

## 교류인가시 제조공기(I-Air)의 온도 및 압력 변화에 따른 절연파괴특성

김도석\*, 김영수, 박혜리, 박광서\*, 김정배\*\*, 이광식  
 영남대학교, \*경일대학교, \*\*호성중공업

### Breakdown Characteristics of I-Air with Temperature and Pressure Variation under AC

Do-Seok Kim · Young-Su Kim · He-Rie Park · Kwang-Seo Park · Jeong-Bea Kim · Kwang-Sik Lee  
 Yeung-nam Uni. · Kyung-il Uni. · Hyo-sung Heavy Industries

**Abstract** - 본 연구는 교류전압 인가시 제조공기(I-Air)의 온도(T)의 변화(+10[°C] ~ -30[°C])에 따른 절연특성을 구명하였다. 절연특성은 GIS모의 챔버 주입 압력(P)과 비례하는 특성을 보였으나 T가 저하되면서 그 절연특성이 감소하는 경향을 보이지 않고 오히려 증가하는 구간이 일부 존재 하였다. 그리고 챔버내 P의 크기가 클수록 T저하에 따른 P감소율이 더 컸으며, 절연파괴전압( $V_B$ )감소폭은 8[atm]에서 가장 큰 변화를 보였으며 4, 6, 2기압 순으로 변화를 보였다.

각도 20°)을 제작하였다.

### 1. 서 론

산업 발달로 송전전압이 격상하고 있는 추세이며, 도시기능의 고도화 등으로 좁은 지역에서 막대한 전력이 사용되고 있다. 그러나 전원 및 전력 수송설비의 대도시 근교로의 입지는 제한되어 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 함으로써 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 있다. 하지만 GIS에 사용되는 SF<sub>6</sub>가스는 arc방전에 의해 분해되어 SF<sub>4</sub>, S<sub>2</sub>F<sub>2</sub> 및 소량의 S<sub>2</sub>, F<sub>2</sub>, S 및 F 등의 생성물을 만든다. 이러한 물질들은 습기가 존재하면 절연물질이나 도체를 부식시키며, 또한 독성을 가지고 있고, 고압력에서 쉽게 액화되며 가스의 가격이 비교적 비싸다. 또한 지구 온난화 계수가 이산화탄소의 23,900배로 매우 높고 화학적으로 매우 안정되어 대기 중 수명도 길기 때문에 대기 중에 방출되어 장시간 축적되었을 때 지구 온난화에 끼치는 영향이 위험할 정도까지 될 수 있다. 이러한 이유에서 1997년 12월 일본 Kyoto에서 개최된 제3차 당사국회의(COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC에 더불어 SF<sub>6</sub> 가스도 지정되었다. 본 논문은 SF<sub>6</sub>를 대체할 수 있는 물질로 대두되고 있는 제조공기(I-Air)가 혹한지역의 극한환경에서 GIS에 사용되었을 경우에 대해서 T 및 P변화에 따른  $V_B$ 특성을 분석해 보고자 한다.

### 2. 본 론

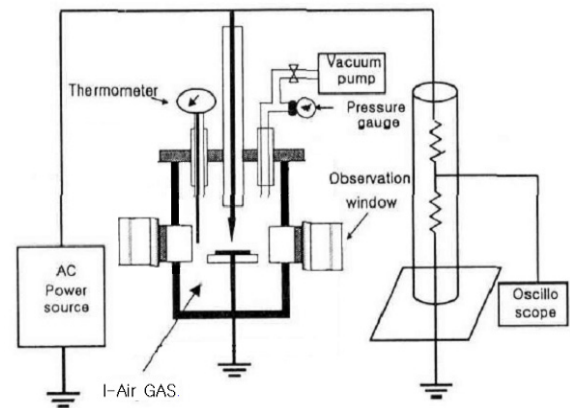
#### 2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 챔버는 절연기체의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버로서 스테인리스(두께 20[mm])를 사용하여 내·외부 2중으로 제작하였으며, 내부 챔버(직경 :26[cm], 깊이 :47[cm])의 체적은 약 25,000[cm<sup>3</sup>], 외부 챔버(직경 :46[cm], 깊이 :50[cm])의 체적은 약 83,000[cm<sup>3</sup>]이고, gap 간격은 최대 70[mm]까지 가능하며 10기압에서도 내·외부챔버가 안전하도록 설계 제작하였다. 챔버의 양쪽은 챔버 내부에서 발생하는 현상을 관찰하기 위해 투명한 아크릴로 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 만들었다. 또한, 챔버 내부의 T를 측정하기 위해 상, 중, 하 3개의 온도센서를 부착하였다. 전원은 AC용 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])를 사용하였다.

실험용 모의 챔버의 내부 P를 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 모의 GIS 내부를 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60 l/min)로 5×10<sup>-4</sup>[Torr]까지 진공을 유지할 수 있다.

실험용 모의 챔버의 주요 사양은 P변화(2~6[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 P유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다.

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인리스 스틸로서 전극의 배치는 수직 배치하였으며 평판전극(직경 59[mm]) 및 침전극(직경5[mm], 침단



〈그림 1〉 실험 회로

그림 1은 실험 회로이다. 챔버 상부에 드라이아이스를 올려서 온도를 저하시키고, 3개의 온도계를 사용하여 챔버 내부의 온도변화를 측정하고 온도의 저하에 따른 내부 압력의 변화를 관측하여 I-Air의 절연 특성을 관측하였다.

#### 2.2 실험방법

사용전극은 침·평판(상부 : 침, 하부 : 평판)이며, 갭의 길이는 3[mm]로 하였다.

I-Air를 투입하기 전 챔버 내를 5×10<sup>-4</sup>[torr]까지 배기시킨 후 상온(10°C)하에서 2~6[atm]까지 I-Air를 투입 후 각 기압에서 온도센서부의 온도를 10~30[°C]까지 하강시켜갈 때 P변화와 이에 따른  $V_B$ 특성을 연구하였다. AC전원을 이용하여  $V_B$ 는 5회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

절연파괴 측정시의 전압은 상승속도 3.15[kV/s]로 하였다. 부정현상을 없애기 위해 처음 10번 정도 방전시킨 후  $V_B$ 를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 온도변화에 따른 I-Air 절연파괴특성

그림 2는 모의 GIS 장치 내에 침대평판전극을 설치하여 I-Air 가스의 T 변화에 따른 일정 P 유지 시 절연파괴 특성을 나타내었다.

8기압에서는 10[°C]에서 0[°C]까지는 파센법칙에 따라  $V_B$ 가 감소했으나, -5[°C]에서  $V_B$ 가 오히려 0.4[kV] 증가하였다. 이후  $V_B$ 가 감소하는 특성을 보였다.

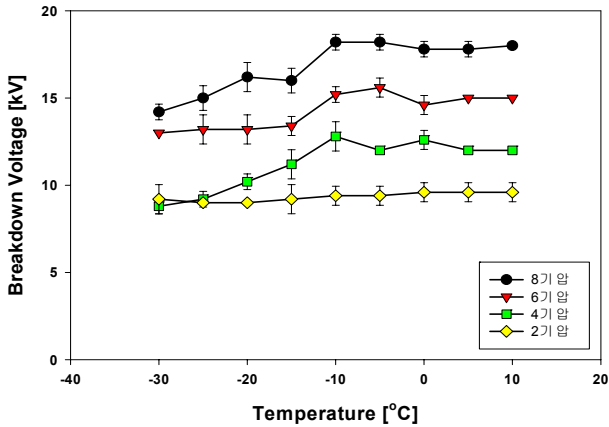
6기압의 경우에서 10[°C]에서 0[°C]까지는  $V_B$ 가 파센법칙에 따라 감소하다가 -5[°C]에서 1[kV] 상승하였다.

4기압에서도 -10[°C]에서  $V_B$ 가 0.8[kV] 증가하는 특징을 보이다가 이후 T감소에 따라  $V_B$ 가 감소하였다.

2기압에서는 T저하에 따른  $V_B$ 의 감소가 거의 없었다. 10[°C]의  $V_B$ 가 9.6[kV]에서 -30[°C]의  $V_B$ 가 9.2[kV]로 약 0.4[kV]만의 감소를 보였다.

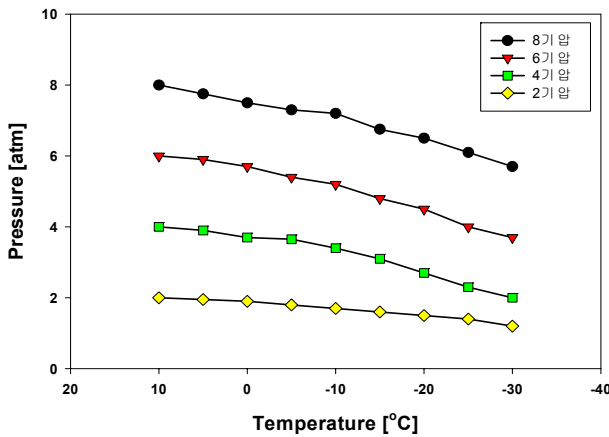
온도 감소에 따른 절연파괴의 증가구간이 존재하는 것은 온도가 낮아짐에 따른 챔버내의 압력 감소의 영향에 비해 전극부의 냉각효과로 인한 음극으로부터 방출되는 초기자유전자가 감소하는 영향으로 인해  $V_B$ 가 증가하는 것으로 보인다.

각 P별  $V_B$ 가 상승하는 구간에서 관측창을 통해 챔버 내부를 관측한 결과 액화현상은 나타나지 않았다.

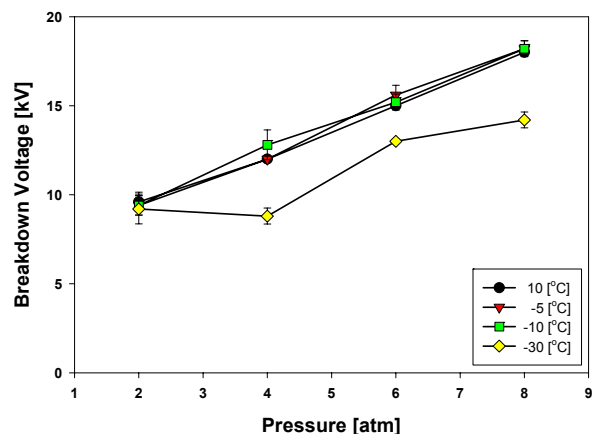


〈그림 2〉 일정 가스 량에 대한 온도-압력에 따른 I-Air의 방전특성

### 3.2 압력변화에 따른 절연과피특성



〈그림 3〉 일정 가스량에 대한 온도-압력변화



〈그림 4〉 압력변화에 따른 절연과피 전압

그림 3은 T-P변화곡선을 나타낸다. P감소는 8기압에서 평균 0.2875[atm], 6기압에서 0.2875[atm], 4기압에서 0.25[atm], 2기압에서는 0.1[atm]이었다. 하지만 전압 변화율은 8기압에서 평균 0.475[kV], 6기압에서 0.25[kV], 4기압에서 0.4[kV], 그리고 2기압에서 0.05[kV]의 변화율을 나타냈다.

챔버내 기체P가 클수록 T저하에 따른 P의 변화폭이 컸지만 V<sub>B</sub>의 변화폭은 8기압일 때가 가장 크게 나타났고, 4기압, 6기압, 2기압 순으로 감소되는 경향을 보였다.

그림 4는 P 변화에 따른 V<sub>B</sub>의 특성을 알기 위해 그림 2의 데이터에서 범례인 P를 X축에 그림 2의 X축인 T 중에서 10, -5, -10, -30[°C]만 추출하여 나타낸 것이다.

-10[°C]이상에서는 V<sub>B</sub>의 변화가 소폭 있었으나 그 이하에서는 V<sub>B</sub>가 전반적으로 감소했다. 이는 -10[°C] 이하의 온도에서 챔버내의 P의 영향이 전극의 냉각으로 인한 영향보다 더 크기 때문이라 사료된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 제조공기(I-Air)의 온도(T) 및 압력(P)변화에 따른 절연과피전압(V<sub>B</sub>)의 변화특성을 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 가스의 주입 P가 2기압에서는 V<sub>B</sub>의 특성변화는 T감소에 따라 V<sub>B</sub> 증가가 거의 나타나지 않거나 일정하였으나, 일반적으로는 P가 감소하면서 V<sub>B</sub>가 감소하는 파센법칙 구간이 전반적으로 나타났으며 일부구간에서 V<sub>B</sub>가 소폭 증가하는 구간이 나타났다.

둘째, -10[°C]이상에서는 V<sub>B</sub>의 변화가 소폭 증감하였으나 이하에서는 V<sub>B</sub>가 전반적으로 감소했다.

셋째, 챔버내 P변화는 T저하에 따라 주입 P가 클수록 그 감소폭이 크게 나타났다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Gong Guoli et al, " The influence of SF6 and SF6/N2 dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995
- [2] 이광식 외 4명, " SF6와 액체 질소의 절연과피특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8
- [3] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF6 Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF6 Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [4] 이광식 외 4명, " SF6 가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [5] Sayed A. ward " Optimun SF6-N2, SF6-Air, SF6-CO2 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 SF6중 기포거동과 절연과피특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.5.
- [7] 이동희, " SF6 대체가스 연구동향 ", 대한전기학회 논문지, 2002.7
- [8] 이창훈 외 9명, " 전극형상에 따른 제조공기의 절연과피 특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.11.
- [9] 이광식의 3명, " 컴퓨터 시스템에 의한 저온에서의 질소가스 (GN2)에 대한 방전특성측정 ", 조명전기설비학회지, 1994.8