

온도변화에 따른 SF₆와 I-Air의 절연파괴특성 비교

(A Comparison of the Breakdown Characteristics for SF₆ and I-Air based on Temperature variations)

박혜리 · 김도석 · 이상호 · 우성훈 ◆ · 이광식

(Herie Park · Do-Seok Kim · Sang-Ho Lee · Sung-Hun Woo · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, ◆경운대학교

Abstract

This paper gives a basic data of the breakdown characteristics of I-Air(Imitation Air, N₂:O₂=79:21) and SF₆ gas based on temperature variations in experimental GIS model by applying negative DC voltage. The breakdown characteristics were compared with gas pressures and each gas already entered in GIS model. The characteristics of I-Air and SF₆ were different in specific temperature range that SF₆ gas was being liquefied. The breakdown voltages of SF₆ were more higher than I-Air except for 4[atm] at -10~0[°C].

1. 서 론

1900년 H.Moissan에 의해 세계 최초로 합성된 SF₆는 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 SF₆는 고압 및 저온에서 쉽게 액화될 뿐만 아니라, 분해물인 SF₄, S₂F₂ 및 소량의 S₂, F₂, S, F 등은 도체를 부식시키고, 독성을 가지고 있으며, 가격이 비싼 단점이 있다.

그리고 SF₆의 지구온난화계수(Global Warming Potential, GWP)는 100년이 경과한 시점에서 CO₂의 GWP의 23,900배에 달한다고 알려져 있으며, 1997년 채택되어 2005년 비준·발효된 교토의정서에 따라 기존의 온실가스인 CO₂(이산화탄소), N₂O(아산화질소), CH₄(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 SF₆의 사용량 감축이 불가피하며, 특히 전력기기에 사용되어지고 있는 SF₆의 대체물질 개발이 시급한 과제이다.

SF₆를 대체할 수 있는 친환경 물질로서 CO₂, N₂,

SF₆/N₂혼합가스, N₂/O₂혼합가스, Dry-Air 등이 대두되고 있는 바, 본 논문에서는 N₂/O₂혼합가스인 I-Air(제조 공기, 순도99.9%인 N₂ 79%, 순도99.9%인 O₂ 21%)의 온도 및 압력 변화에 따른 절연파괴특성을 SF₆와 비교해 보고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

사진 1-(a)는 본 연구에서의 모의 GIS 챔버 사진이며, 그 사양은 다음과 같다. 두께 20[mm]의 스테인레스로 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 있다.

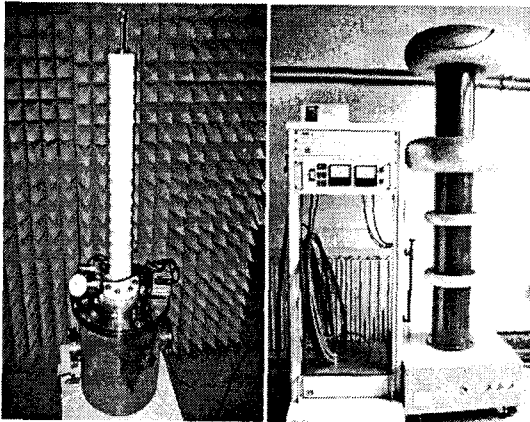
챔버 내부에 가압하기 전, 진공펌프(SINKU KIKO Co. Ltd, GUD-050A, Pumping seed 60 l/min)를 챔버에 연결하여 내부압력을 5×10⁻⁴[Torr]로 배기시켰으며,

가압시 압력계(WISE, 0~15기압)를 사용하였다.

전극은 스테인리스 스틸로 만든 평판전극(직경 59[mm])과 침전극(직경 5[mm], 침단 각도 20°)을 챔버 내부에 수직 배치하였다.

또한, 드라이아이스를 챔버 상부에 접촉시켜 챔버 내부의 온도를 저하시켰다.

실험에 사용한 전원장치는 DC(-)용 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N 150[kV]/1[μ A]이며, 사진1-(b)와 같다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) DC(-)용 전원장치

사진 1. 모의 GIS 챔버와 DC(-)용 전원장치

Photo. 1. Experimental GIS chamber and DC(-) power Supply

2.2. 실험방법

실험을 위해 침 대 평판 전극을 수직배치(상부 : 침전극, 하부 : 평판전극)하여 사용하였으며, 갭 길이는 3[mm]로 동일하게 하였다.

I-Air(제조공기, 순도99.9%인 N₂ 79%, 순도99.9%인 O₂ 21%)와 SF₆를 모의 GIS 챔부 내부에 주입하기에 앞서, 진공펌프를 이용하여 챔버 내부와 가스를 주입하는 호스 내부를 5×10⁻⁴[Torr]의 진공 상태로 만들었다.

그 후, 30[°C]에서 4, 5 및 6[atm]의 I-Air와 SF₆를 각각 챔버 내에 일정하게 주입하였고, 각각의 경우 챔버 내부 온도를 30[°C]~ -40[°C]로 변화시켰으며 3개의 온도 센서를 이용하여 온도를 확인하였다. 10[°C] 간격으로 챔버에 DC(-) 전압을 각 5회씩 인가하여 절연파괴전압을 측정하였다.

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 온도변화에 따른 I-Air 절연파괴특성

그림 1은 모의 GIS 내 침 대 평판전극을 설치한 후, 30[°C]에서 I-Air의 주입 압력을 4, 5 및 6[atm]으로 하여 일정 가스량을 유지시키고 각 압력에 대한 온도를 변화시켰을 때의 절연파괴특성을 나타낸 것이다.

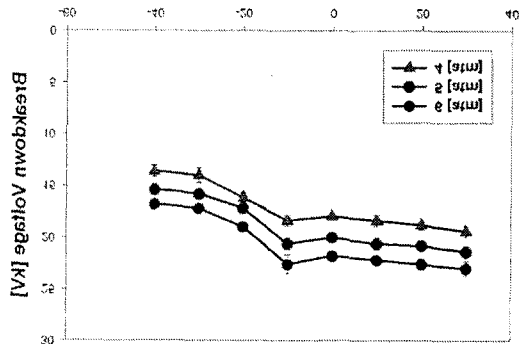


그림 1. I-Air 주입 압력 4, 5 및 6[atm]일 때의 온도에 따른 절연파괴특성
Fig. 1. Breakdown voltage on the variation of temperature at 4, 5 and 6[atm]

-40~-10[°C], 0~30[°C] 사이의 구간에서는 온도가 저하됨에 따라 압력도 저하되므로 Pd(P:압력, d:전극간 갭 길이)와 절연파괴전압(V_B)간의 관계를 표현하는 Paschen's law에 따라 절연파괴전압이 감소하였으나, -10~0[°C] 사이에서는 절연파괴전압이 예외적으로 증가하는 구간이 나타남을 알 수 있다.

또한, 동일한 온도에서는 주입한 I-Air의 압력 4, 5 및 6기압에 대하여, 압력이 높을수록 절연파괴전압이 높음을 확인할 수 있다. 각 온도에 대하여 I-Air 주입량이 5기압일 때의 절연파괴전압을 1로 두었을 경우, 4, 5, 6기압에서의 절연파괴전압의 비는 약 4[atm] : 5[atm] : 6[atm] = 0.90 : 1.00 : 1.09 가량이다.

3.2. 온도변화에 따른 I-Air와 SF₆의 절연파괴특성비교

그림 2는 I-Air가 4, 5 및 6[atm]일 때 동일 조건 하에서의 SF₆가스와의 절연파괴특성을 서로 비교하여 나타낸 것이다.

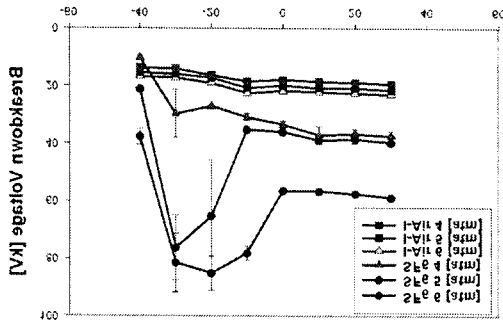


그림 2 SF₆와 I-Air의 주입 압력 4, 5 및 6[atm]일 때의 온도에 따른 절연파괴특성 비교
 Fig. 2. Comparison of Breakdown voltage of SF₆ and Dry-Air on the variation of temperature at 4, 5 and 6[atm]

SF₆의 경우, I-Air와 같이 온도 감소에 따라 Paschen's law에 의해 절연파괴전압이 감소하는 구간(0~30[°C])이 있는 반면, 절연파괴전압이 급격하게 증가하는 구간(-30~0[°C])이 있다. 이 구간은 SF₆의 액화가 진행되는 상전이 구간으로 알려져 있다. 액화된 SF₆가 상부(침)·하부(평판) 전극을 일시적으로 혹은 지속적으로 덮고 있기 때문에 절연파괴전압이 높게 나타나며, 또한, 챔버 내에 기체와 액체가 공존하기 때문에 절연파괴전압의 편차가 크게 나타남을 알 수 있다. -30[°C] 이하의 구간에서는 절연파괴전압이 다시 급격하게 감소하는데, 이는 대부분의 SF₆가스가 액화되어서 챔버 하부에 고이게 되며 챔버 내 전극 주위에는 액화되지 못한 미량의 SF₆가스와 배기되지 못한 잔류 공기가 존재하기 때문이다.

SF₆와 I-Air의 절연파괴전압을 비교해보면, 6기압에 서는 각 온도에 대하여 SF₆의 절연파괴전압이 I-Air의 절연파괴전압보다 2.24~4.74배 가량 높고, 5기압의 경우, SF₆의 절연파괴전압이 I-Air보다 1.80~4.82배 가량 높게 나타난다. 4기압의 경우에도 -30[°C] 이상의 온도에서는 SF₆의 절연파괴전압이 I-Air의 절연파괴전압에 비해서 1.67~2.11배 높으나, -40[°C] 이하에서는 SF₆의 절연파괴전압이 I-Air의 절연파괴전압에 비해서 0.75배 낮음을 확인할 수 있다.

I-Air의 경우, SF₆와 동일한 상태에서는 상변이가 일어나지 않기 때문에(I-Air의 액화 임계온도와 임계압력은 각각 -140[°C], 38[atm]) 온도에 따라 SF₆와 비슷한 절연특성을 보이지는 않으며, 일부 구간에서 예외는 있었으나 일반적으로 Paschen's law를 따르고 있음을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 챔버 내 일정한 압력에 따른 I-Air의 온도 변화에 대한 절연파괴특성을 압력에 대하여 비교해 보았으며, 그 특성을 동일 조건 하에서의 SF₆의 절연파괴특성과도 비교해 보았다.

I-Air의 온도 변화별 각 압력에 대한 절연파괴 전압의 비는 4[atm] : 5[atm] : 6[atm] = 0.90 : 1.00 : 1.09로써, 일부 구간(-10~0[°C])을 제외하고는 Paschen's law가 성립함을 확인하였다.

SF₆의 경우, 기체에서 액체로 변화하는 상전이 구간이 존재하므로 각 온도 구간에 대한 절연파괴전압의 편차가 컸으며, 4[atm], -40[°C]에서의 절연파괴전압을 제외하고는 I-Air보다 약 1.67~4.82배 절연특성이 좋음을 확인하였다.

참고 문헌

- (1) 김도석 "온도 및 압력변화에 따른 I-Air의 절연파괴특성", 영남대학교, 석사학위논문 p.35, 2008.02
- (2) 이광식, 김도석 외 5명 "온도 및 압력변화에 따른 제조공기(I-Air)의 절연파괴특성", 한국조명·전기설비학회지, 2007.05
- (3) 이광식 외 4명, "SF₆가스의 온도변화에 따른 절연특성", 대한전기학회 논문지 Vol.52C No.8, 2003.08
- (4) 이광식 외 4명, "SF₆와 액체질소의 절연파괴특성과 정기포 현상", 대한전기학회논문지, Vol.54C No.8, 2005.08
- (5) 이광식, 이창욱 외 6명, "불평등 전계하의 제조공기(I-Air)에 대한 절연파괴 특성", 한국조명·전기설비학회지, 2007.05
- (6) Toshiaki Rokunche, "Development of SF₆-Free 72.5kV GIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol. 22, No. 3, pp.1869~1876, 2007.07