

## 온도저하에 따른 SF<sub>6</sub>의 연면파괴특성

최은혁, 이상호, 장승호, 임창호\*, 이광식  
영남대학교, (주)우보엔지니어링\*

### The Surface Flashover Characteristics of SF<sub>6</sub> with a variation of Temperature

Eun-Hyeok Choi, Sang-Ho Lee, Seung-Ho Jang, Chang-Ho Lim\*, Kwang-Sik Lee  
Yeungnam University, Woobo\*

**Abstract** - In this paper, insulations characteristics by temperature changes(+30~-40[°C]) of SF<sub>6</sub> 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<sub>B</sub> low stage as the interior of chamber gets filled with mixture of SF<sub>6</sub> that are not liquefacted and remaining air which couldn't be ventilated. In addition the ability of insulation of liquid SF<sub>6</sub> was higher than that of the highly pressurized SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub>.

를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다.

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

SF<sub>6</sub>의 온도저하에 따른 절연파괴실험은 모의 GIS 내부를 진공(5×10<sup>-4</sup>[torr])으로 한 후 SF<sub>6</sub> gas를 3기압 주입시킨 상태에서 Dry-ice를 모의 GIS 상부에 접촉시켜 온도를 저하함에 따른 절연파괴실험을 진행하였다. V<sub>B</sub>는 5회 측정하여 최대/최소 에러바를 사용하여 평균값으로 표현하였다.

## 1. 서 론

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 SF<sub>6</sub>가스를 절연체재료로 사용하는 변전기기의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에서 건설 및 운용 중이다.

현대사회가 첨단과학의 이기를 갈망함에 따라 현재보다 더 많은 전력 에너지를 필요함과 동시에 도시의 공간 활용의 효율성 측면에서 전력기 기들의 소형화 및 고 신뢰화가 시도되고 있다. 또한, SF<sub>6</sub> 가스 적용 변전기기는 공급범위가 확대되어, 혹한 지역에 설치가 되고 있는 데, 이 경우 온도 저하에 따라 액화현상으로 절연특성의 큰 변화를 가져옴으로써 오동작 현상이 큰 문제점으로 지적되고 있다.

또한, SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> 가스를 대체할 수 있는 물질은 없는 상태에서 SF<sub>6</sub>의 전력기기의 소형화, SF<sub>6</sub>의 안전성을 확보가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 Knife 형 전극을 수평 배치하여 갭 간격(d) 5[mm]에서 온도저하시 절연파괴전압(V<sub>B</sub>)을 측정하여 SF<sub>6</sub> 하에서 연면방전시 절연 특성을 究明하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에 사용된 실험용 챔버의 외관은 사진 1-(a)과 같고 이것은 SF<sub>6</sub>의 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<sup>-4</sup>[Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 열 절연을 위하여 챔버 내·외부사이에 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[°C]) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을 가진 SF<sub>6</sub> 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가



(a) 모의 GIS 챔버

(b) AC 전원장치

사진 1. 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300[kV] 전원장치

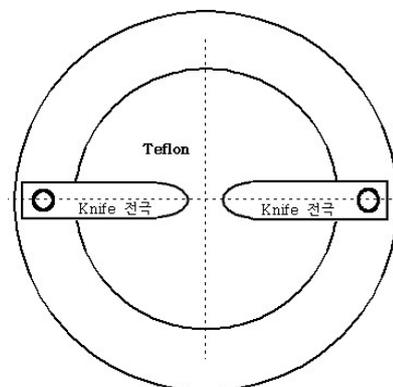


그림 1. Knife 전극의 배치

## 2. 실험결과 및 고찰

### 2.2.1 온도변화에 따른 연면전압파괴특성

그림 2에서 Section I은 각 압력에 대한 기체상태에서 온도의 감소에 따라 압력이 감소하는 단계이다. 이때는 온도가 떨어짐에 따라 압력이 서서히 감소하는 구간으로 기체에서 온도저하에 따라  $V_B$ 도 함께 서서히 떨어지는 구간으로 Paschen's law의 적용이 가능한 영역이다. 하지만 수평 K-K전극에서는 온도저하에 따라 SF<sub>6</sub>가 챔버내에서 전압인가에 따른 코로나 열에 의하여 상대적으로 온도가 높은 전극표면에 이슬형태로 액체 SF<sub>6</sub>(LSF<sub>6</sub>)가 맺히는 현상을 관찰하였다. 이에 상대적으로 높은 절연내력을 가지고 있는 LSF<sub>6</sub>가 전극주변을 도포하여 그림과 같이 많은 편차를 가지고 있다.

Section II 전극주변을 이슬형태로 도포한 LSF<sub>6</sub>는 일정시간이 지나면서 방울형태로 전극의 하단부로 이동하여 수평전극의 하단부로 모이게 되며, 0[°C]부근 부터 액화가 진행되고 있는 단계로서 K-K간의 절연매체는 SF<sub>6</sub>와 LSF<sub>6</sub>가 공존하는 영역의 절연특성이라 볼 수 있다.

또한 -20[°C] 부근에서는 수평으로 배치된 각각의 전극하단에 모여 있던 LSF<sub>6</sub>가 전극사이에 모여 LSF<sub>6</sub>의 입자들이 서로 당겨 액체의 표면장력에 의하여 수평으로 배치된 전극의 첨단표면을 풍선처럼 팽팽하게 도포하게 되어 높은  $V_B$ 이 측정됨을 확인하였다. 기체 SF<sub>6</sub>가 LSF<sub>6</sub>로 되는 온도는 압력에 따라 다르나 실험에서 전극부 온도가 -0~-10[°C] 일 때 액화가 된다. 실제 액화지점은 챔버 상부, 즉 냉매인 드라이아이스가 접촉된 곳이므로 액화온도는 이 온도보다 더 낮음을 알 수 있다.

Section III는 챔버 내부의 대부분의 SF<sub>6</sub>가 거의 모두 액화되어 모의 GIS 하부에 LSF<sub>6</sub>가 모이게 되고 전극 주변에는 액화되지 않은 극히 저밀도의 SF<sub>6</sub> 가스와 배기되지 못한 잔류 공기의 혼합체로 채워진 극히 낮은 압력상태로 되어  $V_B$ 가 크게 낮아지는 단계이다.

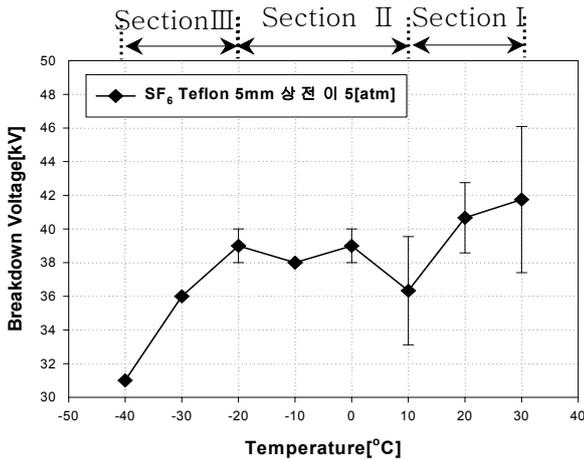


그림 2. 온도변화에 따른 연면전압파괴특성

### 2.2.2 일정가스량에 대한 온도-압력변화

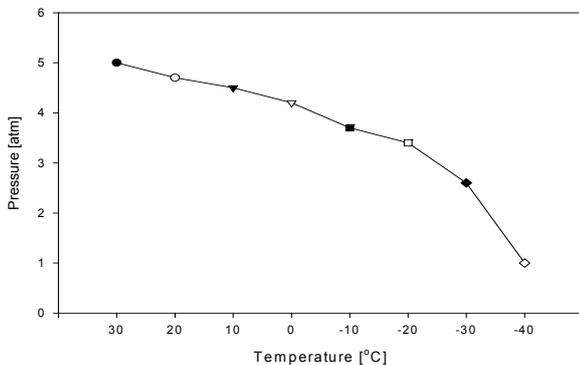


그림 3. 일정가스량 유지시 온도저하에 따른 압력특성

그림 3는 온도변화에 따른 압력변화 특성을 도식화하였다. 일정 온도 구간 영역별로는 보일-샤르의 법칙에 의해 챔버내에 일정 가스량(30°C에서 5기압)을 채우고 온도를 저하시켜가면 그림과 같이 압력이 떨어짐을 보여주고 있다. 30°C일 때 5기압에서 -40°C가 되면 1기압이 되어 30°C 일 때의 20%로 크게 낮아짐을 알 수 있다. 그림 3에서 보여주는 바와 같이 일정온도 구간별로는 압력이 선형적으로 저하함을 보여주는데 이것은 챔버 내의 SF<sub>6</sub>가 가스상태일때 및 가스상태의 SF<sub>6</sub>와 LSF<sub>6</sub>가 공존할 때와는 가스가 차지하는 체적이 상호 다르게 되므로 전 온도구간에서는 선형적으로 이루어지지 않음을 알 수 있다.

## 3. 결 론

본 논문은 AC전압 사용하여 SF<sub>6</sub>의 상전이특성, 온도-압력특성에 관한 연구로 요약 기술하면 다음과 같다.

### (1) 일정 가스량에 대한 온도-압력 절연파괴전압 특성

Section I은 압력에 따른 SF<sub>6</sub>의 기체 단계에서는 Paschen's Law에 따른 특성을 확인하였다, 액화가 진행되면서 Section II에서는 절연파괴 전압은 상승하며 이때는 최대 및 최소 절연파괴전압의 차이가 크게 나타난다. Section III은 SF<sub>6</sub>의 액화가 더욱더 진행될 경우 전극주변에는 액화되지 않은 저밀도 SF<sub>6</sub> 가스와 잔류공기로 채워지게 되며 이때는 극히 낮은 압력상태로 되기 때문에 절연파괴 전압이 크게 낮아지게 된다.

### (2) 일정가스량 유지시 온도-압력변화

일정 온도구간 영역별로는 보일-샤르의 법칙에 의해 온도를 저하시켜가면 압력이 떨어짐을 확인하였으며, 챔버 내의 SF<sub>6</sub>가 가스 상태일 때와 가스와 액체가 공존하는 비가 상이하여 전 온도구간에서 선형적으로 이루어지지 않음을 확인하였다.

## [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