

# 평등전계에서 SF<sub>6</sub>와 건조공기(Dry-Air)의 압력별에 따른 절연특성 연구

(A study of Breakdown characteristics of SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Pressure Variation under Uniform)

김영수\* · 김도석 · 김정배\*\* · 박광서\*\* · 이광식

(Young-Su Kim · Do-Seok Kim · Jeong-Bea Kim · Kwang-Seo Park · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, \*효성중공업, \*\*경일대학교

## Abstract

본 연구는 현재 전력설비에 사용되고 있는 SF<sub>6</sub>가스의 대체 절연가스로 건조공기(Dry-Air)의 절연과피특성 연구를 위하여 모의 GIS 챔버와 AC 300[kV], DC(-) 150[kV] 전원장치로 교류 및 직류고전압을 인가하여 연구를 수행하였다. 평등전계인 구전극 대 구전극을 이용하여 SF<sub>6</sub>가스와 건조공기(Dry-Air)의 절연내력을 비교하기 위해서 20, 30 및 40[N/cm<sup>2</sup>]까지 가스의 압력변화를 주었고 각 압력별 전극간거리(d)에 따른 절연과피전압(V<sub>B</sub>)을 연구하였다.

## 1. 서론

산업 발달로 송전전압이 격상하고 있는 추세이며, 도시기능의 고도화 등으로 좁은 지역에서 막대한 전력이 사용되고 있다. 그러나 전원 및 전력수송설비의 대도시 근교로의 입지는 제안되어 발·변전소용 부지의 효율적 사용 및 환경조화를 위해 설비의 축소화, 밀폐화가 불가피하므로 가스절연방식을 이용한 소형이면서 초고압·대용량 전력기기의 사용이 확대되고 있다. 이들 기기는 종래의 대기절연방식을 탈피하여 절연성능이 우수하고 불활성을 갖고 안전한 SF<sub>6</sub>가스를 절연매체로 하여 활선부를 밀폐하며 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성과 콤팩트한 구조로 사용하고 있다.

그 대표적 전력기기인 가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작된 이래 22[kV]급에서 765[kV]급까지 광범위하게 사용되고 있으나, 방전 시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH<sub>4</sub>와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건(-50℃ 이하)에서 SF<sub>6</sub>가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같이 주위 환경에 따라 아주 낮은 온도에서 나타나는 비 이상적인 기체 거동 등이 단점이라 할 수 있다.

또한 SF<sub>6</sub>가스는 적외선 흡수력이 크고, 화학적 불활성 때문에 지구 대기권으로부터 신속히 제거되지 못한다.

이러한 이유에서 화학적 불활성으로 성층권 오존 파괴에 관해 영향이 없음에도 불구하고 1997년 12월

일본 Kyoto에서 개최된 제 3차 당사국회의(COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC에 더하여 SF<sub>6</sub> 가스도 지정된 것이다. 이에 따라 SF<sub>6</sub>가스의 배출량이 정식으로 보고되어야 할 뿐만 아니라, 현재 이 가스의 주된 사용자인 중전기회사는 이 가스의 사용에 대한 정당성과 또한 동시에 환경에 대한 보존성을 제시할 수 있어야 하게 되었다.

따라서, 본 논문은 SF<sub>6</sub>가스와 건조공기(Dry-Air)의 평등전계에서 교류 및 직류고전압에 따른 절연과피전압(V<sub>B</sub>)특성을 분석해 보고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

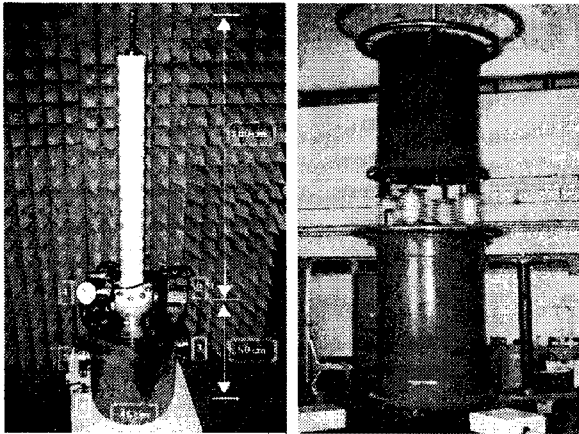
### 2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 챔버의 외관은 그림 1과 같고 이것은 SF<sub>6</sub>의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버이다. 전원은 AC용 DY-106 AC 300[kV] / 120[mA]와 DC(-)용 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N 150[kV]/1[mA]을 사용하였다.

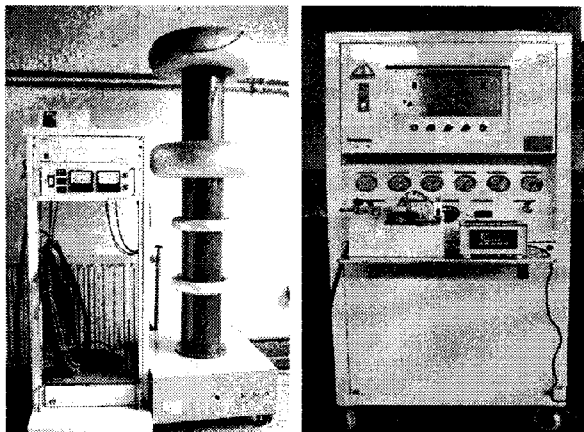
실험용 모의 챔버의 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 모의 GIS 내부를 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60ℓ/min)로 5×10<sup>-4</sup>[Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 전극부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 설치하였다.

실험용 모의 챔버의 주요 사양은 압력(P) 변화(20~60[N/cm<sup>2</sup>])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이

가능하고 P 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치



(c) DC(-) 전원장치 (d) Dry-Air 건조장치

그림 1. 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300 [kV] 전원장치, DC (-) 150 [kV] 전원장치 & Dry-Air 건조장치

Fig. 1. The Experimental model GIS and AC 300 [kV] Power Supply and DC (-) 150 [kV] Power Supply & Dry-Air System

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인리스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형태의 종류는 Sphere-Sphere 전극을 사용하였다. (Sphere ; 상부, Sphere ; 하부, S-S)를 사용하였다.

전극의 배치는 수직 배치하였으며, 전극은 스테인리스 스틸을 사용하여 구 전극(직경 41[mm])을 제작하였다.

## 2.2. 실험방법

SF<sub>6</sub>가스 실험은 우선 모의 GIS 챔버 내부를 진공 상태 ( $5 \times 10^{-4}$ [torr])로 유지하였다. (SF<sub>6</sub>가스만의 순수한 성분을 위하여 챔버를 진공 시킬 때 연결된 호스 내부

도 같이 진공을 시킴)

다음 실험과정으로 20, 30 및 40[N/cm<sup>2</sup>]까지 SF<sub>6</sub>가스를 투입 후 각 기압에서 전극간거리(d)를 1[mm]씩 증가시켜가며 교류 및 직류전압을 인가(초당 3.15[kV] 상승, 누설전류 10[mA]기준)하여 측정하였다.

V<sub>B</sub>는 5회 측정하여 평균한 값을 이용하였다. 전극 배치는 수직배치이며, 각 전극에서 d 및 P의 변화에 따른 실험이 끝나면 SF<sub>6</sub>를 교체 후 실험을 하였다. 그리고 Dry-Air도 SF<sub>6</sub>가스와 동일한 방법으로 실험을 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. AC 전원 인가 시 압력별 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 절연파괴 특성

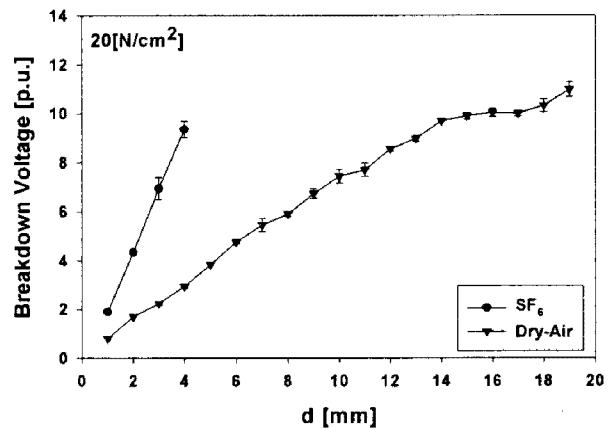


그림 2. 압력 20 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)

Fig 2. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 20 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 2는 20[N/cm<sup>2</sup>], 그림 3은 30[N/cm<sup>2</sup>], 그림 4는 40[N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d의 변화에 따른 V<sub>B</sub> 특성을 나타낸 것이다.

그림 2 및 그림 3, 그림 4에 나타난 바와 같이 같은 압력에서 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d가 증가됨에 따라 V<sub>B</sub>가 증가된 것으로 나타났다.

압력별 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가 비율은 그림 2와 같이 압력 20[N/cm<sup>2</sup>]일 때, SF<sub>6</sub>가스는 약 1.74배, 증가하였고 Dry-Air는 약 1.17배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 37.8% 정도로 나타났다.

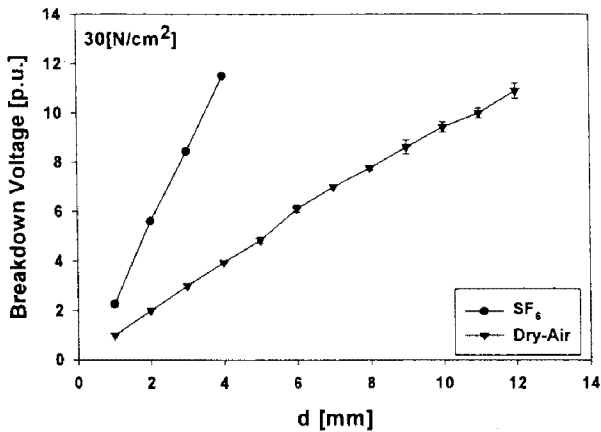


그림 3. 압력 30 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)  
 Fig 3. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 30 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 3과 같이 압력 30[N/cm<sup>2</sup>]일 때, d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 비율은 SF<sub>6</sub>가스는 약 1.78배 증가하였고 Dry-Air는 약 1.26배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 37.8% 정도로 나타났다.

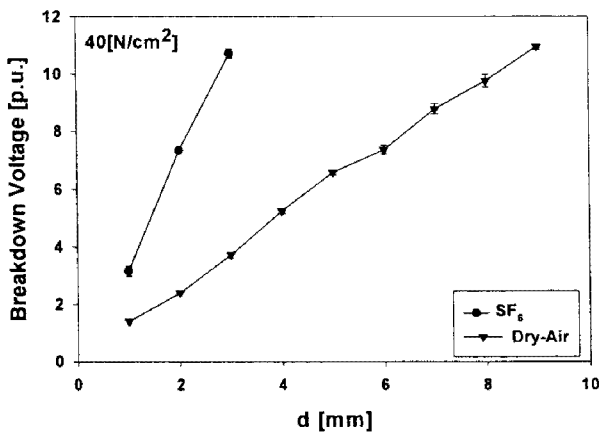


그림 4. 압력 40 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)  
 Fig 4. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 40 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 4와 같이 압력 40[N/cm<sup>2</sup>]일 때, d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 비율은 SF<sub>6</sub>가스는 약 1.89배 증가하였고 Dry-Air는 약 1.30배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 37.2% 정도로 나타났다.

### 3.1. DC(-) 전원 인가 시 압력별 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 절연파괴 특성

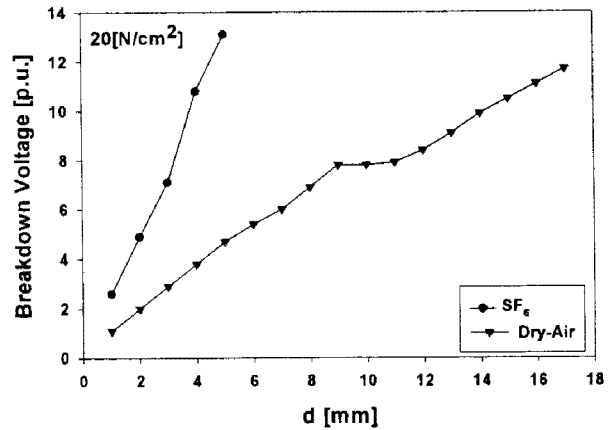


그림 5. 압력 20 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)  
 Fig 5. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 20 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 5는 20[N/cm<sup>2</sup>], 그림 6은 30[N/cm<sup>2</sup>], 그림 7은 40[N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d의 변화에 따른 V<sub>B</sub> 특성을 나타낸 것이다.

그림 2 및 그림 3, 그림 4에 나타난 바와 같이 같은 압력에서 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d가 증가됨에 따라 V<sub>B</sub>가 증가된 것으로 나타났다.

압력별 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가 비율은 그림 2와 같이 압력 20[N/cm<sup>2</sup>]일 때, SF<sub>6</sub>가스는 약 1.51배, 증가하였고 Dry-Air는 약 1.17배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 42.1% 정도로 나타났다.

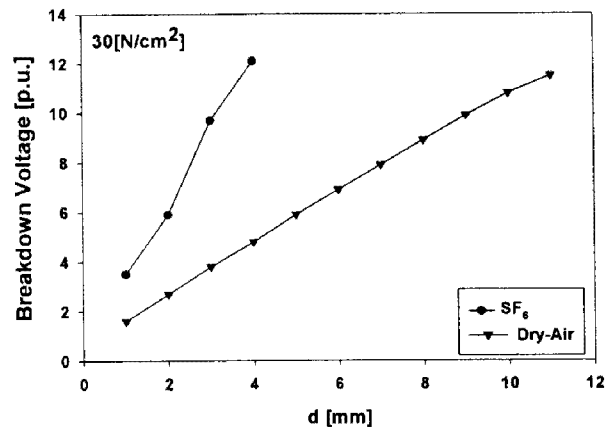


그림 6. 압력 30 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)  
 Fig 6. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 30 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 6과 같이 압력 30[N/cm<sup>2</sup>]일 때, d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 비율은 SF<sub>6</sub>가스는 약 1.52배 증가하였고 Dry-Air는 약 1.22배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 43.5% 정도로 나타났다.

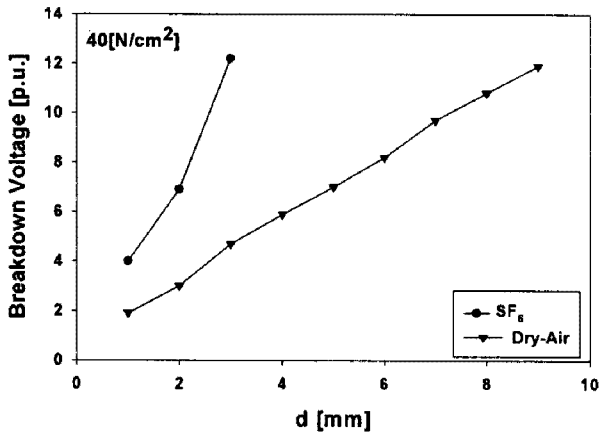


그림 7. 압력 40 [N/cm<sup>2</sup>]일 때 SF<sub>6</sub>와 Dry-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Sphere & Sphere Electrode)  
Fig 7. Breakdown Characteristics for SF<sub>6</sub> and Dry-Air with Gap Variation under the 40 [N/cm<sup>2</sup>]

그림 7과 같이 압력 40[N/cm<sup>2</sup>]일 때, d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 비율은 SF<sub>6</sub>가스는 약 1.74배 증가하였고 Dry-Air는 약 1.26배 증가하였다. 그리고 Dry-Air의 평균 V<sub>B</sub>는 SF<sub>6</sub>가스의 약 43.1% 정도로 나타났다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 건조공기(Dry-Air)와 SF<sub>6</sub>에 관한 절연파괴전압(V<sub>B</sub>) 특성으로서 주로 가스압 변화 및 전극 간거리(d)에 따른 특성을 비교한 연구 결과의 주요 결론이다.

1) AC 전원 인가 시 평등전계 (구 전극 대 구 전극) 하에서 압력 변화에 따른 SF<sub>6</sub>가스와 Dry-Air의 V<sub>B</sub>를 비교해 보면 Dry-Air의 V<sub>B</sub>가 SF<sub>6</sub>가스의 V<sub>B</sub>에 대한 Dry-Air의 평균 비율은 압력이 20, 30 및 40[N/cm<sup>2</sup>]에서 각각 약 37.8%, 37.8% 및 37.2% 정도로 나타났다.

2) 압력별 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가 비율은 압력변화에 따라서 SF<sub>6</sub>가스는 20[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.74배, 30[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.78배, 40[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.89배로 나타났으며, Dry-Air는 20[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.17배, 30[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.26배, 40[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.30배로 확인되었다.

1) DC(-) 전원 인가 시 평등전계 (구 전극 대 구 전극) 하에서 압력 변화에 따른 SF<sub>6</sub>가스와 Dry-Air의 V<sub>B</sub>를 비교해 보면 Dry-Air의 V<sub>B</sub>가 SF<sub>6</sub>가스의 V<sub>B</sub>에 대한

Dry-Air의 평균 비율은 압력이 20, 30 및 40[N/cm<sup>2</sup>]에서 각각 약 42.1%, 43.5% 및 43.1% 정도로 나타났다.

2) 압력별 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가 비율은 압력변화에 따라서 SF<sub>6</sub>가스는 20[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.51배, 30[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.52배, 40[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.74배로 나타났으며, Dry-Air는 20[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.17배, 30[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.22배, 40[N/cm<sup>2</sup>] : 약 1.26배로 확인되었다.

#### 참고 문헌

- [1] Gong Guoli et al, " The influence of SF<sub>6</sub> and SF<sub>6</sub>/N<sub>2</sub> dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995
- [2] 이광식 외 4명, " SF<sub>6</sub>와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8
- [3] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF<sub>6</sub> Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF<sub>6</sub> Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [4] 이광식 외 4명, " SF<sub>6</sub> 가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [5] Sayed A. ward " Optimun SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub>, SF<sub>6</sub>-Air, SF<sub>6</sub>-CO<sub>2</sub> Mixtures Based on Particle Contamination", Conf. Record of the IEEE Intern. Symp. on Elect. Insul., Anaheim, CA USA, April 2000
- [6] 최은혁 외 5명, " 액체 SF<sub>6</sub>중 기포거동과 절연파괴특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.5.
- [7] 이동희, " SF<sub>6</sub> 대체가스 연구동향 ", 대한전기학회 논문지, 2002.7
- [8] 김영수 외 5명, " 전극형상에 따른 건조공기(Dry-Air)의 절연파괴 특성에 관한 연구 ", 대한전기학회 논문지, 2007.7