

평등전계시 SF₆의 상변화에 따른 절연파괴특성

(Breakdown Characteristics about SF₆ in Different State under Uniform Fields)

최은혁·박혜리·우성훈*·장승호·김이국**·이광식

(Eun-Hyeok Choi · Herir Park · Sung-Hun Woo · Seung-Ho Jang · Lee-Kook Kim · Kwang-Sik Lee)

영남대학교, *경운대학교, **경일대학교

Abstract

In this paper the experiments of breakdown characteristics SF₆ liquid (LSF₆) in model GIS(Gas Insulated Switchgear) were described. From the experiments results, The ability of LSF₆ insulation is higher than high-pressurized SF₆ gas. The breakdown characteristics of LSF₆ were produced by bubble formed evaporation of LSF₆ and bubble caused by high electric emission. It is considered in this paper that the results are fundamental data for electric insulation design of superconductor and cryogenic equipments machinery which will be studied and developed in the future.

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 지적되고 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 상태에서 SF₆의 전력기기의 소형화, SF₆의 안전성을 확보가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 평등전계시 SF₆를 액화시켜 기존

의 SF₆ 가스, 액체 SF₆(LSF₆), 젤상태의 SF₆(GSF₆)의 절연파괴특성을 측정 / 분석하여 SF₆의 상변화에 따른 절연파괴특성을 검토하고, 혹한 지역에 있는 전력설비의 온도저하에 따른 LSF₆를 구멍함으로서 각종 고온 초전도 및 극저온 응용 설비의 절연설계에 기초 자료를 제공하고자 한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

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 전극부와 평행하게 전극 수직 중심축과 8[cm] 떨어진 곳에 설치하였다. 실험용 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부를 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60ℓ/min)로 5×10⁻⁴[Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 열 절연을 위하여 챔버 내·외부사

이에 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.

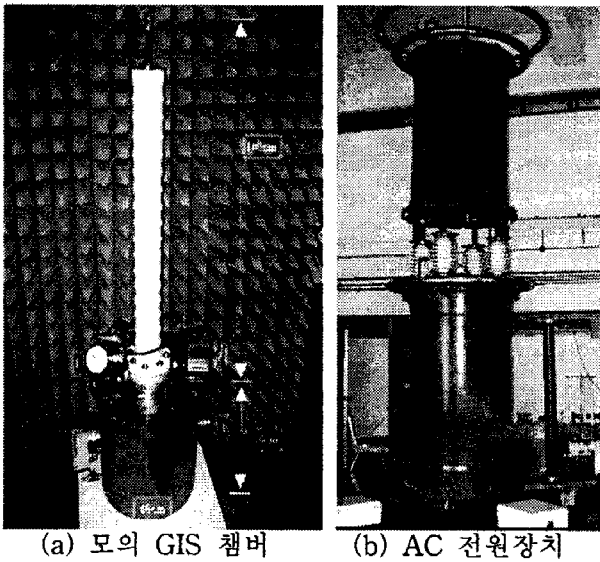


사진 1. 실험용 모의 GIS 챔버,
AC 300 [kV] 전원장치

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Sphere-Sphere (구직경 41[mm], S-S)을 사용하였 제작하였다. 전극간 거리(d)는 Micrometer로 외부에서 조정 (정도 : 5×10^{-2} [mm]) 가능한 구조이다.

2.2. 실험방법

SF₆가스의 실험방법은 가스를 투입하기 전 챔버 내를 5×10^{-4} [torr]까지 배기시킨 후 혼합가스를 혼합비별로 가스압을 기준으로 일정압력에 대하여 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시 절연파괴전압(V_B) 특성 연구하였다. V_B는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

LSF₆에 관한 실험은 모의 GIS 내부를 진공 (5×10^{-4} [torr])으로 한 후 SF₆ gas를 4기압 주입시킨 상태에서 Dry-ice를 모의 GIS 상부에 접촉시켜 온도를 하강시켰다. 온도 센서부의 온도가 0~-10[℃]에서 SF₆ gas의 액화가 진행되면 전극이 함침 될 때까지 SF₆ gas를 일정 속도로 주입하여 전극부를 모두 LSF₆에 함침되게 하였다. 이 때 사용된 전극은 S-S를 사용하였으며, 전극형상에 따른 각 d에서 절연파괴전압(V_B)을 측정하였다.

또한 GSF₆의 경우는 LSF₆상태에서 기화열을 이용하여 LSF₆를 젤상태로 만들어 챔버내에서와 대기중에서 각각 실험하였다.

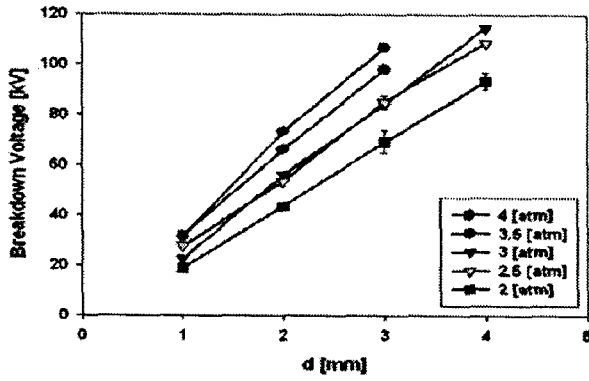
3. 실험결과 및 고찰

3.1. SF₆ Gas와 LSF₆의 절연파괴전압 특성

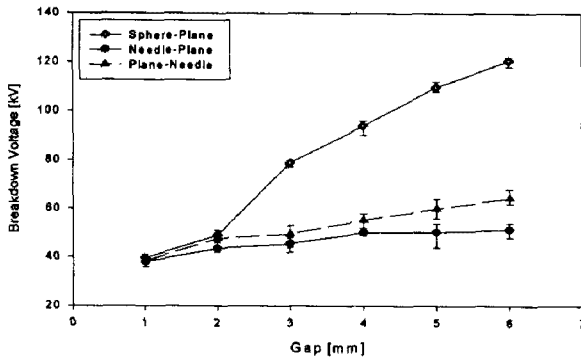
그림 1은 SF₆의 기체, 액체 상태에서 전극형상에 따른 V_B특성을 보여주고 있다. 그림 1-a의 SF₆ Gas S-S 전극인 경우 평등전계 영역의 실험결과로 d의 증가에 따라 선형적 상승을 보이고 있다.

그림 1-(b)는 각종 전극을 LSF₆에 함침시킨 경우의 d의 변화에 따른 AC V_B 특성 나타내었다. 그림과 같이 각 전극형상에 대하여 전극간 거리에 따라 V_B 변화율은 상이하지만, 모든 전극에서 d의 증대에 따라 상승경향을 보여준다.

또한 그림에서 평등에 가까운 S-P의 갭 증가에 따른 V_B의 증가량이 P-N과 N-P보다 상대적으로 높은 것을 확인할 수 있다. 그 이유는 LSF₆에서 작용하는 절연파괴 기구 중에서 전계집중에 의한 코로나의 영향이 기포의 영향보다 더 크게 작용하기 때문이다. 즉, 사용된 S전극의 Φ가 41[mm]로서 d가 1~6[mm]까지 거의 준평등 전계를 형성하는 전극 구조이므로 코로나발생이 N-P, P-N 보다 상대적으로 대단히 낮기 때문에 V_B가 높게 나타나는 것이다. 또, P-N 전극구조에서 N-P 전극구조보다 V_B가 높게 나타나는 것은 Needle 전극이 상부 즉, 전압인가부에 위치하면 plane 전극이 전압인가부에 위치 할 때 보다 코로나가 더욱 왕성하게 발생하므로 P-N 전극구조의 V_B가 더 높게 나타난다.



(a) SF₆ Gas



(b) LSF₆

그림 1. SF₆ Gas와 LSF₆의 절연파괴특성

3.2. GSF₆의 절연파괴전압 특성

모의 GIS 상부에 있는 밸브를 열어 놓은 후 약 6시간 후에 기화열에 의하여 챔버내부에 LSF₆의 가 GSF₆ 상태에서 평등전계시 V_B를 측정하였다.

특히, GSF₆는 대기와 접촉시 즉시 승화하지 않고 찰흙과 유사한 가요성을 가지고 있으므로 가공이 용이하였으며, 대기 중에서 약 30분 정도 고체화된 상태를 유지하여, 챔부내부에 GSF₆를 추출하여 사진 2와 같이 d=1[mm] S-P 전극일때 대기중의 V_B를 측정하였다.

GSF₆의 V_B는 모의 GIS 내에서 약 70[kV], 대기 중에서 약 60[kV]정도로 측정되었다. 이는 아래 표 1에서 보는 것과 같이 지금 까지 연구되어 오던 SF₆와 LSF₆에 비해 더욱더 높은 절연내력임을 확인하였다. 대기 중의 GSF₆의 경우 공기와 접촉하여 연면방전 효과 및 제작과정에서 void의 생성 등이 원인이 되어 모의 GIS내 V_B보다 낮게 되는 것으로 사료된다.

표 1. 평등전계시 SF₆의 상전이에 따른 절연특성

	SF ₆ [atm]			LSF ₆	GSF ₆	
	2	3	4		대기중	GIS 내
V _B [kV]	18	20	30	40	60	70

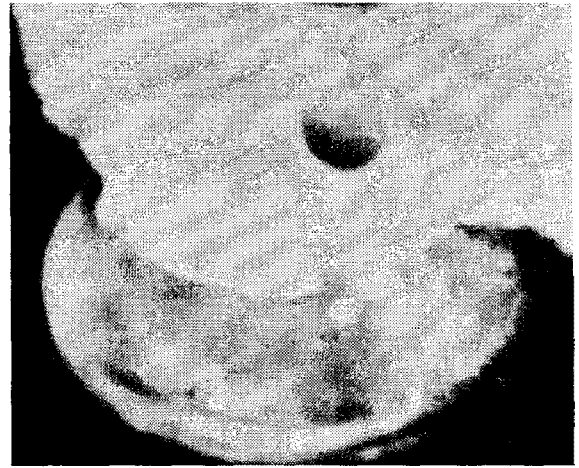


사진 2. 대기중 GSF₆의 V_B 실험후 단면도

4. 결 론

현재 전력기기에 사용되고 있는 SF₆는 인간에게 무해하지만, 공기 중으로 배출되었을 때 공기와 반응하여 황산화물로 변화하여 세계적으로 SF₆의 사용이 문제화 되고 있는 시점에서 가스보다 더 안정한 LSF₆를 이용한 전력설비에 적용이 가능할 것이며, 고온 초전도 기술에 접목될 때 저온영역의 입출구의 열적, 전기적 절연물로 사용이 기대된다. 더욱이 GSF₆의 연구를 보완하여 GSF₆의 특성도 구명한다면 초전도 케이블 및 초전도 기술을 응용한 각종 설비에 GSF₆를 절연재로 활용할 수 있을 것이다.

GSF₆를 고온초전도 설비의 절연물로 사용하고 그 외부에 냉매로 액체 질소를 이용할 경우 냉매의 유출로 인한 GSF₆ 승화시간이 길므로 고온초전도 기기의 절연성을 상대적으로 장시간 확보할 수 있게 된다. 또한 GSF₆를 절연물 및 냉매로 사용한다면 GSF₆를 유지시키는 냉매(LN₂)가 일시적으로 일부 기화 하더라도 냉매 누설에 따른 안정성이 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] 이광식 외 3명, " 대기압하에서 액체질소(LN₂)의 방전특성에 관한 연구 ", 대한전기학회 논문지 Vol 45 No 7, 1996.7.
- [5] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF_x Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [6] 주재현, " 액체질소중의 방전형상과 방사전자파의 특성에 관한 연구 ", 영남대학교 대학원 1997.8.
- [7] 이광식, " 액체질소 및 극저온 가스의 방전특성에 관한 연구 ", 한국전력공사, 1993.8.
- [8] 박경태, " 온도변화에 따른 SF₆의 방전 및 방사전자파 특성 ", 영남대학교 대학원, 2002.12.
- [9] 이광식 외 4명, " SF₆ 가스의 온도변화에 따른 절연 특성 "대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [10] Frank M. White, " Fluid Mechanics ", McGraw-Hill, 1995.8.
- [11] 이광식 외 4명, "SF₆와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象", Vol 54C No 8, 2005.8