

온도변화에 따른 SF₆ 가스의 절연특성

이복희, 김희구, 박건훈, 이규선, 김동성
인하대학교

Characteristics of Dielectrics in SF₆ According to a change in Temperature

Bok-Hee Lee, Hoe-Gu Kim, Geon-Hun park, Kyu-Sun Lee, Dong-Sung Kim
INHA University

Abstract - This paper presents the experimental results of the dielectric characteristics with temperature changes under highly non-uniform electric field in SF₆ gas. The impulse preliminary breakdown developments were investigated by the measurement of predischage current and breakdown voltage. As a result, the first stremer corona is initiated at the tip of needle electrode, and bridges the test gap. Also the first stremer corona onset and breakdown voltages the negative polarity was much higher than that in the positive polarity in same temperature. In addition, the variation of temperature have a little effect on the positive polarity. On the other hand, in some cases negative polarity corona onset and breakdown voltages increased with increasing a high temperature.

작하였으며, 불평등 전계를 모의하기 위하여 챔버내에 침평판 전극을 설치하였다. 내부전극에 전압을 인가하기 위하여 최대 20 [kJ], 400 [kV]까지 인가할 수 있는 임펄스전압 발생기를 사용하였다. 침-평판 전극에 인가되는 전압을 측정하기 위해 용량성 분압기를 사용하였고, 하부 평판전극에는 전구방전 전류를 측정하기 위해 고응답 분류기를 설치하였으며, 또한 상부와 하부 전극사이에서 발생하는 방전광 신호는 photomultiplier(C956)를 관측창에 부착하여 측정했다. 챔버내의 평판과 침전극 끝단 사이의 간격은 35 [mm]이고, 바늘모양의 돌기물은 곡률 반경 및 길이는 0.6 [mm] 및 15 [mm]이며 갭 간격은 20 [mm]이다. 하부의 평판전극은 직경이 90 [mm] 인 스테인리스강을 사용하였다.^[6] 챔버 내의 온도를 관측하기 위하여 디지털 온도센서를 전극중심부와 약 10 [cm]간격을 두어 설치하였다. 그림 2는 챔버내의 온도를 변화 시키기 위해 설계 제작한 모의 GIS 실험장치의 사진이다.

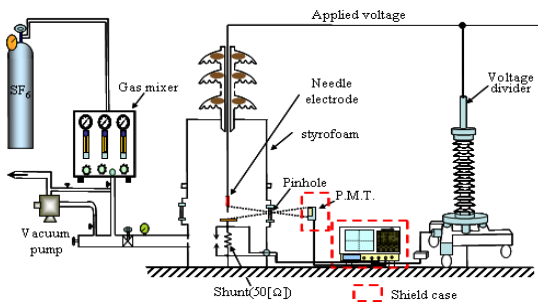
1. 서 론

SF₆가스는 우수한 절연특성과 정상상태에서 불활성, 무독성, 비가연성의 화학적 안정성 그리고 뛰어난 아크 소호특성 때문에 전력기기 및 전송선로의 기체절연물질로서 가장 보편적으로 사용되고 있다. 그러나 가격이 비싸고, 자연상태에 노출되는 경우 온실효과로서의 환경오염과 높은 비중을 갖게된다. 또한 금속성 이물질로 인한 국부적인 전계상승에 대하여 매우 민감한 반응을 보이며, 특히 고압 및 저온에서 액화가 되는 단점을 가지고 있다. 현재 SF₆가스를 적용한 전력설비는 공급범위가 확대되어 혹한지역과 열대지역에서도 설치되어 사용되고 있다. 이 경우 온도저하에 따른 액화현상으로 절연특성이 큰 변화가 가져와 이에 따른 기계의 오동작 현상이 문제점으로 지적되고 있다.^[7] 이에 SF₆가스의 온도변화에 따른 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다. 따라서 본 연구에서는 금속성 이물질이 GIS 내부에 존재하는 경우를 모의한 불평등전계하에서 -25 [°C] ~ 25 [°C]의 온도 변화에 따른 순수 SF₆가스의 전구방전의 진전과정을 분석할 목적으로 인가전압, 전구방전전류와 방전광 신호를 측정하여 이를 기초로 절연과파전압 및 초기코로나개시전압을 비교 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치의 구성

온도변화에 따른 SF₆가스의 뇌임펄스전압에 대한 전구방전전류와 절연 파괴특성 및 초기코로나 개시전압을 분석하기 위하여 본 실험에 사용된 실험장치 및 측정시스템의 전체적인 구성을 그림 1에 나타내었다.



〈그림 1〉 실험장치의 개략도

실험장치는 내경 396 [mm]의 스테인레스강을 이용하여 원통형으로 제



그림 2. 냉각설비를 장착한 모의 GIS실험장치

냉각설비는 사진에서 보듯이 챔버 상부에 적당량의 드라이아이스가 들어갈 수 있도록 고강도 스티로폼을 챔버모양에 맞춰 제작하였고, 하부에 단열재를 씌웠다. 고온설비는 챔버하부에 단열재를 씌우기 전 상온 0 [°C] ~ 70 [°C]까지 조절 가능한 열선을 설치 하였다. 인가전압과 전구방전전류의 측정용 케이블은 동축케이블을 2중 차폐하여 사용하였고, 실험에 사용된 오실로스코프는 차폐함 내에 내장시켜 사용하였다.

2.1.1 실험방법

본 연구에서는 -25 [°C] ~ 25 [°C]의 온도변화를 주면서 뇌임펄스전압을 정·부극성으로 극성을 바꾸어 가며 실험을 수행하였다. 실험장치 내의 압력은 실험용기에 연결된 유희전필름를 사용하여 증진공대역의 7×10^{-3} [Torr]까지 배기시킨 후 상용의 SF₆ 기체를 0.1MPa까지 주입하였다. 전극에 인가되는 전압은 용량성 분압기(Hafley, 분압비 10000:1)를 거쳐 2 : 1감쇠기를 통해 측정하였으며, 동축 케이블의 특성 임피던스와 정합을 이룬 평판전극 하단에 부착된 50[Ω]의 분류기를 이용하여 전구방전 전류를 측정하였다. 이 분류기에 의해 측정된 신호를 100 : 1 감쇠기를 거쳐 오실로스코프로 측정하였다. 또한, 광전자증배관을 관측창에 부착하여 핀홀(pin-hole)을 통해 분류기와 동시에 전구방전전류를 측정하였다.^[6] 챔버 내의 온도변화는 약 60 [kg] 상당의 드라이아이스를 챔버상부에 접촉시킨 후 -25 [°C]까지 떨어뜨리고 온도가 상승할때마다 5 [°C] 씩 간격으로 절연과파전압과 전구방전전류 및 방전광신호를 측정하였다. 상온에선 열선을 이용하여 온도를 높였다. 실험장치는 최대 20 [kJ], 400 [kV] 까지 인가할 수 있는 임펄스전압 발생기를 이용하여 뇌임펄스 전압을 발생 시켜 실험에 사용하였고, 정·부극성의 뇌임펄스전압 인가횟수는 각각 동일한 조건에서 10회로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전구방전전류의 파형

불평등전계중에서 온도변화에 따른 SF₆가스의 진전하는 전구방전전류와 방전광 신호의 대표적인 파형의 예를 그림 3에 나타내었다.

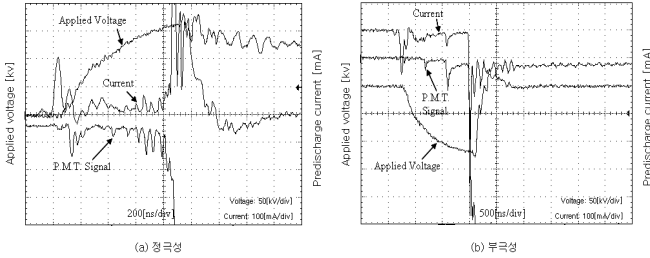
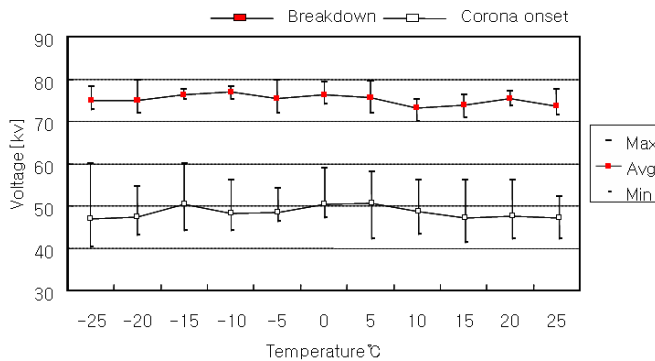


그림 3. -25 [°C]에서 SF₆가스내의 인가전압(정 80kV · 부 140kV), 방전전류 및 방전광 신호의 파형

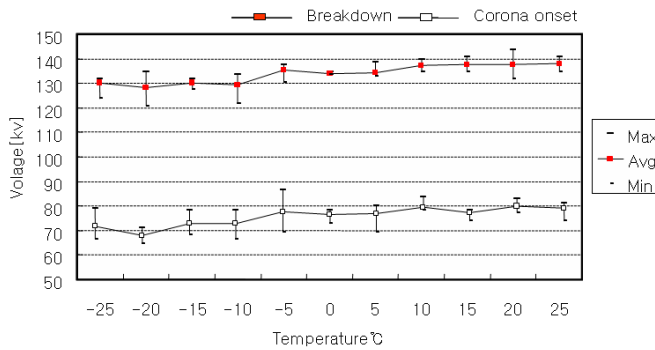
전구방전의 진전과정은 극성에 관계없이 스트리머코로나를 경유하여 리더전류펄스가 간헐적으로 수 회 진전한 후 섬락에 이르는 것으로 관측되었다. 또한 극성에 관계없이 리더 진전에 의한 절연파괴였지만, 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 리더전류펄스 사이의 시간간격이 넓으며, 이온성 전류성분을 많이 포함하고 있음을 알 수 있다.^[6]

3.2 절연파괴전압과 초기코로나개시전압의 비교

전구방전의 진전과정은 초기코로나에 의하여 전구방전이 개시되고 리더가 형성되며, 리더의 진전으로 절연파괴를 이루는 형태로 나타난다. 따라서 리더의 진전과 공간전하효과에 직접 관련성을 가지는 초기코로나 개시전압을 측정하고 검토하는 것이 바람직하다. 그림 4는 SF₆가스의 온도변화에 따른 절연파괴전압과 초기코로나개시전압을 비교하여 나타낸 그림이다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 4 온도변화에 의한 SF₆가스의 절연파괴전압과 초기코로나개시전압의 비교

그림 4에서 볼 수 있듯이 부극성이 정극성의 경우보다 절연파괴전압과 초기코로나개시전압이 높고, 점차 상승하는 것으로 나타났다. 이러한 차이는 주로 초기전자의 발생메커니즘 방전진전양상이 다르기 때문인 것으로 분석된다. 정극성은 SF₆가스의 부이온으로부터 탈리작용에 의해 발생하는 초기전자뿐만 아니라 정이온이나 광자에 의한 2차 전리작용을 수반하여 성장하면서 절연파괴에 이르기 때문에 절연파괴전압과 초기코로나개시전압이 낮은 결과를 가진 것으로 분석된다. 그러나 부극성의 경우 초기코로나에 의해서 발생한 정이온은 침전극의 끝단에 집중되어 있다가 서서히 침전극을 통하여 흐르며, 방전공간에는 전자의 부착작용에 의해서 생성된 부이온으로 진전하여 방전에 이르게 된다.^[4,5] 이 때 부이온의 이동속도는 전자의 이동속도에 비하여 대단히 느리므로 전계 완화 작용이 지속되는 시간도 길어져 초기코로나개시전압과 절연파괴전압 또한 높아지게 된다. 그리고 정극성은 온도에 상관없이 거의 일정한 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압을 보이지만, 부극성은 점차 상승하는 모습을 볼 수 있다. 이는 온도가 상승함에 따라 정극성의 전자기동은 온도의 영향을 거의 받지않는 것으로 보여지고, 그에 반해 부극성은 부이온이 생성되어 온도의 영향을 받아 침전극 앞단 공간전하의 확산에 의한 소멸이 억제되는 전장 안정화 작용으로 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압이 증가하게 된다.

4. 결 론

온도변화에 따른 불평등전계중에서 SF₆가스의 전구방전 진전과정과 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압 특성을 비교 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전구방전은 침 전극 끝단에 발생한 초기코로나에 의해 시작되어 계단상으로 진전되는 간헐적 양상을 나타내었으며, 진전 스텝 간격은 부극성에서 길게 나타났다.
- (2) 동일한 온도에서 부극성의 경우가 절연파괴전압과 초기코로나개시전압이 높게 나타났다.
- (3) 정극성의 경우 온도에 상관없이 거의 일정한 절연파괴전압과 초기코로나개시전압을 보였다. 하지만 부극성의 경우에는 저온에서 상온으로 온도가 상승할수록 점차 높아지는 절연파괴전압 특성을 나타내었다.
- (4) SF₆가스는 상온에서 온도가 낮아짐에 따라 정극성은 뚜렷한 차이를 보이지 않으나, 부극성의 경우 절연내력에 변화를 가져오게 된다. 이렇듯 저온에서의 SF₆가스의 방전진전과정과 절연특성에 관한 연구는 향후 더욱 연구 및 개발이 필요하다고 판단된다.

[참 고 문 헌]

- [1] M. Landry, et al. "Dielectric withstand and breaking capacity of SF₆ circuit breakers at low temperatures" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 3, No. 3, July 1988.
- [2] A. pons, c. Leconte and J.M. Willieme, "Breaking capacity of SF₆ circuit-breakers at low temperatures" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 8, No. 3, July 1993.
- [3] F. Buret, and A. Beroual, "SF₆ Dielectric behaviour in a high voltage circuit-breaker at low temperature under lightning impulses" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 11, No. 1, January 1996.
- [4] L. Niemeyer, L. Ullrich and N. Wiegart, "The Mechanism of Leader Breakdown in Electronegative Gases", IEEE Transaction on Electrical Insulation, Vol. 24, 2, pp. 311~312, 1989.
- [5] T. Kawamura and Bok-H Lee, "Transient Impulse Breakdowns of SF₆ gas in Inhomogeneous Electric Fields", Jpn. J. Appl. phys, Vol. 38 No.8, pp. 4898~4904, 1999.
- [6] 이복희 외 3명, "불평등전장에서 SF₆기체의 뇌임펄스 절연파괴특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 7. 14-16, pp. 1921~1923 2004.
- [7] 이광식 외 4명, "SF₆가스의 온도변화에 따른 절연특성", 대한전기학회 하계학술대회 Trans. KIEE. Vol. 52C, No. 8, Aug. 2003.