

백용현, 이복희, 전덕규
인하대학교 공과대학 전기공학과

Prebreakdown Corona Discharge of Point-to-Plane Gap in SF₆ Gas

Yong-Hyun Paek, Bok-Hee Lee, Duk-Kyu Jeon^{*}
Dept. of Electrical Engineering, Inha University

Abstract

This paper deals with the dielectric behaviors of SF₆ gas and prebreakdown growth caused by lightning impulse voltages in inhomogeneous field perturbed with a fixed needle-shaped protrusion on the electrode. The measuring interpretation of the external current induced by moving charges is described.

The temporal growth of prebreakdown is observed by using a shunt and photomultiplier. The prebreakdown processes are initiated by the first streamer corona at a needle protrusion, the flashover of the main gap in the positive polarity is very sensitive to the local field and propagates into the gap with the leader mechanism. It is found that the dependence of the prebreakdown phenomena on the polarity of applied voltages is caused by the effect of space charges. In addition, the proposed measuring techniques are very useful to perform the measurements of avalanche currents, corona discharges in inhomogeneous fields and partial discharges in voids.

1. 서론

SF₆의 절연특성은 코로나방전을 경유하지 않고 절연파괴를 일으키는 평등전계, 준평등전계중에서는 매우 우수하며 방전진전과정의 정량적 변화가 비교적 해석하기 용이하므로 많은 연구결과가 보고되어 있으나 고기압, 불평등 전계중에서의 절연파괴기구에 대하여는 아직 밝혀지지 않은 점이 많다. 특히 금속성 이물질이 존재하는 경우나 부품이 돌기부에 의하여 형성되는 불평등전계중에서 코로나 방전이 발생하게 되면 SF₆가스의 절연성능은 상당히 저하되며, 전위손실이 생기고 부식성, 유독성 부산물을 생성하는 등의 문제점을 가지고 있다. 최근 SF₆가스의 절연기구에 있어서 금속성 이물질에 의한 불평등전계중에서의 부분방전이 문제로 대두되고 있으며 절연설계시 특별한 주의가 요구되고 있다.

따라서 본 연구에서는 금속성 이물질이 가스 절연기구의 내부에 존재하는 경우에 있어서 SF₆가스중의 방전진전과정을 해석할 목적으로 평행판 전극의 중앙에 바늘모양의 돌기물을 설치하여 불평등 전계상태에서 전구코로나전류, 전

계의 계산과 섬락전압을 측정하였다. 특히 불평등전계중에서 부분방전전류의 측정원리, 측정계의 구성과 해석에 대하여 중점적으로 기술하였으며, 가스압력 0.05~0.3[MPa]의 범위에서 뇌임펄스전압에 대한 정·부극성의 절연파괴전압, 전구코로나전류, 방전장을 측정하고 그 결과를 바탕으로 코로나진전과정을 분석하였다.

2. 이 론

전구코로나전류는 하전입자의 이동에 의하여 흐르게 되는데, 방전전류가 미소하고 간헐적으로 흐르므로 외부회로, 전극계, 측정회로의 영향을 받기 쉬워서 정확한 측정이 매우 어렵다. 따라서 본 연구에서는 외부요인을 배제시켜 공간전하의 이동에 의한 전구코로나전류를 측정할 수 있는 이론과 방법에 대하여 검토하였다.

그림 1에 나타난 바와 같은 불평등전극계에 정전압 V가 인가된 간극내에서 전하량이 q인 하전입자가 이동하면 외부 회로에는 전류 I가 흐르게 된다.

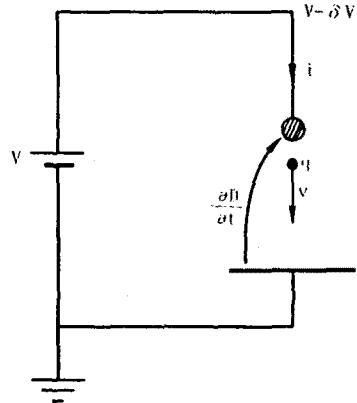


그림 1. 하전입자의 이동에 의한 외부회로의 전류와 전위의 변화

에너지면을 고려하여 보면 dt초 사이의 입력 에너지 Vidt는 전하가 dx만큼의 거리를 이동하는 동안에 전계에 대하여 한 일 qEdx와 같아야 되므로 전류 I는

$$I = \frac{qE}{V} \cdot \frac{dx}{dt} = \frac{quE}{V} \dots\dots\dots (1)$$

로 표현되며, 여기서 u 는 전계 E방향으로의 전하이동속도이다. 한편 외부회로에 흐르는 전류를 산출하면

$$i(t) = \frac{1}{V_m(t)} \iint E \cdot J \cdot dv + \frac{1}{V_m(t)} \frac{\partial}{\partial t} \frac{1}{2} \iiint E \cdot D \cdot dv \dots (2)$$

가 되며 $V_m(t)$ 는 방전간극의 전위차이다.

식 (2)의 우측 1번째항은 전하의 이동에 의하여 흐르는 전도전류이고 두번째항은 변위전류성분으로 $C \cdot \partial V_m(t) / \partial t$ 가 되며 전극내에 저장되는 전체에너지를 나타낸다. 따라서 전구코로나방전에 의한 전하의 이동으로 외부회로에 흐르게 되는 전류만을 측정하기 위해서는 변위전류성분의 함유를 작게 하여야만 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 전극계

본 실험에서 사용된 실험계의 개략도는 그림 2에 표시하였다. 전원으로는 2중충전식 12단 Marx형 임펄스발생장치 (2.1[MV], 86[KJ])를 사용하였으며, 방전갯의 섬락시 전극과 전원장치의 보호를 위하여 제동저항 R_d 를 통하여 공급하였다. 하전입자의 이동으로 흐르는 전도전류는 침전극과 접지단자 사이에 연결된 임피던스 R_0 의 전압강하로부터 측정되며, 시험전압은 전계센서를 이용하여 측정하였다.

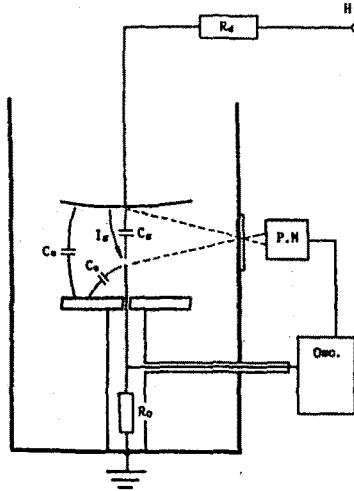


그림 2. 전극계의 개략도

전극계의 외부요인을 최대한 제거하고 순수한 공간전하의 이동만을 고려한 전도전류를 측정하기 위하여 평판형 겹치식 전극에 침전극을 설치하였다.

그림 2에서 하전입자의 이동에 의한 전도전류 I_m 에 기인되어 오실로스코우프에 관측되는 전압 V_m 을 계산하면

$$V_m = \frac{R_0 I_m}{1 + \frac{C_e}{C_s} + j\omega \left(C_s + C_e + \frac{C_s C_e}{C_0} \right)} \dots (3)$$

침-평판전극간의 전계분포는 침전극의 끝부분이 반구형인 경우에 있어서 삼각선함수를 이용하여 전하영상법을 적용하면 비교적 간단히 해석되어진다. 침전극의 반경을 r , 전극간 거리를 d , 인가전압을 v 라 하면 침전극 축방향으로의 전계의 세기는 근사적으로

$$E(z) = \frac{V}{A(d(r+d))^{1/2z}} \cdot \frac{1}{1 - z^2/(d(r+d))} \dots (4)$$

$$= \ln \left(\frac{(r+d)^{1/2} + r^{1/2} + d^{1/2}}{(r+d)^{1/2} + r^{1/2} - d^{1/2}} \right)$$

로 표현된다. [4] 여기서 z 는 전극축방향으로 평판전극으로부터의 거리이다.

식 (4)를 적용하여 전극계의 전계분포를 계산한 결과를 그림 3에 나타내었다. 침전극의 선단에서는 전계의 세기가 대단히 높으며 전계집중계수는 약 12이다.

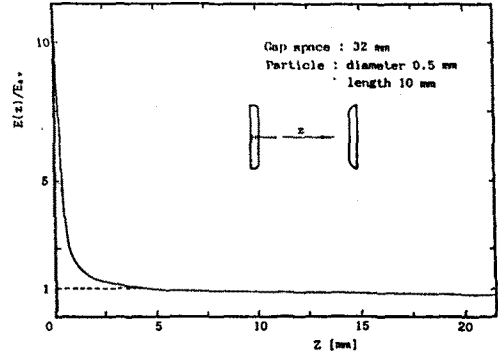


그림 3. 전극축방향으로의 전계분포

4. 실험결과 및 고찰

4.1 섬락전압-압력특성

정·부극성의 뇌임펄스전압(1.5/50 μ s)인가시 가스압력을 변화시켜 최저섬락전압을 측정하였으며 승강법으로 20회 정도 전압을 인가하여 섬락을 일으키는 최저전압을 그림 4에 나타내었다.

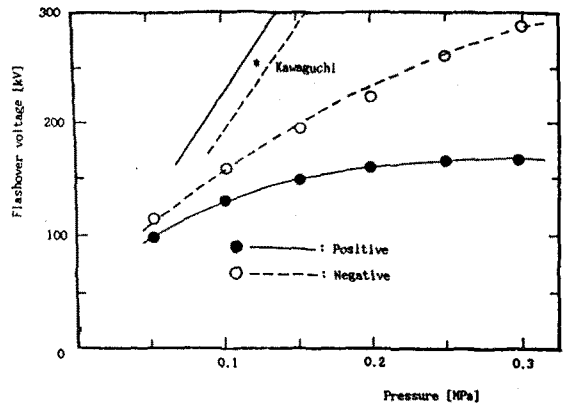


그림 4. 뇌임펄스전압에 대한 섬락전압-압력특성

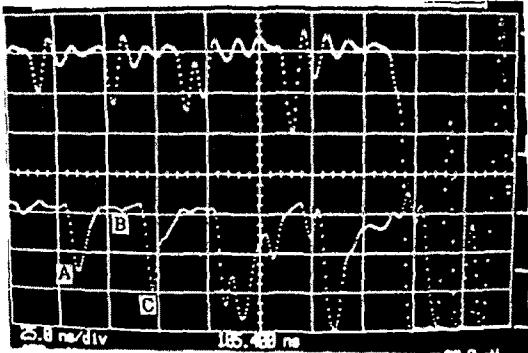
물기름이 존재하는 불평등전계중에서는 초기코로나발생과 그 후 공간전하작용에 의한 영향으로 섬락전압의 극성의존성이 매우 복잡한 양상을 띠게 된다.

4.3 전구코로나특성

4.3.1 정극성

전구방전현상은 가스압력에 따라 다르며, 0.1MPa 이상에서는 전구코로나전류가 수 회에 걸쳐 간헐적으로 나타난 후 섬락에 이르는 진전과정이 관측되었다.

그림 5에 가스압력 0.25MPa에서 1.5/50[ms]인 임펄스전압을 인가했을 때의 전구방전전류와 방전장의 대표적인 측정예를 나타내었다.



* 전구전류 : 300n[A/div], 25[ns/div]
* 방 전 장 : A.U/div, 25[ns/div]

그림 5. 정극성에서의 전구방전전류와 방전장의 파형

전류의 파형(상부)에는 방전장 신호에 비하여 진동성분이 포함되어 있는데, 이것은 침전극을 포함한 측정계의 인덕턴스 영향으로 여겨진다.

4.3.2 부극성

부극성시 섬락에 이르지 않았을 때 코로나전류에 대한 측정결과를 그림 6에 나타내었다. 부극성의 전구방전은 연속적인 코로나가 2~3회 펄스과정을 경유하여 진전되는 특성을 나타내고 있다.

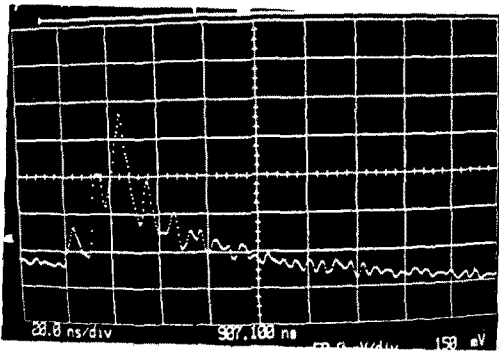


그림 6. 부극성에서 초기코로나전류의 대표적인 파형

부극성 전구코로나방전은 초기전자사태에 의하여 이어지는 광전리, 탈리, 중간정원자 등에 의한 복합적인 과정으로 진전되며 기체의 종류, 가스압력, 전구구조 및 표면상태, 인가전압의 종류에 의존하기 때문에 일률적으로 설명하기는 불가능하다. 섬락(절연파괴)이 일어나는 경우 방전진전과정에 의한 오실로그래프를 그림 7에 나타내었다. 공간전하에 의한 전계완화의 영향으로 다소 진전속도가 느리게 나타났다. 정극성의 경우와는 다르게 초기코로나가 발생한 후에도 전류의 감소가 적은데, 이는 이온전류성분이 상당히 포함되어



인가전압 : 61.5[kV/div], 20[ns/div]
전구방전전류 : 200[nA/div], 20[ns/div]

그림 7. 부극성에서 섬락직전의 전구방전진전

있기 때문이다. 공간전하가 존재하는 상태에서 2~3회의 스트리머코로나를 거쳐 섬락에 이르게되며, 방전시간도 정극성에 비하여 짧다. 또한 이 결과로부터 방전진전에 미치는 공간전하의 전계완화효과도 정극성보다 부극성의 경우가 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

5. 결 론

급속성 물기물에 의하여 형성되는 불평동전계중에서 SF₆ 가스의 절연특성과 전구방전현상을 파악하기 위하여 전구코로나전류의 측정방법을 해석하고 뇌임펄스전압에 대한 방전진전과정의 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전구코로나방전에 의한 전도전류만의 탐지를 위한 측정계의 특성은 매우 우수하였으며, 분류기응답의 고역속 차단주파수는 약 220[MHz]이었다.
- (2) SF₆가스의 절연특성과 전구방전현상사이에는 밀접한 상관관계가 있으며 극성의존성이 현저하게 나타났다.
- (3) 고기압에서 정극성의 전구코로나과정은 스텝상의 리더더기구에 의하여 진전됨이 판명되었으며 인가전압과 가스압력의 증가에 따라 리더더의 스텝핑간격이 좁아지는 현상이 밝혀졌다. 또한 섬락전압의 압력의존성이 비교적 적음을 알 수 있다

참고문헌

- [1] H. Anis and K.D. Srivastava ; " Breakdown Characteristics of Dielectric Coated Electrodes in Sulfur Hexafluoride Gas with Particle Contamination", 6th ISH, No.32-06, 1989
- [2] Bok-Hee Lee, et al ; "Particle-Initiated Breakdown Behaviors of SF₆ Gas under the very fast Transient Overvoltages", the 2nd Asian Conference on Electrical Discharge, pp.67-70, 1989
- [3] W.Shockley ; " Currents to Conductors Induced by a Moving Point Charge", J.Appl.Phys., Vol.9, pp. 635-636, 1938
- [4] B.Gravendee, P.C.T. van der Laan and F.J. de Hoog ; "External discharge currents in inhomogeneous field configurations", J. Appl. Phys., Vol.21, pp. 437-441, 1988
- [5] L.Ullrich ; "The Influence of Very Fast Transients on the Discharge Development in SF₆ ", the 9th INT. Symposium on Gas Discharge, pp.335-338, 1988