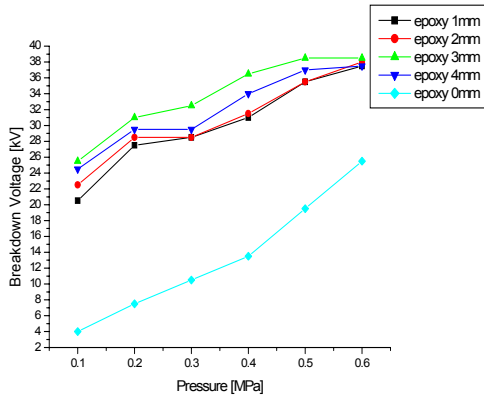
순수한 절연기체를 주입하기 위하여 <그림 1>과 같이 스테인리스 재질의 높이 20cm, 직경 20cm 크기의 진공 및 압력 용기를 제작하고, 진공펌프를 사용하였다. 실험 용기는 정면에 아크릴로 모니터 부분을 제작하여 전극 간에 발생하는 현상들을 관찰할 수 있도록 하였다. 불평등 전계를 모의하기 위하여 침대평판 전극을 사용하였다. 침과 평판은 스테인리스 재질이며, 침의 직경은 1mm, 침단곡률반경은 100um, 평판의 직경은 50mm, 두께 5mm이다. 침 전극은 10mm까지 길이조정이 가능하도록 제작하였다. 전극세척 및 에폭시 접착력 향상을 위하여 Acetone, NaOH 수용액, Chloroform을 사용한 후 에폭시를 1~5mm의 두께로 도포하였다. 실험에 사용된 전극의 극간거리는 Block Gauge를 사용하여 2~5mm까지 조정하였다. 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



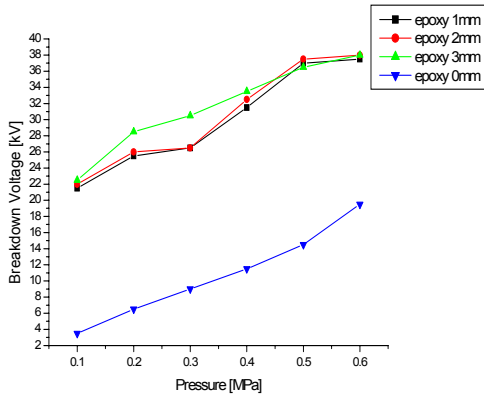
<그림 2> dry-air 절연파괴전압(극간거리 1~5mm)

dry-air를 절연기체를 사용하였을 경우를 기초로 하여 에폭시의 두께에 따른 절연파괴 특성을 알아보려고 2mm~5mm의 극간거리를 두고 평

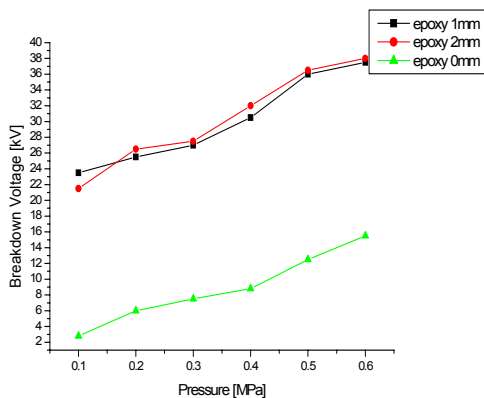
관전극에 에폭시를 도포하여 그 결과를 <그림 3>에 나타내었다. (a)의 경우 최대평판 전극간 거리가 5mm일 때의 결과이다. 이는 (b)~(d)의 경우와 매우 흡사한 양상을 보여준다. 전체적으로 에폭시를 도포하였을 경우, 약 3배 정도 파괴전압이 상승하는 것을 결과를 통해 확인할 수 있다.



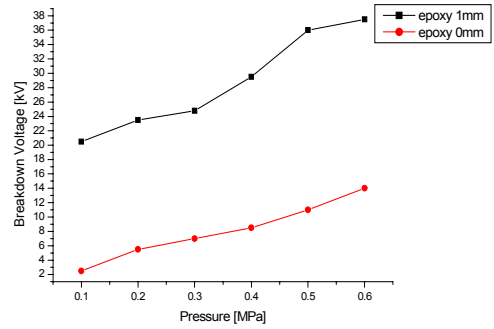
(a) 극간거리 5mm



(b) 극간거리 4mm



(c) 극간거리 3mm



(d) 극간거리 2mm

<그림 3> epoxy and dry-air 절연파괴전압

0.1 MPa 부근의 낮은 압력에서는 약 8배정도 파괴전압이 증가함을 보여주고 있고, 0.5MPa 부근에서는 약 2배 정도 파괴전압이 증가함을 보여 주고 있다. 이는 압력이 낮은 경우에 에폭시를 도포한 혼합절연체와 dry-air 절연기체의 불평등 정도 차이가 심하기 때문으로 보인다. 압력이 높은 경우, 약 5MPa 이상에서는 에폭시를 도포한 혼합절연체의 절연내력을 넘어선 것으로 사료된다. 또한, 위 실험 결과를 통하여 에폭시의 두께를 변화시켰지만, 파괴전압의 증가폭이 적음을 실험 결과를 통해 확인할 수 있다. 이러한 양상은 (a)~(d)의 결과에서 잘 나타나고 있는데, 이는 극간 거리가 일정하기 때문에 에폭시의 두께가 늘어날수록 기체가 담당하는 절연거리가 줄어들게 되고 결국, 에폭시의 두께에 따라 증가하는 파괴전압의 상승폭을 감쇄시키고 있는 것으로 사료된다.

### 3. 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 혼합절연체 사용을 제시하였고, 모의실험을 통하여 압력 및 고체 절연물의 두께에 따른 특성을 살펴보았다.

첫째, 일정한 절연거리로 고정되어 있는 경우에 고체절연물의 두께에 따라 절연능력이 선형적으로 증가하지 않음을 실험 결과를 통해 알 수 있다. 둘째, 고체절연물의 두께가 증가할수록 절연기체의 절연거리가 감소하기 때문에 기체의 압력증가에 따른 파괴전압 증가에 영향을 미치게 된다. 이는 기기내부의 불평형 정도에 따라 적절한 최소의 두께를 산출하는 것이 최적설계임을 보여준다.

에폭시와 같은 고체절연체는 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.

### [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