

불평등전계중에서 VFTO에 의한 SF₆가스의 방전특성

이복희, 이창준⁰, 안창환, 이경욱, 하성철*
인하대학교, *동국대학교

Dielectric Characteristics of SF₆ Gas Stressed by VFTO in inhomogeneous Field

B.H Lee, C.J Lee⁰, C.H Ahn, K.O Lee, S.C Ha*
Inha University, *Dongguk University

Abstract

This paper presents prebreakdown characteristics of SF₆ gas stressed by the non-oscillating and oscillating impulse voltages in inhomogeneous fields disturbed by metallic protrusion. The purpose of this investigation is to present the predischage development and dielectric characteristics of SF₆ gas under VFTOs. The experiments were carried out using a needle-to-plane gap geometries in the gas pressure ranges from 0.1 to 0.5 MPa. The gap separation was 22 mm, and the needle-shaped protrusions were made of stainless steel 10 mm in length and 1.0 mm in diameter.

As a result, it was found that the breakdown mechanism and predischage current are principally dependent on applied voltage waveform and polarity.

1. 서론

현재, 산업 사회의 발달이 가속화되고 이로 인한 전력계통의 양적 확장을 필요로 하고 있으며, 인간사회의 문화생활이 질적으로 향상됨에 따라 전력의 이용에 있어서 신뢰성이 높은 양질의 전기에너지에 대한 필요성이 가속화되고 있다. 특히 최근 765kV 전력전송전압의 격상을 눈앞에 두고 있는 시점에서 전력설비의 대용량·고전압화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 시급하게 요구되어 있어, 고효율의 운전특성이 우수한 SF₆가스를 절연체로 사용하는 가스절연개폐시스템의 사용이 늘어나고 있다. 더욱이 계통의 운전조작시에 발생하는 과도과전압에 대한 고려가 GIS의 절연설계 요인으로 지목되고 있으며, 이에 관련된 물리적 현상과 방전특성 또한 중요한 과제로 제시되고 있다. 하지만, 절연파괴전압특성과 전구방전현상은 초기코로나전류의 크기나 공간전하의 전개완화효과가 인가전압의 상승시간 또는 진동에 의한 변화 등에 의해서 대단히 크게 영향을 받게 되므로 절연파괴전압의 가스압력 의존성은 대단히 복잡하며, 이에 상응하는 전구방전현상도 일률적이지 않아 체계적인 해석이 바람직한 것으로 생각된다.^[1]

따라서 본 연구에서는 GIS모의 실험장치를 사용하여 바늘모양의 금속성 이물에 의한 불평등전계중에서 비진동성 임펄스전압 및 진동성 임펄스전압에 대한 SF₆가스의 방전시 나타나는

전구방전현상에 대하여 여러 가지 파라미터를 변화시켜가면서 측정하였으며, 이를 정리·검토 하였다. 이를 위해 고응답 광대역 분류기를 이용하여 절연파괴시에 나타나는 방전전류를 측정함으로써 인가전압의 종류와 극성등을 파라미터로 했을 때 전구방전현상에서 나타나는 각각의 차이점을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 전극계를 그림 1에 나타내었다. 비진동성 임펄스전압을 발생시키기 위해 400kV급 MARX형 임펄스발생장치를 사용하며, 진동성 임펄스전압은 Marx회로, 고압용 콘덴서와 인덕터, 그리고 방전갭을 조합 사용하여 400ns/1.14MHz의 파형을 발생시킨다.

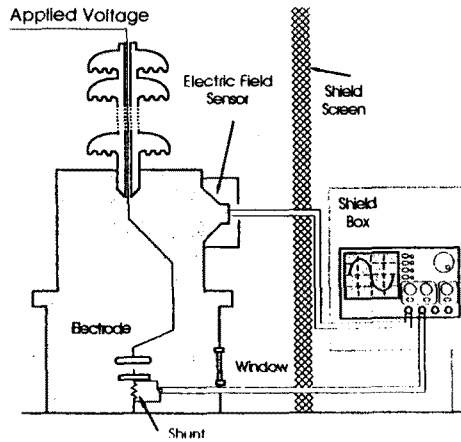


그림 1 실험장치의 개략도
Fig. 1 Schematic diagram of the experiment apparatus

GIS 내에 설치된 단로기의 개폐조작중에 발생하는 과도과전압을 모의하고, SF₆가스의 절연특성과 방전현상을 해석하기 위하여 GIS 모의 실험 장치를 설계·제작하였다.

본 실험에 사용된 측정계의 전체 구성도를 그림 2에 나타내었다.

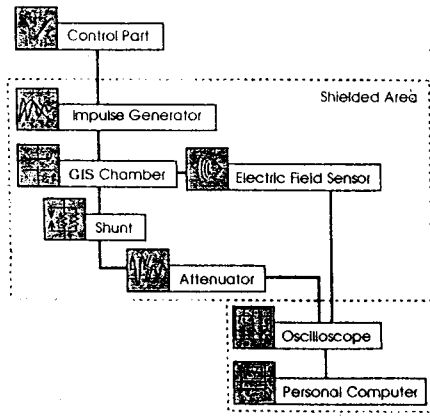


그림 2 측정계의 구성도
Fig. 2 Measuring system contribution

인가전압을 정확히 측정하기 위해서 장치의 상단부에 용량성 전계센서를 내장하고, 상승시간이 매우 빠른 진구방전전류를 측정하기 위해서 전진극에 고압답의 50Ω 분류기와 10:1 감쇠기를 사용하는 측정계를 구성하였다. 또한 SF₆가스의 압력을 0.1~0.5MPa로 변화시키면서 측정하였으며, 인가전압과 진구방전전류는 디지털 오실로스코프(Tek. 2440)를 사용하여 실시간으로 동시측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

압력, 극성 그리고 인가전압을 달리해 가면서 진구방전현상에 대해서 고찰하였으며 극성은 돌기물을 기준으로 나타내었다.

또한 진구방전현상을 분석하기 위하여 초기코로나 발생시간, 또 그때의 전압, 다음 코로나발생까지의 스테핑시간등의 개략적인 측정방법을 그림 3에 나타내었다.

그리고 인가전압에 대한 진구방전전류의 대표적인 파형을 극성에 따라 그림 4에 나타내었다. 이들 진구방전전류 파형의 분석은 그림 3의 파라미터를 사용하여 나타내었다.

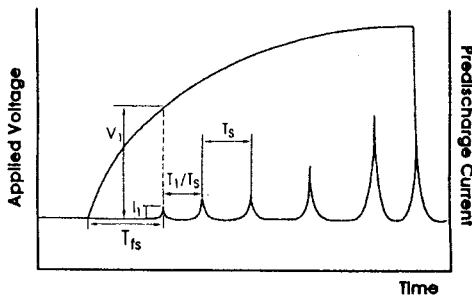
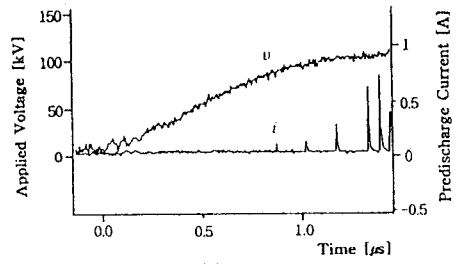
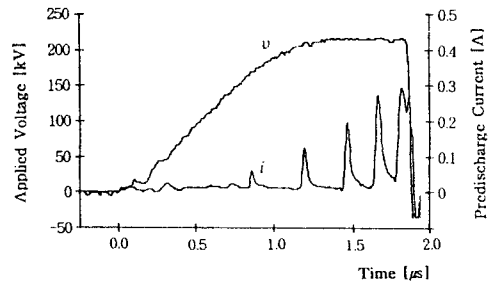


그림 3 진구방전전류의 파라미터
Fig 3 parameters of the predischarge current

이들의 결과를 바탕으로 가스압력과, 극성의 변화 등의 변수에 따라서 어떠한 방전현상을 나타내는지 분석하였다.



(a) Positive

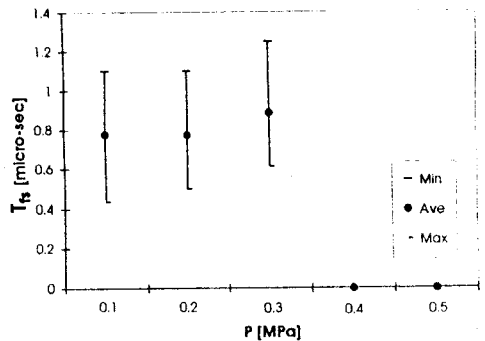


(b) Negative

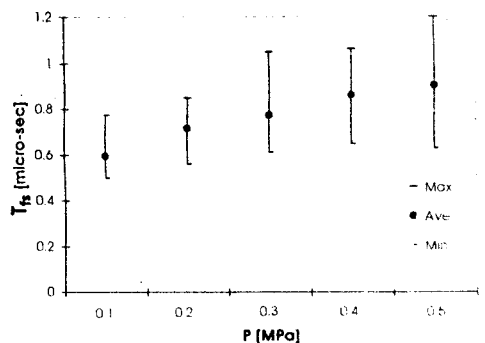
그림 4 정·부 진구방전전류 파형의 예
Fig. 4 Positive and negative predischarge current waveforms

3.1 통계적 시간지연

압력에 따른 초기코로나의 발생까지의 시간(Statistical time lag)을 그림 5에 나타내었다.



(a) Positive



(b) Negative

그림 5 통계적지연시간
Fig. 5 Statistical time lag

통계적지연시간은 전압이 인가되고 나서 초기전자가 발생되기까지의 시간을 나타낸다. 따라서 통계적지연시간은 초기전자의 발생 메커니즘과 관련이 있다. 그림에서 알 수 있듯이 압력이 증가할수록 초기코로나 발생까지의 시간이 점차적으로 길어지는 것을 알 수 있는데, 압력이 증가함에 따라 초기전자의 자유행정 거리가 상대적으로 짧아져 스트리머로 진전하기 위한 에너지를 얻기가 어려워지므로 초기코로나의 발생이 억제되는 것으로 생각할 수 있다. 정극성의 경우 0.4MPa 이상에서는 리더의 진전이 없어 직접 섬락에 이르는 현상을 나타내었다. 또한 부극성보다는 정극성의 경우가 약간 더 긴 것을 알 수 있다.

3.2 코로나개시전압-시간특성

전압을 인가하여 임계전계 이상의 전계가 가해지면, 스트리머 코로나에 의한 전류가 흐르게 된다. 이러한 초기 코로나펄스의 발생과 인가전압과의 관계를 그림 6에 나타내었다.

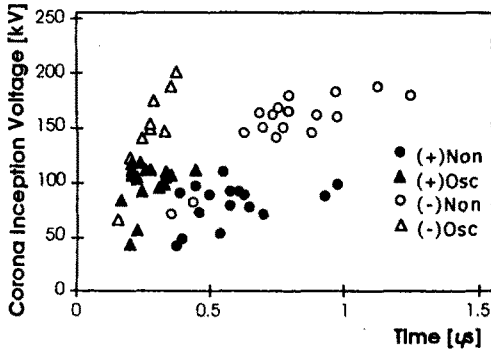


그림 6 코로나개시전압(0.3MPa)
Fig. 6 Corona inception voltage(0.3MPa)

대체적으로 부극성이 정극성보다 코로나개시전압이 높게 나타났으며, 최저 코로나개시전압은 압력의 변화에 따라, 정극성에서는 거의 비슷하게 나타났으며, 부극성에서는 진동성이 약간 높거나 비슷하게 나타났다. 또한 압력이 증가하면서 코로나개시전압도 높아지고 시간영역도 길게 나타나는 특성을 보인다.

전반적으로 같은 압력하에서 시간이 지연됨에 따라 전압이 높아지는 현상이 나타났다. 또한 부극성의 경우 편차가 매우 크게 나타나는데 이것 역시 실험이 반복적으로 수행되면서 전극표면이 대단히 불균일하게 되어 전계분포가 달라지는 것에서 기인한다고 판단된다.

3.3 $T_s - V \cdot p^2$ 특성

리더 전위가 다음의 리더를 발생시키도록 이온화영역의 선단까지 진전되는데 소요되는 시간인 리더 스테핑시간은 전자와 SF₆분자 사이의 충돌 및 리더 전류밀도에 의하여 결정되면, 스케일링 법칙에 의해 전압에 반비례하고, 압력의 제곱에 비례하는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$T_s = \frac{K}{V \cdot p^2}$$

여기서 V는 인가전압[kV], P는 가스압력[MPa], K는 돌기물의 형상과 인가전압의 파형에 의하여 정해지는 정수이다. 리더전전에 대한 스테핑시간을 측정된 결과를 그림 7에 나타내었다.

가스의 압력과 인가전압의 증대에 따른 리더 스테핑시간의 감소는 SF₆가스 이온의 이동과 직접적인 관련성을 가진다. 정 스트리머코로나에 의하여 SF₆⁻(SF₆)_n과 같은 정이온의 형태가 형성되면, 이들의 이동속도가 가스압력의 증가와 더불어 감소하므로 리더 스테핑시간은 짧아진다는 것을 알 수 있다. 이에 반하여 부극성의 경우에는 SF₆⁺이온의 영향을 지배적으로 받게 되는 부리더 스테핑시간은 정리더의 스테핑시간에 비하여 대략 10배정도 길게 나타났다. 이것은 SF₆⁺와 같은 부이온의 전제환화작용이 보다 강력하게 나타남을 의미하며 절연파괴전압과도 직접적인 관련성이 있는 것으로 볼 수 있다.

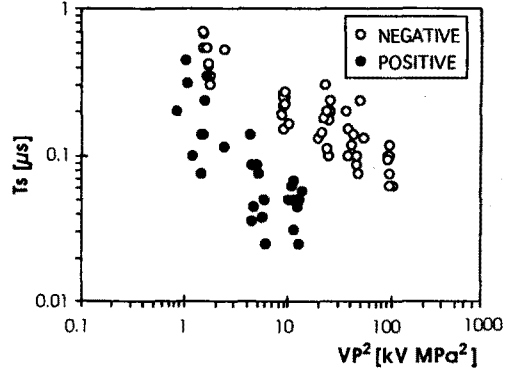


그림 7 리더 스테핑시간
Fig. 7 Leader stepped time

4. 결론

바늘모양의 금속성 돌기물에 의한 불꽃등전계중에서의 SF₆가스의 진구방전특성을 측정·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 통계적 시간지연은 초기전자의 발생 메커니즘과 깊은 관련성이 있으며, 압력의 증가에 따라 같이 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (2) 코로나개시전압은 같은 압력하에서 부극성이 좀 더 높고 편차가 큰 것으로 나타났다. 이것은 돌기전극 표면의 변화에 따른 전계분포에 기인한 것으로 판단된다.
- (3) 부극성의 리더 스테핑시간은 동일한 $V \cdot p^2$ 에서보다 대략 10배정도 높게 나타났으며, 이로부터 SF₆가스의 방전특성은 진구방전현상과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다.
- (4) 극성효과는 진구코로나방전에 의하여 생성된 공간전하효과에 기인하는 것으로 확인하였고, 절연파괴에 미치는 공간전하의 영향과 초기전자발생기구의 영향이 지배적임이 확인되었다.

REFERENCE

- [1] 李福熙 ; “高電壓大電流工學”, 清文閣, 1993, pp. 42~44, 64~69, 1993.
- [2] L. Niemeyer et. al, “The Mechanism of Leader Breakdown in Electro-negative Gases, IEEE Trans. on Electrical Insulation, Vol. 24, No.2, April 1989.
- [3] H. Heisinger, “Statistical Time-Lag in case of Very Fast Transient Breakdown”, proc. of 6th ISH. Aug. 28-Sep. 1, USA, 1989.