

# 불평등 전기하의 제조공기(I-Air)에 대한 절연파괴 특성

(Breakdown Characteristics of Imitation Air under Non-Uniform Fields)

이창욱, 이창훈, 최은혁, 윤대희<sup>◆</sup>, 장승호, 김정배<sup>◆◆</sup>, 박원주, 이광식  
 (Chang-Uk Lee, Chang-Hun Lee, Eun-Hyuck Choi, Dae-Hee Yoon, Seung-Ho Jang,  
 Jung-Bae Kim, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee)

영남대학교, <sup>◆</sup>상주대학교, <sup>◆◆</sup>효성중공업

## Abstract

In this paper approves AC high voltage by experimental GIS(Gas Insulated Switchgear) chamber and AC 300[kV] power source to study breakdown characteristics by pressure(P) change and change of electrode distance(d) at AC high voltage of Imitation Air(I-Air, N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> = 79[%] : 21[%]) to alternate SF<sub>6</sub> and achieved research. Gave P change of I-Air to study I-Air's breakdown characteristics using non-uniform fields(Needle-Plane electrode) and studied relations breakdown voltage (V<sub>B</sub>) by each P different d.

## 1. 서론

산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기 에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통 운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되고 있다. 이에 따라 절연 특성이 매우 우수한 고압의 SF<sub>6</sub>가스를 절연재료로 사용하는 전력설비의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에서 건설, 운전 중이다.

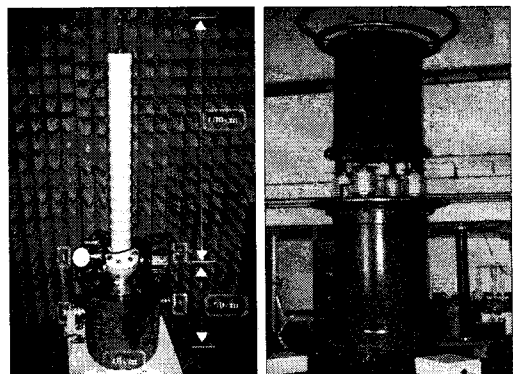
그 대표적 전력기기인 가스절연개폐장치(GIS)는 40년 전부터 상업화가 시작된 이래 25.8[kV]급에서 800[kV] 급까지 광범위하게 사용되고 있으나, 방전 시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH<sub>4</sub>와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건(-50℃ 이하)에서 SF<sub>6</sub>가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같이 주위 환경에 따라 아주 낮은 온도에서 나타나는 비 이상적인 기체 거동 등이 단점이라 할 수 있다. 또한 현재 초고압 송변전기에 적용되고 있는 SF<sub>6</sub>가스는 잘 알려진 바와 같이 가격이 비싸고 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 온난화 계수가 CO<sub>2</sub>의 약 23,900배로 대기 중으로 방출될 경우에는 온실효과를 야기 시키는 단점을 가지고 있다. 최근 환경에 대한 관심과 규제가 높아지면서 온실가스에 대한 규제로서 교토 의정서가 정식 발효됨에 따라 SF<sub>6</sub>가스는 금후 총량 제한에 의해 사용량이 규제 받을 가능성이 대단히 높다.

따라서 본 연구에서는 SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 물질로 대두되고 있는 제조공기(I-Air, 순도 99.9% N<sub>2</sub> : 79%, 순도 99.9% O<sub>2</sub> : 21%를 혼합시킨 공기)의 압력을 변화시켰을 때의 절연파괴전압(V<sub>B</sub>)을 연구한 것이다.

## 2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 AC용 모의 GIS 챔버는 스테인레스 사용하여 내·외부 2중층으로 제작하였으며 모의 챔버 내부를 관측할 수 있도록 하기 위하여 투명한 아크릴을 사용하여 양쪽에 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 만들었다. AC용 모의 GIS 챔버의 주요 사양은 압력변화(2~7[atm])를 위하여 안전상 10기압까지 가압이 가능하고 온도변화(-90~100℃) 및 유지가 가능하며, 높은 절연성을 가진 SF<sub>6</sub>의 절연내력을 위하여 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어 있다. {그림 1-(a)}

전원은 DY-106 (AC 300[kV]/120[mA])을 사용하였다. {그림 1-(b)}



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치

그림 1. 모의 GIS 챔버 & AC 300 [kV] 전원장치  
 Fig. 1. The Experimental model GIS and AC 300 [kV] Power Supply

## 2. 실험장치 및 방법

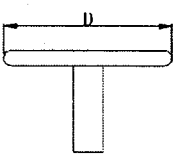
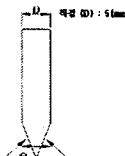
실험용 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부를 진공을 시키기 위해서  $5 \times 10^{-4}$ [Torr]까지 진공을 유지할 수 있는 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GVD-050A, pumping speed 60 l/min)를 사용하였다.

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Needle-Plane 전극(Needle : 상부, Plane : 하부, N-P)을 사용하였다.

전극의 배치는 수직 배치하였으며, 전극은 스테인레스 스틸을 사용하여 침전극(직경 5[mm], 침단각도 20°), 평판전극(직경 59[mm])을 제작하였다.

표 1. 전극의 모양

Table 1. Shape of electrodes.

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

## 2.2. 실험방법

제조공기(I-Air, 순도 99.9% N<sub>2</sub> : 79%, 순도 99.9% O<sub>2</sub> : 21%를 혼합시킨 공기) 실험을 위해 우선 모의 GIS 챔버 내부를 진공상태(-68[cmHg])로 유지시켰다. (I-Air만의 순수한 성분을 위해서 챔버를 진공 시킬 때, 연결된 호스 내부도 같이 진공을 시킴.)

다음 실험과정으로 2[atm]~7[atm]까지 I-Air를 투입 후 각 기압에서 전극간거리(d)를 최초 1[mm]를 기준으로 1[mm]씩 최고 40[mm]까지 증가시키고 AC 300[kV] 전원장치로 교류전압을 인가(초당 3.15[kV]상승)하여 V<sub>B</sub> 특성을 연구하였다.

전극의 배치는 수직배치이며, 각 기압에서 d의 변화에 따른 실험이 끝나면 I-Air를 교체 후 실험하였다.

V<sub>B</sub>는 5회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 압력별 I-Air의 절연파괴특성

그림 2~7은 I-Air 중의 불평등 전계인 침 대 평판전극으로 형성하여 I-Air 가스 중에서 방전 챔버의 압력을 1[atm]씩 2[atm]~7[atm]까지 변경하면서 d에 따른 절연파괴특성을 나타낸 것이다.

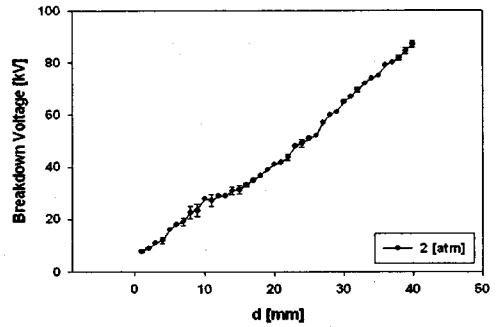


그림 2. 압력 2 [atm] 일 III I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
Fig. 2. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 2 [atm]

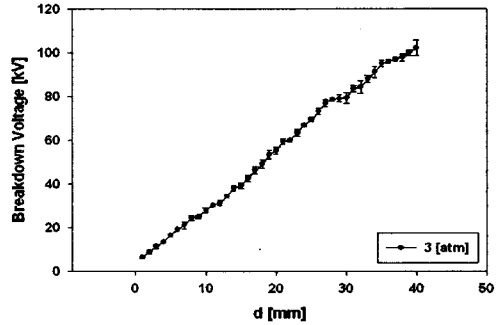


그림 3. 압력 3 [atm] 일 III I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
Fig. 3. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 3 [atm]

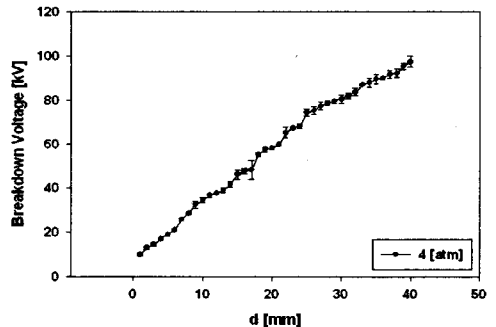


그림 4. 압력 4 [atm] 일 III I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
Fig. 4. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 4 [atm]

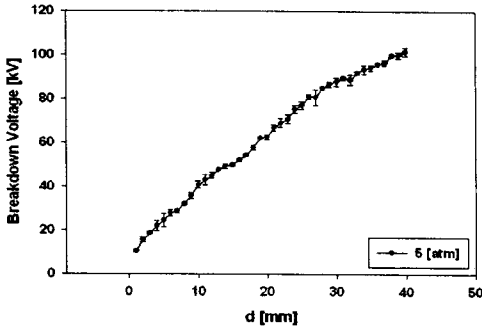


그림 5. 압력 5 [atm] 일 때 I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
 Fig. 5. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 5 [atm]

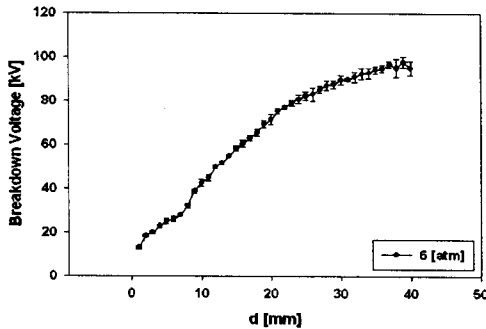


그림 6. 압력 6 [atm] 일 때 I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
 Fig. 6. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 6 [atm]

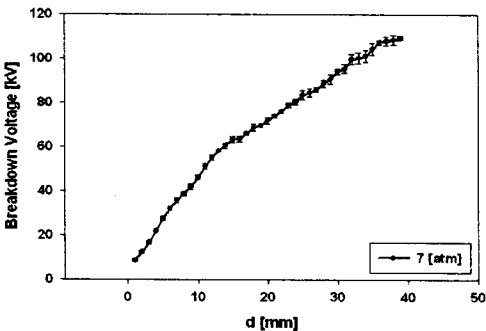


그림 7. 압력 7 [atm] 일 때 I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
 Fig. 7. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 7 [atm]

이와 같이 그림 2~7에서 알 수 있듯이 압력별 d의 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가 비율은 압력변화에 따라서 I-Air는 2[atm] : 약 1.05배, 3[atm] : 약 1.06배, 4[atm] : 약 1.04배, 5[atm] : 약 1.07배, 6[atm] : 약 1.04배, 7[atm] : 약 1.06배로 확인되었다.

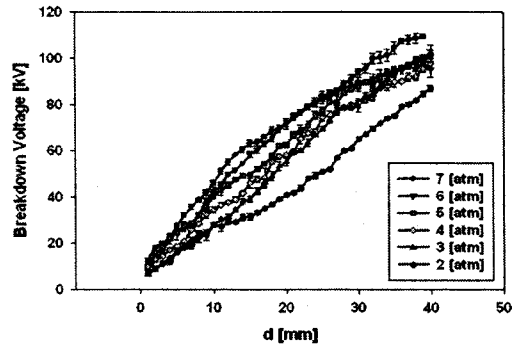


그림 8. 압력 2~7 [atm] 일 때 I-Air의 d 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
 Fig. 8. Breakdown Characteristics for I-Air with Gap Variation under the 2~7 [atm]

그림 8은 압력 2[atm]~7[atm]일 때 I-Air에서 d의 증가에 따른  $V_B$ 의 절연파괴특성을 종합적으로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 d와 압력이 높아짐에 따라  $V_B$ 도 증가함을 알 수 있다.

### 3.2. 압력 2 [atm] 일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7 [atm] 일 때 I-Air의 갭 길이 변화에 따른 절연파괴특성

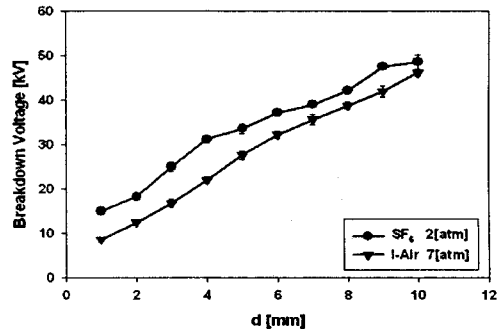


그림 9. 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air의 갭 길이 변화에 따른 절연파괴특성 (Needle & Plane Electrode)  
 Fig 9. Breakdown Characteristics of SF<sub>6</sub> and I-Air with Gap Variation under the 2 [atm] and 7 [atm]

그림 9와 같이 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air에서 d의 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가비율은 SF<sub>6</sub> 가스는 약 1.12배였으며 I-Air는 약 1.06배로 나타났다.

그림 9의 d 범위를 10[mm]까지 제한한 것은 10[mm] 이후 I-Air에서는 파센법칙이 유지되지만 SF<sub>6</sub> 가스의 경우는 파센법칙의 이탈영역이 나타나므로 SF<sub>6</sub> 가스의 파센법칙의 이탈영역이 나타나기 전까지  $V_B$ 를 측정하여 I-Air의  $V_B$ 와 비교하였다.

### 3.3. 압력 2 [atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7 [atm]일 때 I-Air의 갭 길이 변화에 따른 절연파괴강도

표 2. SF<sub>6</sub> 가스와 I-Air의 갭 길이 변화에 따른 절연파괴강도 (V<sub>D</sub>)

Table 2. Dielectric Strength of SF<sub>6</sub> and I-Air with Gap Variation

절연기재의 종류	절연파괴강도(V <sub>D</sub> ) [ $\frac{kV}{mm}$ ]										V <sub>D</sub> 의 평균 [ $\frac{kV}{mm}$ ]
	1[mm]	2[mm]	3[mm]	4[mm]	5[mm]	6[mm]	7[mm]	8[mm]	9[mm]	10[mm]	
SF <sub>6</sub>	15	9.1	8.3	7.8	6.7	6.2	5.6	5.3	5.3	4.9	7.4
제조공기 (I-Air)	8.6	6.2	5.6	5.5	5.4	5.1	4.9	4.7	4.6	4.6	5.6

( SF<sub>6</sub> 가스 : 2 [atm] , I-Air : 7 [atm] )

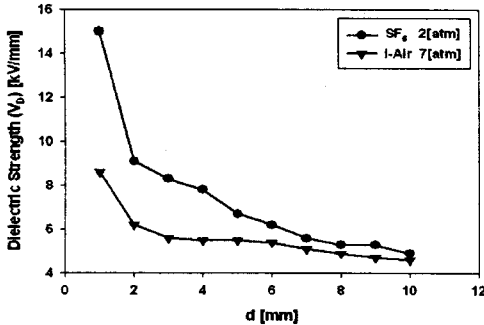


그림 10. 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air의 갭 길이 변화에 따른 절연파괴강도(V<sub>D</sub>) (Needle & Plane Electrode)

Fig 10. Dielectric Strength of SF<sub>6</sub> and I-Air with Gap Variation under the 2[atm] and 7[atm]

그림 10과 같이 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air에서 d의 증가에 따른 V<sub>D</sub>의 평균 감소비율은 SF<sub>6</sub> 가스는 약 0.12배였으며 I-Air는 약 0.07배로 나타났다.

이와 같이 그림 10에서 알 수 있듯이 d의 증가에 따른 V<sub>D</sub>의 평균 감소비율은 SF<sub>6</sub> 가스가 I-Air보다 크지만 평균 V<sub>D</sub>는 SF<sub>6</sub> 가스가 I-Air보다 높은 것을 확인하였다.

#### 4. 결론

본 연구는 제조공기(I-Air)에 관한 절연파괴전압(V<sub>B</sub>) 특성으로서 주로 가스압 변화 및 전극간거리(d)에 따른 특성을 연구한 결과의 주요 결론이다.

1) 압력별 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가 비율은

압력변화에 따라서 I-Air는 2[atm] : 약 1.05배, 3[atm] : 약 1.06배, 4[atm] : 약 1.04배, 5[atm] : 약 1.07배, 6[atm] : 약 1.04배, 7[atm] : 약 1.06배로 확인되었다.

2) 그림 9와 같이 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air에서 d의 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가비율은 SF<sub>6</sub> 가스는 약 1.12배였으며 I-Air는 약 1.06배로 나타났다.

3) 그림 10과 같이 압력 2[atm]일 때 SF<sub>6</sub>와 압력 7[atm]일 때 I-Air에서 d의 증가에 따른 절연파괴강도(V<sub>D</sub>)의 평균 감소비율은 SF<sub>6</sub> 가스는 약 0.12배였으나 I-Air는 약 0.07배로 나타났다.

이와 같이 그림 10에서 알 수 있듯이 d의 증가에 따른 V<sub>D</sub>의 평균 감소비율은 SF<sub>6</sub> 가스가 I-Air보다 크지만 평균 V<sub>D</sub>는 SF<sub>6</sub> 가스가 I-Air보다 높은 것을 확인하였다.

4) 본 연구의 결과로 미루어 보아 I-Air의 압력 및 d를 적절히 조정하면 실용기기의 절연에 SF<sub>6</sub> 가스를 I-Air로 대체가능 할 것으로 판단된다.

향후, I-Air의 압력변화에 따른 V<sub>B</sub>의 변화를 SF<sub>6</sub> 가스의 V<sub>B</sub>와 비교하는 연구뿐만 아니라, I-Air와 SF<sub>6</sub> 가스를 혼합시켜 SF<sub>6</sub> 가스와 같은 압력에서도 SF<sub>6</sub> 가스의 V<sub>B</sub>에 가까운 V<sub>B</sub>를 가지는 혼합비에 관한 연구를 수행하려고 한다.

#### 참고 문헌

- [1] 이광식 외 3명, " 대기압하에서 액체질소(LN<sub>2</sub>)의 방전특성에 관한 연구 ", 대한전기학회 논문지 Vol 45 No 7, 1996.7.
- [2] C. Beyer et al, " Influence Reactive SF<sub>x</sub> Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF<sub>6</sub> Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [3] 최은혁 외 5명, " 액체 SF<sub>6</sub>중 기포거동과 절연파괴특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.5.
- [4] 이동희, " SF<sub>6</sub> 대체가스 연구동향 ", 대한전기학회 논문지, 2002.7
- [5] Cong 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
- [6] 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
- [7] 이광식 외 4명, " SF<sub>6</sub>와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8.
- [8] T. Ueda et al, " Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF<sub>6</sub> Gas from External Noise Using Phase Gate Control Method ", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 117~120, 1996
- [9] 이광식 외 4명, " SF<sub>6</sub> 가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8.
- [10] Landry, M et al, " Dielectric withstand and breaking capacity of SF<sub>6</sub> circuit breakers at low temperatures ", Power Delivery, IEEE Transactions on, pp. 1029~1035, July 1988