한국전기전자재료학회 추계학술대회 논문집 1997.

불평등 전계중에서 SF_6가스의 전구방전현상

Predischarge Phenomena of SF_6 Gas in Non-uniform Fields

이복희 인하대학교 공과대학 전기공학과
전덕규 서울산업대학교 자동차공학과
이창준 L.G 산전

Bok-Hee Lee Dept. of Electrical Eng., Inha Univ.
Duk-Kyu Jeon Seoul Ntl. Polytech., Univ.
Chang-Jun Lee L.G Industrial Systems Co.

Abstract

This paper describes dielectric characteristics and discharge development mechanisms of SF_6 gas stressed by very fast transient overvoltages in inhomogeneous electric field. Predischarge phenomena of SF_6 gas in non-uniform fields are statistically investigated with positive and negative very fast transient overvoltages. It was confirmed that all of the predischarges of the positive and negative polarities develop in a regime of stepwise leader extension. i.e, the predischarge developments leading to breakdown against very fast transient overvoltages are similar to the non-oscillating impulse voltages.

1. 서 론

SF_6가스는 우수한 절연특성 때문에 고압가스절연시스템에 가장 널리 사용되어지고 있는 절연재료이다. 특히 765kV 송변전 설비가 실용화 단계에 있는 상황에서 GIS 등의 설비가 질적, 양적으로 급증하리라 예상되므로 절연재료에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.

단로기 조작시 또는 지락사고시에 GIS내에서는 급준성 과도전압(VFTO)이 발생하며 금속입자가 혼입되어진 경우에는 불평등 전계가 형성되며 절연성능을 현저히 저하시키는 요소가 된다. 불평등 전계중에서는 코로나 방전 즉, 부분파괴가 존재하게 되고 전로파괴에 이르기 까지는 여러 복잡한 과정을 거치게 된다.

본 연구에서는 GIS내에서 침대 평판에 의한 불평등 전계를 모의하고 이 때 SF_6가스의 절연특성과 방전진전과정을 해석하기 위해 전구방전전류, 코로나 개시전압-시간 특성, 리이더 스텝핑 시간 및 방전지연시간 등을 측정하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에서 사용한 실험장치 및 측정시스템의 전체적인 구성과 흐름도를 그림 1에 나타내었다. 실험전압의 조정과 측정은 원격조정에 의해 자동제어되며, 실험전압과 전구방전전류는 오실로스코프로 검출되고 개인용 컴퓨터에 저장된다. 비진동성 임펄스전압은 Marx발생기에 의하여 발생되며, 진동성 임펄스전압은 Marx발생기와 인덕터, 고전압용 콘덴서, 직렬갭을 조합함으로써 발생시킬 수 있으며 실험장치의 개략도에 대해서는 이미 보고한 바 있다[1].

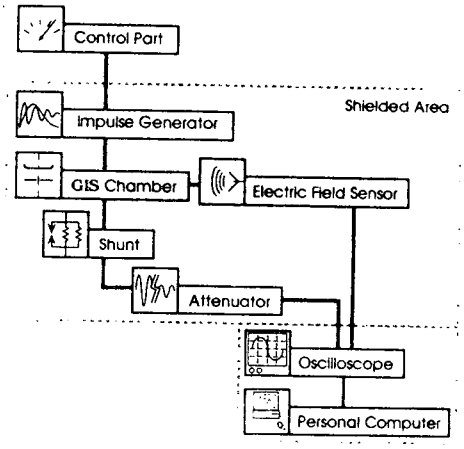


그림 1 실험계의 흐름도
Fig. 1 Block diagram of the experimental system

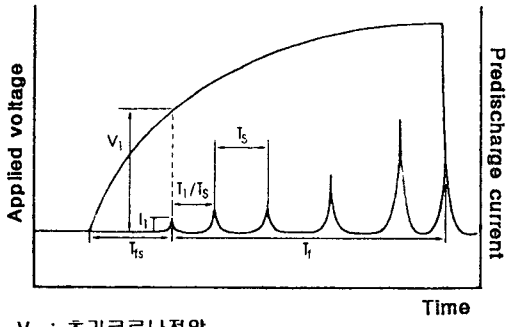
전구방전전류를 측정하기 위해 순수응답시간이 1.2[ns], 주파수 대역은 290[MHz]의 특성을 갖는 분류기를 제작하였다. 장치 상단에는 실험전압의

측정을 위한 용량성 전계센서를 설치하였고, 하단에는 간극거리 22[mm]의 평행평판전극에 길이 10[mm], 직경 1.0[mm]의 바늘모양의 스테인레스 돌기물을 1개, 2개를 교번 설치하여 불평등 전계를 형성하도록 하였다.

실험장치내의 압력은 약 0.133[MPa]까지 배기시킨 후 상용의 SF_6가스를 0.1~0.5[MPa]까지 조절하여 봉입할 수 있도록 하였다. 인가전압과 전구방전전류의 측정용 케이블은 2중 메쉬와이어(Mesh Wire)로 차폐하였고, 실험에 사용된 오실로스코프, 개인용 컴퓨터 등 모든 계측장치는 차폐함내에 내장시켰으며, 계측기용 전원은 절연변압기와 2중 라인필터를 통하여 공급하므로 외부에서 발생하는 잡음과 외란의 영향을 최소화하였다.

2.2. 전구방전현상 해석

VFTO와 관련된 전반적인 요인의 영향을 정확하게 이해하기 위해서는 통계적지연시간, 형성지연시간, 스텝핑시간, VFTO의 진동주기와 관련된 절연파괴까지의 시간지연 등 여러 가지 요인들을 개별적으로 검토하여야만 된다. 전구방전현상을 해석하기 위해 정의한 파라미터들을 그림 2에 나타내었다.



V_1 : 초기코로나전압
I_1 : 초기코로나전류
T_1 : 제 1리이더 스텝핑시간
T_s : 스텝핑시간
T_{fs} : 통계적 지연시간 T_f : 형성지연시간

그림 2 전구방전전류 해석을 위한 파라미터
Fig. 2 Parameters of the predischarge current

3. 실험 결과 및 고찰

3.1. 전구방전전류

그림 3에서는 압력이 0.2[MPa]일 때 비진동성 임펄스전압 및 진동성 임펄스전압을 인가시의 전구방전전류의 예를 나타낸 것으로 극성에 따라 파형의 차이가 있음을 알 수 있다.

정극성의 경우 초기전자는 주로 SF_6가스의 부이온 또는 수분으로부터 공급된다. 전구코로나전류가 수 회 간헐적으로 나타난 후 섬락에 이르는 진전과정이 관측되었다.

부극성의 전구방전은 정극성의 경우와는 다르게 연속적인 코로나가 2~3회 펄스과정을 경유하여 진전되는 특성을 나타내고 있으며, 이온성 전류성분을 포함하고 있음을 알 수 있다. 가스압력에 따라 다른 양상의 전구방전이 관측되었는데, 가스압력이 증가함에 따라 제 1리이더의 크기가 점차 감소하고, 리이더의 숫자는 증가하는 추세가 나타났으며, 리이더의 스텝핑시간이 좁아지는 것을 알 수 있었다. 진동성 임펄스전압인 경우에는 약간의 변위전류성분이 나타나고 있지만 전구코로나전류와 비교하면 그 크기가 미약하고, 또 진동주기가 훨씬 크기 때문에 전구방전전류를 충분히 구별할 수 있고, 또한 가스압력이 적을때는 변위전류성분이 높은 가스압력에서 보다 크게 나타났다.

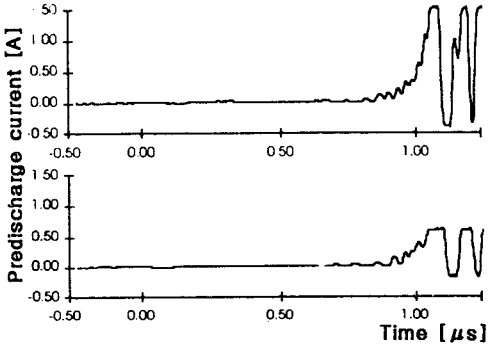


그림 3 비진동성 임펄스전압에 대한 전구방전전류
Fig. 3 Typical waveforms of the predischarge current for non-oscillating impulse voltage

3.2. 코로나 개시전압-시간 특성

그림 4는 침대 평판전극계에서 SF_6의 가스압력의 변화에 따라 나타나는 코로나 개시전압-시간 특성의 예를 나타내었다.

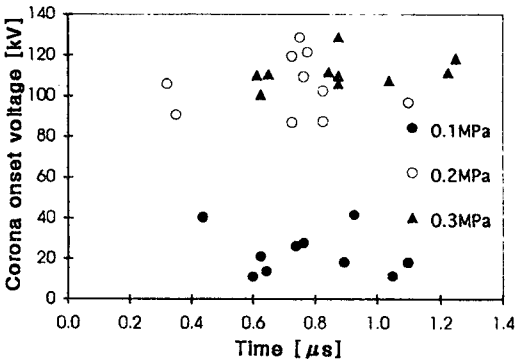


그림 4 초기 코로나 개시전압-시간 특성
Fig. 4 First coron onset Voltage-time characteristics(single needle)

최저 코로나 개시전압은 바늘전극 1개일 때 정극성 0.1[MPa]의 경우를 제외하고는 정·부극성에서 큰 차이 없이 거의 비슷하였다. 또한 시간이 지연됨에 따라 코로나개시전압은 상승하고 상당히 큰 편차를 보이고 있으며, 가스압력이 높을수록 정극성에서는 코로나개시전압의 편차가 대체적으로 적게 나타났다.

전반적으로 보면 코로나개시전압이 불규칙하게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 전극표면상태의 변화에 의한 전계분포의 변화도 상당히 영향을 미치고 있을 것으로 예상된다.

3.3. 리이더 스텝핑 시간

리이더 진전에 대한 스텝핑 시간을 측정한 결과를 그림 5에 나타내었다.

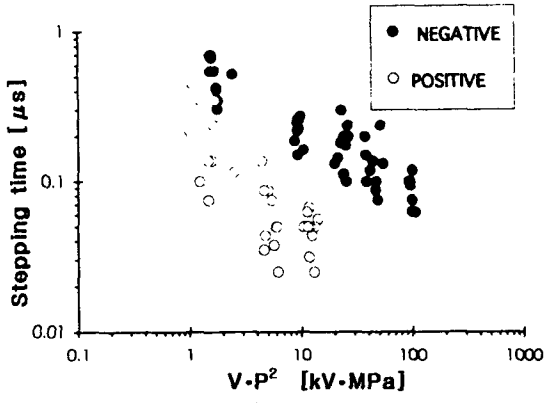


그림 5 리이더 스텝핑 시간
Fig. 5 Leader stepping time

가스압력과 인가전압의 증대에 따른 리이더 스텝핑 시간의 감소는 SF_6이온의 이동과 직접적인 관련성을 가진다.

스트리머 코로나에 의하여 SF_6^+ $(SF_6)_n$과 같은 정이온이 형성되는데, 이들의 이동속도가 가스압력의 증가와 더불어 감소하므로 리이더스텝핑시간은 짧아지게 된다. 또, 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

3.4. 통계적 지연시간

압력을 변화시켜 초기코로나가 발생할 때까지 걸리는 시간(Statistical time lag)의 측정 예를 그림 6에 나타내었다.

압력이 증가할수록 초기코로나 발생까지의 시간이 점차적으로 길어지는 것을 알 수 있는데, 압력이 증가함에 따라 초기전자의 자유행정거리가 상대적으로 짧아져 스트리머로 진전하기 위한 에너지를 얻기가 어려워지므로 초기코로나의 발생이 억제되는 것으로 생각할 수 있다.

정극성의 경우 0.4[MPa]이상에서는 리이더의 진전이 없이 직접 섬락에 이르는 현상이 나타났다. 또한 부극성보다는 정극성의 경우가 약간 더 긴 것을 알 수 있다.

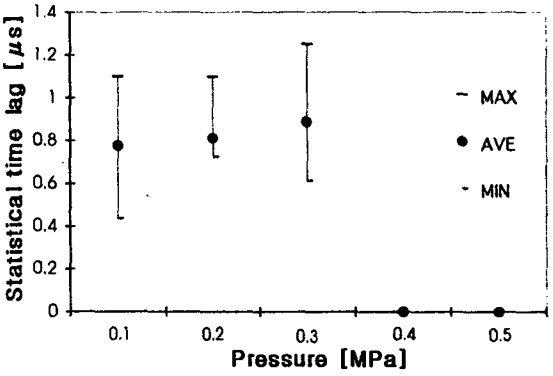


그림 6 통계적 지연시간-압력 특성
Fig. 6 Characteritics of statistical time lag vs. pressure

3.5. 형성지연시간

형성지연시간은 초기전자에 의해서 리이더가 형성되기 시작하여 절연파괴에 이르기 까지의 시간을 말하며, 본 실험에서 분석한 특성을 그림 7에 나타내었다.

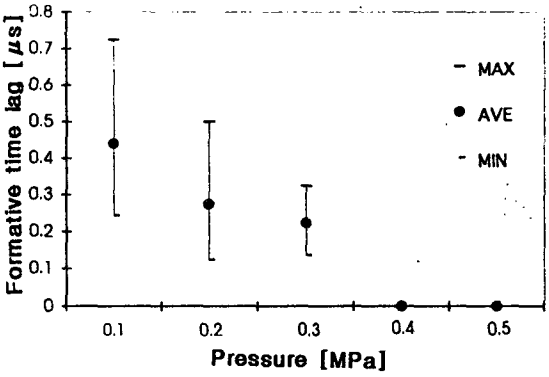


그림 7 형성지연시간-압력 특성
Fig. 7 Characteritics of formative time lag vs. pressure

정극성의 경우 압력이 증가할수록 초기코로나 전류가 작아지게 되고 코로나 발생의 빈도수가 높아지게 되는 현상이 나타나며, 형성지연시간은 전체적으로 짧고 부극성에 비해 비교적 많이 짧아지는것을 확인할 수 있으며, 바늘전극이 1개인 경우가 좀 더 심하게 나타났다. 또한 압력이 낮을 때 더욱 많은 편차를 보이는 것을 알 수 있는데 이는 초기코로나의 발생이 편차가 심하다는 것과 이에

따라 진행되는 방전 메커니즘의 영향이라고 판단되며, 따라서 가스압력이 높을수록 점점 안정적으로 된다는 것을 알 수 있다.

부극성의 경우 형성지연시간은 바늘전극 1개일 때 0.1[MPa]의 경우를 제외하고는 매우 조금씩 줄어드는 경향을 보였다. 시간은 바늘전극 2개의 경우가 좀 더 길게 나타났다. 이는 초기코로나 발생 후 리이더가 진전되면서 절연파괴까지 미치는 시간적 영향이 좀 더 크다는 것을 나타낸다.

또한 부극성에서는 정극성보다 형성지연시간이 낮은 압력에서 높게 나타나다가 0.3[MPa]에서는 낮아지는 것을 볼 수 있었다. 따라서 형성지연시간은 정극성이 부극성보다 가스압력에 대한 의존도가 훨씬 높다는 것을 보여준다.

4. 결 론

[1] 불평등전계중에서 초기스트리머코로나에 의하여 나타나는 전계완화작용 때문에 방전의 진전과정에서 극성효과가 매우 현저하게 나타났다.

[2] 진동성 임펄스전압이 인가되면 전압의 변동에 의한 변위전류로 인한 에너지주입으로 절연파괴까지의 방전형성시간지연이 보다 길게 나타나게 되며, 이러한 현상은 부극성의 경우 부이온의 영향 때문에 보다 뚜렷하게 나타난다.

[3] SF_6가스의 절연특성과 전구방전현상 사이에는 밀접한 상관관계가 있으며, 전구방전은 리이더 기구에 의하여 진전되고, 리이더스텝핑시간은 가스압력의 증가와 더불어 짧아졌다.

[4] 초기스트리머코로나에 의하여 생성된 공간전하가 절연파괴전압에 미치는 영향은 부극성의 경우가 현저하였다.

[참 고 문 헌]

[1] 이복희 외 2인, "불평등 전계중에서 SF_6가스의 절연특성", 한국전기전자재료 학회 춘계학술대회 논문집, pp 334~337, 1997.

[2] I. Gallimberti and N. Wiegart, "Streamer and leader formation in SF_6 gas and SF_6 mixtures under positive impulse conditions", j. Phys., Vol.12, pp.2351-2361, 1986.

[3] L. Niemeyer, L. Ullich and N. Wiegart, "The Mechanism of Leader Breakdown in Electronegative Gases", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol.24, No.2, April, 1989.

[4] 백용현, 이복희, 전덕규 ; "SF_6가스중에서 針對平板間隙의 前驅코로나放電", 大韓電氣學會 夏季學術大會 論文集, pp. 980-982, 1992年.

[5] H. Hiesinger ; "Statistical time-lag in case of VFT-breakdown" , Proc. of 6th ISH, paper No.32-23, 1989. 8.

[6] T. E. Allibone, "THE DEVELOPMENT OF CORONA IN TWIN ROD/PLANE GAPS", Proc. of 8th ISH. Aug. 23-27, 1993.