

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

(Breakdown Characteristics of I-Air with Temperature and Pressure Variation under DC)

김도석* · 김영수 · 도영호 · 박원주 · 이광식

(Do-Seok Kim · Young-Su Kim · Young-Hoe Do · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee)

영남대학교

Abstract

본 연구는 직류 부극성(DC(-)) 전압에서 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 존재 하였다. 그리고 챔버내 P의 크기가 클수록 T저하에 대한 P감소율이 더 컸으며, 절연파괴전압(V_B)감소폭도 이와 비례해서 $60[N/cm^2]$ 에서 가장 큰 변화를 보였다.

1. 서론

산업 발달로 송전전압이 격상하고 있는 추세이며, 도시기능의 고도화 등으로 좁은 지역에서 막대한 전력이 사용되고 있다. 그러나 전원 및 전력 수송 설비의 대도시 근교로의 입지는 제한되어 발·변전 소용 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 SF₆가스를 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 SF₆가스는 arc방전에 의해 분해되어 SF₄, S₂F₂ 및 소량의 S₂, F₂, 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 지구온난화 계수가 이산화탄소의 23,900배로 매우 높고 화학적으로 매우 안정되어 대기 중 수명도 길기 때문에 대기 중에 방

출되어 장시간 축적되었을 때 지구 온난화에 끼치는 영향이 위협할 정도까지 될 수 있다. 이러한 이유에서 1997년 12월 일본 Kyoto에서 개최된 제3차 당사국회의(COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC에 더하여 SF₆ 가스도 지정되었다.

본 논문은 SF₆를 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. 본론

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], 길이 :47[cm])의 체적은 약 25,000[cm³], 외부 챔버(직경 :46[cm], 길이 :50[cm])의 체적은 약 83,000[cm³]이고, gap 간격은 최대 70[mm]까지 가능하며 100[N/cm²]에서도 내·외부챔버가 안전하도록 설계 제작하였다. 챔버의 양쪽은 챔버 내부에서 발생하는 현상을 관찰하기 위해 투명한 아크릴로 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 만들었

다. 또한, 챔버 내부의 T를 측정하기 위해 상, 중, 하 3개의 온도센서를 부착하였다. 전원은 DC(-)용 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N 150[kV] / 1[mA]을 사용하였다.

실험용 모의 챔버의 내부 P를 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~150[N/cm²])를 설치하였다. 실험용 모의 GIS 내부를 진공펌프 (SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60 l/min)로 5×10⁻⁴[Torr]까지 진공을 유지할 수 있다.

실험용 모의 챔버의 주요 사양은 P변화 (20~60[N/cm²])를 위해 안전상 100[N/cm²] 정도의 가압이 가능하고 P 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다.

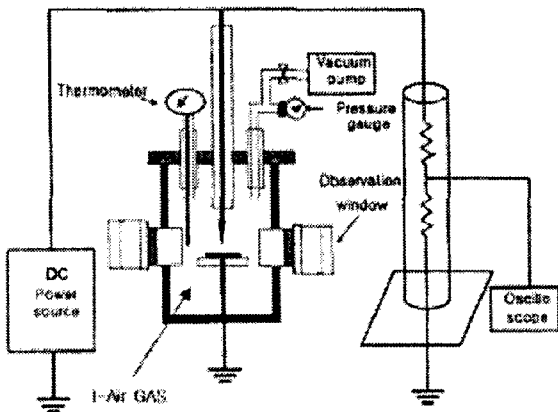


그림 1. 실험 회로
Fig. 1. The Experimental circuit

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인리스 스틸로서 전극의 배치는 수직 배치하였으며 평판전극(직경 59[mm]) 및 침전극(직경[5mm], 침단각도 20°)을 제작하였다.

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 5×10⁻⁴[torr]까지 배기시킨 후 상온(10℃)하에서 20~60[N/cm²]까지 I-Air를 투입 후 각 기압에서 온도센서부의 온도를 10~30[℃]까지 하강시켜갈 때 P변화와 이에 따른 V_B특성을 연구하였다. DC(-)전원을 이용하여 V_B는 5회 측정하여 평균한 값을 이용하였다. 절연파괴 측정시의 전압은 상승속도 3.15[kV/s]로

하였다. 부정현상을 없애기 위해 처음 10번 정도 방전시킨 후 V_B를 측정하였다.

3. 실험결과 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.

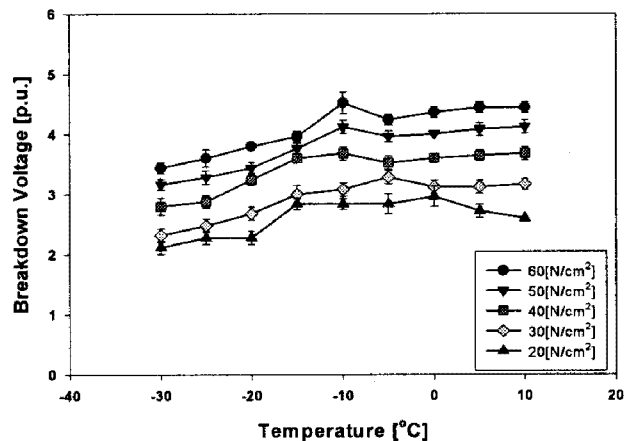


그림 2. 일정 가스 량에 대한 온도-압력에 따른 I-Air의 방전특성

Fig. 2. Breakdown voltage on the variations of temperature-pressure with a regular gas volume

60[N/cm²]의 경우에서 10[℃]에서 -5[℃]까지는 V_B가 파센법칙에 따라 감소 하다가 -10[℃]에서 0.28[p.u.] 상승하였다. 이후 V_B가 감소하는 특성을 보였다.

50[N/cm²]과 40[N/cm²]에서도 10[℃]에서 -5[℃]까지는 파센법칙에 따라 V_B가 감소했으나, -10[℃]에서 V_B가 오히려 각각 0.16[p.u.]씩 증가하였다. 이후 T감소에 따라 V_B가 감소하였다.

30[N/cm²]에서는 10[℃]에서 0[℃]까지 V_B가 3.12[p.u.]로 거의 변화 없이 일정하다가 -5[℃]에서 3.28[p.u.]로 증가하였다. 이후 파센법칙에 따라 P감소와 함께 V_B가 감소하는 특성을 보였다.

20[N/cm²]에서는 10[℃]에서 0[℃]까지 V_B가 오히려 0.36[p.u.] 상승하였고, 이후 파센의 법칙에 따르는 것으로 나타났다.

각 P별 V_B가 상승하는 구간에서 관측창을 통해 챔버 내부를 관측한 결과 액화흔적은 나타나지 않았다.

3.2 압력변화에 따른 절연파괴특성

그림 3은 T-P변화곡선을 나타낸다. P감소는 60[N/cm²]에서 평균 2.875, 50[N/cm²]에서 2.5, 40[N/cm²]에서 2.375, 30[N/cm²] 1.625, 20[N/cm²]에서는 1.125[N/cm²]이었다. 하지만 전압 변화율은 60[N/cm²]에서 평균 0.075[p.u.], 50[N/cm²]에서 0.115[p.u.], 40[N/cm²]에서 0.105[p.u.], 30[N/cm²] 0.105[p.u.], 그리고 20[N/cm²]에서 0.01[p.u.]을 나타냈다.

챔버내 기체P가 클수록 T저하에 따른 P의 변화폭이 컸으며, V_B의 변화폭은 챔버 내부 P의 크기와 거의 비례하여 감소되는 경향을 보였다.

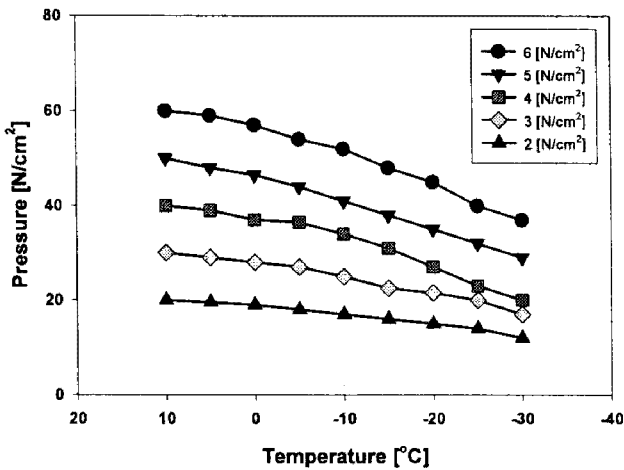


그림 3. 일정 가스량에 대한 온도-압력변화
Fig. 3. The variations of temperature-pressure with a regular gas volume

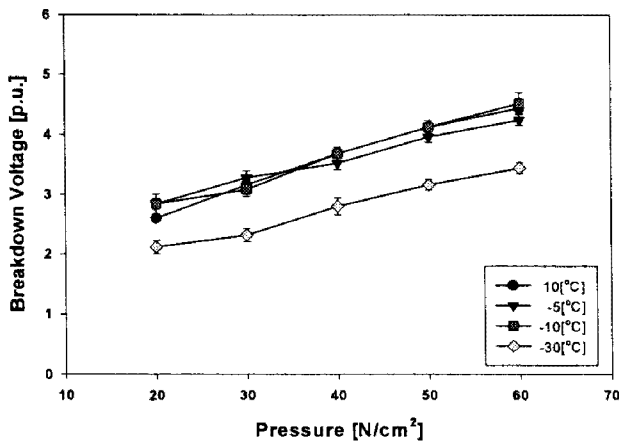


그림 4. 압력변화에 따른 절연파괴 전압
Fig. 4. The characteristics of breakdown voltage in case of variation of inner pressure

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

그림 4에서 20[N/cm²]일 때 T가 감소하는 동안 V_B가 감소하지 않고 오히려 10[°C]에서보다 조금씩 더 증가하였다. 이는 20[N/cm²]에서 챔버 내부 P의 변화는 미비한 반면 챔버 내부의 T가 상대적으로 많이 떨어져서 전극의 냉각효과가 크게 작용했기 때문으로 판단된다. 30[N/cm²] 이상에서는 T가 감소하는 구간에서 오히려 V_B가 증가하였는데, 이는 I-Air의 온도 변화에 대한 절연특성으로 여겨진다.

3. 결론

본 연구는 DC(-)에서 제조공기(I-Air)의 온도(T) 및 압력(P)변화에 따른 절연파괴전압(V_B)의 변화특성을 연구하였으며, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, P가 감소하면서 V_B가 감소하는 파센법칙 구간이 전반적으로 나타났으나, 30~60[N/cm²]에서 각각 -10[°C]에서 V_B가 소폭 증가하는 구간이 나타났다.

둘째, 가스의 주입 P가 20[N/cm²] 이하에서는 V_B의 특성변화는 T감소에 따라 V_B증가가 10~60[°C]에서 단계적으로 증가하다가 이후 파센에 법칙에 따라 감소하였다.

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

참고 문헌

- [1] Cong 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 절연파괴특성과 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 절연파괴특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.5.
- [7] 이동희, " SF₆ 대체가스 연구동향 ", 대한전기학회 논문지, 2002.7
- [8] 이창훈 외 9명, " 전극형상에 따른 제조공기의 절연파괴특성에 관한 연구 ", 조명전기설비학회지, 2006.11.
- [9] 김도석 외 6명, " 온도 및 압력 변화에 따른 제조공기(I-Air)의 절연파괴특성", 조명전기설비학회지, 2007.5.
- [10] 김영수 외 5명, " 전극형상에 따른 건조공기(Dry-Air)의 절연파괴 특성에 관한 연구", 대한전기학회 논문지, 2007.7