

The Positive Bubble Effect and the Breakdown Characteristics in SF₆ and LN₂

李 廣 植[†] · 崔 殷 赫^{*} · 朴 光 緒^{**} · 林 昌 鎬^{***} · 金 鍾 煥^{***}

(Kwang-Sik Lee · Eun-Hyuck Choi · Kwang-Seo Park · Jong-Whan Kim · Chang-Ho Lim)

Abstract - In this paper the experiments of breakdown characteristics by temperature change of SF₆ gas, SF₆ liquid (LSF₆) and N₂ liquid (LN₂) in model GIS(Gas Insulated Switchgear) were described. From the experiments results, the breakdown voltage of SF₆ increases with the drop of temperature and the increase of the inner pressure in model GIS. The ability of LSF₆ insulation is higher than high-pressurized SF₆ gas and LN₂. 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.

Key Words : Discharge, Bubble, Liquid SF₆, Insulation, Low Temperature

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 절연체로 사용하는 변전기의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에서 건설, 운전 중이다.

하지만, 현대사회가 첨단과학의 이기를 갈망함에 따라 현재보다 더 많은 전력에너지를 필요함과 동시에 도시의 공간활용의 효율성 측면에서 전력기들의 소형화 및 고 신뢰화가 시도되고 있다. 또한, SF₆ 가스 적용 변전기는 공급범위가 확대되어, 혹한 지역에도 설치가 되고 있는 데, 이 경우 온도 저하에 따라 액화현상으로 절연특성이 큰 변화를 가져옴으로서 오동작 현상이 큰 문제점으로 지적되고 있다. 이러한 배경으로 현재 적용되고 있는 SF₆가스를 앞으로 다가올 초고압시대에 맞추어 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다.

또한 SF₆ 가스를 절연체로 사용하고 있는 초고압용의 설비에 주로 적용되는 GIS설비는 고전압상태에서 운전되므로 제작과정 및 운전상태에서 미세한 구조적 결함이나 이물질로 인해 기기의 오동작이나 절연파괴와 같은 사고발생시 파급효과도 크다. 이에 외부환경 및 여러 가지의 사고사항을 고려

한 최적 절연설계를 통한 부분방전의 발생가능성을 최대한 줄이는 연구가 필요로 하고 있다.

따라서, 본 논문에서는 냉매로서 뿐만 아니라 절연체로서도 성능이 우수한 액화 SF₆ (LSF₆)와 이미 극저온 가스로 연구되고 있는 대기압하의 액화 질소 (LN₂)의 기본적인 절연파괴특성과 비교분석하여 송배전 전력기들의 소형화 및 신뢰도 증대에 관한 기초자료를 제공하고자 한다.

일반적으로 대기압 하의 액체질소에서는 Bubble이 존재 시 Needle-Plane전극 (Needle 상부, Plane 하부, N-P) 보다 Plane-Plane전극 (P-P)이 절연파괴전압이 낮은 결과를 보여 준다. 이 현상을 Bubble 현상이라 한다. 그러나 LSF₆에서는 이와 상이한 현상, 즉 N-P보다 P-P이 절연파괴전압이 높게 된다. 이를 저자들은 "positive bubble effect (正氣泡 現象)"라 칭하고 이에 대하여 구체적 구명도 연구의 대상이다.

또한 본 연구에서는 장래에 실용화 단계에 접근할 수 있는 고온초전도체의 개발과 함께 향후 전력설비에서 LSF₆가 주요 절연체로 사용될 것을 착안하여 LSF₆ 중에서 절연파괴 특성 및 챔버내에 일정 가스량 존재시의 온도와 압력의 변화에 따른 SF₆의 절연특성을 구명함으로써 각종 고온초전도 및 극저온 응용 설비의 절연설계에 기초 자료를 제공하고자 한다. 아울러 온도저하에 따른 상전이 특성도 연구의 대상이다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 GIS 챔버의 외관은 사진 1과 같고 이것은 SF₆와 LN₂의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버이다. 최대 인가전압은 DC 150[kV]까지 인가 가능하다. 전원은 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300

[†] 교신저자, 正 會 員 : 嶺南大學 電氣工學科 教授 · 工博
E-mail : kslee@yu.ac.kr

^{*} 學生會員 : 嶺南大學 電氣工學科 碩士課程

^{**} 正 會 員 : 嶺南大學 電氣工學科 博士

^{***} 正 會 員 : 嶺南大學 電氣工學科 博士課程

接受日字 : 2005年 1月 18日

最終完了 : 2005年 5月 11日

KIV-N을 사용하였다. 실험용 모의 GIS 챔버 내부온도를 관측하기 위하여 온도센서(UNICON, $-50[^\circ\text{C}]\sim 50[^\circ\text{C}]$)를 실험용 모의 GIS 챔버 내부 중심부에 전극부와 평행하게 전극 수직 중심축과 8[cm] 떨어진 곳에 설치하였다. 실험용 모의 GIS 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 모의 GIS 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·외부사이에 진공층을 두었다.

실험용 모의 GIS 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.

본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인레스 스틸을 사용하였다. 사용된 전극 형상의 종류는 Plane-Needle 전극 (Plane; 상부, Needle; 하부, P-N), N-P, Sphere-Plane 전극 (Sphere; 상부, Plane; 하부, S-P) 및 P-P을 사용하였다. 전극의 배치는 수직 배치하였으며, 전극간 거리는 Micrometer로 외부에서 조정 (정도 : 5×10^{-2} [mm]) 가능한 구조이다.

실험용 모의 GIS 챔버의 주요 사양은 압력 변화(2~6[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 압력 유지를 위해 실험용 GIS 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 또한 온도변화($50\sim -50^\circ\text{C}$) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을 가진 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 150[kV]까지 고압 인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다.

전극은 스테인레스 스틸을 사용하여 구전극(직경 41[mm]), 평판전극(직경 59[mm])과 침전극(직경 5[mm], 침단각도 20°)을 제작하였다.



사진 1. 실험용 모의 GIS 챔버
Photo.1 The experimental model GIS chamber

2.2 실험방법

2.2.1 일정가스량 유지시 온도 의존성

사용전극은 N-P이며 극간거리(d[mm])는 3[mm]로 하였다. SF₆을 투입하기전 챔버내를 10^{-4} [torr]까지 배기시킨후 상온

(30°C)하에서 4, 5 및 6[atm]까지 SF₆을 투입후 각 기압에서 온도센서부의 온도를 30~-40[°C]까지 하강시켜갈 때 압력변화와 이에 따른 절연파괴전압(V_B) 특성 및 상전이 현상을 연구하였다. 절연파괴 전압은 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

절연파괴 측정시의 전압은 상승속도 1[kV/s]로 하였다. 부정현상을 없애기 위해 처음 10번 정도 방전시킨 후 절연파괴 전압값을 측정하였다.

2.2.2 LSF₆의 전극형상에 따른 절연특성

LSF₆에 관한 실험은 챔버 내부를 진공(10^{-4} [torr])으로 한 후 SF₆ gas를 4기압 주입시킨 상태에서 Dry-ice를 챔버 상부에 접촉시켜 온도를 하강시켰다. 온도 센서부의 온도가 -20~-30[°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, S-P 및 P-P를 사용하였으며, d는 1~5[mm]까지 변화시켜 각 d에서 절연파괴 전압(V_B)을 측정하였다. 이때의 전압상승도 2-2-1과 같게 하였다.

전극의 배치는 수직배치이며 각 전극에서 d의 변화에 따른 실험이 끝나면 전극과 SF₆을 교체하여 같은 방법으로 실험을 수행하였다. 각 d에서 bubble 현상을 관측하였다.

2.2.3 LN₂의 전극형상에 따른 절연특성

LN₂의 실험에서는 대기압상태에서 챔버내의 전극을 LN₂에 함침시켜 안정화된 상태에서 챔버의 갭 조절기를 이용하여 d를 1~6[mm]로 변화시켜 갈 때 V_B를 위 2-2-1과 같은 방법으로 측정하였다. 이때의 bubble현상을 관측하였다. 위의 각 실험에 사용된 전압은 (-) 직류전압을 사용하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 일정가스량 유지시 온도 의존성 및 절연특성

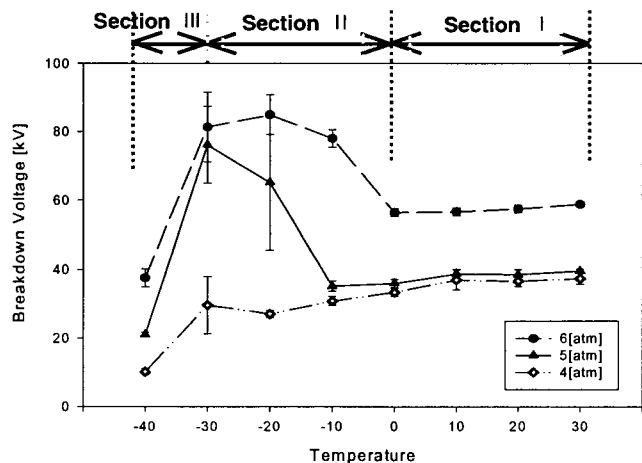


그림 1 일정가스량 유지시 온도 및 압력에 따른 SF₆의 방전 특성

Fig. 1 The characteristic of breakdown on the temperature-pressure with a constant gas volume

그림 1은 챔버내에 N-P를 설치하여 30[°C]에서 일정 SF₆ 가스량을 4, 5 및 6기압으로 유지시 온도 및 압력에 대한 V_B 특성을 나타낸다. 본 실험은 혹한 지역에서의 SF₆을 이용한 전력기기들의 온도변화에 따른 내부 SF₆ 상태와 절연특성을 확인하기 위함에 있다.

그림 1에서 구간 I은 각 압력에 대한 기체상태에서 온도의 감소에 따라 압력이 감소하는 단계이다. 이때는 온도가 떨어짐에 따라 압력이 서서히 감소하고, 이에 따라 절연파괴 전압(V_B)도 함께 서서히 떨어지는 구간. 즉, Paschen's law의 적용이 가능한 영역이다.

구간 II에서는 침전극 주위 및 챔버 내벽으로부터 서서히 SF₆가 액화되는 과정으로 대세적으로 절연파괴 전압값이 상승되는 영역이다. 이때 절연파괴 전압의 값이 크게 편차가 나타남을 알 수 있는데, 이는 SF₆가 침전극 주위를 에워싸고 있을 때 절연파괴 되는 순간에는 그 값이 높게 나타나며 침전극 주위에 에워싸고 있던 LSF₆가 하부로 떨어져 버린 직후에 측정된 값은 낮게 나타남에 기인한다. 이때는 액화가 진행되고 있는 단계로서 N-P간의 절연매체는 SF₆와 LSF₆가 공존하는 영역의 절연특성이라 볼 수 있다. 구간 II의 경우 액화되는 온도는 온도측정부의 온도이며, 실제로 액화되는 지점은 챔버 상부측 냉매인 드라이아이스가 접촉된 곳이며 이곳에서 먼저 액화가 진행되어 전극 및 챔버 내벽으로 흘러내리게 된다. 또 압력이 낮을수록 더 낮은 온도에서 액화가 진행됨을 알 수 있다.

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

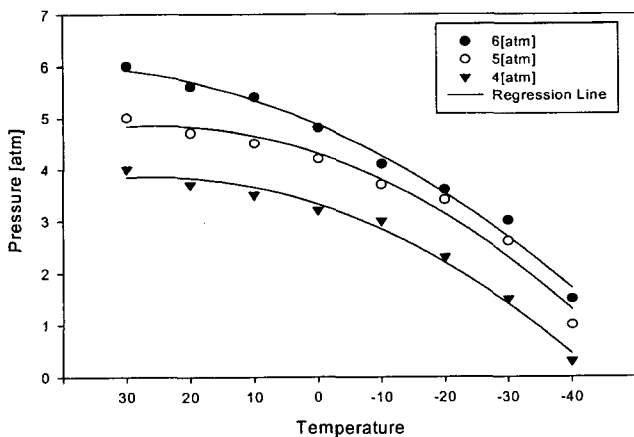


그림 2. 일정가스량에 대한 온도-압력변화
Fig 2 The variations of temperature-pressure with a regular gas volume

그림 2는 온도변화에 따른 압력변화 특성을 도식화하였다. 일정 온도구간 영역별로는 보일-샤르의 법칙에 의해 챔버내에 일정 가스량(30°C에서 4, 5 및 6기압)을 채우고 온도를 저하시켜가면 그림과 같이 압력이 떨어짐을 보여주고 있다. 30°C일 때 4, 5 및 6기압에서 -40°C가 되면 각각 0.3, 1 및 1.5

기압이 되어 30°C 일때의 7.5, 20 및 25%로 크게 낮아짐을 알 수 있다. 그림2에서 보여주는 바와 같이 일정온도 구간별로는 압력이 선형적으로 저하함을 보여주는데 이것은 챔버내의 SF₆가 가스상태일때 및 가스상태의 SF₆와 LSF₆가 공존할 때와는 가스가 차지하는 체적이 상호 다르게 되므로 전 온도구간에서는 선형적으로 이루어지지 않음을 알 수 있다.

3.2. 각종 전극형상에 따른 절연 특성

3.2.1 LSF₆의 V_B특성

LSF₆가 침전극 주위를 둘러싸는 경우 V_B은 크게 상승함에 착안하여 각종 전극을 LSF₆에 함침시킨 경우의 d의 변화에 따른 V_B 특성을 그림 3에 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. 또한 준평등 전계형성 전극인 S-P와 P-P 전극에서의 절연파괴 값은 표 1과 같다.

표 1. LSF₆에서 S-P와 P-P의 절연파괴전압

Table. 1 the Breakdown voltage on S-P & P-P in LSF₆

d [mm]	1	2	3	4
S-P [kV]	34.0	48.0	81.0	130.0
P-P [kV]	27.2	69.2	87.2	109.0
평균 [kV]	30.6	58.6	84.1	119.5

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

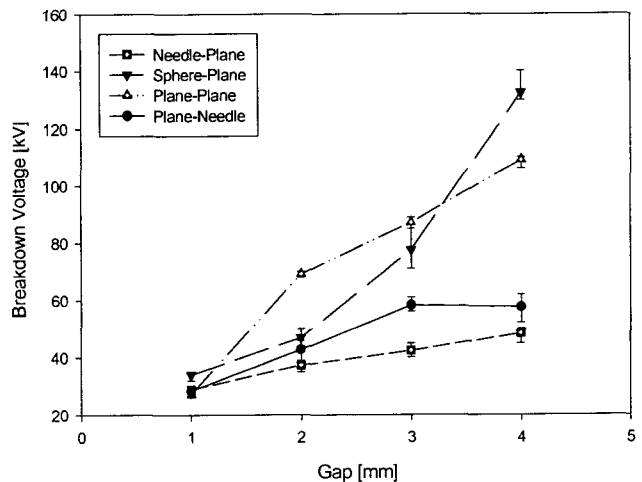


그림 3. LSF₆에서 전극 형상에 따른 절연파괴 특성
Fig. 3 Breakdown characteristics by electrode variation in LSF₆

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 (-)일 경우, 즉 P-N의 경우가 Corona 방전이 어렵게 발생하는 전극구조이며, Bubble이 P-N의 경우가 N-P보다 전극 최단거리 및 전극 내에 놓일 확률이 크지만 LSF₆의 Bubble은 SF₆ 가스이므로 소호능력이 극히 왕성하여 상대적으로 (-)전극의 침예성이 상대적으로 크게 낮은 P-N은 Corona가 발생하기 어렵게 되어 V_B가 높게 나타나게 되는 것이다.

3.2.2 LN₂의 V_B특성

그림 4는 LN₂ 중의 V_B-d 특성을 나타낸다. LN₂중의 V_B-d 특성의 특징은 P-N이 가장 높고 P-P의 경우가 가장 낮게 나타난다. S-P와 N-P는 이들의 중간값 정도로 거의 같은 값을 취하는 것이 특징이다.

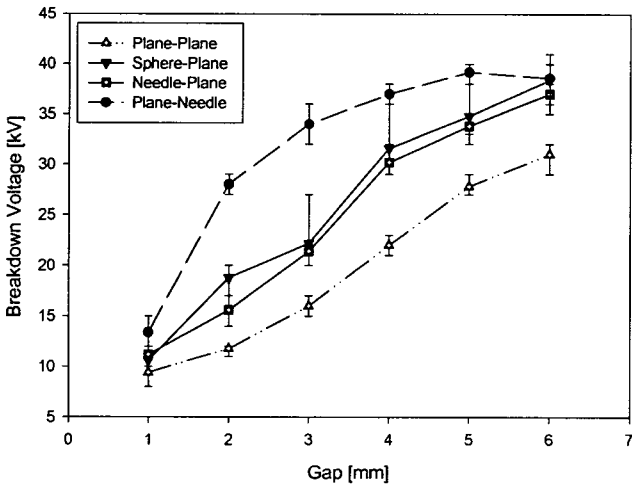


그림 4. LN₂에서 전극 형상에 따른 절연파괴 특성
Fig. 4 Breakdown characteristics by electrode variation in LN₂

- 1) P-N이 가장 높은 것은 LSF₆에서와 같이 (-) Corona 발생이 어려운 전극형태인 구조, 즉 (-)전극이 평판이 되어 있는 P-N형이기 때문이다.
- 2) P-P가 가장 낮은 것은 Corona 발생은 어려운 구조이나 대기압 하의 LN₂에서는 Bubble 현상이 왕성하게 나타나므로 전극사이의 많은 기포가 마치 고체 유전전체 속의 Void 역할을 하게 되어 가장 취약한 Bubble에서 먼저 Corona가 일어나게 되고 그 Corona에 의한 열에 의하여 Bubble은 더욱더 증식되고, 이들 Bubble이 큰 부피의 Bubble로 증식되어 결국 절연파괴로 이어지게 되기 때문이다.
- 3) S-P 및 N-P의 경우는 P-N 및 P-P의 중간정도인데 이것은 Bubble 현상 및 전계에 의한 (-)전극에서의 Corona 발생조건이 S-P 및 N-P의 경우가 중간 정도의 구조임에 기인하게 된다. S-P인 경우가 N-P인 경우보다 높은 것은 N-P인 경우, 즉 침전극이 (-)전극인 경우가 (-) Corona 발생이 상대적으로 용이한 전극 구조이기 때문이다.

4) d=1[mm] 인 짧은 d에서는 전극형상에 따라 V_B가 큰 차이가 나타나지 않는 것은 평등성이 크게 상이하지 않기 때문이며, 각 전극에서 최대·최소값은 서로 중첩되는 정도로 나타난다.

3.3. LSF₆의 POSITIVE BUBBLE EFFECT와 LN₂의 Bubble 현상 비교

본 논문의 연구조건은 LSF₆와 LN₂에서 자연기포가 발생되고 이러한 기포는 코로나 발생에 따라 더욱 증식하게 된다. 그림 5, 6는 LSF₆와 LN₂의 N-P과 P-P의 d-V_B특성을 나타내고 있다.

그림 5는 LSF₆의 경우인데 d가 1[mm]인 단점에서 V_B가 거의 같게 나타남은 앞에서 기술한 바와 같고, d가 증대됨에 따라 V_B는 N-P, P-P전극에 있어서 모두 상승하게 되며, 특히 P-P인 경우가 상승률이 크게 나타난다. 그러나 그림 6에 보여주는 것과 같이 LN₂에서는 d의 증대에 따라 V_B가 LSF₆와 같이 크게 편차가 나지 않음을 보여주며 N-P가 P-P보다 더 높게 나타나 LSF₆와 반대되는 결과를 나타낸다.

LSF₆에서 P-P가 N-P보다 더 높게 나타나며 LN₂에서는 이와 반대로 되는 것을 앞에서 기술한 바와 같다. 그림 5와 6에서 보여주는 바와 같이 동일한 P-P 및 N-P에서 LSF₆는 LN₂에 비해 V_B는 현격히 차이가 나는데 그 값은 다음 표 2와 같고, 평균 42[kV]의 차이를 보인다.

표 2. LSF₆에서 P-P와 N-P의 절연파괴전압
Table. 2 the Breakdown voltage on P-P & N-P in LSF₆

d[mm]	1	2	3	4	5
P-P[kV]	27.2	69.0	87.2	109.0	125.8
N-P[kV]	29.0	37.4	42.4	48.4	52.6
차이	-1.8	31.6	44.8	60.6	72.4

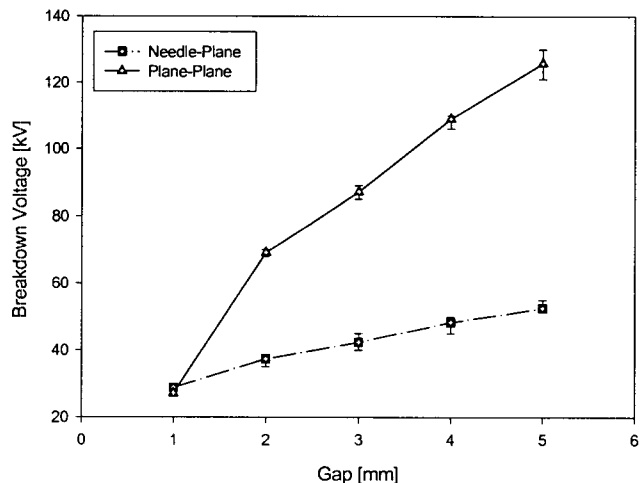


그림 5 LSF₆에서 N-P과 P-P의 절연파괴특성 비교
Fig. 5 Breakdown characteristics contrast needle-plane with plan-plan electrode in LSF₆

4. 결 론

본 논문은 (-) 고전압을 사용하고 전극간 거리에 따른 SF₆의 상전이특성, 온도-압력특성, 온도-절연파괴특성, 正氣泡現象 및 LSF₆와 LN₂의 bubble 현상의 비교 분석 등에 관한 연구로 요약 기술하면 다음과 같다.

(1) 일정 가스량에 대한 온도-압력 절연파괴전압 특성

- 1) 각 압력에 따른 SF₆의 기체 단계에서는 Paschen's Law에 따른 특성을 확인하였다.(구간 I)
- 2) SF₆의 액화가 진행됨에 따라 절연파괴 전압은 크게 상승하며 이때는 최대 및 최소 절연파괴전압의 차이가 크게 나타난다. (구간 II) 이러한 현상은 침전극 주위 및 챔버 내벽으로부터 서서히 SF₆가 액화되어 LSF₆가 전극 부를 타고 내려오면서 LSF₆가 침전극 주위를 에워싸고 있을 때 절연파괴 되는 순간에는 그 값이 높게 나타나며 침전극 주위에 에워싸고 있던 LSF₆가 하부로 떨어져 버린 직후에 측정된 값은 낮게 나타남에 기인한다.
- 3) SF₆의 액화가 더욱더 진행될 경우 전극주변에는 액화되지 않은 저밀도 SF₆가스와 잔류공기로 채워지게 되며 이때는 극히 낮은 압력상태로 되기 때문에 절연파괴 전압이 크게 낮아지게 된다. (구간 III)
- 4) 기체 SF₆가 액체 SF₆로 되는 온도는 압력에 따라 다르나 실험에서 전극부 온도가 -20~-30℃ 일때 액화가 된다. 실제 액화지점은 챔버 상부, 즉 냉매인 드라이아이스가 접촉된 곳이므로 액화온도는 이 온도보다 더 낮음을 알 수 있다.
- 5) 고체 SF₆로 되는 온도는 -50℃ 부근이었다.

(2) LSF₆ 와 LN₂의 특성

- 1) 정극형상, 기포의 발생 및 운동, 매체의 아크소호능력 및 (-)전극의 Corona 발생난이도 및 극간거리 등에 의해 절연파괴 특성이 결정된다.
- 2) 초전도체 개발에 따른 극저온 및 절연재료로서 LSF₆가 사용 가능함을 확인하였다.
- 3) SF₆ 가스가 액화될 정도의 혹한지역에는 절연파괴를 방지하기 위하여 SF₆ 챔버 주위를 보온하여 챔버 내에 SF₆를 기체상태로 유지시킬 필요가 있다.
- 4) LSF₆에서는 正氣泡現象이 나타난다.
- 5) LSF₆의 절연파괴 전위경도는 S-P 전극에서는 34 [kV/mm], P-P 전극에서는 27.2 [kV/mm]임으로 평균 30.6 [kV/mm]로 나타났다.
- 6) LSF₆의 N-P와 P-P의 V_B 차이는 표 2과 같이 평균 42[kV]의 차이를 보인다.
- 7) 본 연구의 결과를 보면 초전도 및 극저온 설비분야에 냉매로 이용할 경우 저온영역의 입출구의 도체로 사용할 수 있는 열절연성 도체의 개발이 절실히 요구된다.

앞으로 (+) 직류전압 및 AC전원에 의한 연구를 보완하고 장래에 이 연구결과를 응용 보완하면 고온 초전도 설비, 저온

LSF₆에서 d가 증대됨에 따라 V_B의 편차가 점점 크게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 다음과 같이 설명할 수 있다. LSF₆는 LN₂와 달리 아크소호능력이 극히 우수하므로 Bubble 현상에 따른 절연파괴 기구보다 (-)전극 형상에 따른 Corona 발생 난이도에 절연파괴기구가 관건이 되는 결과에 기인한다. 즉, (-)전극이 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.

이 현상은 그림 6에 나타난 것과 같은 기존의 "저기압 하의 LN₂의 Bubble 현상"과 달리 정반대의 현상으로 나타나므로 이 현상을 필자들은 正氣泡現象(Positive Bubble Effect)이라 명명하게 되었다.

이렇게 LSF₆에서 正氣泡現象이 나타나게 되는 것을 기포 발생 및 운동성을 함께 고려하면 다음과 같이 정의가능하다.

- 1) 본 연구의 결과 LSF₆의 액화온도는 -20~-30℃ 정도이나 LN₂는 -190℃정도이므로 챔버 내외의 온도차가 크고 기화온도가 낮은 LN₂의 경우가 기포발생이 왕성하며 그 운동성은 LSF₆ 경우 보다 더욱 활발함을 확인하였다.
- 2) 아크 소호능력이 LSF₆가 LN₂ 보다 극히 우수하므로 자연기포 또는 Corona에 의한 bubble이 발생하나 그 기포에서 아크의 발생은 빠르게 소호되므로 bubble 현상이 LSF₆에서는 LN₂와 달리 상대적으로 크게 약화됨.
- 3) 앞의 1), 2)의 결과로 전극내 기포의 존재 확률이 LSF₆의 경우가 LN₂에 비하여 극히 낮다.
- 4) 위의 1), 2), 3)의 결과 LSF₆의 경우는 전극내의 기포현상에 따른 방전기구 보다 (-)전극을 평판으로 한 P-P에 따른 Corona 발생이 상대적으로 크게 어려운 P-P의 V_B가 N-P의 V_B보다 더 높게 나타나게 되는 것이다. 즉, Bubble 현상에 의한 방전기구보다 Corona 방전기구에 따른 절연파괴 기구가 관건이 되는 현상으로 볼 수 있다.

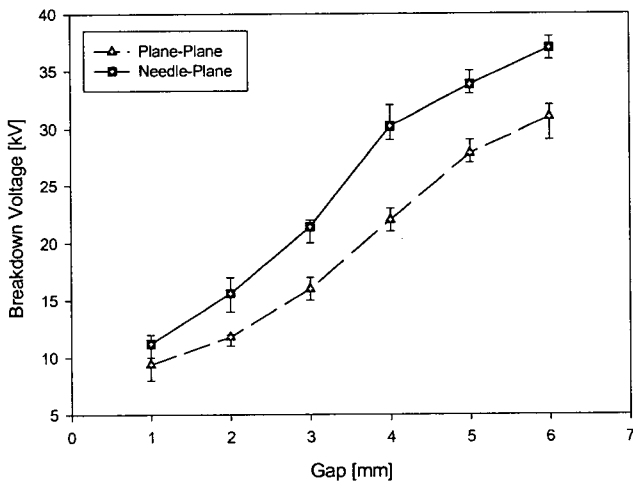


그림 6 LN₂에서 N-P과 P-P의 절연파괴특성 비교
 Fig. 6 Breakdown characteristics contrast needle-plane with plan-plan electrode in LN₂

기기 및 케이블 등의 대체 절연물로 사용하여 소형화 및 고신뢰도 문제 해결에 사용이 기대된다.

감사의 글

이 논문은 2004년도 영남대학교 학술조성비 정보통신연구소 및 (재)기초전력연구원 (과제번호: R-2004-B-203)의 지원에 의하여 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

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] 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 절연특성" 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [10] Frank M. White, "Fluid Mechanics", McGraw-Hill, 1995.8.

저 자 소 개



이 광 식(李 廣 植)

1948년 10월 20일 생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(공학박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 조명전기설비학회 편수위원장·부회장 역임, 영남대학교 산업대학원 원장역임. 현재 영남대학교 전기공학과 교수,
Tel : (053) 810-2486, Fax : (053) 810-4629
E-mail : kslee@yu.ac.kr



최 은 혁(崔 殷 赫)

1977년 2월 19일 생, 2003년 경일대 전기공학과 졸업, 현재 영남대 대학원 전기공학과 석사과정
Tel : (053) 815-7291, Fax : 053-810-4629
E-mail : choieunhyuck@yumail.ac.kr



박 광 서(朴 光 緒)

1970년 3월 23일 생. 1997년 영남대 전기공학과 졸업. 2003년 동 대학원 졸업(공학박사). 현재 경일대학교 전기공학과 전임강사.
Tel : (053) 815-7291, Fax : 053-810-4629
E-mail : aca28@yumail.ac.kr



김 종 환(金 鍾 煥)

1959년 9월 19일 생. 1984년 영남대 전기공학과 졸업, 2002년 영남대 산업대학원 전기공학과 졸업, 2004년 영남대 일반대학원 전기공학과 박사수료, 현재 경북교육청 재직.
Tel : (053) 815-7291, Fax : 053-810-4629
E-mail : sanaikjh@yahoo.co.kr



임 창 호(林 昌 鎬)

1958년 12월 21일 생. 1992년 경일대학교 전기공학과 졸업, 2001년 기술사 (건축전기설비), 2003년 영남대 산업대학원 전기공학과 졸업(석사), 2003년 영남대 대학원 전기공학과 박사수료, 현재 (주)우보엔지니어링 대표
Tel : (053) 815-7291, Fax : 053-810-4629
E-mail : woobol@chollian.net