

# 금속 이물질이 에폭시 절연물의 절연파괴에 미치는 영향

장윤기, 이동원, 김정배

(주)효성 중공업연구소

## Effects of Metal Particle on Dielectric Breakdown of Epoxy Insulation

Yoon-Ki Jang, Dong-Won Lee, and Jung-Bae Kim

HUOSUNG Corporation, Power & Industrial Systems R&D Center

**Abstract :** Epoxy resin insulators show a lot of advantages for electrical power apparatus. Because epoxy resin provide electrical and mechanical characteristic which is excellent, it is desirable to apply epoxy resin as a spacer and post insulation in Gas Insulated Switchgear (GIS). In this study, we have investigated the influence of surface electric field attached particle contaminated spacer surfaces under SF6 gas. Also, we performed analysis of electric field.

As a result, when the particle was attached on spacer, we found out a surface electric field of characteristics.

**Key Words :** Spacer, GIS, Epoxy Insulation, Electric Field

### 1. 서 론

변전소 전력기기중 하나인 가스절연개폐장치(Gas Insulated Switchgear, GIS)에 사용되는 에폭시 절연물은 유기 고분자 재료로써 우수한 절연특성을 가지고 있으므로 전력계통을 비롯한 여러 분야에서 절연 재료로 널리 사용되고 있다[1].

고분자 재료인 에폭시 수지(Epoxy resin)는 기계적 강도가 우수하고, 경화시 체적변화를 일으키지 않으므로 보이드(void)나 갭이 생기지 않고, 자유로운 형상으로 가공이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

초고압 GIS용 에폭시 절연물은 기계적, 전기적, 열적으로 우수한 특성을 가져야하고, 급작스런 고장 발생 시 또는 수명연한이 되었을 경우 일어나는 비용 손실이 막대하므로 제품의 신뢰성이 높아야 한다. 따라서 초고압 절연재료의 신뢰성 향상 및 성능 그리고 수명 향상이 절실히 필요하다.

또한 송배전 계통의 규모가 커져서 고전계화의 구현 및 절연 구성상의 신뢰도 및 안정성 등의 절연설계 기술이 요구됨에 따라 현재 존재하는 재료들보다 절연특성이 더 나은 새로운 복합재료를 개발하기 위하여 많은 연구가 진행되어지고 있고, 사용전압의 고압화 추세에 따라 에폭시 절연재료를 사용하여 보다 뛰어난 절연특성이 요구되어지고 있다[2,3]. 하지만, 가스절연개폐장치의 소형화로 절연거리의 축소로 고전계 상태를 유지하므로 금속성 이물질이 절연성능이 미치는 영향은 상대적으로 크게 되고, 금속 이물질이 가스 공간으로 부상하거나, 절연물 표면에 부착하여 기기의 절연성능을 현저히 저하시키는 요인으로 작용한다[4].

본 논문에서는 GIS에 사용되는 에폭시 절연물인 스페이서(Spacer)의 이물질을 부착하여 가스 중 전계 및 연면 전계 분포에 영향을 알아보기 위하여 2차원 전계해석 결과와 실제 금속 이물질을 부착하여 시험결과를 비교하였다.

### 2. 실험

#### 2.1 실험장치

스페이서 표면에 이물질이 존재하였을 때의 절연파괴 특성을 알아보기 위하여 정격전압 362kV GIS에 사용되는 절연 스페이서를 제작하여 스페이서 불록면 전개부에 금속 이물질(2mm)를 부착하여 상용주파 내전압 시험을 실시하여, F.O(Flash over)가 발생할 때까지 전압을 인가하였다. 그림 1은 스페이서에 부착한 이물질의 위치를 표시하였다.

#### 2.2 해석 모델링 및 조건

전계해석 시뮬레이션을 수행하기 위하여 Ansoft사의 Maxwell EM 2D 프로그램을 사용하였다. 2차원 모델을 축대칭으로 근사화하여 대기중 절연성능을 평가하였다. 스페이서 부근의 전계를 파악하기 위하여 도체부위 형상은 간략하게 모델링 하였다. 중심도체 부위에 362kV 노임플스 정격시험 전압인 1175kV를 인가하였고, 외함 부위에는 0V를 인가하였다. SF6 가스의 비유전율을 1로 설정하였고, 전계해석 2차원 모델의 요소분할 개수는 25,000개로 설정하였다.

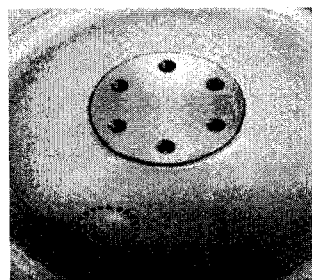


그림 1. 스페이서 금속 이물질 부착 위치

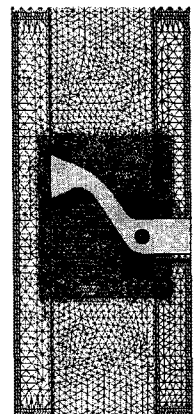


그림 2. 유한요소법에 의한 요소분할

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 전계해석 결과

스페이서 블록면에 금속 이물질이 존재하지 않을 때와 이물질을 부착하였을 때의 등전계 분포도를 그림 3의 (a), (b)에서 나타냈었다. 스페이서 표면에 이물질이 존재하였을 때 금속 이물질 부위에서 불균일한 전계분포도가 나타남을 알 수 있다. 이러한 영향은 GIS 내부에서 SF<sub>6</sub> 가스는 전계 의존성이 크기 때문에 절연파괴의 원인으로 작용할 수 있다.

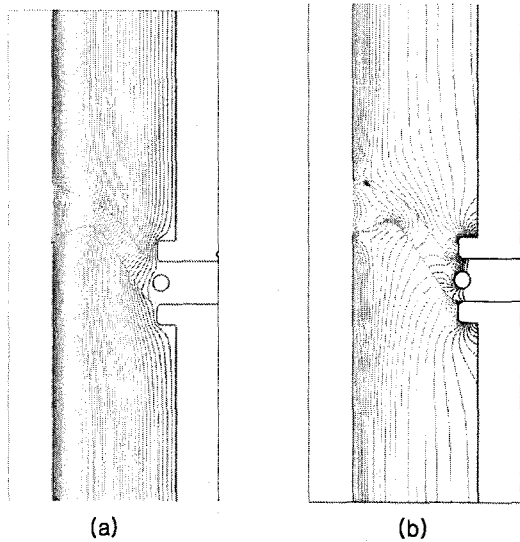


그림 3. 스페이서 주위의 등전계 분포도

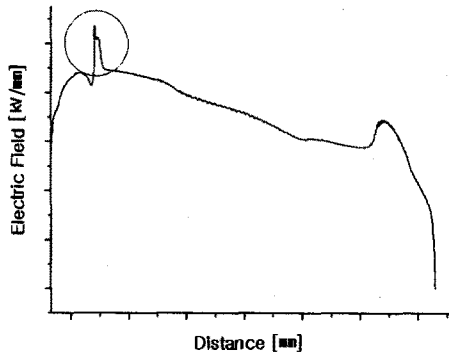


그림 4. 금속 이물질이 존재하였을 때 스페이서 블록면의 연면전계

표 1. 전계해석 결과 (1 p.u : 허용전계 강도)

	이물질이 존재하지 않을 때	이물질이 존재할 때
가스 중 전계	0.84 p.u	1.15 p.u
블록면 연면전계	0.79 p.u	1.04 p.u
스페이서 내부전계	0.62 p.u	0.62 p.u

그림 4는 스페이서 표면에 이물질이 존재하였을 때의 블록면의 연면전계 값을 나타낸 결과로 이물질이 존재하

는 위치에서 전계강도가 갑자기 증가함을 알 수 있다. 금속 이물질에 의한 에폭시 절연물의 F.O는 절연물 연면방향의 전계강도에 의해 결정되어진다.

절대압력 6 kgf/cm<sup>2</sup>에서 전계 해석한 결과를 표 1에 나타내었다. 스페이서 블록면 표면에 금속 이물질이 존재할 때 가스 중 및 절연물의 연면전계 강도가 당사 허용 전계 기준치를 초과함을 알 수 있었다. 하지만 전계해석상 스페이서 내부 전계는 금속 이물질에 큰 영향이 미치지 않음을 알 수 있었다.

#### 3.2 상용주파 내전압 시험 결과

전계해석을 결과를 바탕으로 2mm 크기의 금속 이물질을 스페이서에 부착하고 상용주파 내전압 시험을 실시하였을 때 정격대비 100% 전압에서 F.O 전압이 발생하였고, 스페이서 금속 이물질을 시발점으로 중심도체 부위에서 외함 부위로 절연파괴가 전진되었음을 파악할 수 있었다.

### 4. 결론

초고압 가스절연개폐장치의 경우 밀폐되어 있어 대기환경의 영향을 받지 않지만, 미소한 금속 이물질이 혼입되면 절연특성이 현저히 저하하게 되는 것을 전계해석 및 내전압 시험 결과로 알 수 있었다.

특히, 금속 이물질이 구형의 형상보다는 가느다란 형상의 가벼운 이물질의 영향이 더 크게 나타나게 된다. 이러한 금속 이물질은 전계가 낮은 외측 전극(외함)상의 전계에 의한 정전기력의 영향으로 기립 후 부상하여 전계가 높은 중심전극(도체) 쪽으로 이동하여 절연파괴 현상을 발생하게 한다.

금속 이물질이 스페이서 표면에 존재하게 되면 절연파괴의 원인으로 작용할 수 있고, 고전압 인가 도체에 가까이 있을수록 불균일한 전계 분포도를 나타내므로 절연파괴 현상으로 이어지는 것을 파악할 수 있었다.

### 참고 문헌

- [1] T. S. Sudarshan, R. A. Dougal, "Mechanisms of Surface Flashover Along Solid Dielectrics in Compresses Gases", a Review, IEEE Trans.Electr..Insul., Vol.21, No.4, p.727, 1986
- [2] T. Tanaka, "Various Dielectric Characteristics of Polymer Nanocomposites", Proc.2006 CIGRE, D1-305
- [3] T. Imai, F. Sawa, T. Nakano, T. Ozaki, T. Shimizu, M. Kozako and T. Tanaka, "Effects of Nano- nad Micro-filler Mixture on Electrical Insulation Properties of Epoxy Based Composites", IEEE Trans.Electr..Insul., Vol.13, No.1, p.319,2006
- [4] S. Tenbohlen and G. Schroder, "The Influence of Surface Charge on Lightning Impulse Breakdown of Spacers in SF<sub>6</sub>", IEEE Trans.Electr..Insul., Vol.7, No.2, p.241,2000