

불평등전계중에서 SF₆가스의 절연특성

Dielectric Characteristics of SF₆ Gas in Non-uniform Fields

이복희 인하대학교 공대 전기공학과
전덕규 서울산업대학교 자동차공학과
이경옥 인하대학교 공대 전기공학과
안창환 인하대학교 공대 전기공학과
이창준 인하대학교 공대 전기공학과

Bok-Hee Lee Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.
Duk-Kyu Jeon Dept. of Automotive Eng., Seoul Ntl. Polytech. Univ.
Kyoung-Ok Lee Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.
Chang-Whan Ahn Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.
Chang-Jun Lee Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.

Abstract

This paper describes dielectric characteristics of SF₆ gas stressed by the non-oscillating and oscillating impulse voltages in inhomogeneous fields disturbed by metallic protrusion.

The breakdown voltage-time (V-t) characteristics and breakdown voltage-gas pressure (V-p) characteristics and their characteristics are statistically investigated with positive and negative very fast transient overvoltages. The experiments were carried out using a needle-to-plane gap geometry 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.

1. 서론

불평등전계중에서 VFTO에 대한 SF₆가스의 절연파괴과정은 고유의 특별한 특성과 응용면에 있어서 대단히 중요하기 때문에 매우 관심 있는 연구의 대상이었다. SF₆가스를 절연재료로 사용하는 가스절연개폐장치 내부에 장착된 단로기의 조작시에 다양한 특성을 가지는 VFTO가 발생하며, 특히 금속성 이물질에 의한 불평등전계중에서 VFTO에 대한 SF₆가스의 절연특성은 매우 민감하여, 절연내력이 저하되는 특성을 보이고 있다. 따라서 가스절연개폐장치에 금속성 이물질의 존재는 SF₆가스의 절연내력을 제한하는 주요 원인이 되며, 현재까지도 VFTO에 대한 불평등전계중에서의 SF₆가스의 절연특성과 물리적 성질의 해석은 주요 연구의 대상이 되고 있다.

본 연구에서는 불평등전계중에서 정극성과 부극성의 VFTO에 대한 SF₆가스의 절연파괴전압-시간(V-t)특성, 절연파괴전압-가스압력(V-p)특성을 조사, 분석하였다.

2. 실험장치

GIS내에 설치된 단로기의 개폐조작중에 발생하는 비진동성 임펄스전압 및 진동성 임펄스전압을 모의하고, 이 전압에 대한 돌기물에 의한 불평등전계중에서의 SF₆가스의 절연특성과 방전현상을 해석하기 위하여 그림 1과 같이 GIS 모의 실험 장치를 설계·제작하였다.

모의 실험용 GIS챔버는 내경 396mm의 스테인레스강을 재료로 하여 원통형으로 제작하였으며,

내부전극에 전압을 인가하기 위하여 66kV(BIL 350kV)용 콘덴서형 부상이 설치되어 있다.

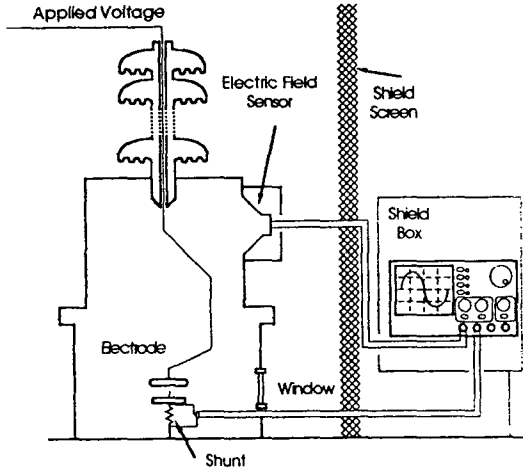


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

또한 전극에 인가되는 실험전압을 가능한 한 정확하게 측정하기 위하여 원추형으로 설계·제작된 전계프로브를 전극 상단부에 설치하였다. 전극으로는 반경 35mm인 동전극과 반경이 45mm인 stainless steel전극을 한조로 구성하였으며 동전극의 중심에는 곡률반경 및 길이가 각각 0.5mm, 100mm인 침 돌기물을 1개 및 2개를 교번 설치함으로써 GIS내에서 금속 돌기물에 의한 불평등전계를 모사하였다.

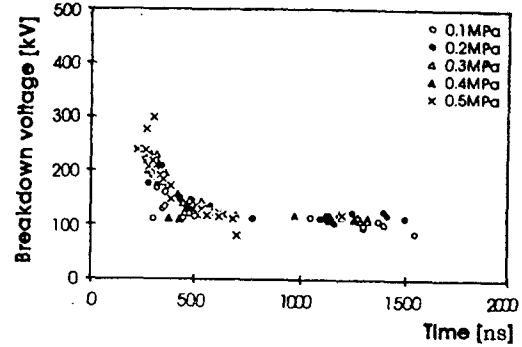
비진동성 임펄스전압은 Marx발생기에 의하여 발생되며, 진동성 임펄스전압은 Marx발생기와 인덕터, 고전압용 콘덴서, 직렬갭을 조합함으로써 발생시킬 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

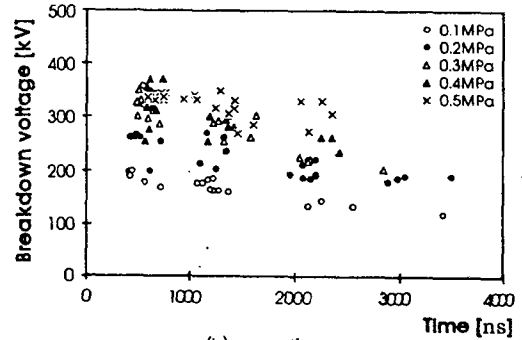
3-1. V-t특성

가스절연개폐장치에서 단로기의 조작에 의해서 발생하는 VFTO는 고주파 진동성분을 포함하고 있으므로 피뢰기와 보호협조면에서 1 μ s이하인 시간영역의 V-t특성 파악은 매우 중요하다. 더욱이 불평등전계중에서 SF₆가스의 VFTO에 대한 절연 파괴전압은 1 μ s이하의 시간영역에서는 표준 비진동성 임펄스전압보다 낮은 특성을 가지고 있다. 그림 2와 그림 3에서는 가스압력을 파라미터로 하

여 나타낸 V-t특성을 바늘전극의 수에 따라서 각각 나타내었다.



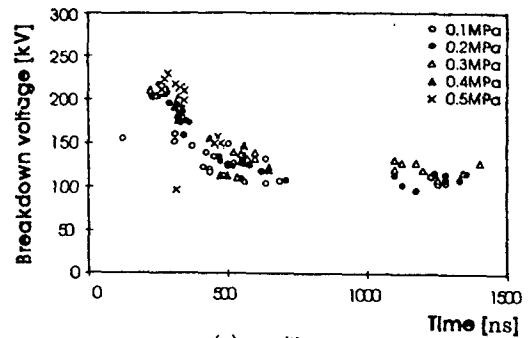
(a) positive



(b) negative

Fig. 2 V-t characteristics for single-needle

전반적으로 볼 때 부극성의 경우가 정극성일 때보다 가스압력 의존성도 크게 나타났으며, 동일한 조건에서의 섬락전압도 높으며 섬락전압의 편차도 크게 나타났는데, 이러한 결과는 주로 초기전자의 발생메커니즘과 방전진전양상이 다르기 때문인 것으로 분석된다. V-t특성곡선 즉, 절연파괴특성은 전극의 형상 뿐만 아니라 가스압력, 인가전압의 파형과 극성에 따라 복잡·다양한 양상을 보임을 알 수 있다.



(a) positive

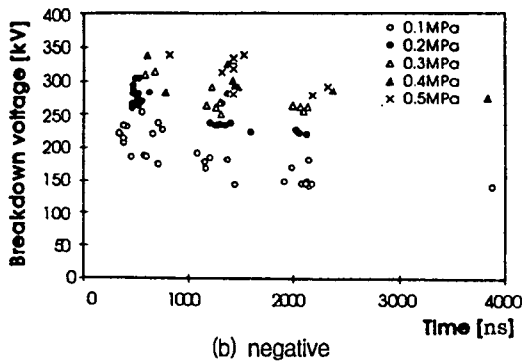
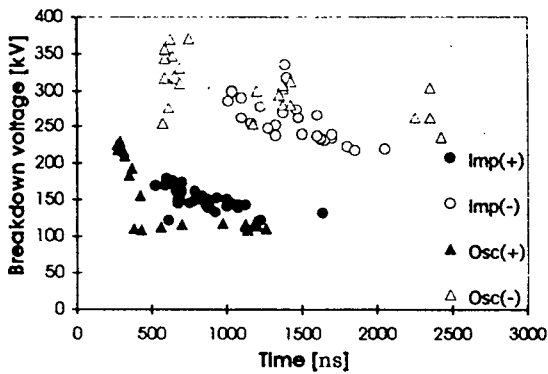


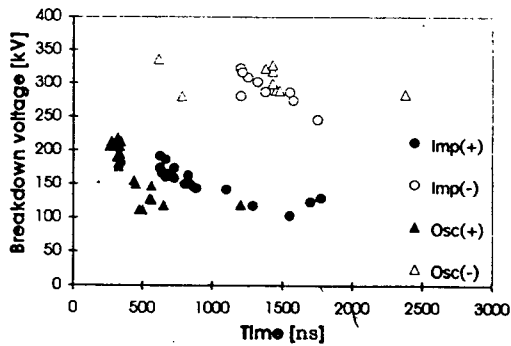
Fig. 3 V-t characteristics for dual-needle

3-2 V-t특성의 극성의존성

그림 4는 V-t특성의 극성의존성에 대하여, 바늘 전극의 수를 달리하여 비교한 것으로 부극성일 때가 정극성일 때보다 절연파괴전압이 훨씬 높으며 최소절연파괴전압이 나타나는 시간영역은 정극성보다 부극성이 긴 시간영역으로 이동하며 시간지연은 일반적으로 정극성보다 부극성 쪽이 길게 나타난다.



(a) single-needle, 0.4MPa



(b) dual-needle, 0.4MPa

Fig. 4 Dependence of V-t characteristics

이것은 초기전자의 공급메커니즘이 다르고 정·부극성의 리더 형상과 진전양상이 다른 것이 주요 원인이며, 여기에 부극성에서는 코로나안정화작용이 효과적이기 때문에 최종적인 절연파괴전압은 대단히 높은 것으로 여겨진다. 또한 바늘모양의 돌기물이 1개인 경우가 2개 존재하는 때에 비해서 절연파괴까지의 시간분포가 균일하게 나타났다.

바늘모양의 바늘전극이 2개 존재하는 경우의 정전계 분포는 이웃 바늘전극의 전위의 영향 때문에 바늘전극 끝단에서의 전계의 세기는 다소 상승될 것으로 생각되지만 전체적인 전계분포는 오히려 완화되는 양상을 보이고 있다. 또한 스트리머코로나에 의해서 발생한 전하의 이동특성도 이웃 바늘전극의 전위 때문에 바늘전극의 외측 방향으로 발산(repel effect)되어 대향전극을 향하여 진전하는 양상이 완화되어 나타난 특성이라고 판단되며, 이것의 개략도를 그림 5에 나타내었다.

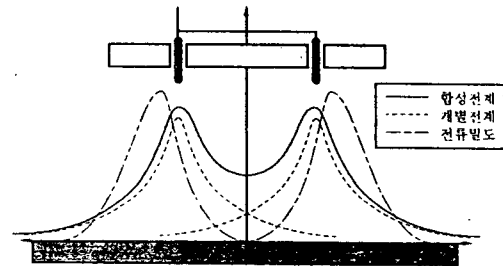


Fig. 5 Electrostatic field distribution and current density distribution for dual-needle

3-3. V-p특성

평행평판전극계의 최저절연파괴전압을 가스압력에 대하여 인가전압의 파형과 극성을 파라미터로 하여 그림 6에 각각 나타내었다.

바늘전극이 1개인 경우, 정극성 비진동성 임펄스 전압의 인가시 최저절연파괴전압은 가스압력의 상승과 더불어 약간 증가를 하지만 정극성의 진동성 임펄스전압의 경우는 0.3MPa의 가스압력까지는 약간 증가를 보이다가 그 이상의 압력에서는 전압의 상승이 거의 없음을 알 수 있다.

이에 비하여 부극성의 경우는 비진동성 임펄스 전압에 대한 최저절연파괴전압은 0.2MPa이상의 가스압력에서는 거의 포화되는 코로나안정화작용을 일으키는 결과를 보이고 있는 반면에 진동성 임펄스전압에 대한 최저절연파괴전압은 단조증가

를 보이며, 코로나안전화작용의 경향을 나타내지 않고 있다.

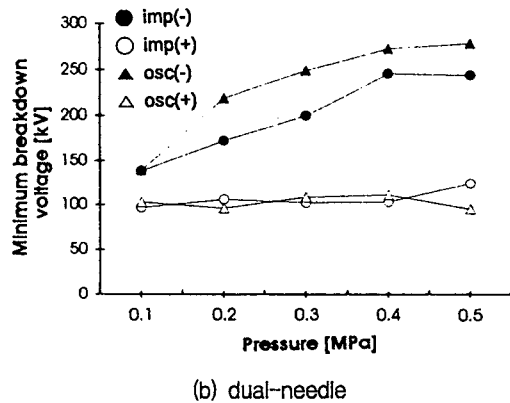
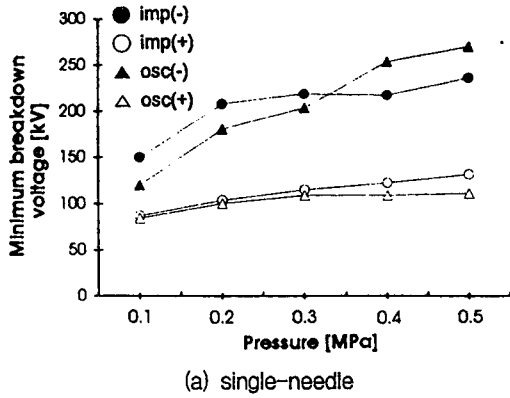


Fig. 6 Minimum breakdown voltage vs. gas pressure characteristics

또한 바늘전극이 2개 설치된 전극조건에서의 V-p특성 곡선을 살펴보면 정극성의 경우는 비진동성 임펄스전압과 진동성 임펄스전압에 대한 최저절연파괴전압은 0.4MPa의 압력까지는 거의 비슷하지만 0.5MPa의 가스압력에서는 진동성 임펄스전압에 대한 최저절연파괴전압이 상대적으로 낮게 나타났다. 그러나 부극성의 경우 진동성 임펄스전압의 최저절연파괴전압은 비진동성 임펄스전압을 인가하였을 때의 최저절연파괴전압에 비하여 전반적으로 높게 나타났으며, 0.4MPa이상의 가스압력에서 포화되는 경향을 보이고 있다. 전체적으로 볼 때 0.4MPa 이상의 압력에서는 부극성의 경우 진동성 임펄스전압에 대한 절연파괴전압이 상대적으로 높고 정극성인 경우에는 반대로 비진동성 임펄스전압에서 높게 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 가스절연개폐장치내에 금속성 돌기물이 존재하는 경우 불평등전계중에서 VFTO가 SF₆가스의 절연특성을 측정, 분석한 바 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 불평등전계중에서 VFTO에 대한 SF₆가스의 최소절연파괴전압중에서 가장 낮은 파괴전압은 정극성의 진동성 임펄스전압을 인가시킨 경우에 나타나며, 따라서 가스절연개폐장치의 절연설계시 정극성 절연파괴전압에 주목하여 절연설계를 하여야 효과적이다.
- 2) V-t특성의 극성의존성을 알아본 결과, 부극성인 경우에 전압변동의 폭이 크게 나타났으며 돌기물이 1개일 때 시간분포가 상대적으로 균일하게 나타났다.
- 3) 한편 V-p특성에 영향을 미치는 인자로는 전극의 극성과 인가전압의 파형이 지배적이며 부극성이 정극성에 비하여 큰 변화를 보이고 있다.

REFERENCES

- [1] B. H. Lee, et al ; "Dielectric Characteristics of SF₆ Gas under Fast Transient Overvoltages in a Non-Uniform Electric Field", Proc of 11th International Conference on Gas Discharge and Their Application, pp.I-34-307, 1995.8.
- [2] I. Gallimberti and N. Wiegart, "Streamer and leader formation in SF₆ gas and SF₆ mixtures under positive impulse conditions", j. Phys., Vol.12, pp.2351-2361, 1986.
- [3] 河村達雄, 李福熙 ; "가스절연개폐장치에 있어서 급준파도파동과 전압의 발생과 절연특성", 전기학회지, 38권, 제1호, pp.21-30, 1989.1.
- [4] N. Wiegart, et al ; "Inhomogeneous Field Breakdown in GIS", Proc. of IEEE PES, Winter meeting, 87 WM-190-0, 1987.
- [5] 이복희, 이창준, 길경석, 안창환 ; "불평등전계중에서 과도파괴전압에 대한 SF₆가스의 절연특성", 한국전기전자재료학회, 추계학술대회, pp.306-309, 1995. 11.