

불평등전계에서의 건조공기/에폭시 복합절연물의 에폭시 두께에 따른 AC 파괴전압 분석

허준, 이승수, 임기조, 정해은*, 강성화**
 충북대학교, LS 산전 전력연구소*, 충청대학교**

Analysis of AC Breakdown Voltage according to epoxy thickness of Composite Insulation for Dry-Air/Epoxy under non-uniform electric field

Jun Heo, Seung-Su, Kee-Joe Lim, Hae-Eun Jung*, Seong-Hwa Kang**
 ChungBuk Univ., LS Industrial Systems Electrotechnology R&D Center*, ChungChung Univ.**

Abstract - The purpose of this paper is to analyze AC Breakdown of solid/air composite insulation depending on the thickness and the pressure of dry air for eco-friendly insulation.

SF6 gas has been widely used in electric equipment as gas insulation because of high dielectric strength and arc extinguishing performance. However, because SF6 gas is one of the green house effect gases, alternative insulation such as SF6 mixture, extremely low temperature gas, vacuum, liquid and solid insulating are being investigated.

1. 서 론

고전압 가스절연스위치기어(GIS)의 절연 및 소호 매체로 이용되는 SF6가스는 그 절연내력과 고온에서의 열적 특성이 우수하여 GIS의 소형화와 경제적 비용을 낮추는데 크게 기여하였으며, 현재 전 세계에서 널리 사용 중에 있다. 대기압의 SF6가스는 공기에 비하여 약 3배의 절연내력을 가지고, 압력이 증가하면 절연내력도 증가한다. 또한 무독성, 불연성 및 우수한 아크 소호특성을 가지고 있다는 장점이 있지만, 온실가스로 지목되고 있는 치명적인 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서 수행하고자 하는 연구 내용을 요약하자면, 친환경 절연매질로서 사용된 절연물은 건조공기와 에폭시로 구성된 복합절연 시스템이다. 일반적으로 공기는 절연내력이 SF6가스에 비해 1/3 수준이기 때문에 대체절연으로 적합하지 않다. 하지만 고압의 공기를 절연매질로 사용할 경우, 요구되는 절연강도를 확보할 수 있다. 또한, 높은 압력에 대한 부담을 줄이기 위하여 적절한 기압의 공기와 고체절연을 복합적으로 구성하고자 한다. 따라서 본 연구에서의 중점은 SF6가스의 절연내력을 확보하기 위한 건조공기의 압력과 고체 절연물인 에폭시의 두께라 할 수 있다.

2. 본 론

2.1 실험

2.1.1 실험장치

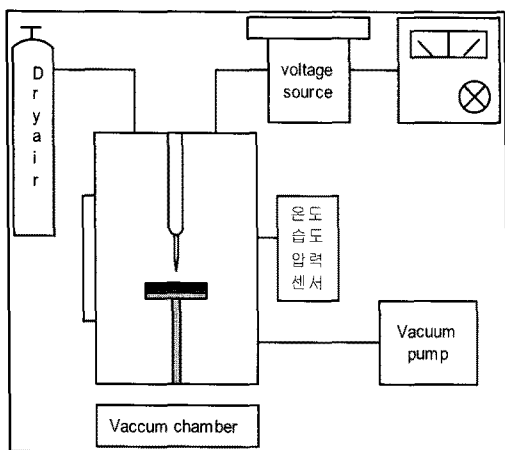


Fig.1. Experiment set-up

AC 파괴전압 측정을 위한 실험장치는 Fig. 1과 같이 AC 내전압시험기, 진공 및 가압이 가능한 chamber, 각종 센서(온도, 습도, 압력), vacuum pump, 건조공기로 구성되어 있다. 불꽃방전 시 발생하는 아크에 대한 보호책으로 각 장비 및 컨트롤러의 외함은 접지를 하였다.

2.1.2 실험재료

<Table 1> Property of dry air

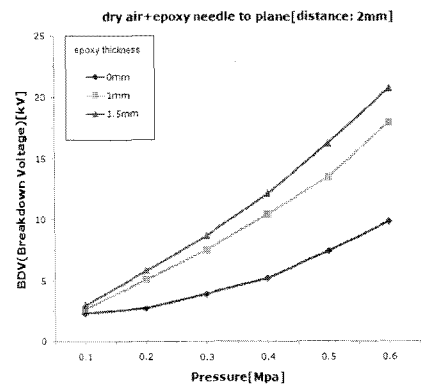
dry air ingredient	data
O ₂	20.5%
N ₂	balance
THC(total hydro carbon)	0.02PPM

실험에 사용된 에폭시 수지는 비스페놀 A형으로서 BPA (bisphenol A)와 ECH(epichlorohydrine), 2-bis(p-hydroxyphenol) propane으로 구성되어 있으며 경화제로 사용된 polyamide와의 반응에 의하여 경화된다.

2.1.3 실험방법

본 논문에서 진행한 실험은 침대평판 전극에서 시행하였다. 건조공기의 압력은 0.1 ~ 0.6 MPa의 범위에서 0.1 MPa 단위로 변화하였으며 침대평판을 2~5mm의 범위에서 1mm 단위로 변화를 주어 실험하였다. 각 실험 단계별로 10회씩 파괴전압을 측정하여 기록하였으며 한번 불꽃방전이 발생한 이후 1분의 시간이 경과한 후에 다음 실험을 진행하였다. 전압은 0.5kV/sec의 속도로 상승시키며 실험하였다.

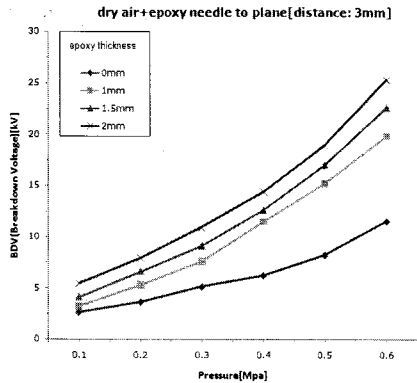
2.2 결과 및 고찰



<Fig. 2> AC breakdown voltage of dry air/epoxy composite insulation under non-uniform electric field (distance: 2mm)

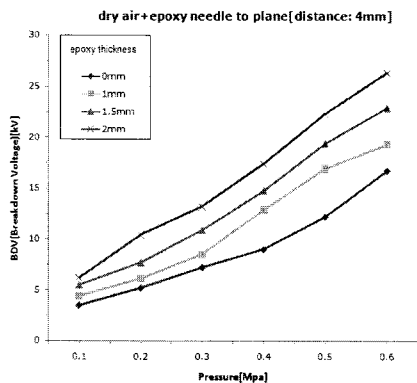
복합절연물을 구성하였을 경우와 구성하지 않았을 경우 모두 압력이 증가함에 따라 선형적으로 AC 파괴전압이 증가함을 보였다. 복합절연물을 구성하였을 경우, 압력에 따른 파괴전압 증가율이 커지는 양상을 보였지만 고체절연물의 두께가 증가할수

록 압력에 따른 파괴전압 증가율은 거의 보이지 않았고, 미세한 파괴전압 증가의 결과를 보였다. 즉, 복합절연물 구성 시, 침단에 도포된 에폭시에 의하여 확인한 전계완화 효과를 얻을 수 있지만, 에폭시 두께를 증가시킬 경우 약간의 파괴전압 상승은 발생하지만 두께 증가에 따른 전계완화 효과는 거의 발생하지 않는다는 것을 알 수 있다.



<Fig. 3> AC breakdown voltage of dry air/epoxy composite insulation under non-uniform electric field (distance: 3mm)

극간 거리가 3mm일 때, 2mm일 때와 비슷한 양상을 보였다. 전체적으로 압력이 증가함에 따라 선형적으로 AC 파괴전압이 증가함을 보였다. 또한, 에폭시를 도포할 경우 압력에 따른 파괴전압 상승률이 증가하는 특징을 보였으며, 두께 증가에 의한 압력에 따른 파괴전압 상승률은 거의 보이지 않았다.

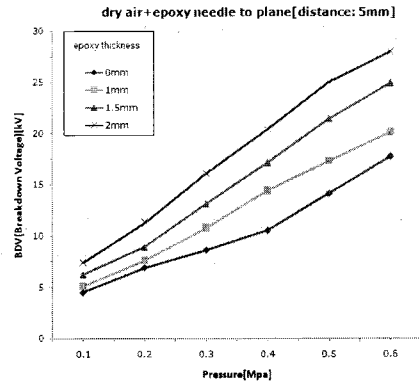


<Fig. 4> AC breakdown voltage of dry air/epoxy composite insulation under non-uniform electric field (distance: 4mm)

극간 거리가 4mm일 때는 2mm, 3mm일 때에 비하여 압력에 따른 파괴전압 증가율이 미약하게 나타났다. 극간 거리가 길수록 즉, 침단의 불평등 정도가 약할수록 에폭시 도포에 의한 전계완화 효과는 약해지는 모습이다. 에폭시 두께 증가에 의한 파괴전압 상승 정도는 2mm, 3mm일 때와 비슷한 양상을 보였다.

극간 거리가 5mm일 경우, 복합절연물의 구성여부에 따른 파괴전압 상승률은 가장 적게 나타났다.

불평등전계 내 복합절연물을 구성할 경우, 침과 평판의 간극이 가까울수록 에폭시 도포에 의한 전계완화 효과가 크게 나타났다. 이러한 결과는 불평등 정도가 심한 부분일수록 고체절연에 의해 전계완화정도가 크다는 것을 말해준다. 이는 전계가 집중하는 부위인 침단에 에폭시가 도포됨으로 인하여 침단의 불평등 정도가 완화되기 때문이다. 또한, 에폭시 도포 효과에 비해 두께 증가에 의한 효과는 크지 않았다. 이러한 결과는 모서리가 같은 전계취약부위에 고체절연을 할 경우 고체의 두께를 증가시키는 것보다 고체 표면과 기체사이 계면부분의 불평등 정도를 완화하는 것이 중요함을 뜻한다.



<Fig. 5> AC breakdown voltage of dry air/epoxy composite insulation under non-uniform electric field (distance: 5mm)

3. 결 론

최대전계가 분포하는 지점의 전계완화를 위하여 도체에 에폭시를 도포하여 복합절연을 구성하였다. 불평등전계 내에서, 불평등 정도가 클수록 에폭시 도포에 의한 전계완화 효과가 크게 나타났다. 압력이 증가할수록 파괴전압 상승률이 증가하였다. 이는 전계집중 부위의 불평등 정도가 완화될수록 압력에 따른 파괴전압이 상승하게 되는데 이는 에폭시 도포에 의하여 전계의 집중 정도가 완화되기 때문이며 고압 및 전계집중정도가 큰 부위에서 파괴전압 상승효과가 클 것으로 사료된다.

결론적으로 도체에 고체절연을 복합적으로 구성했을 때, 최대전계가 분포하는 지점의 전계완화가 확인하고 고체절연물의 두께 증가에 따른 전계완화의 크기가 크지 않고 실제 전력기기에 복합절연을 구성할 경우, 구성 가능한 고체절연물의 두께 제한이 있기 때문에 이에 적합한 고체절연물의 두께 설계가 필요할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hoshina. Y, et al., "Lightning impulse breakdown characteristics of SF6 alternative gases for gas-insulated switchgear", IEE Proc-Sci. Meas. Technol.153, 2006
- [2] Hammons. T. J, "Greenhouse gas emissions from power generation in Europe" Universities Power Engineering Conference, UPEC 2004, 2, 837-844, 2004
- [3] Shioiri. T, J. Sato, et al., "Insulation technology for medium voltage solid insulated switchgear", 2003 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena, IEEE, 341-344, 2003
- [4] Mizuno. T, "The Electrical Performance of Air or Nitrogen Gas with Solid Insulation and the Application for Switch Gear" IEEE/PES transmission and distribution Conference: Asia Pacific, 1797-1801, 2002