

SF₆ 기체와 SF₆-N₂ 혼합기체의 초기코로나 특성

이복희*, 김정일*, 박성환*
*인하대학교

The first corona inception characteristics in SF₆ gas and SF₆-N₂ mixtures

B.H. Lee*, J.I. Kim*, S.H. Park*
*Inha University.

Abstract - The discharge processes in electro-negative gases with non-uniform field gaps are composed of the formation of pulsed streamer corona, the transition of the streamers into leader step, the temporal development of the leader channel, and the stepped propagation of leader through the gap. In this paper, the first corona inception characteristics in SF₆ gas and SF₆-N₂ mixtures, related to the propagation of leader and the space charge effect, were experimentally investigated with positive and negative transient impulse voltages.

1. 서론

불평등전계에서 부성기체의 절연파괴과정은 초기코로나 스트리머가 발생된 후 리더로 천이되고, 리더가 진전하는 형태로 절연파괴에 이르게 된다. 따라서, 본 논문은 리더의 발생진전과 공간전하효과에 직접적인 관련이 있는 초기코로나 개시전압, 초기코로나개시전압-절연파괴전압 및 통계적지연시간-기체압력의 관계를 분석하기 위해서 불평등 전계를 이루는 침상돌기물이 부착된 평행판 전극계를 구성한 후, Marx generator을 이용하여 뇌임펄스전압과 진동성임펄스 전압을 인가하였을 때 나타나는 초기코로나특성에 대하여 연구하였다. 기체압력과 인가전압 극성 및 형태의 변화에 따른 SF₆ 기체와 SF₆-N₂혼합기체의 초기코로나특성실험을 수행하였다.

리더의 진전과 공간전하효과에 직접적인 관련이 있는 초기코로나 개시전압과 초기스트리머코로나의 발생과 절연파괴전압의 관계를 비교·분석하기 위해서 정극성 임펄스전압에서의 최소절연파괴전압과 초기코로나 개시전압의 V-p 특성을 측정·분석하였으며, 또한 전압이 인가된 후 초기스트리머코로나가 생성되기까지의 시간인 통계적 지연시간을 SF₆ 기체와 SF₆-N₂혼합기체의 경우 각각 기체의 압력을 파라미터로 하여 비교·분석하였다. SF₆ 기체와 SF₆-N₂혼합기체의 초기코로나특성은 인가전압의 극성과 형태 및 기체압력에 따라서 다소 차이를 보였으며, 정극성의 경우에 코로나 안정화작용은 기체압력의 변화에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서는 GIS 내에 설치된 단로기의 개폐조작중에 발생하는 과도과전압을 모의하고, 과도과전압에 의한 불평등전계중에서의 SF₆기체와 SF₆-N₂혼합기체의 절연파괴현상과 초기코로나특성을 해석하기 위하여 그림 1과 같이 GIS 모의 실험 장치를 설계·제작하여 SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체중의 방전특성에 대해 실험하였다. 전극은 평행판전극배치로 하부 전극은 반경이 45mm인 stainless steel전극으로, 상부 전극은 35mm인 동

으로 된 전극을 사용하였고, 불평등전극계를 형성하기 위하여 길이 10mm의 바늘모양의 돌기물을 상부 전극에 설치하였으며, 변위전류성분을 최소화하기 위해서 상부 평판과 침상돌기물을 전기적으로 절연시켰다.

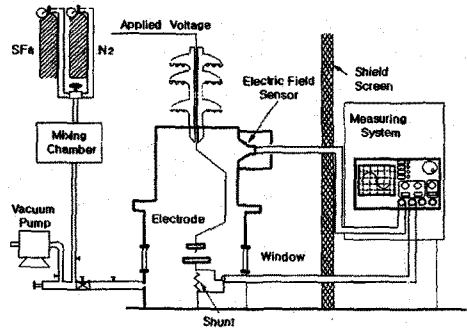


그림 1. 실험장치의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of the GIS experimental apparatus

실험전압과 전구방전전류는 용량성 전계센서, 고응답 분류기와 오실로스코프(TDS644B)를 이용하여 실시간으로 검출하여 관측하였다. 뇌 임펄스전압은 Marx Generator을 이용하여 인가하였고, Marx Generator와 인덕터, 고전압용 콘덴서, 적렬 갭을 조합함으로써 진동성 임펄스전압을 발생시켰다. 실험에 사용된 인가전압 파형을 그림 2에 나타내었다.

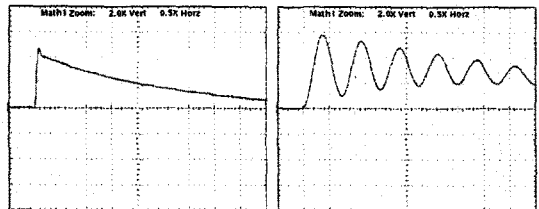


그림 2. 인가전압 파형(40kV/div, 10μs/div, 0.8μs/div)
Fig. 2. Typical waveforms of the applied voltages

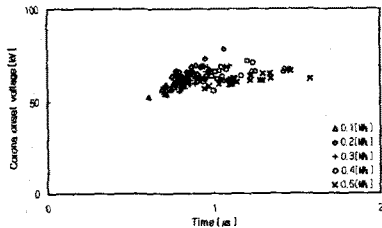
뇌 임펄스전압의 파두시간(T_r)과 파미시간(T_f)은 약 1.7/40μs이고, 진동성 임펄스전압은 상승시간이 약 400ns이며, 50%감쇠시간은 44μs이고, 진동주파수는 0.83MHz이다. 인가전압은 200MHz의 주파수대역을 가지는 용량성 전계센서를 이용하여 측정하였으며, 전구방전전류는 110MHz의 고응답분류기를 이용하여 검출하였다. 실험용기내의 압력은 진공펌프를 이용하여 약 0.133Pa까지 배기시킨 후 상용의 SF₆기체와 SF₆-N₂혼합기체를 0.1~0.5MPa까지 조절하여 주입하였다. 인가전압과 전구방전전류의 측정용 케이블은 동축케이블을 2중 차폐하

여 사용하였고, 실험에 사용된 제측장치들은 차폐함내에 내장시켰으며, 제측기용 전원은 절연변압기와 전원필터를 통하여 공급하므로써 외부에서 발생하는 잡음과 외란의 영향을 최소화시켰다.

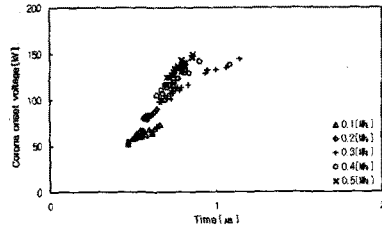
3. 결론 및 고찰

1. 초기코로나 개시전압 - 시간특성

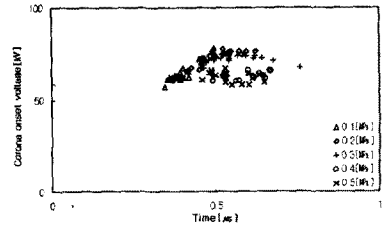
그림 3 에 침상물기물이 부착된 평행판 전극계에서 SF₆-N₂ 혼합기체의 기체압력의 변화에 따라 나타나는 코로나개시전압의 예를 나타내었다.



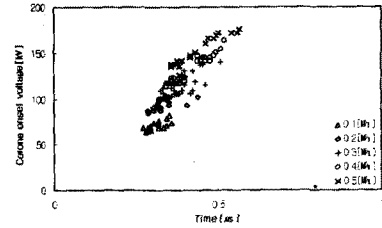
뇌임펄스전압(정극성)



뇌임펄스전압(부극성)



진동성전압(정극성)



진동성전압(부극성)

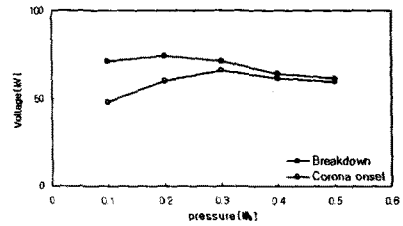
그림 3. SF₆-N₂ 혼합기체 경우의 초기코로나 개시전압 - 시간특성

Fig. 3. First corona onset voltage-time characteristics in SF₆-N₂ Mixtures

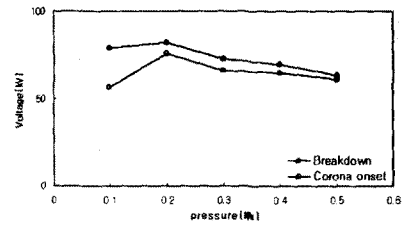
SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체에서 뇌임펄스전압이 인가된 경우가 진동성 임펄스전압이 인가된 경우보다 초기스트리머코로나가 발생될 때까지의 시간지연이 길게 나타났는데, 이것은 뇌임펄스전압의 상승시간이 진동성임펄스전압의 상승시간보다 느리기 때문에 초기코로나 개시

전압에 도달하는 시간이 늦기 때문인 것으로 사료되어진다. 또한, 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 코로나 개시전압이 낮았는데, 이는 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 초기전자가 발생될 확률이 높기 때문인 것으로 생각된다. 부극성의 경우는 기체압력이 높아짐에 따라서 코로나 개시 전압도 따라서 상승하였다. 전반적으로 보면 코로나개시전압이 불규칙인 분포를 나타내는 것을 볼 수 있는데, 이는 기체의 압력, 인가전압의 상승 시간에 의해서 변화되는 전극내의 전계분포에 의한 초기전자의 발생확률이 다르기 때문인 것으로 생각된다.

2. 절연파괴전압-초기코로나 개시전압

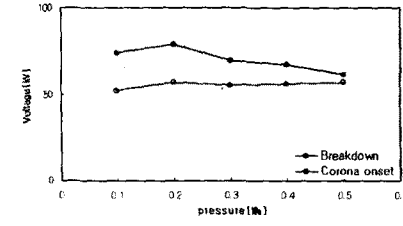


뇌임펄스전압

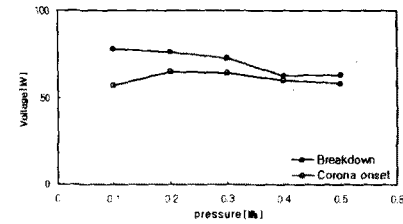


진동성전압

(a) SF₆기체



뇌임펄스전압



진동성전압

(b) SF₆-N₂ 혼합기체

그림 4. SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체 경우의 절연파괴전압과 초기코로나 개시전압 - 압력특성

Fig. 4 Breakdown voltage & First corona onset voltage - pressure in SF₆ gas and SF₆-N₂ mixtures

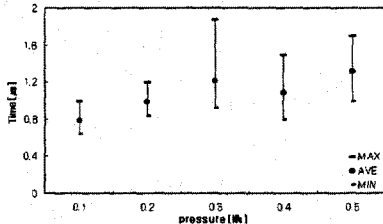
그림 4 에는 SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체의 정극성에서의 최소절연파괴전압과 최소초기코로나 개시전압의 V-p 특성을 나타내었다. 최소절연파괴전압과 초기코로나 개시전압의 발생형태는 기체의 종류와 인가전압의 형태에 관계없이 유사한 특성을 보이고 있다.

최소절연파괴전압은 0.2MPa에서 가장 크게 나타나고, 0.2MPa 압력을 기점으로 최소절연파괴전압은 감소하는데 이것은 0.2MPa에서 스트리머방전이 일어나서 코로나 안정화 작용을 증대시켜 전극주위의 전계가 현저히 감소되기 때문이다. 또한 기체의 압력이 증가함에 따라 최소절연파괴전압과 코로나개시전압간의 전압의 차이가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 0.2MPa를 기점으로 코로나 안정화작용이 감소되어지고 있음을 의미한다. 코로나 안정화 작용이 작아짐으로 인해 리더 필스의 발생이 쉬워지고 절연파괴전압이 낮아지는 현상을 나타냈다. [1]

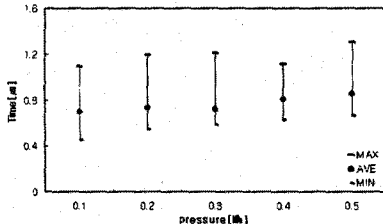
0.5MPa의 기체압력에서는 최소절연파괴전압과 최소초기코로나개시전압이 비슷한 전압분포를 나타내었으며, 리더의 발생이 쉬워져 낮은 전압에서 절연파괴가 일어난다.

3. 통계적지연시간(Statistical time lag)

통계적 지연시간은 전압이 인가되기 시작한 시점에서부터 초기코로나가 발생되는 시간까지의 시간간격으로 초기전자의 발생메커니즘과 관련이 깊다. [2] 초기 전자의 발생이 많으면, 방전의 진전이 빨라지므로, 절연파괴까지의 시간도 더 짧아지게 된다. 따라서, 통계적지연시간은 전력설비에 과도과전압이 발생할 경우 전력설비에 영향을 줄 것인지 아닌지를 결정하는 중요한 요소이다.

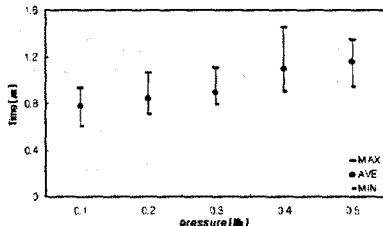


정극성

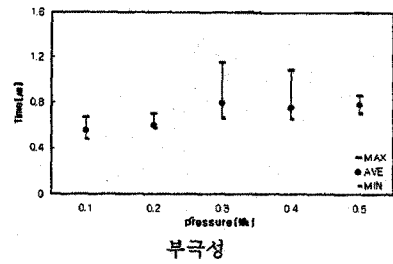


부극성

(a) SF₆기체



정극성



(b) SF₆-N₂ 혼합기체

그림 5. 뇌임펄스전압이 인가된 경우 기체압력에 따른 통계적지연시간

Fig. 5. Characteristics of statistical time lag -pressure as lightning impulse voltage is applied

통계적지연시간과 기체압력과의 관계를 나타낸 그림 5에서 알 수 있듯이 압력이 증가할수록 초기스트리머코로나 발생까지의 시간이 점차적으로 길어지는 것을 알 수 있다. 이러한 원인은 압력이 증가함에 따라서 전극내의 초기전자의 자유행정거리가 짧아져 스트리머로 진전하기 위한 에너지를 얻기가 어려워지므로 초기코로나의 발생이 억제되어 통계적 지연시간이 길어지는 것으로 생각할 수 있다. 또한, 부극성 경우보다는 정극성의 경우가 통계적지연시간이 길게 나타났는데 이는 부극성의 경우에 더 높은 전압이 인가되기 때문에 전극간의 전계 불평등정도가 정극성의 경우보다 더 크게 나타나기 때문이며, 그로인해, 부극성의 경우에 초기전자의 발생이 쉬어져 초기스트리머코로나가 짧은 시간내에 발생한 것으로 생각된다.

4. 결 론

SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체의 과도임펄스전압에 대한 절연특성과 초기코로나현상을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 초기코로나 개시전압은 정극성의 경우에는 기체압력의 변화에 관계없이 유사한 전압분포를 나타내었지만, 부극성의 경우에는 기체압력이 상승할수록 증가하는 현상을 나타내었다.
- (2) 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 코로나 개시전압이 낮았으며, 최소 초기스트리머코로나의 발생시간은 뇌임펄스 경우가 진동성임펄스의 경우보다 길게 나타났다.
- (3) SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체의 정극성에서의 최소절연파괴전압과 초기코로나 개시전압의 관계는 기체의 종류와 인가전압의 형태에 관계없이 유사한 특성을 보이며, 기체의 압력이 증가할수록 코로나 안정화 작용이 감소됨을 알 수 있었다.
- (4) 통계적지연시간은 SF₆기체와 SF₆-N₂ 혼합기체의 경우 모두 기체압력이 증가함에 따라서 점점 길어지는 것을 알 수 있었으며, 정극성의 경우가 부극성의 경우보다 길게 나타났다.

[참 고 문 헌]

- [1] H. Okubo, M. Yoshida, "Discrimination of Partial Discharge Type in SF₆ gas by Simultaneous Measurement of Current Waveform and Light Emission", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, 1996.
- [2] W. Wiegart, "A Model for the Production of Initial Electrons by detachment of SF₆⁻ ions", IEEE Trans., Vol. PAS-88, No.10, October.