

액체 SF₆의 전극별 기포유동현상과 절연파괴특성

최은혁, 임창호, 장승호, 김이국*, 이광식
영남대학교, 경일대학교*

**The discharge characteristics & Bubble Movement
for various electrode shapes in Liquid SF₆.**

Eun-Hyeok Choi · Chang-Ho Lim · Seung-Ho Jang · Lee-Kook Kim* · Kwang-Sik Lee
Yeungnam Univ, Kyungil Univ*

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.

인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다.

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Plane-Plane전극(P-P), Sphere-Sphere전극(S-S)을 사용하였다. 전극의 배치는 수직 배치하였으며, 전극은 스테인레스 스틸을 사용하여 구전극(직경 41[mm]), 평판전극(직경 59[mm]) 제작하였다. 전극간 거리(d)는 Micrometer로 외부에서 조정 (정도 : 5×10⁻²[mm]) 가능한 구조이다.

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 SF₆가스를 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, SF₆ 가스 적용 변전기기는 공급범위가 확대되어, 혹한 지역에 설치가 되고 있는 데, 이 경우 온도 저하에 따라 액화현상으로 절연특성의 큰 변화를 가져오므로서 자동작 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 SF₆를 액화시켜 기존의 SF₆ 가스와 액체 SF₆(LSF₆)의 절연파괴특성을 측정 / 분석하여 SF₆의 대체물질로 LSF₆의 가능성을 검토하고, 혹한 지역에 있는 전력설비의 온도저하에 따른 LSF₆를 구멍함으로서 각종 고온초전도 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. 전원은 DC(-)용 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N 150[kV]/1[mA]와 사진 1-(b)와 같이 전원은 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])를 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·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 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압



(a) 모의 GIS 챔버

(b) AC 전원장치

<사진 1> 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300[kV] 전원장치

2.2 실험방법

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[°C]에서 SF₆ gas의 액화가 진행되면 전극이 함침 될 때까지 SF₆ gas를 일정 속도로 주입하여 전극부를 모두 LSF₆에 함침되게 하였다. 이 때 사용된 전극은 N-P, P-N 및 S-P를 사용하였으며, 전극형상에 따른 각 d에서 절연파괴전압(V_B)을 측정하였다. 전극의 배치는 수직배치이며 각 전극에서 d의 변화에 따른 실험이 끝나면 전극과 SF₆을 교체하여 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 LSF₆의 전극형상에 따른 V_B 특성

LSF₆가 침전극 주위를 둘러싸는 경우 V_B은 크게 상승함에 착안하여 각종 전극을 LSF₆에 함침시킨 경우의 d의 변화에 따른 V_B 특성을 그림 1에 나타내었다. 그림과 같이 각 전극형상에 대하여 전극변화에 따른 V_B 변화율은 상이하지만, 모든 전극에서 d의 증대에 따라 상승경향을 보여준다.

d가 1[mm]에서는 각 형태의 전극 V_B가 거의 같게 나타난다. 이것은 단간극의 경우이므로 불평등성이 둔화되고 상대적으로 평등성이 큰 경우이기 때문이다.

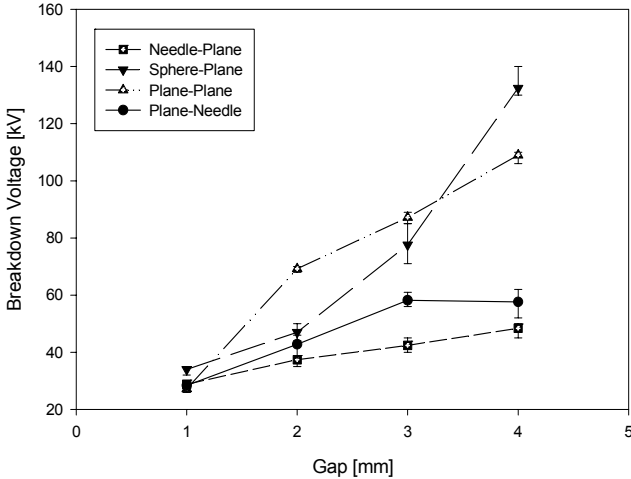


그림 1. LSF₆에서 전극 형상에 따른 절연파괴 특성

S-P 및 P-P의 경우는 P-N 및 N-P에 비하여 d의 증대에 따라 더욱 더 높게 나타나는데 이것은 P-P 및 S-P는 본 연구의 d범위에서는 평등성을 크게 유지하므로 불평등성이 큰 P-N과 N-P보다 높게 나타나게 된다.

여기서 d가 4[mm]에서는 S-P가 P-P보다 높게 되는 것은 S-P 및 P-P의 평등성은 비슷하나 Bubble 효과가 P-P의 경우가 더 크게 작용함에 기인한다고 판단된다.

P-N과 N-P의 관계를 보면 P-N이 높게 나타나는데 이는 Plane전극이 상부에 있는 경우, 즉 P-N의 경우가 SF₆ Bubble의 기포유동에 의하여 Corona 방전이 어렵게 발생하는 전극구조이며, Bubble이 P-N의 경우가 N-P보다 전극 최단거리 및 전극 내에 농밀 확률이 크지만 LSF₆의 Bubble은 SF₆ 가사이므로 소호능력이 극히 왕성하여 상대적으로 침입성이 상대적으로 크게 낮은 P-N은 Corona가 발생하기 어렵게 되어 V_B가 높게 나타나게 되는 것이다.

또한, 본 논문의 연구조건은 LSF₆에서 자연기포가 발생되고 이러한 기포는 코로나 발생에 따라 더욱 증식하게 된다. 그림 1에서 N-P와 P-P 전극의 V_B특성 곡선에서 d가 증대됨에 따라 V_B는 N-P, P-P전극에 있어서 모두 상승하게 되며, 특히 P-P인 경우가 상승률이 크게 나타난다. LSF₆에서 d가 증대됨에 따라 V_B의 편차가 점점 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 전압인가 시 Corona 의해 발생하는 SF₆ Bubble은 아크소호능력이 극히 우수하므로 Bubble 현상에 따른 절연파괴 기구보다 Corona 발생 난이도가 절연파괴원인의 관건이 되는 결과에 기인한다. 즉, 평판인 P-P는 Corona 발생이 극히 어려운 전극형태이므로 Bubble 현상을 상쇄시키고 Corona 기구가 관건이 되어 작용하는 결과로 나타나므로 LSF₆에서는 P-P의 경우가 N-P보다 V_B전압이 더 높게 나타나게 된다.

2.2 P-P전극의 기포유동현상에 따른 절연파괴특성

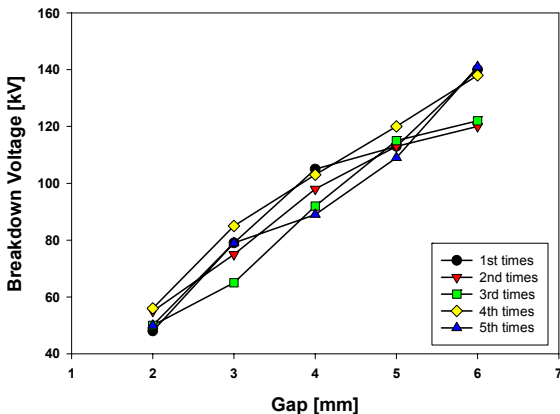


그림 2. P-P전극에서 측정횟수에 따른 절연파괴특성

그림 2는 P-P전극시 각 갭에 따라 연속적으로 5번을 측정하여 각 측정 순서에 따른 절연파괴전압을 나타낸 그래프이다. 최초 1번째 측정시

자연기포와 전압인가 초기에 측정된 V_B이므로 발생하는 기포는 그림 3-a와 같이 자연기포로 형성되어 절연파괴전압이 2번째나 3번째에 비해 다소 높은 것을 확인할 수 있다. 하지만 2번째(그림 3-b), 3번째(3-c)로 그 횟수가 증가하면 Corona에 의한 기포가 챔버하부로부터 상승하면서 기포가 횡수에 비례하여 평판전극 사이로 운동하여 평판 상부로 나오는 기포의 운동이 확인되었다. 4번째 측정시 그림 3-d와 같이 상부 평판에 정체기포와 발생하는 BUBBLE의 증가로 인하여 SF₆ 기포층을 형성하게 되면 V_B가 전체적으로 상승함을 확인하였다. 또한 그림 3-e와 같이 5번째 측정시 BUBBLE의 형상은 BUBBLE의 상승속도 증가에 따라 상부 평판전극의 가장자리가 볼록한 형태로 형성되어 정체기포가 상대적으로 증가하게 되어 V_B가 상대적으로 감소하는 현상을 관측할 수 있다.

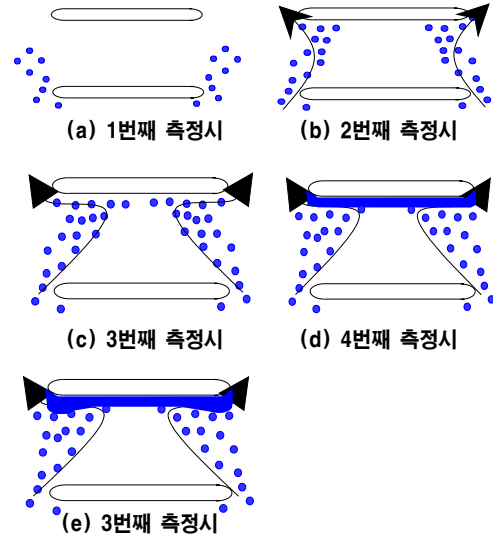


그림 3. P-P평판의 전압인가시간에 따른 기포기동

3. 결 론

본 논문은 AC전원 사용하고 전극모양 및 전극간 거리에 따른 액체 SF₆의 BUBBLE 현상을 비교 분석 하였다. 그 결과 전극형상, 기포의 발생 및 운동, 매체의 아크소호능력, Corona 발생난이도 및 극간거리 등에 의해 절연파괴 특성이 결정된다. 더욱이 LSF₆의 正氣泡現象을 확인하였으며, BUBBLE의 발생정도와 기포유동현상에 따라 절연파괴특성이 달라짐을 확인하였다.

본 연구의 결과를 보면 고온 초전도체 개발에 따른 극저온 및 절연재료로서 LSF₆가 사용 가능함을 확인하였다. 또한 초전도 및 극저온 설비 분야에 냉매로 이용할 경우 저온영역의 입출구의 도체로 사용할 수 있는 열절연성 도체의 개발이 절실히 요구된다.

[[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 SFX Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [6] 이광식, " 액체질소 및 극저온 가스의 방전특성에 관한 연구 ", 한국전력공사, 1993.8.
- [7] 박경태, " 온도변화에 따른 SF₆의 방전 및 방사전자파 특성 ", 영남대학교 대학원, 2002.12.
- [8] 이광식 외 4명, " SF₆ 가스의 온도변화에 따른 절연특성 " 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [9] Frank M. White, " Fluid Mechanics ", McGraw-Hill, 1995.8.