

# Dry-Air의 습도에 따른 절연파괴 특성

(The Breakdown Characteristics for Dry-Air with Humidity Variations)

박혜리 · 김영수 · 최은혁 · 박광서♦ · 김이국♦ · 박원주 · 이광식

(Herie Park · Young-Su Kim · Eun-Hyuck Choi · Kwang-Seo Park · Lee-Kook Kim · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, ♦경일대학교

## Abstract

This paper gives a basic data of the breakdown characteristics of Dry-Air and air based on their dew point and humidity variations in experimental GIS model by applying AC voltage. The breakdown voltage of Dry-Air was increased as gap length had been increased. The characteristics of Dry-air which had low dew point were higher. In the case of air, the breakdown voltage curves were like Dry-Air's. But the curves were slightly folded up and down because of impurities.

## 1. 서 론

1900년 H.Moissan에 의해 세계 최초로 합성된 SF<sub>6</sub>는 무색, 무취, 무미, 불연성을 가지는 기체로서 열적·화학적 특성이 안정되고, 우수한 절연성과 차단성으로 인해 고전압 전력기기 내의 절연물·소호매체로써 널리 사용되고 있으며, 전력설비의 소형화 및 고신뢰화에 많은 기여를 해오고 있다.

그러나 SF<sub>6</sub>는 고압 및 저온에서 쉽게 액화될 뿐만 아니라, 분해물인 SF<sub>4</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 및 소량의 S<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, S, F 등은 도체를 부식시키고, 독성을 가지고 있으며, 가격이 비싼 단점이 있다.

그리고 SF<sub>6</sub>의 지구온난화계수(Global Warming Potential, GWP)는 100년이 경과한 시점에서 CO<sub>2</sub>의 GWP의 23,900배에 달한다고 알려져 있으며, 1997년 채택되어 2005년 비준·발효된 교토의정서에 따라 기존의 온실가스인 CO<sub>2</sub>(이산화탄소), N<sub>2</sub>O(아산화질소), CH<sub>4</sub>(메탄)와 더불어 PFCs(과불화탄소), HFCs(수소불화탄소)와 함께 감축대상 온실가스에 포함되었다. 또한, 2007년 인도네시아 발리에서 개최된 제13차 기후변화협약 당사국 총회의 '발리로드맵'에 따르면 2013년부터 선진국과 개발도상국 모두 온실가스 감축에 참여하여야 하므로 전세계적으로 SF<sub>6</sub>의 사용량 감축이 불가피하며, 특히 전력기기에 사용되어지고 있는 SF<sub>6</sub>의 대체물질 개발이 시급한 과제이다.

이에 본 논문에서는 SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 물질로서 활발하게 연구·적용되어지고 있는 Dry-Air(건조공기)의 습도 변화에 따른 절연파괴 특성을 분석해 보고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 실험 장치

사진 1-(a)는 본 연구에서 사용된 모의 GIS 챔버이며, 사양은 다음과 같다. 두께 20[mm]의 스테인리스로 만들어진 챔버로서, 내·외부 2중 구조로 이루어져 있다. 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. 그리고 챔버 내 온도를 측정하기 위한 3개의 온도 센서(UNICON, -50~50[°C])를 챔버 내부에 상·중·하의 위치에 설치할 수 있도록 제작되었다.

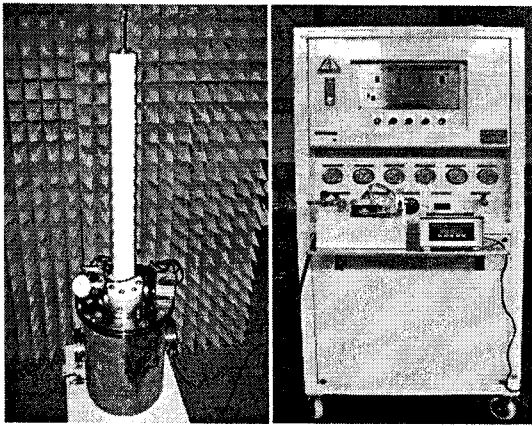
챔버 내부에 Dry-Air를 가압하기 전, 진공펌프(SINKU KIKO Co. Ltd, GUD-050A, Pumping seed 60 ℓ/min)를 챔버에 연결하여 내부압력을 5×10<sup>-4</sup>[Torr]로 배기시켰으며, 가압시 압력계(WISE, 0~15기압)를 사용하였다.

전극으로는 스테인리스 스틸로 만든 구전극(직경 41[mm])을 사용하여 챔버 내부에 상하로 배치하였다.

Dry-Air는 Dry-Air 제조장치를 이용하여 만들었고, 이 제조장치는 세 단계의 필터를 가지고 있어 공기가 각 필터를 거치는 동안 공기의 노점과 불순물의 함량을 줄여, 최종적으로 노점 -60[°C] 이하의 순수한 Dry-Air

를 만드는 장치이며, 그 외관은 사진1-(b)와 같다.

또한, 실험에 사용한 전원장치는 AC용 DY-106 (AC 300[kV]/120[mA])이다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) Dry-Air 제조장치

사진 1. 모의 GIS 챔버와 Dry-Air 제조장치  
Photo 1. Experimental GIS chamber and Dry-Air Equipment

## 2.2. 실험 방법

실험을 위해 구 대 구 전극을 모의 GIS 챔버 내에 수직 배치하였으며, 전극간 거리(d)는 최소 2[mm]부터 2[mm]씩 상승시켜 최고 12[mm]까지 조절하였다.

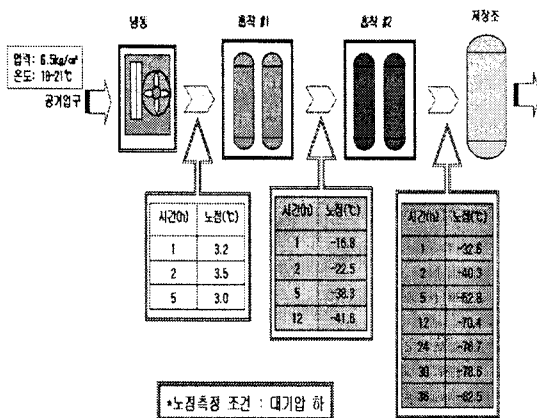


그림 1. Dry-Air 제조장치 Dry-Air 제조장치의 노점 변화 시스템  
Fig. 1. Humidity change system of Dry-Air Equipment

Dry-Air의 노점별 절연파괴 실험을 위해 그림 1과 같은 시스템을 가지는 Dry-Air 제조장치의 각 필터를 통과한 각각의 Dry-Air를 챔버에 3.5[atm]씩 주입하였

다.

그림 1의 냉동기를 통과한 Dry-Air의 노점은 4[°C], 흡착기#1을 통과한 Dry-Air의 노점은-40[°C], 그리고 흡착기#2를 통과한 Dry-Air의 노점은 -60[°C]이다.

Dry-Air의 노점 변화별 절연파괴특성의 대조군으로는 습도가 30, 45, 60%인 대기를 사용하였고, 이 공기도 컴프레서를 이용하여 챔버에 3.5[atm] 주입하여 절연파괴전압을 측정하였다.

각각의 습도에 대한 Dry-Air와 공기의 절연파괴전압은 챔버에 AC 전압을 5회씩 인가하여 측정하였고, 평균값을 이용하였다. 또한, 이 때의 전압 상승 속도는 3.15[kV/s]로 하였다.

실험 전 10회를 우선 방전시켜 부정현상을 제거한 후 절연파괴특성을 알아보았다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1. 전극간 길이 변화에 따른 Dry-Air의 노점 변화별 절연파괴 특성

그림 2는 노점이 각각 -60, -40, 4[°C]인 3.5기압의 Dry-Air의 절연파괴특성을 전극간 갭 길이 d에 대해서 나타낸 그래프로서, 절연파괴전압의 단위는 p.u.로 나타내었다.

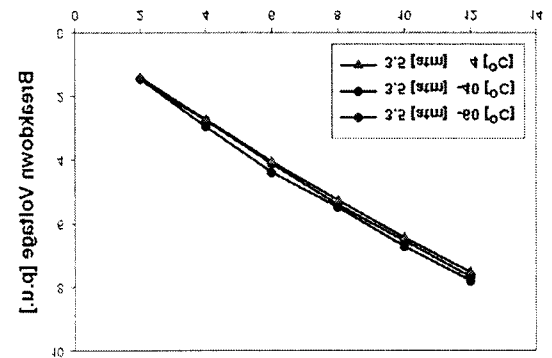


그림 2. Dry-Air의 노점에 따른 절연파괴 특성  
Fig. 2. Breakdown characteristics of Dry-Air with their dew point

Dry-Air의 노점과 상관없이 갭 길이 d가 증가함에 따라 절연파괴전압이 상승하므로 Paschen's law가 성립함을 알 수 있다.

그리고 노점 변화에 따른 절연파괴특성의 차이는 각 갭 길이에 대하여 최소 0.07[p.u.]~최대 0.54[p.u.]로써, 그 차이는 근소하였다.

### 3.2. 전극간 길이 변화에 따른 대기 중 습도 변화별 절연파괴 특성

그림 3은 대기 중에서 기온이 25~26[°C]일 때 30, 45, 60%의 습도를 가지는 공기의 전극간 길이 변화에 따른 절연파괴 특성을 나타낸 그래프이며, 단위는 p.u.이다.

습도 변화에 따른 절연파괴특성의 차이는 각 갭 길이에 대하여 0~0.4[p.u.]로써 매우 근소한 값을 확인하였다.

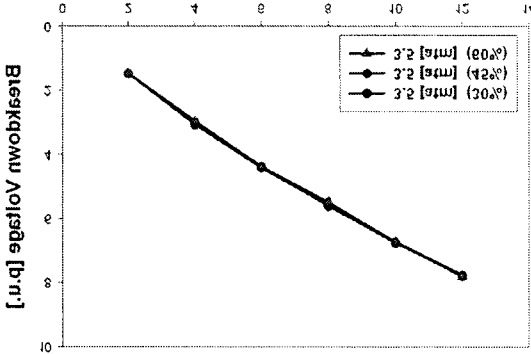


그림 3. 공기의 습도에 따른 절연파괴 특성  
Fig. 3. Breakdown characteristics of Air with their humidity

표 1. Dry-Air와 공기의 노점/습도별 절연파괴 특성 비교

Table 1. Breakdown characteristics of Dry-Air and Air based on dew point and humidity

(a) Dry-Air의 노점별 절연파괴 특성 (p.u.) 비교

	2	4	6	8	10	12	평균
4°C → -40°C	0.053	0.04	0.067	0.133	0.107	0.147	0.091
-40°C → -60°C	0	0.187	0.267	0.093	0.173	0.12	0.14

(b) 대기 중 Air의 습도별 절연파괴 특성 (p.u.) 비교

	2	4	6	8	10	12	평균
60% → 45%	0	0.027	-0.027	0.12	0	-0.053	0.029
45% → 30%	0	0.067	0.053	-0.013	0.04	0.027	0.011

### 3.3. Dry-Air와 공기의 노점/습도별 절연파괴 특성 비교

표 1은 Dry-Air와 공기의 노점/습도별 절연파괴 특성의 추이를 나타낸 표이다. 공기의 경우 습도별 절연파괴 특성이 갭 길이에 대하여 일정하지 않은데, 이는 불순물의 영향으로 볼 수 있다.

## 4. 결론

본 논문에서는 모의 GIS 챔버에 AC 전원을 인가하였을 경우, 챔버 내부에 주입한 3.5기압의 Dry-Air의 절연파괴전압이 전극 간 갭 길이에 따라 어떤 변화가 있는지 확인하였고, 각 노점에 대하여 어떤 특성을 나타내는지 비교해보았다. 또한 대기 중에서 일정 습도를 가진 공기의 절연파괴 특성까지도 비교하였다.

(1) Dry-Air와 Air의 경우, 습도차와 상관없이 Paschen's law에 의해서 갭 길이 d의 변화에 대하여 절연파괴전압이 증가함이 확인되었다.

(2) Dry-Air의 노점의 변화에 따른 절연파괴 특성은 0.07~0.54[p.u.]의 근소한 차만이 존재하였다.

(3) 대기 중 공기의 습도별 절연파괴 특성은 갭 길이에 대하여 일정하지 않은데, 이는 불순물의 영향으로 사료된다.

## 참고 문헌

- [1] 김영수 "Dry-Air의 압력변화에 따른 절연파괴특성 연구", 영남대학교, 석사학위논문, 2008.02
- [2] 이광식, 김영수 외 3명 "건조공기(Dry-Air)의 교류 및 직류 전압에 대한 절연특성 연구", 한국조명·전기설비학회지, 2007.11
- [3] 이광식, 이창훈 외 5명, "평등/불평등 전계하에서의 건조공기(Dry-Air) 절연파괴특성", 한국조명·전기설비학회지, 2007.11
- [4] 이동희, "환경저부하형 신절연/소호매체 개발동향", 전기전자재료 제13권 제2호, 2000.02
- [5] Toshiaki Rokunche, "Development of SF<sub>6</sub>-Free 72.5kV GIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, pp.1869~1876, 2007.07
- [6] I.Gallimberti 외 1명, "Streamer and leader formation in SF<sub>6</sub> and SF<sub>6</sub> mixtures under positive impulse conditions: I. Corona development", J.Phys. D : Appl. Phys. 12, 1986