

불평등전계중에서 과도과전압에 대한 SF₆가스의 절연특성

이 복희,⁰이 창준, 길 경석, 안 창환
인하대학교

Dielectric Characteristics of SF₆ Gas Stressed by VFTO in Inhomogeneous Field

Bok-Hee Lee, ⁰Chang-Jun Lee, Kyung-Suk Kil, Chang-Hwan An
In-Ha University

Abstract

This paper describes the dielectric characteristics of SF₆ gas in a non-uniform electric field under overvoltages. The breakdown voltage-time characteristics and the breakdown voltage-gas pressure characteristics are measured within a gas pressure range extending from 0.1 to 0.5 [MPa] for the plane electrode system with a needle-shaped protrusion. The curvature radius of the needle protrusion is 0.5 [mm]. Also, the growth process of the predischage are simultaneously observed. As a result, it is found that the breakdown mechanism and predischage phenomena are closely associated with the polarity and waveforms of the testing voltage.

1. 서론

최근 문화생활이 향상되고, 산업사회로의 진보가 가속화됨에 따라 전력사용이 증가하고 장거리 송전선의 고효율성과 양질의 전기에너지에 대한 욕구가 가속화되고 있다. 문명의 발달은 인구의 도시 집중을 유발시켜, 특정지역에 대용량의 전기에너지 공급을 요구하게 되나 발전설비는 원거리에 위치하게 되므로 전력수급에의 부응과 전력소용 부저문제의 심각성 때문에 전력송전압이 더욱 더 격상되고 있는 추세이다. 따라서, 전력설비의 대용량·고전압화는 물론 운전 및 보수에의 간편화, 계통운용의 신뢰성과 안정성의 확보가 요구되고 고 효율적 운전특성이 우수한 SF₆가스를 절연재료로 사용하는 가스절연개폐시스템의 사용이 늘어나고 있다. 그러나 실제의 GIS설비에서는 급준성 과도과전압(VFTO)이 발생하

므로 이에 대한 SF₆가스의 절연특성을 파악하는 것은 고전압 기기의 절연설계의 합리화와 절연협조에 있어 대단히 중요하다.

급상승시간을 가지며 고주파성분을 포함하는 VFTO에 대한 SF₆가스의 방전의 진전과정은 매우 복잡하고, 특히 불평등전계중에서 SF₆가스의 절연내력은 대단히 저하되어 계통의 절연을 위협하는 문제점이 있다.^{[1]-[3]} 그러므로 급준성 이물질에 의한 불평등전계중에서의 급준성 과도과전압에 대한 SF₆가스의 절연파괴특성과 방전진전현상에 대한 정확한 물리적, 전기적 특성의 파악이 요구된다.

따라서 본 연구에서는 GIS모의 실험장치를 사용하여 평판형 전극과 바늘모양의 급준성 이물질에 의한 불평등전계중에서 비진동성 임펄스전압에 대한 SF₆가스의 절연파괴전압-시간 특성과 절연파괴전압-압력특성을 측정하였다. 또한 고응답 분류기로 방전전류를 측정함으로써 전구 방전현상을 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서의 실험전압으로는 400 kV급 Marx형 임펄스 발생장치와 방전갭, 고압용 콘덴서 및 인덕터를 조합하여 사용하였으며, 실험전압을 측정하기 위하여 장치의 상단부에 용량성 전계센서를 내장하였다.

또한 전극계는 그림 1에 나타낸 것과 같이 전극은 바늘모양의 돌기물이 설치된 평판형의 배치로 평판형 전극은 직경이 90 [mm]인 Stainless Steel전극을 사용하였다. 침전극의 침단 곡률반경은 0.5 [mm], 침 길이는 10 [mm], 간극의 거리는 22 [mm]이다.

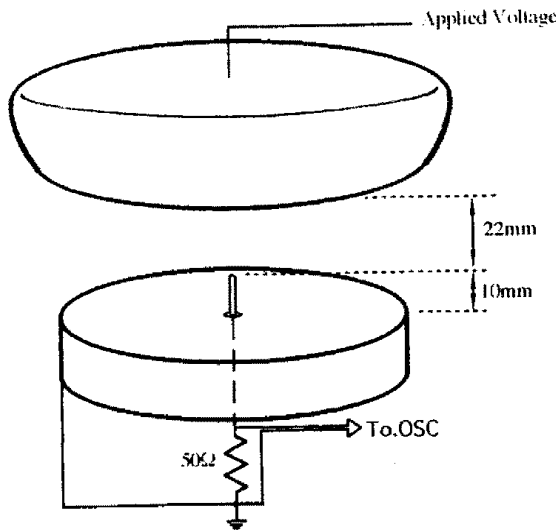


그림 1. 전극의 배치도
Fig 1. Electrode geometry

방전전류의 측정시 변위전류성분을 극소화하여 순수 전도 전류만을 측정하기 위하여 침전극을 평판전극과 전기적으로 절연시켰으며, 침전극에는 고용담 50 [Ω] 분류기를 설치하여 동축케이블의 특성임피던스와 정합시켜 전구방전전류를 측정하였다^[2]. 그림 2에는 본 연구에서 사용한 측정시스템의 전체적인 구성과 실험순서 일람을 나타내었다

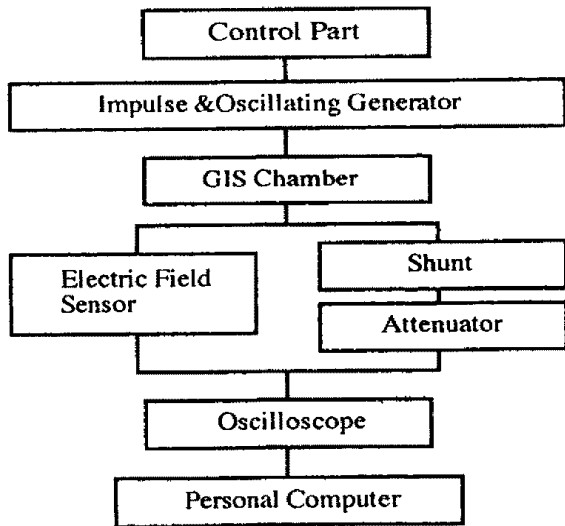
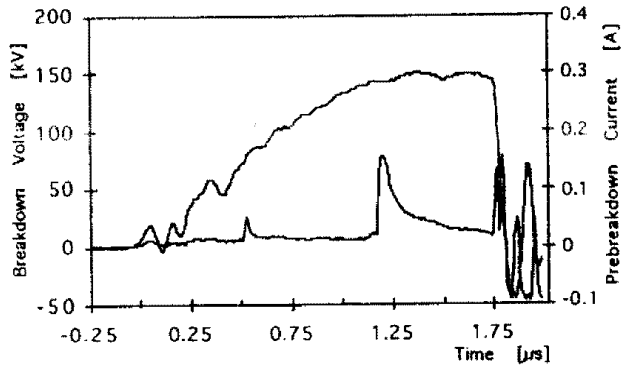


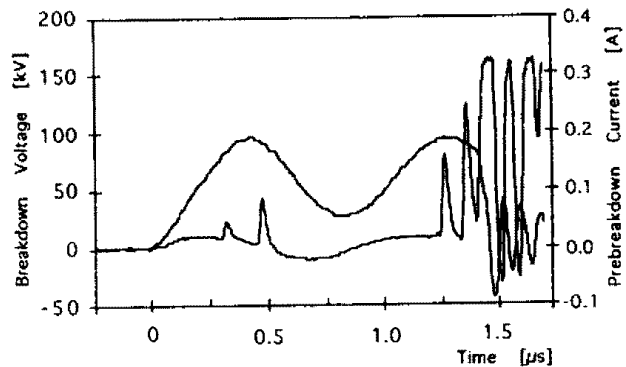
그림 2. 실험계에 대한 구성도
Fig 2. Block Diagram of the experimental system

3. 실험결과 및 고찰

실험에서는 1.7/44 [μs], 400ns/1.14 MHz의 미진동성 임펄스전압과 진동성 임펄스전압을 사용하였다. 진동성 임펄스전압과 비진동성 임펄스전압의 인가시 절연파괴전압과 전구방전전류 파형의 예를 그림 3에 나타내었다.



(a) Non-oscillation negative



(b) Oscillation positive

그림 3. 절연파괴시 전압과 전구방전전류파형의 예
Fig 3. A typical wavwforns of voltage-current

실험전압의 극성을 달리하여 금속성 이물에 의한 불평등 전계중에서 SF₆가스의 V-t특성, V-p특성 및 전구방전현상을 측정하였고, 실험결과에 있어 극성은 바늘 모양의 돌기물을 기준으로 하였다.

3.1 절연파괴전압-시간특성

그림 4는 실험장치내의 SF₆가스 압력을 0.4 [MPa]로 했을 때의 절연파괴전압-시간(V-t)특성을 나타낸 것이다.

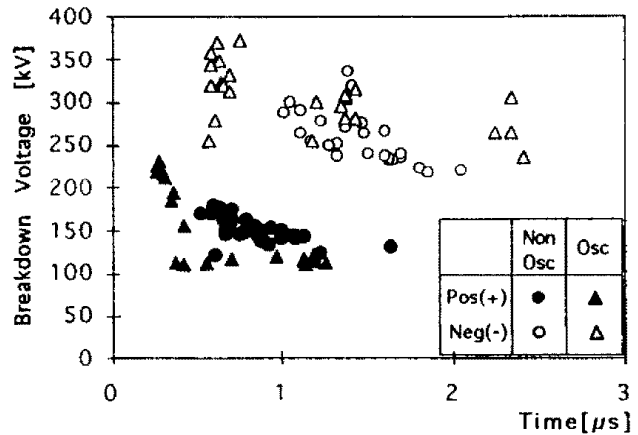
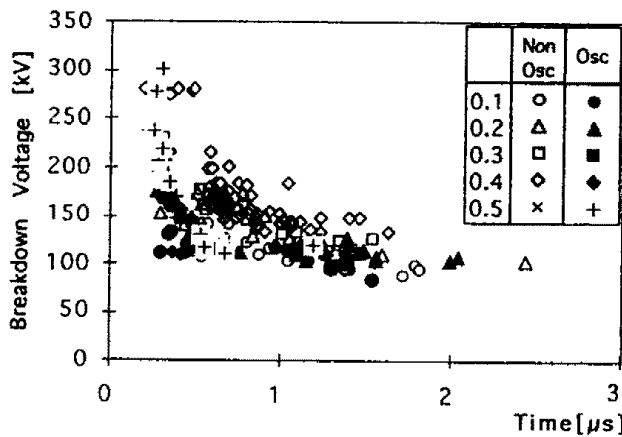


그림 4. 절연파괴전압-시간 특성
Fig 4. V-t Characteristic

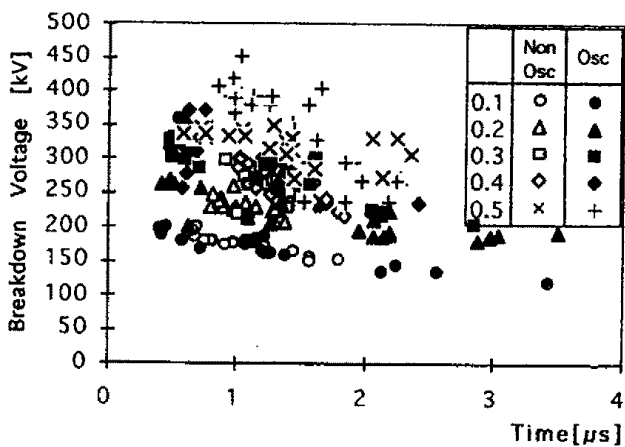
이 때 V-t 특성은 IEC-60.2 규정에 의거하여 절연파괴시간은 전압이 인가되어 섬락이 일어나기까지의 시간을, 절연파괴전압은 섬락이전에 시험값에 인가된 최대전압을 취하였다.

그림 4의 결과에서 부극성일 때가 정극성일 때보다 절연파괴전압이 훨씬 높으며 최소절연파괴전압이 나타나는 시간 영역은 정극성보다 부극성이 긴시간 영역으로 이동하며 시간지연은 일반적으로 정극성보다 부극성 쪽이 길게 나타났다. 이것은 부극성에서 코로나안정화작용이 효과적이기 때문이다.

SF₆가스압력을 0.1 [MPa] ~ 0.5 [MPa]로 변화시키고 비진동성 임펄스전압과 진동성 임펄스전압의 극성에 따른 V-t 특성을 그림 5에 나타내었다. 부극성의 경우가 정극성일 경우보다 동일조건에서 절연파괴전압이 높으며 전압의 편차도 크게 나타났는데, 이는 주로 초기전자의 발생과 방전진전기구가 다르기 때문인 것으로 분석되어진다. 정극성의 경우 초기전자는 주로 부이온이나 수분 등 불순물로부터의 탈리작용에 의해서 공급되어지며, 이 초기전자에 의해 방전이 리더기구조로 전진되어 절연파괴에 이르게 된다.^[4]



(a) Positive



(b) Negative

그림 5. V-t 특성의 극성의존성

Fig 5. Dependence of V-t characteristics on the polarity of applied voltage

그러나 부극성의 경우 초기전자의 공급은 침전극 선단의 고전계 부분에서 전자방출과 정이온과의 충돌에 의한 침전극표면에서의 2차전자방출이라 생각된다.^[4] 따라서 부극성에서의 절연파괴전압은 이것에 의해 발생된 공간전하의 영향을 크게 받게 된다.

비진동성 임펄스전압 보다는 진동성 임펄스전압일 경우가 동일한 시간대에서 절연파괴전압이 약간 높고, 또 더 넓은 시간영역에 분포한다는 것을 알 수 있다. 이는 진동성 임펄스전압을 인가시에 진동파의 상승부 외에도 제2, 제3, 피크크치 부근에서도 섬락이 발생하는데, 방전의 시간지연과 파미간동이 방전진전 즉, 리더전진전에 영향을 미치기 때문이다.

3.2 절연파괴전압-압력특성

정·부극성의 진동성 임펄스전압과 비진동성 임펄스전압을 인가하여 SF₆가스압력을 변화시켰을 때 최저절연파괴전압을 측정된 결과들 그림 6에 나타내었다.

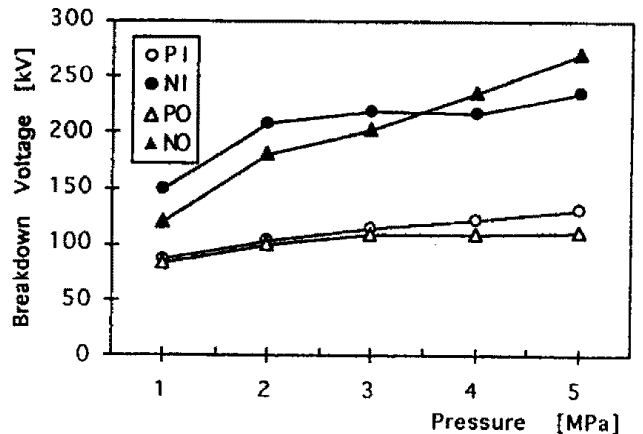


그림 6. SF₆가스의 최저절연파괴전압-압력특성

Fig 6. The minimum breakdown voltage-pressure characteristics of SF₆ gas

부극성일 경우가 같은 압력에서 정극성일 경우보다 최소 절연파괴전압이 현저하게 높음을 알 수 있다. 이는 전구코로나방전에 대한 진전이 공간전하효과에 의한 전계완화작용의 극성의존도가 다르기 때문이다. 정극성의 경우가 부극성에 비해 압력의존성이 적은데, 정극성의 경우 절연파괴전압의 압력의존성이 적은 이유는 리더기구조에 의하여 방전이 진전되기 때문이며, 부극성의 경우 절연파괴전압은 거의 가스압력의 평방근에 비례하여 상승되고, 초기전자의 발생과 방전진전과정은 압력의 변화에 더욱 관련성을 가지기 때문이다.

정극성의 경우 가스압력이 증가함에 따라 최저절연파괴전압은 진동성 임펄스전압이 낮아지며, 이것은 인가전압의 변동으로 인하여 수명이 짧은 정이온의 전계효과가 낮아지기 때문인 것으로 생각된다. 그러나, 부극성의 경우 비진동성 임펄스를 인가한 때의 V-p 특성은 전형적인 코로나 안정화특성을 보이고 있으나 진동성 임펄스전압이 인가된 상태에서

는 인가전계의 변화에 의하여 수명이 비교적 긴 SF₆ 부이온의 진전이 저지되어 보다 높은 전계완화작용을 일으키게 되어 최저절연파괴전압은 상승하는 것으로 해석할 수 있다.

3.3 전구코로나의 VP²-Ts 특성

리이더 전위가 다음의 리이더를 발생시키도록 이온화영역의 선단까지 진전되는데 소요되는 시간인 리이더 스테핑 시간 Ts는 전자와 SF₆분자 사이의 충돌 및 리이더 전류밀도에 의하여 결정되며, 스케일링법칙에 의해 전압에 반비례하고, 압력에는 제곱에 반비례하는 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$Ts = \frac{K}{V \cdot P^2}$$

여기서 V는 인가전압 [kV], P는 가스압력 [MPa], K는 돌기물의 형상과 인가전압의 파형에 의하여 정해지는 정수이다.

리이더진전에 대한 스테핑시간을 측정된 결과를 그림 7에 나타내었다. 가스의 압력과 인가전압의 증대에 따른 리이더 스테핑 시간의 감소는 SF₆가스 이온의 이동과 직접적인 관련성을 가진다. 정 스트리머코로나에 의하여 SF₆⁻(SF₆)_n과 같은 정이온의 형태가 형성되며, 이들의 이동속도가 가스압력의 증가와 더불어 감소하므로 리이더 스테핑 시간은 짧아지게 된다는 것을 알 수 있다.^[5] 이에 비하여 SF₆⁺이온의 영향을 지배적으로 받게 되는 부리이더 스테핑 시간은 정리이더의 스테핑시간에 비하여 대략 10배정도 길게 나타나는 낫다. 이것은 SF₆⁻와 같은 부이온의 전계완화작용이 보다 강력하게 나타남을 의미하며 절연파괴전압과도 직접적인 관련성이있는 것으로 볼 수 있다.

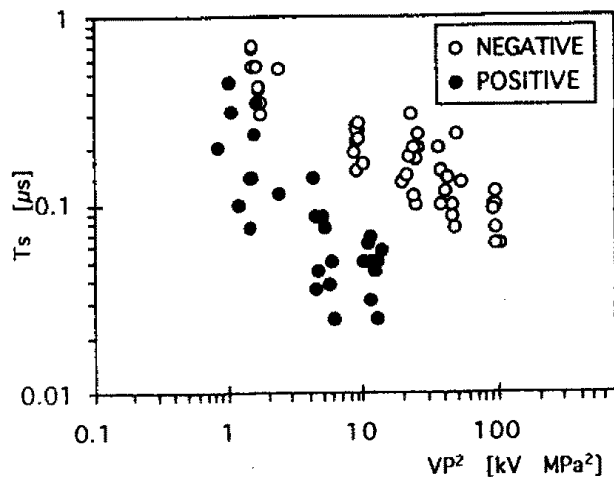


그림 7. VP²-Ts 특성
Fig 7. VP²-Ts Characteristic

4. 결론

바늘모양의 금속성 돌기물에 의한 불평등전계중에서 비진동성 임펄스전압에 대한 SF₆가스의 절연특성과 전구방전

현상을 측정하고, 검토하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 불평등전계중에서 SF₆가스의 V-t특성은 부극성의 경우가 절연파괴에 이르는 시간이 길게 나타났다.
- (2) 최저절연파괴전압-압력특성에는 인가전압의 극성효과가 현저하였으며, 부극성에서의 압력에 대한 의존도가 정극성에서보다 더 큼을 확인하였다.
- (3) 부극성의 리이더 스테핑시간은 동일한 VP²에서 정극성보다 대략 10배정도 길게 나타났으며, 이로부터 SF₆가스의 절연특성은 전구방전현상과 밀접한 상관관계가 있다는 것을 알 수 있다. 극성효과는 전구코로나방전에 의하여 생성된 공간전하작용으로부터 기인됨을 확인하였다. 절연파괴에 미치는 공간전하의 영향과 초기전자발생기구의 영향이 지배적임을 확인 하였다.

References

- [1] B.H. Lee, et al, "Particle-Initiated Breakdown Behaviours of SF₆ Gas under the Very Fast Transient Overvoltages," The 2nd Asian Conference on Electrical Discharge, pp. 67~70, 1989
- [2] B.H.Lee, et al, "Inhomogeneous Field Breakdown of SF₆ Gas under Oscillating Impulse Voltages", 8th ISH, Vol. 1, No. 30.02, pp. 259~262, 1993
- [3] S. Kobayashi, et al., "Nonuniform electric field flashover characteristics of GIS against very fast transient overvoltages", 7th ISH, No. 31.03, pp. 17~20, 1991
- [4] B. H. Lee et al, "V-t Characteristics of SF₆ Gap Disturbed by a Needle-Shaped Protrusion under Oscillating Transient Overvoltages", IEE of Japan Power & Energy, pp. 251~256, July 1993
- [5] 이복희 ; "Predischage Phenomena of Point-to-Plane Gaps in Electronegative Gas", 대한전기학회, 논문지, Vol.41, No.12, pp. 1477~1484, 1992