

불평등전장에서 SF₆ 기체의 뇌임펄스 절연파괴특성

이복희, 최취성*, 오성균, 이 봉
인하대 차세대 고전압전력기술연구소

Characteristics of lightning impulse breakdowns in inhomogeneous SF₆ gas gap

B.H. Lee, H.S. Choi*, S.K. Oh, F. Li
HEIRC, Inha University

Abstract - V-p characteristics and the discharge luminous characteristics in inhomogeneous SF₆ gas gap under the positive and negative lightning impulse voltages are presented. The test gap was composed of the plane-to-plane with a needle-shaped protrusion. The applied voltage and the predischage current were measured by the electric field sensor and the shunt of 50 Ω, respectively. The light emission signals were observed by a photomultiplier tube, and a high-speed camera. In a consequence, the dielectric strengths of SF₆ gas gap under positive lightning impulse voltages were independent of the gas pressure. In the presence of the positive polarity, the branches of discharge channel were created and the directions of the discharge paths were random. On the other hands, the discharge paths of the negative polarity were more thicker and brighter.

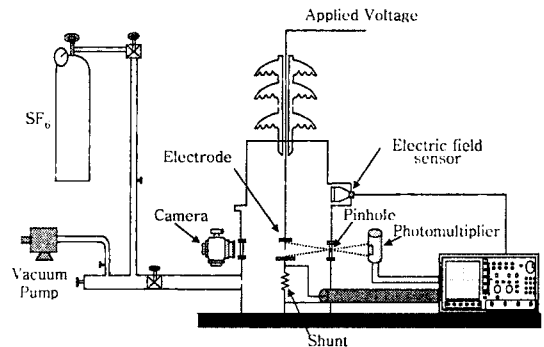


그림 1 실험장치의 개략도
Fig. 1 A schematic diagram of the experimental apparatus

실험장치는 내경 396 mm의 스테인리스강을 이용하여 원통형으로 제작하였다. 뇌임펄스전압을 인가하기 위하여 66 kV(BIL, 350kV) 콘덴서형 부싱을 상단에 설치하였고, 실험전압을 가능한 전극 가까운 곳에서 정확하게 측정하기 위하여 원추형의 전장센서를 전극 상단부에 설치하였다. 상부 평판전극의 중앙에 바늘모양의 침을 부착시킨 전극계를 구성하여 불평등전장을 모의하였고, 하부 평판전극에 전구방전전류를 측정하기 위해 고응답 분류기를 설치하였으며, 상부와 하부전극사이에서 발생하는 빛의 방출 신호를 측정하기 위해 관측창에 photomultiplier(Hamamatsu C956)를 부착하였고, 섬락시 발생하는 방전광을 관측하기 위해 고속카메라를 관측창에 고정시켰다.

1. 서 론

SF₆(Sulfur Hexafluoride: SF₆)기체는 화학적 안정성, 비가연성, 비독성 및 비폭발성 등 많은 장점을 가지고 있어 가스절연개폐장치(Gas-Insulated Switchgear : GIS)의 절연물질로서 현재 널리 사용되고 있다. 그러나 GIS 내부에서 단로기가 동작할 때 상승시간이 빠른 다양한 과도과전압이 발생하고 있다. 또한, GIS 내부에 금속 이물질이 존재할 경우 SF₆ 가스의 절연내력이 현저하게 저하되는 것으로 알려져 있다.¹⁾ 따라서 GIS의 성능과 운전효율의 향상을 위해서는 가스절연기기의 절연 파괴 현상과 절연내력에 직접적으로 영향을 미치는 전구 방전의 진전기구에 대한 해석은 매우 중요하다.

본 연구에서는 금속성 이물질이 존재하는 경우 SF₆ 가스갭에서 절연파괴를 일으키는 전구방전의 진전과정을 분석할 목적으로 전구방전전류와 빛 방출 신호를 측정하여 이를 기초로 절연파괴전압-압력을 분석하고, 방전광을 관찰하여 방전채널의 진전경로에 대해서 분석하였다. 침전극을 평판전극에 부착시킨 전극계를 구성하였다. 인가전압과 전구방전전류는 각각 용량성 전장센서와 고응답 분류기를 이용하여 계속하였으으며, photomultiplier와 고속카메라를 이용하여 빛의 방출 신호를 측정하였다. SF₆ 가스의 압력 범위는 0.1~0.5 MPa이었다.

전극계의 단면도를 그림 2에 나타내었다.

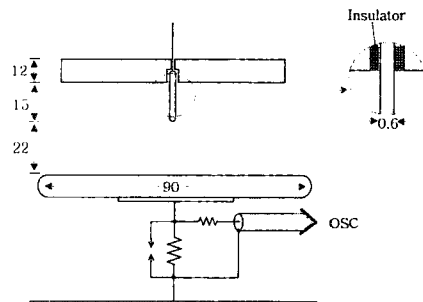


그림 2 바늘모양의 돌기침이 부착된 평행평판 전극계
Fig. 2 Plane to plane with a needle-shaped protrusion

2. 실험 장치 및 방법

2.1 실험 장치

불평등전장에서 SF₆ 가스갭의 뇌임펄스 절연파괴특성을 분석하기 위하여 그림 1과 같이 실험 장치를 구성하였다.

평행평판 전극사이의 간격은 37 mm이고, 바늘모양의 돌기침은 곡률 반경 및 길이가 0.3 mm 및 15 mm이다. 상부의 평판전극은 직경이 70 mm인 동, 하부의 평판전극은

직경이 90 mm인 스테인리스강을 사용하였다. 실험전압의 변동에 의한 변위전류 성분을 최소화하기 위해서 상부의 평판전극과 침전극을 전기적으로 절연시켰다. 전구방전전류의 측정용 50 Ω 분류기에 고성능 SPD를 병렬로 접속하였다.

정·부극성의 뇌임펄스전압을 발생시키기 위해 병렬충전식 8단 Marx형 임펄스전압 발생장치를 이용하였고, 파형은 1.2/44 μs이었다. 인가전압의 측정에 사용된 용량성 전장센서는 200 MΩ의 주파수대역을 가지므로 정확한 실험전압의 검출이 가능하였다.

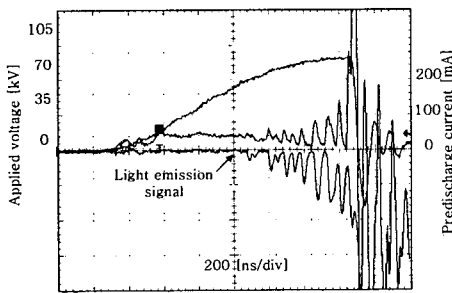
2.2 실험 방법

실험용기를 0.133 Pa까지 배기시킨 다음 SF₆ 가스를 주입시킨 후 뇌임펄스전압을 인가하여 실험을 수행하였다. 전원은 절연변압기와 2중 라인필터를 접속하여 잡음과 외란의 영향을 최소화하였다. 광 신호를 센서로 받아 들여 광이 발생된 시점에서 끝날 때까지를 촬영할 수 있는 고속카메라를 사용하여 섬락시에 방전광을 실시간으로 촬영하였다. 동일한 조건에 대해서 정·부극성의 뇌임펄스전압을 각각 20~30회 인가하여 절연파괴전압과 전구방전전류, 및 방출 신호를 측정하였고, 동시에 방전광을 촬영하였다.

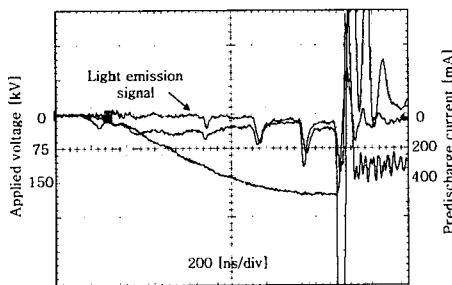
3. 결과 및 고찰

3.1 전구방전전류의 파형

불평등전장인 SF₆ 가스갭 내에서 진전하는 전구방전전류의 대표적인 파형을 그림 3 나타내었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

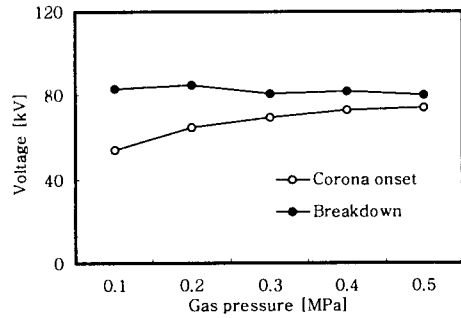
그림. 3 전구방전전류의 전형적인 파형
Fig. 3 Typical waveforms of the predischage currents

전구방전의 진전과정은 극성에 관계없이 스트리머코로나를 경유하여 리더전류펄스가 간헐적으로 수 회 진전한

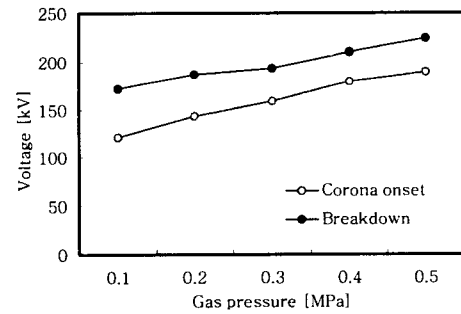
후 섬락에 이르는 것으로 관측되었다. 전구방전의 진전과정은 인가전압의 극성에 관계없이 리더 진전에 의한 절연파괴였지만, 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 리더전류펄스 사이의 시간간격이 넓으며, 이온성 전류성분을 많이 포함하고 있음을 알 수 있다.

3.2 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압의 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 4에 SF₆ 가스의 기체압력에 따른 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압을 비교하여 도시하였다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림. 4 뇌임펄스전압에 대한 SF₆ 가스의 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압의 비교

Fig. 4 Comparison between the breakdown voltage and corona onset voltage in SF₆ under the lightning impulse voltages

정극성의 뇌임펄스전압이 인가되었을 경우 이온의 탈리작용에 의해 초기전자가 방출되고 생성된 전자나 부이온은 침전극으로 유입되고, 침전극의 앞단에는 정이온이 잔류하게 되며, 이 때 정이온과 공간전하의 양과 분포는 가스압력에 영향을 받는다. 가스압력이 증가함에 따라 공간전하의 확산과 소멸이 억제되어 계단상 리더의 발생과 진전이 용이하게 된다.^[2]

부극성의 경우 침전극에서의 전자방출에 의해서 초기전자가 발생하여 스트리머코로나가 형성되고 이 때 생성된 정이온은 침전극으로 유입되며, 침전극의 끝단에는 부이온이 잔류하게 되어 침전극 끝단을 차폐하게 된다. 가스압력의 증가에 따라 공간전하의 양과 소멸시간이 변화하게 되고 따라서 가스압력이 증가함에 따라 침전극 앞단의 공간전하의 확산에 의한 소멸이 억제되는 전장안

정화 작용으로 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압이 증가하게 된다.

3.3 절연파괴시의 발광 특성

정극성 뇌임펄스전압을 인가시켰을 경우 침전극과 평판전극사이의 최종섬락시에 발생하는 방전광의 대표적인 예에 대한 사진을 그림 5에 나타냈다.

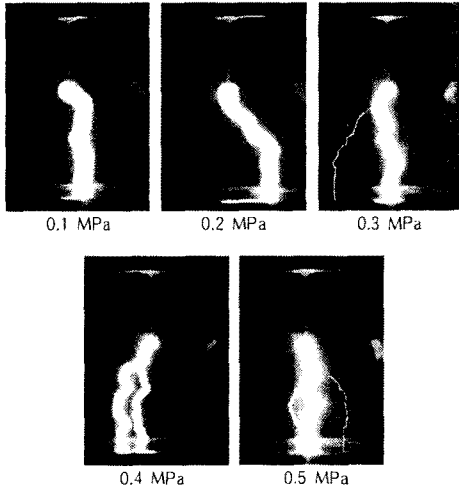


그림. 5 정극성 뇌임펄스전압에 의한 섬락시의 방전광 사진
Fig. 5 Sparkover photographs under the positive lightning impulse voltages

정극성의 경우 침전극에서 출발하여 평판전극으로 향하여 진전하는 역할을 하는 선구자기구에 의해 리더가 진전하게 된다. 선구자가 발생하기 위해서는 이온의 이동에 의해서 생성된 공간전하에 의해서 증가된 전장의 세기가 개시값 이상이 되어야 한다. 그런데 이온의 이동에 의해서 생성된 공간전하를 생성하는데 요구되는 시간은 인가전압에 반비례하고 가스압력의 제곱에 반비례하는 강한 가스압력 의존성을 갖는다. 가스압력이 0.3 MPa 일 경우를 기점으로 하여 방전채널의 진전경로가 분기하는 경향을 볼 수 있는데 이 또한 리더의 끝단에서 발생하는 공간전하의 생성시간이 짧아져 공간전하에 의해서 증가된 전장의 세기가 개시값 이상인 영역이 발달되고 전기작용이 임계값 이상인 영역이 확대되었기 때문이라 사료된다. 또한 정극성의 경우 리더의 진전경로는 임의성을 보였다. 이는 전압이 인가되어 침전극의 끝단에 초기전자가 발생하고 초기전자에 의해 전자사태로 진전되는 순간, 전자사태가 임계전장보다 큰 전장이 형성되는 부분으로 진전되어 발전하는 방향의 임의성과 관계가 있다고 사료된다.^[1]

부극성 뇌임펄스전압을 인가시켰을 경우 발생하는 방전광의 대표적인 예에 대한 사진을 그림 6에 나타냈다.

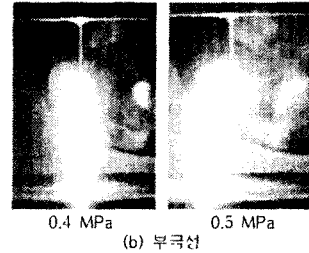
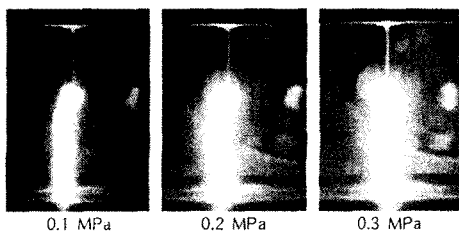


그림. 6 부극성 뇌임펄스전압에 의한 섬락시의 방전광 사진
Fig. 6 Sparkover photographs under the negative lightning impulse voltages

부극성의 경우는 전극에서 코로나 주위로 진전하는 도전통로를 만드는 역할을 하는 선구자에 의해 리더가 진전하게 된다. 리더 형성에 관련된 시간은 인가전압에 반비례하고 가스압력의 1/2승에 역비례하기 된다. 부극성의 경우 가스압력이 증가함에 따라 전장안정화 작용으로 절연파괴전압이 증가하게 되고 리더 형성에 필요한 시간은 짧아지게 된다. 따라서 발생할 수 있는 공간전하의 양은 증가하고 스템으로의 전류 집중을 일으켜, 집중된 전하는 리더발단을 일으킬 수 있도록 에너지를 공급하게 되고, 빠른 에너지입력 후에 도전통로가 팽창하게 된다. 정극성의 경우 전자사태는 모여드는 형상이고, 부극성의 경우 전자사태는 방사상으로 팽창하는 진전형상을 보이므로 그림 5, 6에서 볼 수 있듯이 진전하는 리더의 반경은 부극성의 경우가 크게 된다.

4. 결론

금속성 돌기물이 존재하는 불평등 SF₆ 가스갭의 뇌임펄스전압에 대한 절연파괴특성과 방전광을 측정하고 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 동일한 기체압력에서 부극성의 경우가 절연파괴전압이 높게 나타났고 절연파괴시간도 길게 나타났다.
- (2) 정극성의 경우 기체압력이 증가할수록 방전채널이 분기하는 경향을 나타냈으며, 방전채널의 형성방향 또한 임의적이었다.
- (3) 부극성의 경우 기체압력이 증가할수록 절연파괴전압이 증가하고 방전채널은 더욱 팽창하였다.

본 논문은 산업자원부에서 시행한 전력산업 인프라인구축 지원사업의 지원에 의하여 수행된 결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Tatsuo Kawamura and Bok Hee Lee : "Transient Impulse Breakdowns of SF₆ Gas in Inhomogeneous Electric Fields", J. Appl. Phys. Vol. 38, pp. 4898~4904, 1999
- [2] 이부희, 이경옥, 백승권 : "SF₆ N₂ 혼합가스중에 뇌임펄스 전압에 의해 형성된 불평등전장에서 전구방전현상", 電氣學會論文誌, 50C卷, 6號, pp. 288~295, 2001
- [3] L. Niemeyer, L. Ullrich and N. Wiegart : "The Mechanism of Leader Breakdown in Electronegative Gases", IEEE Trans. Vol. EI 24, No. 2, pp. 311~312, 1989