

# 이종매질 내 에폭시수지의 연면방전특성

(Surface discharge Characteristics of epoxy resin in different media )

박혜리 · 이정환 · 최은혁 · 장승호 · 이상호 · 이광식

(Herie Park · Jung-Hwan Lee · Eun-Hyeok Choi · Seung-Ho Jang · Sang-Ho Lee · Kwang-Sik Lee)

영남대학교

## Abstract

This paper presents a basic data of the surface discharge characteristics of solid dielectric in various gas including SF<sub>6</sub> and environmentally friendly gas as Dry-Air and N<sub>2</sub> gas. Used electrodes are needle and plane. Used solid dielectric which is installed between the electrodes is made of epoxy resin and is disc form of 100[mm] diameter and 2, 3[mm] thickness. AC In same condition, we can obtain different surface dielectric strength. Increased pressure and thickness caused increased surface dielectric strength.

## 1. 서론

최근 지구온난화 및 기상이변 등의 영향으로 환경문제에 대한 관심이 전 세계적으로 집중되고 있다. 특히 산업화로 인한 대기오염이 지구온난화의 원인임이 밝혀짐에 따라 지구온난화계수가 높은 CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, PFC, HFC, SF<sub>6</sub> 가스는 교토의정서에서 감축대상 가스로 지정되었으며, 따라서 그 사용량의 감소가 불가피한 실정이다.

SF<sub>6</sub>는 안정된 열적·화학적 특성 및 우수한 절연성과 차단성으로 인하여 고전압 전력기기 내의 절연매체·소호매체로써 주로 사용되어져 왔으며, 전력기기의 소형화 및 고신뢰화에 많은 기여를 해오고 있다. 전력설비에서 SF<sub>6</sub>의 사용량을 줄이기 위해서는 SF<sub>6</sub>의 회수량을 증가시키는 기술을 개발하거나, SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 친환경 물질을 개발하는 것이 고려될 수 있으며, 이에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되어지고 있다.

SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 친환경 물질로서는 N<sub>2</sub>, CF<sub>3</sub>I, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>혼합가스, Dry-Air 등이 대두되고 있으며, 고체 및 진공을 매질로 사용하는 절연개폐장치에 대한 연구도 활발하다. 특히, Dry-Air를 절연매질로 사용하는 친환경가스절연개폐장치(Environmentally-Friendly Gas Insulated Switchgear, EGIS)가 국내·외적으로 크게 각광받고 있다

따라서 본 연구에서는 SF<sub>6</sub> 가스와 전력기기에서 SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 물질로 고려되어지는 Dry-Air, N<sub>2</sub> 가스를 사용할 때 고체절연물의 두께에 따른 연면방전 특성을 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

사진 1-(a)는 본 연구에서 사용한 모의 GIS 챔버이다. 두께 20[mm]의 스테인레스로 만들어졌으며, 내·외부 2중 구조로 이루어져있다. 내부 챔버는 직경 260[mm], 높이 460[mm]로서 체적은 약 25[ℓ]이며, 외부 챔버의 경우 직경 460[mm], 높이 500[mm], 체적은 약 83[ℓ]이다. 또한, 외부에는 챔버 내부를 관측할 수 있는 아크릴 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 설치되어 있다.

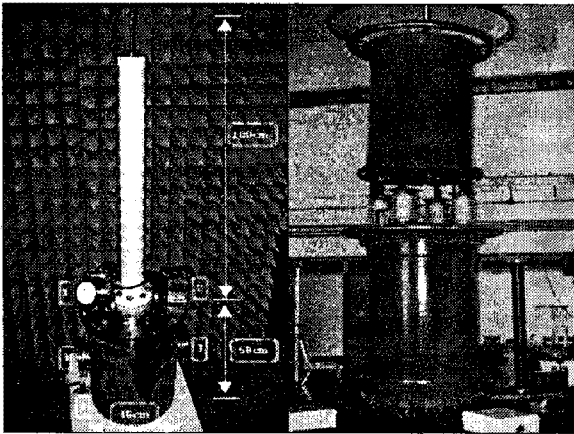
챔버는 -90~100[°C]의 온도 범위를 견딜 수 있으며, 10기압까지 가압하여도 내·외부 챔버의 안전에 이상이 없도록 설계·제작되었고, 300[kV]까지 인가 가능하다.

실험에 사용한 전원장치는 AC용 DY-106 (AC 300[kV]/120[mA])로써 사진1-(b)와 같다.

챔버 내부에 절연가스를 주입하기 전, 진공펌프(SINKU KIKO Co. Ltd, GUD-050A, Pumping seed 60

l/min)를 챔버에 연결하여 내부압력을  $5 \times 10^{-4}$  [Torr]로 배기시켰으며, 가압시 압력계(WISE, 0~15기압)를 사용하여 조절하였다.

절연매질로는 SF<sub>6</sub> 가스, Dry-Air, N<sub>2</sub> 가스를 사용하였는데, 그 중 Dry-Air는 Dry-Air 제조장치를 이용하여 제조하였으며, 이 장치는 세 단계의 필터를 가지고 있어 공기가 각 필터를 거치는 동안 공기의 노점과 불순물의 함량을 줄여, 최종적으로 노점 -60[°C] 이하의 순수한 Dry-Air를 제조 가능하다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치

사진 1. 모의 GIS 챔버와 AC 300(kV) 전원장치  
Photo 1. The Experimental GIS chamber and AC 300(kV) Power Supply

본 연구에 사용한 전극은 표1과 같다. 전극형상의 종류는 침전극(Needle, 직경 5[mm], 침단각도 20°)과 평판전극(Plane, 직경 59[mm])이며, 재질은 스테인리스 스틸이다. 전극의 배치는 수직배치(Needle : 상부, Plane : 하부, N-P)로 하였다.

연면방전을 위한 고체절연물은 지름(Φ) 100[mm], 두께(t) 2, 3[mm]의 에폭시 수지를 사용하였다.

표 1. 전극의 모양  
Table 1. Shape of electrodes.

Shape	Diameter [mm]	Angle [°]
	59	20
Kind of electrodes	Plane (P)	Needle (N)
Material	Stainless steel	

## 2. 실험방법

불평등 전계 하의 다양한 절연매질 내 고체절연물의 연면방전 실험을 위해 우선 실험용 모의 GIS 챔버 내부에 평판전극과 고체절연물, 침전극을 순서대로 접하도록 배치하였다.

챔버 내부와 가스 주입 호스 내부를 진공 ( $5 \times 10^{-4}$  [torr])으로 배기시킨 후, SF<sub>6</sub>의 경우 1~6[atm], 제조장치를 통과하여 노점 -50~-53[°C]가 된 Dry-Air와 N<sub>2</sub> 가스는 1~7[atm]까지 챔버에 주입하였으며, 각 매질의 압력에 대한 연면방전 특성을 연구하였다.

AC용 DY-106 전원장치를 이용하여 전압을 인가하였으며, 고체절연물의 연면을 따라 절연파괴가 일어날 때의 절연파괴전압(V<sub>B</sub>)을 측정하였다. 실험이 끝난 후, 고체절연물의 연면방전거리를 측정하여 연면방전 전계강도(E<sub>d</sub>)를 계산하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. SF<sub>6</sub> 가스 중의 연면방전특성

그림 1은 SF<sub>6</sub>가스를 매질로 사용하였을 때, 가스의 압력 변화에 따른 고체절연물의 두께(t)별 연면방전 전계강도(E<sub>d</sub>)를 나타낸다. E<sub>d</sub>는 압력이 증가함에 따라 상승하는 형태를 보이는데, 이는 압력이 증가함에 따라 고체절연물의 연면에 접하는 가스의 절연내력이 상승하게 되어 매질효과가 발생하기 때문으로 사료된다. 또한, t가 2, 3[mm] 일 때의 E<sub>d</sub>의 평균치는 각각 0.818, 0.970[kV/mm]로써, t가 두꺼워짐에 따라 E<sub>d</sub>가 증가함을 알 수 있다.

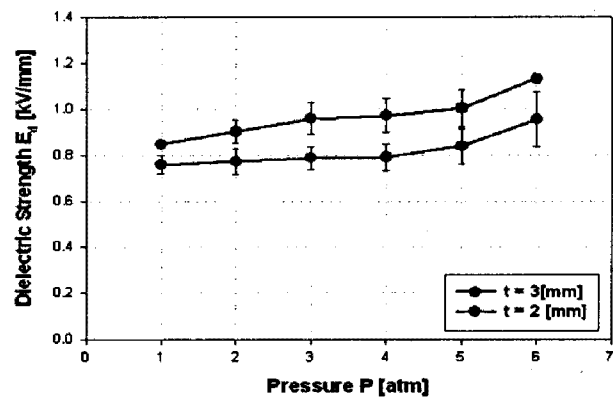


그림 1. SF<sub>6</sub>의 압력에 따른 고체절연물의 두께별 연면방전 전계강도 E<sub>d</sub>  
Fig. 1. E<sub>d</sub> of SF<sub>6</sub> with variation of solid dielectric thickness versus gas pressure

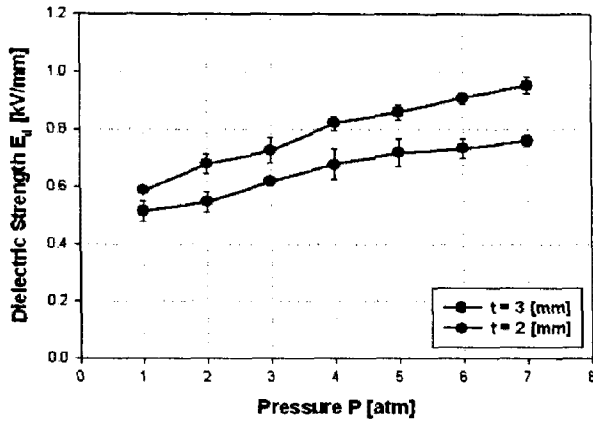


그림 2. Dry-Air의 압력에 따른 고체절연물의 두께별 연면방전 전계강도  $E_d$   
 Fig. 2.  $E_d$  of Dry-Air with variation of solid dielectric thickness versus gas pressure

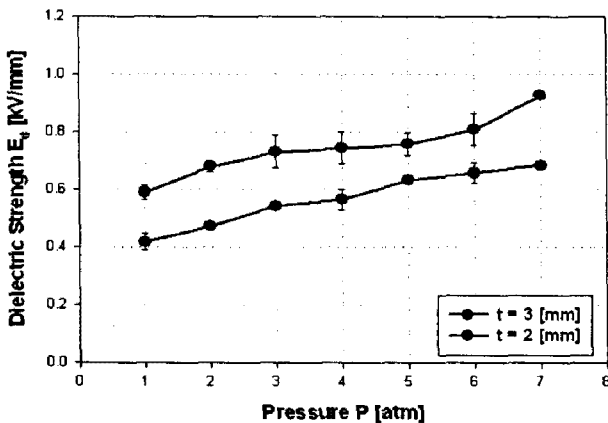


그림 3.  $N_2$ 의 압력에 따른 고체절연물의 두께별 연면방전 전계강도  $E_d$   
 Fig. 3.  $E_d$  of  $N_2$  with variation of solid dielectric thickness versus gas pressure

### 3.2. Dry-Air 중의 연면방전 특성

그림 2는 Dry-Air를 절연매질로 사용하였을 때, 가스의 압력 변화에 따른 고체절연물의  $t$ 별  $E_d$ 를 나타낸 것이다. Dry-Air의  $E_d$ 는 압력이 증가함에 따라 상승하는 형태를 보이는데, 이는  $SF_6$ 가스의 경우의 특성과 동일하게 매질효과의 영향으로 설명할 수 있다.  $t$ 가 각각 2, 3[mm] 일 때의  $E_d$ 의 평균은 0.653, 0.791[kV/mm]이며, 이 값은  $SF_6$ 의  $E_d$ 의 약 80, 81.55 [%]에 해당하며,  $SF_6$ 와 같은 조건 하에서 Dry-Air의 압력을 조절할 시, 충분히  $SF_6$  가스를 대체할 수 있으리라 사료된다.

### 3.3. $N_2$ 가스 중의 연면방전 특성

그림 3은  $N_2$  가스를 절연매질로 사용하였을 때, 가스의 압력 변화에 따른 고체절연물의 두께별  $E_d$ 를 나타낸다. 이때의 연면방전특성은  $SF_6$  가스 및 Dry-Air의 경

우의 특성과 동일하게 설명할 수 있다.  $t$ 가 2, 3[mm] 일 때의  $E_d$ 의 평균치는 각각 0.567, 0.748[kV/mm]로써, 이는  $SF_6$  가스의 절연내력의 68, 77[%]에 해당한다.

## 4. 결 론

본 논문에서는 불평등전계 하에서 고체절연물의 연면방전 특성을 연구하였다. 사용한 매질은 압력 1~6[atm]의  $SF_6$  가스와 1~7[atm]의 Dry-Air와  $N_2$ 가스이며, 고체절연물의 두께별 가스압력에 따른 연면방전특성은 다음과 같다.

- (1) 압력이 증가함에 따라 고체절연물의  $E_d$ 가 증가한다. 이는 연면에 접하는 가스의 절연내력이 상승하게 되어 매질효과가 발생하기 때문으로 사료된다.
- (2) 고체절연물의 두께가 두꺼울수록  $E_d$ 가 증가한다.
- (3) 각 절연매질의 압력에 따른 연면방전 전계강도는 평균적으로  $SF_6 > \text{Dry-Air} > N_2$  가스의 순을 따른다.

위의 실험결과는 각종 매질 내의 고체절연물의 연면방전특성에 대한 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이광식, 이창욱 외 3명, "평등/불평등 전계하의 제조공기(I-Air)에 대한 압력별 절연파괴강도 특성", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2007.11
- [2] 이광식, 이창욱 외 3명, "평등/불평등 전계하에서 제조공기(I-Air)와  $SF_6$ 에 대한 압력별 절연파괴특성", 한국조명·전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2007.11
- [3] 이광식, 김도석 외 5명, "온도 및 압력 변화에 따른 제조공기(I-Air)의 절연파괴특성", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2007. 5
- [4] 이광식, 최은혁 외 3명, " $SF_6$ 와 제조공기의 절연특성 비교 연구", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2008. 5
- [5] 이광식, 도영희 외 4명, "배전급 전력설비를 위한 제조공기의 절연성 평가", 한국조명·전기설비학회논문지 제22권 제2호, 2008. 2
- [6] 이광식, 이창욱 외 6명, "불평등 전계하의 제조공기(I-Air)에 대한 절연파괴 특성", 한국조명·전기설비학회 춘계학술대회 논문집, 2007. 5
- [7] 이광식, 박혜리 외 5명 "Dry-Air의 연면방전 특성", 대한전기학회 전기물성·응용부문회 연구회 합동 춘계학술대회 논문집, 2008.05
- [8] Toshiaki Rokunche, "Development of  $SF_6$ -Free 72.5kV GIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, pp.1869~1876, 2007.07
- [9] 박혜리, "이종 매질 중 고체절연물의 연면방전 특성", 영남대학교, 석사학위논문, 2009.02