

# SF<sub>6</sub>가스중에서 針-平板間隙의 前驅코로나 過程

Prebreakdown Corona Processes of Point-to-Plane Gap in SF<sub>6</sub> Gas

이 복 희\*·백 용 현\*  
(Bok-Hee Lee·Yong-Hyun Paek)

## 요 약

본 논문은 고정된 바늘모양의 突起物에 의하여 형성된 불평등전계중에서 雷임펄스전압에 대한 SF<sub>6</sub>가스의 절연특성과 前驅放電進展에 관한 것이다. 荷電粒子的 이동에 의하여 외부회로에 흐르는 傳導電流의 측정방법에 대하여 기술하고, 0.05~0.3[MPa]의 압력범위에서 閃絡電壓-壓特性을 측정하였으며, 분류기와 光電子增倍管을 사용하여 전구방전의 순시적 진전 과정을 관측하였다.

前驅放電은 돌기물의 先端에서 발생한 초기스트리머에 의하여 발단되며, 정극성의 경우 섬락전압은 局部高電界에 매우 민감하며 리이더메카니즘으로 진전됨이 확인되었다. 전구방전현상의 極性依存性은 공간전하의 영향이 지배적이었다. 더불어 본 연구에서 제안된 전구전류의 측정기법은 불평등전계중에서의 電子沙汰電流, 코로나방전과 공극내에서의 部分放電의 측정에 매우 유용하게 적용될 것이다.

## ABSTRACT

This paper deals with the dielectric behaviors of SF<sub>6</sub> 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 flashover voltage-pressure characteristics are measured over the pressure range of 0.05~0.3[MPa] and the temporal growth of prebreakdown is observed by using the 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.

\*인하대학교 전기공학과

1. 서 론

6불화유황(SF<sub>6</sub>)가스는 1956년 GE사이에 최초로 변압기의 절연재료로 사용되었으며, 1970년대에 가스절연개폐장치(GIS), 가스차단기(GCB) 등이 상품화되기 시작하여 1980년대에 본격적으로 연구개발되어 최근에는 가스絶緣電線路(GIL)도 많이 사용되고 있다. 高電壓가스절연은 화학적으로 안정하며 우수한 절연성과 소호특성을 가지는 SF<sub>6</sub>가스를 사용하므로 절연내력이 높아 超高電壓에 사용할 수 있고, 초대용량인 전력기기의 제작, 변전설비의 소형화, 불연성으로 안정성의 도모, 신뢰성의 향상, 환경과의 조화 등이 가능하므로 최근 전력계통에 널리 이용되고 있다.<sup>1,2)</sup>

SF<sub>6</sub>가스의 절연특성은 코로나방전을 경유하지 않고 절연파괴를 일으키는 平等電界, 準平等電界중에서는 매우 우수하며 많은 연구결과가 보고되어 있으나 고기압, 불평등전계중에서의 절연파괴기구에 대하여는 아직 밝혀지지 않은 점이 많다. 金屬性, 異物質이 존재하는 경우나 부품의 突起部에 의하여 형성되는 불평등전계중에서 코로나방전이 발생하게 되면 SF<sub>6</sub>가스의 절연성능은 상당히 저하되며, 전력손실이 생기고 부식성, 유독성 부산물을 생성하는 등의 문제점을 가지고 있으므로 이에 대한 연구가 요구되고 있다. 최근 SF<sub>6</sub>가스절연기기의 全路絶緣破壞에 의한 사고는 그다지 많지 않으나 금속성 이물질에 의한 불평등전계중에서의 부분방전이 문제로 되어 왔으며, 절연설계시 특별한 주의가 요구되며, 이에 대한 대책과 성능향상을 위한 연구가 중요하므로 불평등전계중에서 SF<sub>6</sub>가스의 물성적, 전기적 특성에 대한 연구가

세계적으로 활발히 이루어지고 있다.<sup>3~7)</sup>

따라서 본 연구에서는 금속성 이물질이 가스절연기기의 내부에 존재하는 경우를 모사하기 위하여 평행평판전극의 중앙에 바늘모양의 돌기물을 설치하여 불평등전계 상태에서 SF<sub>6</sub>가스중의 放電進展過程을 해석할 목적으로 불평등전계의 계산과 섬락 전압, 전구코로나전류를 측정하였다. 특히, 불평등전계중에서 부분방전전류의 측정원리, 측정계의 구성과 해석에 대하여 중점적으로 기술하였으며, 가스압력 0.05~0.3 [MPa]의 범위에서 雷임펄스전압에 대한 正·負極性的 絶緣破壞電壓, 前驅코로나電流, 放電光을 측정하였으며, 그 결과를 바탕으로 코로나진전과정을 분석하였다.

2. 코로나전류의 측정이론

前驅코로나電流는 하전입자의 이동에 의하여 흐르게 되는데, 방전전류가 미소하고 간헐적으로 흐르므로 외부회로, 전극계, 측정회로의 영향을 받기 쉬워 정확한 측정은 대단히 어렵다. 따라서 본 연구에서는 외부요인을 배제시켜 空間電荷의 이동에 의한 전구코로나전류를 측정할 수 있는 이론과 방법에 대하여 검토하였다.

그림 1에 나타난 바와 같은 불평등전극계에 定電壓 V가 인가된 間隙內에서 전하량이 q인 하전입자가 이동하면 외부회로에는 전류 i가 흐르게 된다. 에너지면을 고려하여 보면 dt초사이의 입력에너지 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,<sup>8,9)</sup> 여기서  $u$ 는 전계  $E$ 방향으로 전하의 이동速度이다.

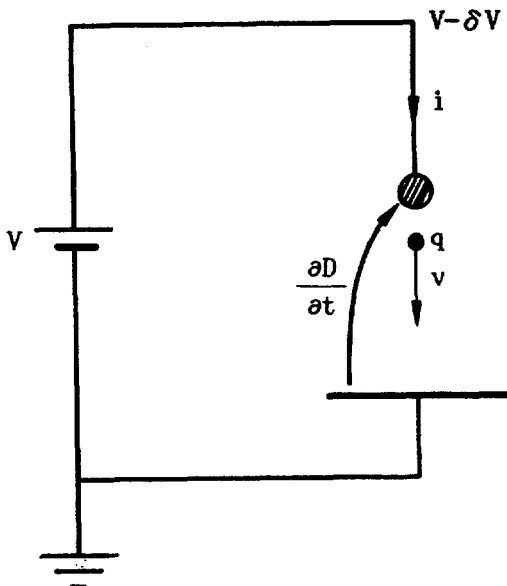


그림 1. 하전입자의 이동에 의한 외부 회로의 전류와 전위의 변화  
Fig. 1. Current and voltage variations induced by the moving charges

전하  $q$ 가 間隙사이를 완전히 횡단한 때는 외부전류로 나타나지만 전하가 횡단하지 못하고 간극내의 일부분만을 이동하는 경우는 외부회로에 전류가 흐르지 못하고 電束變化를 일으켜 電位降下가 일어나게 된다. 즉, 變位電流가 나타나며 간극의 전압강하  $\delta V$ 는

$$\delta V = \frac{1}{C} \cdot \frac{quE}{V} dt \dots\dots\dots(2)$$

로 되며, 여기서  $C$ 는 전극간의 정전용량이

다. 입력전력  $P_{in}$ 은 Poynting Vector에 의하여

$$P_{in} = - \oint (E \times H) \cdot ds \dots\dots\dots(3)$$

로 주어지며,  $Curl E = 0$ 인 보존계에서 맥스웰의 電磁方程式을 적용하면 식(3)은

$$P_{in} = \iiint_V E \cdot J dv + \iiint_V E \cdot \frac{\partial D}{\partial t} dv \quad (4)$$

로 된다.<sup>10)</sup> 여기서  $dv$ 는 전하가 이동하는 전극계의 體積素이며,  $J$ 와  $D$ 는 각각 전류 밀도와 전속밀도이다. 식(4)로부터 외부회로에 흐르는 전류를 산출하면

$$i(t) = \frac{1}{V_g(t)} \iiint_V E \cdot J dv + \frac{1}{V_g(t)} \frac{\partial}{\partial t} \iiint_V E \cdot D dv \dots\dots\dots(5)$$

가 되며,  $V_g(t)$ 는 放電間隙의 전위차이다.

식 (5)의 우측 1번째항은 전하의 이동에 의하여 흐르는 傳導電流이고, 2번째항은 變位電流成分으로  $C \cdot \partial V_g(t) / \partial t$ 이 되며, 전극내에 저장되는 전계에너지를 나타낸다. 따라서 전구코로나방전에 의한 전하의 이동으로 외부회로에 흐르게 되는 전류만을 측정하기 위하여는 변위전류성분의 함유를 극력 작게 하여야 한다.

### 3. 실험장치 및 방법

실험장치는 800kV급 GIS부품을 사용하여 제작하였으며, 실험계의 개략도를 그림

2에 나타내었다. 전원으로는 2重充電式 12段

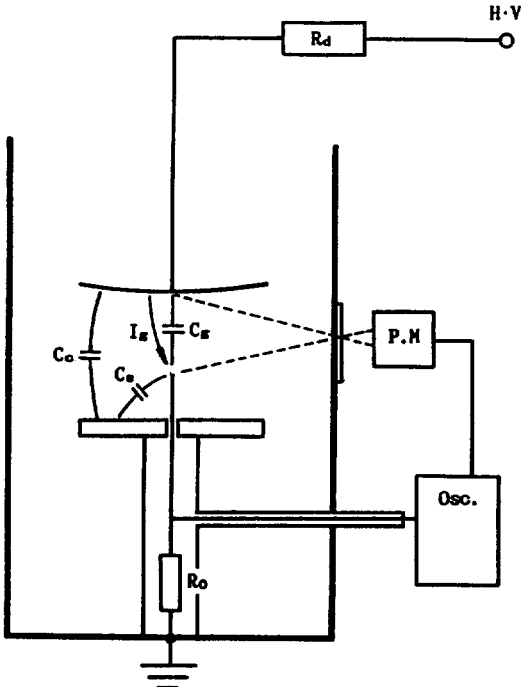


그림 2. 전극계의 개략도  
Fig. 2. Schematic diagram of the electrode system

Marx形 임펄스발생장치(2.1 MV, 86kJ)를 사용하였으며, 방전갭의 섬락시 전극과 전원장치의 보호를 위하여 제동저항 R<sub>d</sub>를 통하여 공급하였다. 하전입자의 이동으로 흐르는 傳導電流는 침전극과 접지단자 사이에 연결된 임피던스 R<sub>0</sub>의 전압강하로부터 측정되며, 시험전압은 전계센서를 이용하여 측정하였다.

### 3-1. 電極系

전극계는 외부요인이 거의 포함되지 않고 순수히 공간전하의 이동에 의한 傳導電流만을 측정하기 위하여 평판형 접지측 전극의 중앙에 針電極을 설치하는 구조로 하

였다. 그림 2에 나타낸 전극계의 漂遊靜電容量과 感知임피던스(R<sub>0</sub>)를 기초로 하여 구성한 전기적 등가회로는 그림 3과 같다.

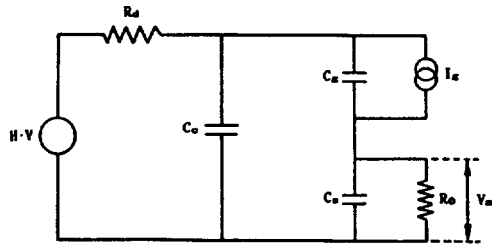


그림 3. 전기적 등가회로  
Fig. 3. Electrical equivalent circuit

그림 3의 등가회로에서 하전입자의 이동에 의하여 흐르는 전도전류 I<sub>g</sub>에 기인되어 오실로스코우프에 관측되는 전압 V<sub>m</sub>을 계산하면

$$V_m = \frac{R_0 I_g}{1 + \frac{C_g}{C_s} + j\omega(C_s + C_g + \frac{C_s C_g}{C_c})} \dots\dots(6)$$

으로 표현된다. 따라서 오실로스코우프로 측정되는 전압 V<sub>m</sub>이 미지의 傳導電流 I<sub>g</sub>에 정비례하기 위하여는  $C_c \gg C_s$ ,  $\omega R_0(C_s + C_g + C_s C_g / C_c) \ll 1$ 이 되어야 하므로 이 조건이 만족되는 전극계를 설계·제작하였다.

### 3-2. 電極間의 電界

평판전극은 황동으로 직경이 170mm이며, 端部效果를 고려하여 가장자리를 원형으로 하였다. 전극간 거리는 32mm이고, 돌기물로 스테인레스 침으로 길이 10mm, 직경 0.5mm이다. 침-평판전극간의 전계분포는 침전극의 끝부분이 半球形인 경우는

쌍곡선함수를 이용하여 電荷影像法을 적용하면 해석적으로 구해진다. 침전극의 반경을  $r$ , 전극간 거리를  $d$ , 인가전압을  $V$ 라고 하면, 침전극 축방향으로의 전계의 세기는

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

.....(7)

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

로 표현된다.<sup>11,12)</sup> 여기서  $z$ 는 전극축방향으로 평판전극으로부터의 거리이다.

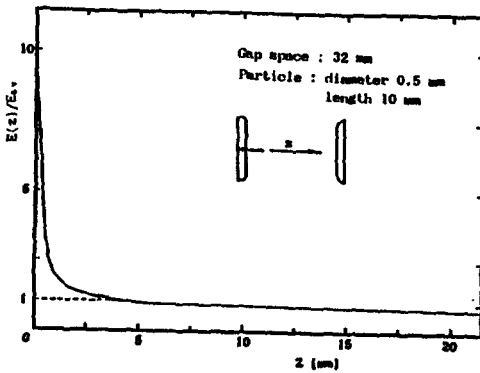


그림 4. 전극축방향으로의 전계분포  
Fig. 4. Electric field distribution along the gap axis of symmetry

식(7)을 적용하여 전극계의 電界分佈를 계산한 결과를 그림 4에 나타내었다. 침전극의 先端에서는 전계의 세기가 대단히 높으며, 電界集中係數는 약 12이다.

### 3-3. 測定系

스트리머코로나 또는 電子沙汰에 의한

방전전류는 상승시간이 대단히 빠르기 때문에 고응답의 측정장치가 필요하다. 따라서 전구방전전류 측정용 분류기를 제작하고 기본성능을 파악하였다. 저항으로는 응답도가 우수한 금속피막저항을 사용하였으며, 전자유도 및 외부잡음의 영향을 극소화시키기 위하여 560[Ω] 저항 11개를 원통형으로 연결하고, 섬락시의 과전압에 대한 오실로스코우프의 보호장치로 고성능피뢰기를 병렬로 접속하였으며, 이의 등가회로를 그림 5에 나타내었다.

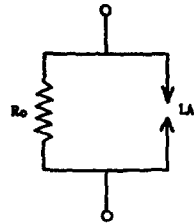


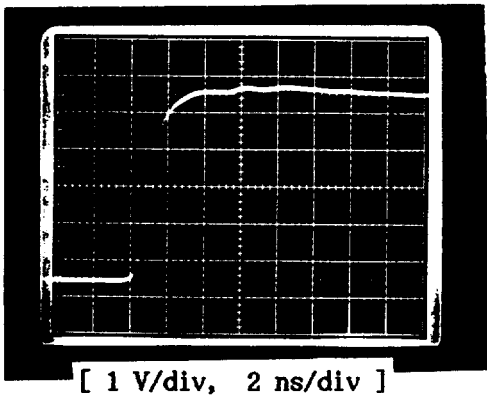
그림 5. 분류기의 등가회로  
Fig. 5. Equivalent circuit of the shunt

前驅放電光의 측정에는 응답시간이 2 [ns]인 光電子増倍管(Hamamatsu:R928)을 사용하였으며, 신호전송용 케이블은 2중시일드선을 사용하고 모든 계측기는 차폐함에 내장시켜 電磁誘道作用의 영향을 극소화시켰다. 또한 전원으로부터의 노이즈침입을 방지하기 위하여 절연변압기와 선로용 필터를 사용하였다.

### 4. 실험결과 및 고찰

4-1. 측정계의 특성

전구방전전류의 측정을 위하여 제작한 분류기의 單位階段應答特性을 측정하였다. 이 때 입력전원으로는 상승시간이 약 0.25 [ns]인 펄스발생기(Tek. PG-109)를 사용하여 측정한 응답을 그림 6에 나타내었다.



[ 1 V/div, 2 ns/div ]

그림 6. 분류기의 단위계단응답

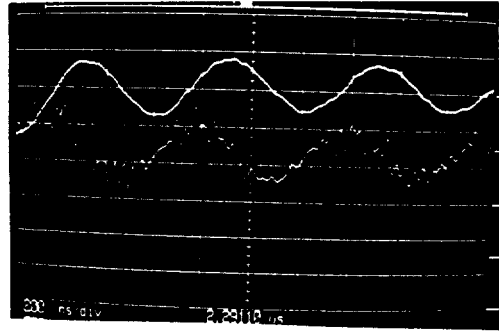
Fig. 6. Unit step response of the shunt

[ 61.5 kV/div, 200 ns/div ]

그림 6에서 응답의 상승시간이 약 1.6[ns]이므로 주파수대역의 上限値는 약 220 [MHz]이며, 오우버슈트가 거의 없으므로 임피던스整合이 잘 이루어져 있음이 확인되었다. 따라서 제작된 분류기로 220 [MHz]까지의 고주파성분을 포함하는 전구방전전류의 측정이 가능함을 알 수 있다.

變位電流의 함유정도와 이의 영향을 평가하기 위하여 진동파전압에 대한 응답을 측정하였다. 針電極이 평판전극에 전기적으로 접속된 경우 약 1.8[MHz]의 진동파전압을 인가한 때 분류기에 감지된 외부전류의 파형을 그림 7에 나타내었다. 전류의

위상이 인가전압보다 90° 앞서 있으므로 변



[ 20 mA/div, 200 ns/div ]

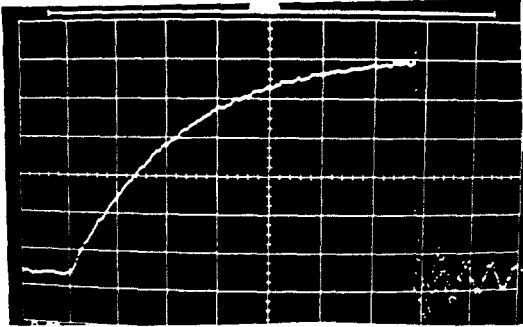
그림 7. 침전극이 평판전극에 접속된 때 진동파전압에 대한 외부회로전류

Fig. 7. External current to oscillating voltage when point electrode is connected at the plane

위전류성분임을 알 수 있으며, 전압의 피크치 부근에서 코로나방전이 일어나고 있으나 傳導電流成分만을 산출하기는 어렵다. 따라서 하전입자의 이동에 의한 전도전류만을 측정하기 위하여는 변위전류를 배제시켜야만 되며, 본 실험에서 침전극을 평판전극과 절연시킨 때의 변위전류는 거의 나타나지 않았다.

4-2. 閃絡電壓-壓力特性

正·負極性의 雷임펄스전압(1.5/50 $\mu$ s)에 대하여 가스압력을 변화시켜 最低閃絡電壓을 측정하였으며, 섬락전압파형의 예를 그림 8에 나타내었다. 昇降法으로 20회정도 전압을 인가하여 섬락을 일으키는 최저전압을 구하였으며, 이의 결과를 그림 9에 나타내었다.



[ 61.5 kV/div, 200 ns/div ]

그림 8. 섬락전압파형의 예  
Fig. 8. Examples of the flashover voltage waveforms

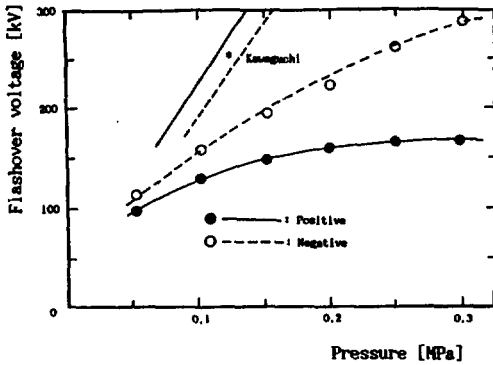


그림 9. 雷임펄스전압에 대한 閃絡電壓-壓力特性  
Fig. 9. Flashover voltage-pressure characteristics for the lightning impulse voltages

정극성의 경우 0.15[MPa](절대압력)까지는 압력의 증가에 따라 최저섬락전압은 약간 증가하나 그 이상의 압력에서 최저섬락전압은 그다지 변화하지 않는다. 高氣壓의 상태에서 불평등전계중의 리더더發生電壓은 거의 일정하기 때문에 가스압이 증가하여도 최저섬락전압의 변화는 적은 것으로 판단된다.<sup>13)</sup> 부극성의 경우 가스압력의

증가와 더불어 최저섬락전압은 증가를 보이고 있다. 일반적으로 불평등전계중에서의 空間電荷効果는 가스압력이 평방근에 비례하며, 최저섬락전압  $V_m$ 은 압력  $P$  [MPa]의 함수로서 다음의 식으로 표현된다.<sup>14,15)</sup>

$$V_m = K\sqrt{P} \dots\dots\dots(8)$$

여기서  $K$ 는 전극형상, 인가전압에 의하여 정해지는 정수이며, 본 실험조건에서는 약 512이다. 그림 9의 결과에서 正·負極性에 대한 최저섬락전압의 현저한 차이는 다음 절에서 기술하는 방전진전과정이 다르기 때문에 생기게 된다.

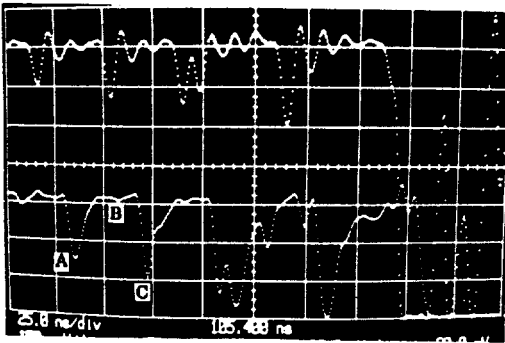
평등전계중에서 雷임펄스전압에 대한  $SF_6$ 가스의 섬락전압은 그림 9의 \*로 표시한 바와 같이 거의 압력에 정비례하여 증가한다.<sup>16)</sup> 또한 섬락전압의 極性依存性도 불평등전계의 경우와는 반대이며, 이것은 평등전계중에서의 절연파괴는 스트리머방전에 의하여 일어나기 때문이다. 그러나 바늘모양의 돌기물이 존재하는 경우와 같은 불평등전계중에서는 초기코로나의 발생과 그 후의 공간전하작용에 의한 영향 때문에 섬락전압의 壓力依存性은 대단히 복잡한 양상을 가지게 된다. 특히, 절연설계시 불평등전계가 형성되는 경우 정극성의 현저한 섬락전압의 저하를 고려하여야 된다.

### 4-3. 前驅코로나特性

#### 4-3-1. 正極性

전구방전현상은 가스압력에 따라 다르며, 0.1[MPa]이상에서는 전구코로나전류가 수회 간헐적으로 나타난 후 섬락에 이르는

진전과정이 관측되었다. 그림 10에 가스압력 0.25[MPa]에서 1.5/50 $\mu$ s 임펄스전압을 인가했을 때의 前驅放電電流와 放電光의 대표적인 측정예를 나타내었다. 여기에서의 放電光은 방전갭내에서의 스트리머코로나에 의한 전리작용에 의하여 발광한다. 방전광의 신호는 측정에 사용한 광전자증배관의 走行時間 때문에 전류신호보다 약 20[ns]정도 지연되어 나타났다.



전류전류 [ 300 nA/div, 25 ns/div ]

방전광 [ A.U/div, 25 ns/div ]

그림 10. 正極性에서 대표적인 前驅電流와 放電光의 파형(절대압력:0.25 MPa)

Fig. 10. Typical waveforms of the prebreakdown current and light signal in positive polarity (Absolute pressure of 0.25 MPa)

전류의 파형(상부)에는 방전광신호에 비하여 진동성분이 포함되어 있는데, 이것은 침전극을 포함한 측정계의 인덕턴스 영향으로 여겨진다. 그림 2의 전극계에서 인덕턴스는

$$L = \frac{\mu_0 h}{2\pi} \ln \frac{D}{d} \dots\dots\dots(9)$$

과 같이 근사적으로 표현된다.<sup>12)</sup> 여기서 h와 d는 침전극의 길이와 직경, D는 실험용기의 직경이며, 본 전극계의 인덕턴스는 약 13[nH]이다.

초기코로나는 침전극의 先端에서 발생하며, 이 때 상당한 에너지가 방전갭내에 주입되고 對向電極을 향하여 리더가 스텝狀으로 진전하여 섬락에 이르는 것으로 볼 수 있으며, 그림 11과 같이 모델화하여 설

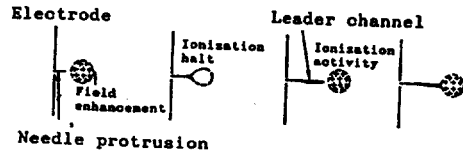


그림 11. 순시적 리더진전의 모형.  
Fig. 11. Pattern of the time scale on the leader propagation

명할 수 있다. 초기코로나(그림 10, 11의 A)가 발생하면 전자와 이온이 생성되고 對向電極을 향하여 이동하고, 침전극의 先端에는 정이온이 남게 된다. 스트리머코로나의 소멸 후 脫離와 코로나영역에서의 전압강화로 電離休止(그림 10, 11의 B)가 일어나며, 전리휴지기간동안 공간전하(正이온)의 이동으로 전계분포가 변화한다. 정이온군이 침전단에 이어지면 이온群의 선단이 고전계로 되어 새로운 코로나가 발생하게 된다(그림 10, 11의 C). 이러한 과정의 반복으로 導電通路(leader channel)가 형성되며 최종적으로 섬락에 이르는 것으로 해석된다. 이 때 스트리머코로나에서 리더로의 遷移는 전극조건, 解離溫度, 성분기체, 밀도, 臨界體積 등에 따라 변화하며, 스텝사이의 간격, 크기 등 방전진전특성이 변화한다.<sup>17~20)</sup>

그림 10에서와 같이 정극성의 경우 단일 스트리머에 의하여 섬락에 이르지 않고 스텝상으로 진전되며, 스텝상의 리이더진전은 인가전압과 가스압력에 의존한다. 리이더의 스텝핑시간  $T_s$ [ns]에 대하여는 다음의 식으로 표현하고 방전기구를 해석하고 있다.<sup>21,22)</sup>

$$T_s = \frac{K_0}{V \cdot P^2} \dots\dots\dots(10)$$

여기서, V는 인가전압[kV], P는 가스압력[MPa],  $K_0$ 는 돌기물의 형상, 인가전압의 파형에 의하여 결정되는 정수이다.

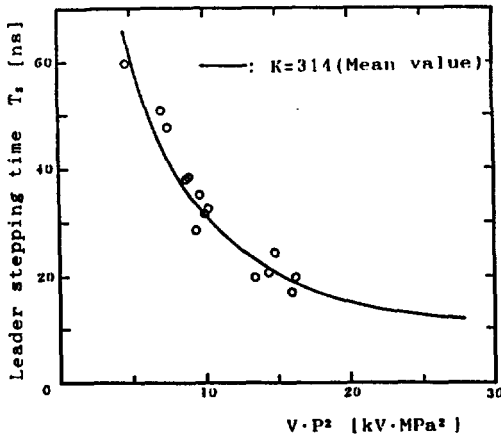


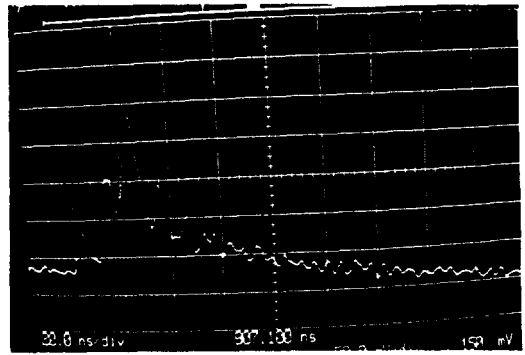
그림 12. 리이더 스텝핑시간  
Fig. 12. Leader stepping times

$V \cdot P^2$ [kV · MPa<sup>2</sup>]을 횡축, 스텝핑시간  $T_s$ [ns]를 종축으로 하여 도시한 결과를 그림 12에 나타내었으며, 인가전압과 가스압력의 증가와 더불어 리이더의 스텝핑간격이 좁아지고 있으며, 측정된 결과를 식(10)에 대입하여 산출한 정수  $K_0$ 의 산술평균값은

약 314이다.

4-3-2. 負極性

부극성의 전구방전현상은 정극성의 경우와 매우 다르며, 섬락에 이르지 않았을 때 코로나방전전류에 대한 대표적인 파형의 예를 그림 13에 나타내었으며, 이 때 가스



[ 100 mA/div, 20 ns/div ]  
그림 13. 부극성에서 초기코로나전류의 대표적인 파형

Fig. 13. Typical waveform for the first corona current in negative polarity

압력은 0.25[MPa]이고, 인가전압은 283[kV]이다. 부극성의 전구방전은 정극성의 경우와는 다르게 연속적인 코로나가 2~3 펄스과정을 경유하여 진전되는 특성을 나타내고 있다. 방전의 초기단계에서 공간전하의 영향이 지배적으로 나타나기 전에 光電離, 脫離, 準安定原子 등의 작용에 의한 2차전자방출이 일어나기 때문이다.<sup>23)</sup>

이온에 의하여 생성되는 電子數는 光電離作用에 의한 전자수의 거의 2배이며, 전류는 고전계하에서 이들 전자수 증배로 상승하게 된다. 이러한 과정은 陰極降下領域에서 正이온이 고갈될 때까지 반복되며, 피이크치를 지나 전류는 점차적으로 감소하게 된다. 이와 같이 부극성 전구코로나방전은 초기전자사태에 의하여 이어지는 광전리, 탈리, 준안정원자 등에 의한 복합적인 과정으로 진전되며, 기체의 종류, 가스압력, 전극재료 및 표면상태, 인가전압의 종류에 의존하기 때문에 일률적으로 설명하기는 불가능하다.<sup>24)</sup>

섬락(절연파괴)이 일어나는 경우 방전진전과정에 대한 오실로그래프를 그림 14에 나



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

그림 14. 부극성에서 섬락직전의 전구방전진전 (절대압력 : 0.25 MPa)

Fig. 14. Prebreakdown growth just before flashover (Absolute pressure of 0.25 MPa)

타내었다. 그림 13의 섬락이 일어나지 않는 경우와 방전진전형태는 비슷하며, 공간전하에 의한 전계완화의 영향으로 다소 進

展速度가 느리게 나타났다. 정극성의 경우와는 다르게 초기코로나가 발생한 후에도 전류의 감소가 적은데, 이는 이온전류성분이 상당히 포함되어 있기 때문이다. 공간전하가 존재하는 상태에서 2~3회의 스트리머코로나를 거쳐 섬락에 이르게 되며, 방전진전시간도 정극성에 비하여 짧다. 또한 이 결과로부터 방전진전에 미치는 공간전하의 電界緩和效果도 정극성보다 부극성의 경우가 더 크게 작용하고 있음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

금속성 돌기물에 의하여 형성되는 불평등전계중에서 SF<sub>6</sub>가스의 절연특성과 前驅放電現象을 파악하기 위하여 전구코로나전류의 측정방법을 해석하고, 雷임펄스전압에 대한 방전진전과정의 측정을 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 전구코로나방전에 의한 傳導電流만의 탐지를 위한 측정계의 특성은 매우 우수하였으며, 분류기 응답의 고역측 차단주파수는 약 220[MHz]이었다.
- (2) SF<sub>6</sub>가스의 절연특성과 전구방전현상사이에는 밀접한 상관관계가 있으며, 極性依存性이 나타났다.
- (3) 高氣壓에서 정극성의 전구코로나방전과정은 스텝상의 리더機構에 의하여 진전됨이 판명되었으며, 인가전압과 가스압력의 증가에 따라 리더의 스텝핑 간격이 좁아지는 현상이 밝혀졌다. 또한 閃絡電壓의 壓力依存性은 그다지 크지 않았다.

(4) 초기코로나에 의하여 발생한 空間電荷作用이 閃絡電壓과 前驅放電의 성장에 미치는 영향은 부극성의 경우가 현저하였다.

본 연구는 인하대학교 산업과학기술연구소 연구지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

### 참 고 문 헌

- 1) B. Lieberoth-Leden and W. Pfeiffer : "Pre-discharge Development in  $N_2$  and  $SF_6$  at High Gas Pressure", *IEEE Trans., Vol. EI-24*, No. 2, pp. 285~296, 1986
- 2) 河村達雄, 李福熙 : "가스 絶緣開閉裝置에 있어서 急峻波 過渡電壓의 발생과 절연특성", *대한전기학회지*, Vol. 38, pp. 21~30, 1989.
- 3) 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.
- 4) Bok-Hee Lee, et al : "Particle-Initiated Breakdown Behaviors of  $SF_6$  Gas under the Very Fast Transient Overvoltages", *The 2nd Asian Conference on Electrical Discharge*, pp. 67~70, 1989.
- 5) 李福熙 외 : "振動性 急峻波 인바스電壓에 對する  $SF_6$  가스의 絶緣破壞現象", 平成元年 電氣學會 全國大會, No. 1287, 1989.
- 6) A. Diessner and John G. Trump : "Free Conducting Particles in a Coaxial compressed-Gas-Insulated System", *IEEE Trans., Vol. PAS-89*, No. 8, pp. 1970~1978, 1970.
- 7) S. Matsumoto, et al : "Non-uniform Flashover Mechanism in  $SF_6$  Gas under Fast-oscillating and Non-oscillating Impulse Voltages" *6th ISH*, No. 32~16, 1989.
- 8) W. Shockley : "Currents to Conductors Induced by a Moving Point Charge", *J. Appl. Phys.*, Vol. 9, pp. 635~636, 1938.
- 9) H. F. a. Verbaart and P. C. T. van der Laan : "Fast current measurements for avalanche studies", *J. Appl. Phys.*, Vol. 54, No. 3, pp. 1430~1436, 1982.
- 10) J. M. Wetzler and P. C. T. van der Laan : "Prebreakdown Currents", *IEEE Trans.*, Vol. EI-24, No. 2, pp. 297~308, 1989.
- 11) Quang Vuhuu and R. P. Comsa : "Influence of Gap Length on Wire-Plane Corona", *IEEE Trans.*, Vol. PAS-88, No. 10, pp. 1462~1475, 1969.
- 12) 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.
- 13) I. D. Chalmers, O. Farish and S. J. MacGregor : "The Effect of Impulse Waveshape on Point/Plane Breakdown in  $SF_6$ ", *4th International Symposium on Gaseous dielectrics*, pp. 344~353, 1984.
- 14) N. H. Malik and A. H. Qureshi : "Non-uniform Field Breakdown in  $SF_6$  and Its Mixtures with Helium and Nitrogen", *3th*

- ISH, No. 31~03, 1979.
- 15) H. Anis, M. M. Morcos and K. D. Srivastava : "corona Stabilized Breakdown in Particle Contaminated Compressed SF<sub>6</sub> System", 4th International Symposium on Gaseous Dielectrics, pp. 387~395, 1984.
  - 16) Y. Kawaguchi, K. Sakada and S. Menju : "dielectric Breakdown of Sulfur-Hexafluoride in Nearly Uniform Fields", IEEE Trans., Vol. PAS-90, pp. 1072~1078, 1971.
  - 17) E. Kuffel and a. Yializis : "Impulse Breakdown of Positive and negative Rod-Plane Gaps in SF<sub>6</sub>-N<sub>2</sub> Mixtures", IEEE Trans., Vol. PAS-97, No. 6, pp. 2359~2366, 1978.
  - 18) L. Niemeyer and N. Pinnekamp : "Leader discharge in SF<sub>6</sub>", J. Appl. Phys., Vol. 16, pp. 1031~1045, 1983.
  - 19) L. Niemeyer : "Leader Inception in SF<sub>6</sub>", 4th International Symposium on Gaseous Dielectrics, pp. 156~161, 1984.
  - 20) L. Gallimberti and N. Wiegart : "Streamer and leader formation in SF<sub>6</sub> and SF<sub>6</sub> mixtures under positive impulse conditions; Streamer to leader transition", J. Appl. Phys., Vol. 19, pp. 2363~2379, 1986.
  - 21) H. Hiesinger and R. Witzmann : "Very Fast Transient Breakdown at a Needle Shaped Protrusion", 9th International Symposium on Gas discharges, pp. 323~326, 1988.
  - 22) L. Ullrich : "The Influence of Very Fast Transients on the Discharge Development in SF<sub>6</sub>", 9th International Symposium on Gas discharge, pp. 335~338, 1988.
  - 23) R. Morrow : "Theory of stepped pulses in negative corona discharge", Physical Review A, Vol. 32, No. 6, pp. 3821~3824, 1985.
  - 24) Richard J. Van Brunt and David Leep : "Characterization of point-plane corona pulses in SF<sub>6</sub>", J. Appl. Phys., Vol. 52, No. 11, pp. 6588~6600, 1981.

(1992년 2월 20일 접수)



이복희

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988-89년 일본 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 현재 인하대학교 공대 전기공학과 조교수, 당학회 학술이사.



백용현

1927년 5월 5일생. 1952년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1973-76년 일본 게이오대학대학원 졸업(공학박사). 1986년-87년 대한전기학회 회장. 현재 인하대 공대 전기공학과 교수, 당학회 회장.