

SF₆의 상전이에 따른 연면방전특성

(The Phase Transition and the Surface Flashover Characteristics of SF₆)

최은혁 · 이정환 · 박혜리 · 장승호 · 우성훈* · 박광서** · 이광식

(Eun-Hyeok Choi · Jung-Hwan Lee · Herir Park · Seung-Ho Jang · Sung-Hun Woo · Kwang-Seo Park · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, *경운대학교, **경일대학교

Abstract

In this paper, insulations characteristics by temperature changes(+10~-60[°C]) of SF₆ gas in the experimental chamber were studied. From this result, The breakdown characteristics classify the gas & liquid coexisted stage of voltage value increases & much deviation and the V_B low stage as the interior of chamber gets filled with mixture of SF₆ that are not liquefacted and remaining air which couldn't be ventilated. In addition the ability of insulation of liquid SF₆ was higher than that of the highly pressurized SF₆ gas. In this research, we want to provide the base data on designing insulation of high-temperature superconductor and the cryogenic equipments by investigating the insulation characteristics of SF₆.

1. 서론

산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통 운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되고 있다. 이에 따라 절연 특성이 매우 우수한 고압의 SF₆가스를 절연 재료로 사용하는 변전기기의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에서 건설 및 운용 중이다.

현대사회가 첨단과학의 이기를 갈망함에 따라 현재보다 더 많은 전력에너지를 필요함과 동시에 도시의 공간 활용의 효율성 측면에서 전력기기들의 소형화 및 고 신뢰화가 시도되고 있다. 또한, SF₆ 가스 적용 변전기기는 공급범위가 확대되어, 혹한 지역에 설치가 되고 있는 데, 이 경우 온도 저하에 따라 액화현상으로 절연특성의 큰 변화를 가져옴으로서 오동작 현상이 큰 문제점으로 지적 되고 있다.

또한, SF₆ 가스의 온난화 계수가 이산화탄소의 23,000배로 대기 중으로 방출될 경우에 온실효과 문제를 야기 시켜 세계적으로 "Kyoto Protocol"에 의해 규제를 가하고 있는 실정이다. 하지만 현실적으로 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 물질은 없는 상

태에서 SF₆의 전력기기의 소형화, SF₆의 안전성을 확보가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 Knife 형 전극을 수평 배치하여 갭 간격(d) 5[mm]에서 온도저하시 절연파괴전압 (V_B)을 측정하여 SF₆ 하에서 연면방전시 절연특성을 究明하였다.

2. 실험장치 및 방법

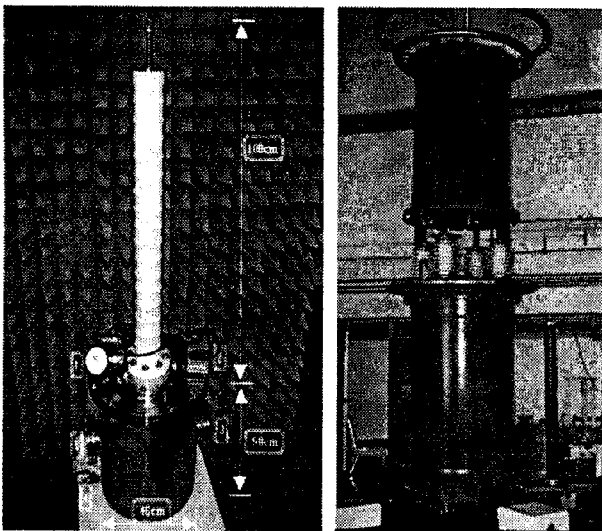
2.1. 실험장치 / 방법

본 연구에 사용된 실험용 챔버의 외관은 사진 1-(a)과 같고 이것은 SF₆의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버이다. 최대 인가전압은 AC 300[kV]까지 인가 가능하다. 사진 1-(b)와 같이 전원은 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였다. 실험용 챔버 내부온도를 관측하기 위하여 온도센서(UNICON, -90[°C]~90[°C])를 실험용 챔버 내부 중심부에 수평으로 Knife 전극을 설치하였다. 실험용 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계 (WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부를 진공펌프 (SINKU KIKO Co.Ltd,

GUD-050A, pumping speed 60 l/min)로 5×10^{-4} [Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 열 절연을 위하여 챔버 내·외부 사이에 진공층을 두었다.

실험용 챔버 내부에 설치된 온도센서와 전극부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])을 설치하였다. 이 관측창의 재질은 투명 아크릴이며, 원통형으로 제작 설치하였다.

실험용 챔버의 주요 사양은 압력 변화(2~6[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 압력 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 또한 온도변화(90~-90℃) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을 가진 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치

사진 1. 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300[kV] 전원장치

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Knife-Knife 전극(K-K) 사용하였다. 전극의 배치는 그림 1과 같이 수평 배치하였으며, 전극은 스테인레스 스틸을 사용하여 Knife 전극 (길이 43[mm], 직경 10[mm], 두께 2[mm], 곡률반경 45°)을 제작하였다.

SF₆의 온도저하에 따른 절연파괴실험은 모의 GIS 내부를 진공(5×10^{-4} [torr])으로 한 후 SF₆ gas를 3기압 주입시킨 상태에서 Dry-ice를 모의 GIS

상부에 접촉시켜 온도를 저하함에 따른 절연파괴 실험을 진행하였다. V_B는 5회 측정하여 최대/최소 에러바를 사용하여 평균값으로 표현하였다.

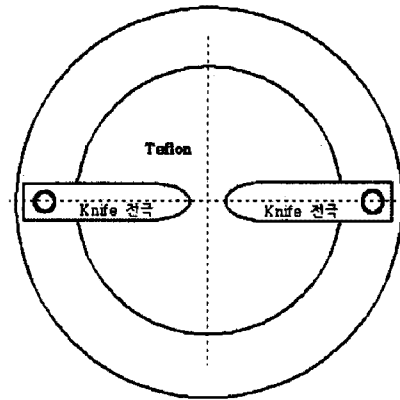


그림 1. Knife 전극의 배치

3. 실험결과 및 고찰

그림 1은 챔버내에 K-K을 설치하여 10[℃]에서 일정 SF₆ 가스량을 3기압으로 유지시 온도 대한 V_B특성을 나타낸다. 본 실험은 혹한 지역에서의 SF₆을 이용한 전력기기들의 온도변화에 따른 내부 SF₆ 상태와 절연특성을 확인하기 위함이다.

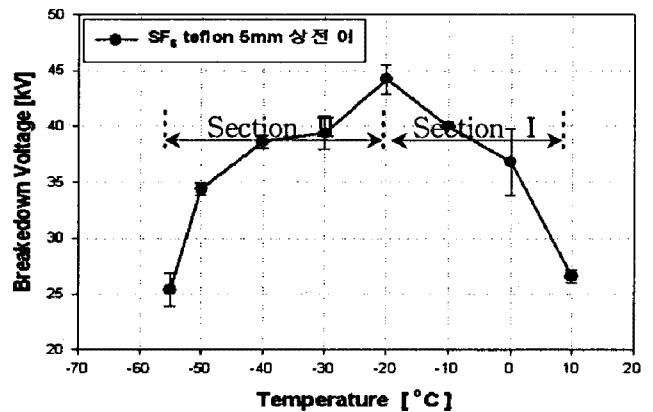


그림 2. 일정가스량 유지시 온도 따른 SF₆의 연면 방전특성

그림 2에서 Section I은 각 압력에 대한 기체 상태에서 온도의 감소에 따라 압력이 감소하는 단계이다. 이때는 온도가 떨어짐에 따라 압력이 서서히 감소하는 구간이다. 일반적으로 기체에서 온도저하에 따라 V_B도 함께 서서히 떨어지는 구간으로

Paschen's law의 적용이 가능한 영역이지만, 수평 K-K전극에서는 온도저하에 따라 SF₆가 챔부내에서 전압인가에 따른 코로나 열에 의하여 상대적으로 온도가 높은 전극표면에 이슬형태로 액체 SF₆(LSF₆)가 맺히는 현상을 관찰하였다. 이에 상대적으로 높은 절연내력을 가지고 있는 LSF₆가 전극주변을 도포하여 그림과 같이 상승하는 경향을 보여주고 있다.

전극주변을 이슬형태로 도포한 LSF₆는 일정시간이 지나면서 방울형태로 전극의 하단부로 이동하여 수평전극의 하단부로 모이게 되어 그림1에서 0[°C] 같은 V_B의 최대/최소값의 격차가 커짐을 확인하였다. 따라서 0[°C]일때 V_B 특성은 액화가 진행되고 있는 단계로서 K-K간의 절연매체는 SF₆와 LSF₆가 공존하는 영역의 절연특성이라 볼 수 있다.

또한 -20[°C] 부근에서는 수평으로 배치된 각각의 전극하단에 모여 있던 LSF₆가 전극사이에 모여 LSF₆의 입자들이 서로 당겨 액체의 표면 장력에 의하여 수평으로 배치된 전극의 첨단표면을 풍선처럼 팽팽하게 도포하게 되어 가장 높은 V_B이 측정됨을 확인하였다.

Section II는 챔버 내부의 대부분의 SF₆가 거의 모두 액화 되어 모의 GIS 하부에 LSF₆가 모이게 되고 전극 주변에는 액화되지 않은 극히 저밀도의 SF₆ 가스와 배기되지 못한 잔류 공기의 혼합체로 채워진 극히 낮은 압력상태로 되어 V_B가 크게 낮아지는 단계이다.

4. 결 론

본 논문은 AC 고전압을 사용하여 SF₆의 수평 Knife전극 배치시 온도저하에 따른 절연과파특성을 究明하였다.

- 1) SF₆의 액화가 진행됨에 따라 절연과파 전압은 크게 상승하며 이때는 최대 및 최소 절연과파전압의 차이가 크게 나타난다(Section I).
- 2) SF₆의 액화가 더욱더 진행될 경우 챔버 내부에는 액화되지 않은 저밀도 SF₆ 가스와 잔류

공기로 채워지게 되며 압력 또한 극히 낮은 상태로 되기 때문에 절연과파 전압이 크게 낮아지게 된다(Section II).

앞으로 LSF₆에 관한 연구를 보완하고 장래에 이 연구 결과를 응용하면 각종 고온 초전도 및 극저온 응용설비의 절연설계에 기초자료, 대체 절연물로 사용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Landry, M. et al. " Dielectric withstand and breaking capacity of SF₆ circuit breakers at low temperatures " Power Delivery, IEEE Transactions on, pp. 1029~1035, July 1988
- [2] 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
- [3] T.Ueda et al, " Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF₆ Gas from External Noise Using Phase Gate Control Method ", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 117~120, 1996
- [4] Kwang-Sik Lee, " A Study on the discharge characteristics of liquid nitrogen at atmospheric pressure ", KIEE Vol 45 No 7, 1996.7.
- [5] C.Beyer et al. " Influence Reactive SFX Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [6] Kwang-Sik Lee, " A Study on the Discharge Characteristics of Liquid Nitrogen and Gases at Very Low Temperature ", KEPCO, 1993.8.
- [7] Kyeung-Tae Park, " The Characteristics of Discharge and Radiated Electromagnetic Waves with a Variation of Temperature in SF₆ ", Yeungnam Univ. , 2002.12.
- [8] Kwang-Sik Lee, " The Characteristics of Insulation with Temperature Variations of SF₆ "KIEE Vol 52C No 8, 2003.8
- [9] Kwang-Sik Lee, Eun-Hyuck Choi, " The Positive Effect and the Breakdown Characteristics in SF₆ and LN₂ ", KIEE Vol 54C No 8, 2005, 8