

# 불평등 전계중에서 SF<sub>6</sub>가스의 절연특성

이창준\*, 이복희  
인하대학교 전기공학과

## Dielectric Characteristics of SF<sub>6</sub> Gas in Inhomogeneous Field

Chang-Jun Lee, Bok-Hee Lee  
Inha Univ.

### Abstract

This paper presents dielectric characteristics of SF<sub>6</sub> 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 SF<sub>6</sub> gas under VFTOs. The experiments were carried out using a needle-to-plane and two needles-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, 현대 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 SF<sub>6</sub>가스를 절연체로 사용하는 가스절연개폐시스템의 사용이 늘어나고 있다. 더우기 계통의 운전조작시에 발생하는 과도과전압에 대한 고려가 GIS의 절연설계 요건으로 지목되고 있으며, 이에 관련된 물리적 현상과 방전특성 또한 중요한 과제로 제시되고 있다. 하지만, 절연파괴전압특성과 전구방전현상은 초기코로나전류의 크기나 공간전하의 전제완화효과가 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<sup>1)</sup>.

따라서 본 연구에서는 GIS모의 실험장치를 사용하여 바늘모양의 금속성 이물체에 의한 불평등전계중에서 비진동성 임펄스전압 및 진동성 임펄스전압에 대한 SF<sub>6</sub>가스의 절연파괴전압-시간특성과 절연파괴전압-압력특성을 측정하였으며, 이 때 바늘모양의 전극이 1개일 경우와 2개일 경우를 비교·검토함으로써 전계분포에 따른 이러한 특성의 변화도 분석·고찰 하였다. 또한 고응답 광대역 분류기를 이용하여 절연파괴시에 나타나는 방전전류를 측정함으로써 인가전압의 종류, 극성과 전극의 개수를 파라미터로 했을 때 전구방전현상에서 나타나는 각각의 차이점을 분석하였다.

### 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용한 전극계를 그림 1에 나타내었다. 비진동성 임펄스

스전압을 발생시키기 위해 400 kV급 MARX형 임펄스 발생장치를 사용하며, 진동성 임펄스전압은 Marx회로, 고압용 콘덴서와 인덕터, 그리고 방전궤를 조합 사용하여 400 ns/1.14 MHz의 파형을 발생시킨다.

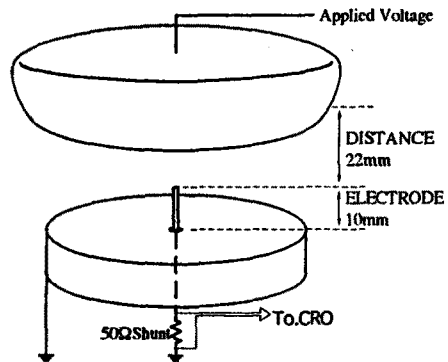


그림 1 전극계의 개략도  
Fig.1 Schematic diagram of electrode geometry

GIS 내에 설치된 단로기의 개폐조작중에 발생하는 과도과전압을 모의하고, SF<sub>6</sub>가스의 절연특성과 방전 현상을 해석하기 위하여 GIS 모의 실험 장치를 설계·제작하였다. 인가전압을 정확히 측정하기 위해서 장치의 상단부에 용량성 전계센서를 내장하고, 상승시간이 매우 빠른 전구방전전류를 측정하기 위해서 침전극에 고응답의 50 Ω 분류기와 10:1 Attenuator를 사용하는 측정계를 구성하였다. 또한 SF<sub>6</sub>가스의 압력을 0.1~0.5 MPa로 하였으며, 인가전압과 전구방전전류는 오실로스코프를 사용하여 실시간으로 동시측정하였다<sup>2)</sup>.

### 3. 실험결과 및 고찰

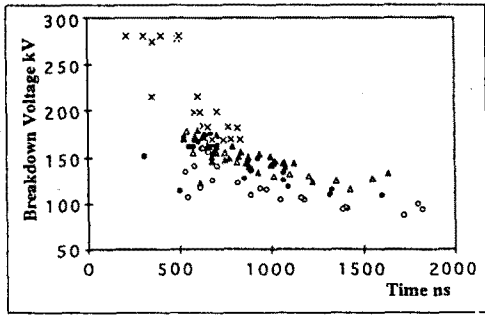
압력, 극성, 인가전압, 그리고 바늘모양의 돌기물의 개수를 달리해 가면서 절연파괴전압-시간특성과 전구방전현상에 대해서 고찰하였다. 또한 극성은 바늘모양의 돌기물을 기준으로 나타내었다.

#### 3.1 절연파괴전압-시간특성

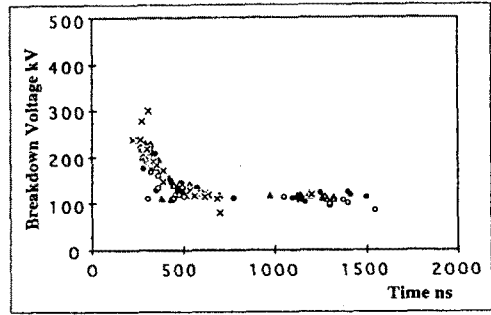
그림 2와 그림 3에서는 가스압력을 파라미터로 하여 바늘전극이 1개인 경우와 2개인 경우의 절연파괴전압-시간특성을 나타내었다.

이 때, V-t특성은 IEC-602규정을 근거로 하여 절연파괴전압은 실험 이전에 시험계에 인가된 최대전압을, 절연파괴시간은 전압이 인가되어 실험에 이르기까지의 시간을 취하였다.

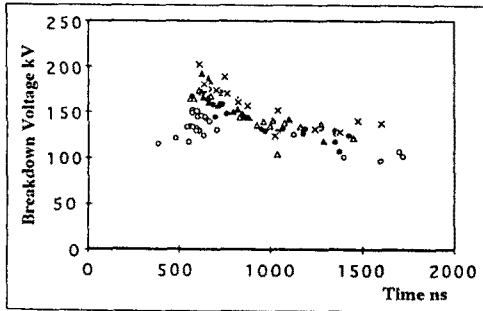
이 결과에서 부극성일 때가 정극성일 때 보다 절연파괴전압이 훨씬 높으며, 최소절연파괴전압이 나타나는 시간영역은 부극성이 긴 시간영역으로 이동하며, 시간지연도 길게 나타났다. 이것은 코로나안정화작용이 부극성의 경우가 더 효과적이기 때문이다.



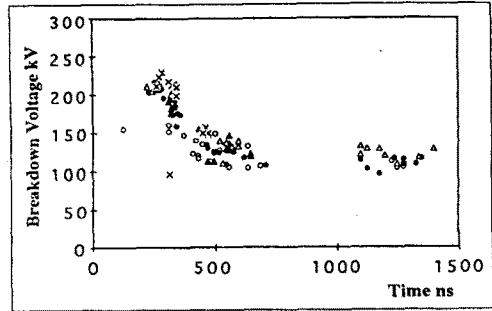
(가)바늘전극 1개의 경우



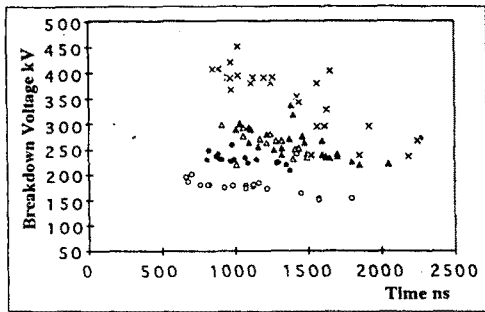
(가)바늘전극 1개의 경우



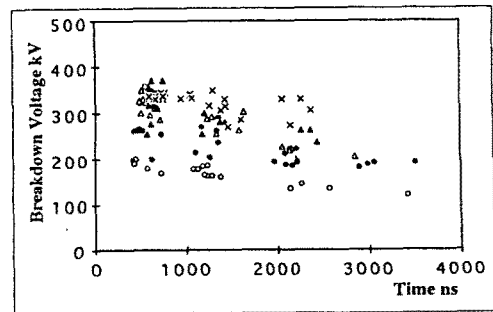
(나)바늘전극 2개의 경우  
(a)Positive



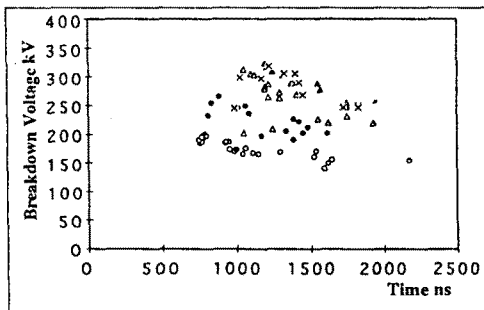
(나)바늘전극 2개의 경우  
(a)Positive



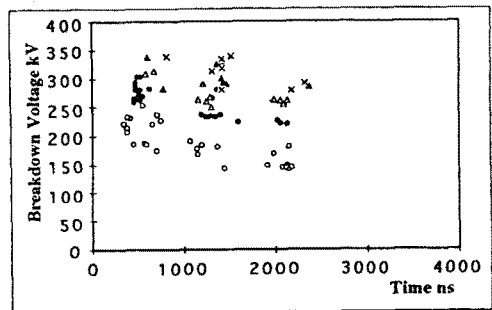
(가)바늘전극 1개의 경우



(가)바늘전극 1개의 경우



(나)바늘전극 2개의 경우  
(b)Negative



(나)바늘전극 2개의 경우  
(b)Negative

그림 2 비진동성 임펄스전압의 V-t특성  
Fig.2 V-t characteristics for non-oscillating impulse voltages

그림 3 진동성 임펄스전압의 V-t특성  
Fig.3 V-t characteristics for oscillating impulse voltages

또한 부극성의 경우가 정극성일 경우보다 절연파괴전압의 편차도 크게 나타났는데, 정극성의 경우 초기전자는 주로 부이온이나 수분 등 불순물의 탈리작용에 의해서 공급되어지며, 부극성의 경우는 침전극의 앞단의 고전계 부분에서의 전자방출에 의해 공급되어지므로, 부극성의 경우 공간전하의 영향을 훨씬 더 받게 된다.

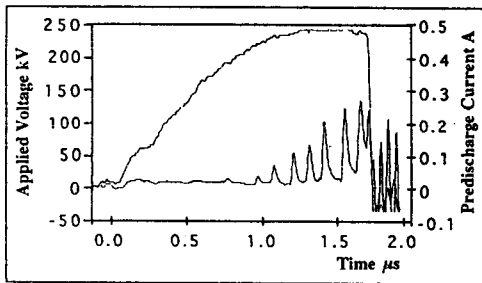
바늘전극 1개인 경우가 2개인 경우에 비해 절연파괴까지의 시간분포가 균일하게 나타났는데 반하여 진동성 임펄스전압의 진동의 피크치 부근에 데이터가 집중되어 있다는 특징을 보인다. 이것은 스트리머코로나나전류에 의하여 생성된 공간전하가 보다 광범위하게 분포되어 절연파괴를 위해서는 보다 높은 전계를 필요로 하게 되어 진동의 계속과 같이 전위가 낮은 상태에서는 거의 방전의 진전이 일어나고 있지 않음을 보여주고 있다. 바늘전극이 2개 설치된 경우의 정전계 분포는 이웃 바늘전극의 영향으로 바늘전극 끝단에서의 전계의 세기는 다소 상승될 것으로 생각되어지지만 전체적인 전계의 분포는 오히려 완화되는 분포를 나타낸다.

### 3.2 전구방전현상

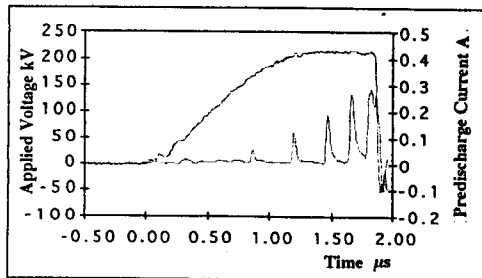
전구방전현상의 정성적인 해석을 위하여 절연파괴시의 전구방전전류를 측정하였다. 그림 4에서는 비진동성 임펄스전압 및 진동성 임펄스전압 인가시의 전구방전전류의 대표적인 예를 나타냈다.

극성과 바늘전극의 개수에 따라 전구전류 파형의 차이는 크게 나타나지는 않았다. 정극성의 경우 초기전자는 주로 SF<sub>6</sub>가스의 부이온 또는 수분으로부터 공급되며, 정의 스트리머코로나에 의해서 발생된 정이온이 생성되며, 정이온의 공간전하 영향을 받게 된다. 전구코로나전류가 수회 간헐적으로 나타난 후 심박에 이르는 전전과정은 관측되었으며 즉, 리더전전기구에 의하여 최종 심박에 이르는 것으로 판단된다.

부극성의 전압이 인가되었을 때의 전구방전전류의 양상은 정극성의 경우와는 조금 다르게 나타났으며, 초기코로나보다 제 2, 제 3의 스트리머코로나가 보다 강력하게 나타나는 특징을 보이며, 이들의 연속적인 스트리머코로나가 수회 펄스과정을 경유하여 진전되는 특성을 나타내고 있고, 또한 이온성 전류 성분을 포함하고 있음을 알 수 있다. 가스압력에 따라 다른 양상의 전구방전이 관측되었는데, 가스압력이 증가함에 따라 제 1스트리머의 크기가 점차 감소하며, 리더의 속도는 증가하는 추세가 나타났으며, 리더의 스텝핑 시간이 좁아지는 것을 알 수 있었다.

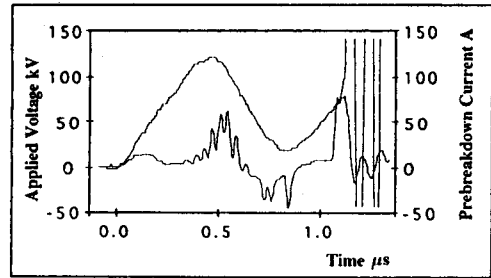


(가) 정극성

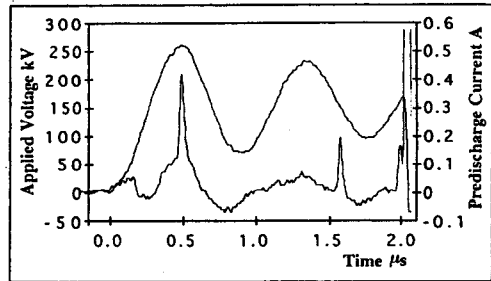


(나) 부극성

(a) 바늘전극 2개에 대한 비진동성 임펄스전압에 대한 전구방전전류 파형의 예



(가) 정극성



(나) 부극성

(a) 바늘전극 2개에 대한 진동성 임펄스전압에 대한 전구방전전류 파형의 예

그림 4 바늘전극 2개에 대한 대표적인 전구방전전류 파형의 예  
Fig. 4 Examples of the typical predischage current waveforms for two needles.

특히 바늘전극이 2개 설치된 전극계에 정극성의 임펄스전압을 인가하였을 때의 전구방전전류는 절연파괴 직전에 공간전하의 효과에 의하여 점진적으로 상승하는 형상을 보이고 있다. 또한 진동성 임펄스전압을 인가시켰을 때의 전구전류 파형은 0.2 MPa 이하에서는 양방향성 전류 성분이 관측되지 않았으나 그 이상의 가스압력에서는 양방향성 전구방전의 진전양상이 관측되었다<sup>[6]</sup>. 특히 이러한 양방향성 전구방전 진전 양상은 부극성 경우보다는 정극성 진동성 임펄스전압을 인가시켰을 경우가 현저하게 나타났다.

### 4. 결론

바늘모양의 돌기물에 의한 불평등전계중에서 진동성과 비진동성에 대한 SF<sub>6</sub> 가스의 절연특성과 전구방전현상을 측정·분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 불평등전계중에서 SF<sub>6</sub> 가스의 V-특성은 극성과 인가전압에 크게 의존한다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 바늘전극 1개의 경우와 2개인 경우를 비교하면, 전계가 중첩되면서 완화되는 효과를 나타내고, 전류가 외향적으로 발생하므로, 절연파괴현상이 큰 차이를 보이지는 않았다.
- (3) SF<sub>6</sub> 가스의 절연파괴현상은 전구방전현상과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있으며, 전극의 개수에 따라 다소의 변화가 있음을 알 수 있었다.

### REFERENCES

[1] T.Kawamura, B.H. Lee, T.Nishimura and M.Ishii, "Breakdown Characteristics of SF<sub>6</sub> Gap Disturbed by a Metallic Protrusion under Oscillating Transient Overvoltages", Jpn. J. Appl. Phys., Vol.33, No.4A, pp.2043-2049, 1994.  
[2] B.H. Lee, C.J. Lee, K.S. Kil, C.H. An, "Dielectric Characteristics of SF<sub>6</sub> Gas Stressed by VFTO in Inhomogeneous Field" Proc. KIEEME, pp.306-309, 1995.11.  
[3] B.Heer "Leader propagation in Inhomogeneous SF<sub>6</sub>-Gaps under VFT-Stress with Critical Frequencies" Proc. of 9th ISH Paper No.2237, 1995.