

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 절연특성

이복희, 이봉, 최중혁, 백영환, 정동철, 김성원*
 인하대학교, 한국전력공사*

Breakdown Characteristics of SF₆/N₂ Gas Mixtures According to a change in Temperature

Bok-Hee Lee, Feng Li, Jong-Hynk Choi, Young-Hwan Baek, Dong-chul Jeong and Seong-Weon Kim*
 INHA University, KEPCO*

Abstract - This paper presents the experimental results on impulse breakdown characteristics under a highly non-uniform electric field in SF₆/N₂ gas mixtures according to a change in temperature. Test temperature ranges from -25 °C to 25 °C. The impulse predischage breakdown developments are investigated by the measurements of current pulse and discharge luminous events. As a result, the predischage development mechanisms for both positive and negative polarities are same. When increasing the temperature, breakdown voltage due to lightning impulse voltage is increased in negative polarity. On the other hand, when increasing the temperature, breakdown voltage due to lightning impulse voltage is not changed in positive polarity.

1. 서 론

산업사회의 발전과 더불어 날따라 더 많은 전기에너지를 필요로 함과 동시에 도시 공간활용 측면에서 전력설비들의 소형화 및 고신뢰화가 시 도되고 있다. 현재 송변전용 전력기기의 절연매체로서 육불화유황(SF₆) 가스를 널리 사용하고 있다. 이는 송변전용 설비로 사용되고 있는 가스 절연개폐장치(GIS)의 소형화와 경제적으로 비용을 낮추는데 크게 기여 하였다. 대기압에서 SF₆가스는 공기에 비해 약 3배의 절연내력을 가지 는 동시에 우수한 아크소호특성을 가지고 있다. 하지만, SF₆가스는 높은 지구 온난화 가능성이 있는 것으로 지목되고 있고, 금속이물질에 의해 발생하는 국부적인 고전계에 매우 민감한 반응을 보이는 단점이 있을 뿐만 아니라 다른 절연기체에 대해서 가격이 비싸고, 특히 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬워 대체절연물질의 개발을 필요로 한다. SF₆가스 와 절연내력이 비슷하거나 더 월등한 기체를 아직 발견하지 못하였기 때문에 액화온도가 낮고, 경제적이며, 무독성 및 비가연성 등의 화학적 안정성을 가진 N₂기체를 혼합한 SF₆/N₂ 혼합가스를 SF₆가스의 대체가 스로 주목 받아 많은 연구자에 의하여 연구가 진행되고 있다. 또한 최근 절연매체로써 SF₆/N₂ 혼합가스를 사용한 기체 절연송전선이 실용화되었 다. 그러나 현재 SF₆/N₂ 혼합가스의 저온화를 고려한 절연설계에 관한 체계적 연구는 이루어지지 않고 있다.^[1,2,3,4]

본 연구에서는, 주위온도가 변화할 때, 불평등전계 중에서 임펄스전압 에 의해서 발생하는 SF₆/N₂ 혼합가스의 방전특성을 규명하기 위하여 침-평판이 설치된 챔버에 SF₆/N₂ 혼합가스를 채워 일련의 기체방전실험을 수행하였다.

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 절연과피특성과 전구방전진전과 정을 해석하기 위하여 전구방전전류를 측정하고, 분석하여 절연과피까지 이르는 전구방전과정을 집중적으로 분석하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험계구성

주위온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스전압에 대한 절연 특성을 분석하기 위하여 모의 GIS 실험장치를 이용하였다. 그림 1에 실험 계 구성 및 측정시스템의 개략도를 나타내었다.

실험장치는 내경 396 mm의 스테인레스강을 이용하여 원통형으로 제 작하였으며, 내부전극에 전압을 인가하기 위하여 66 kV(BIL 350 kV)용 콘덴서형 부상이 설치되어 있고, 실험에 사용된 전압은 병렬충전식 4단 Marx Generator에 의하여 발생되어 실험장치에 인가된다. 불평등전계를 모의하여 실험용기의 하부에 침-평판전극을 제작하여 설치하였다. 침-평판전극에서 발생하는 절연과피전압은 분압비가 10000:1인 분압기로, 전구방전전류는 전극하부에 설치된 분류기를 이용하여 오실로스코프에 서 검출하였다. 또한 측정장비의 보호용으로 분류기에 스파크 갭을 병렬 로 설치하였으며, 인가전압과 전구방전전류의 측정용 케이블은 동축케이

블을 2중 메쉬 와이어(Mesh Wire)로 차폐하였고, 실험에 사용된 오실로 스코프는 차폐함 내에 내장시켰다. 계측기용 전원은 절연변압기를 통하 여 공급하며, 실험에 사용한 모든 장비를 공통접지 함으로써 외부에서 발생하는 잡음과 외란의 영향을 최소화하였다. 실험용기의 온도를 변화 시키기 위하여 스티로폼으로 실험용기의 부싱하부를 보온시켰다.

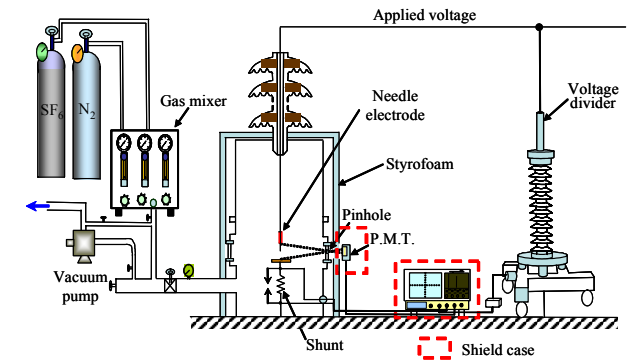


그림 1. 실험장치의 개략도
 Fig. 1. A schematic diagram of the experimental setup

그림 2에 침-평판 전극의 사진 및 세부 구성을 나타내었다. 침 전극의 지름은 0.5 mm이고, 길이는 15 mm, 갭 간격은 20 mm이며, 평판 전극 의 지름은 90 mm이다.

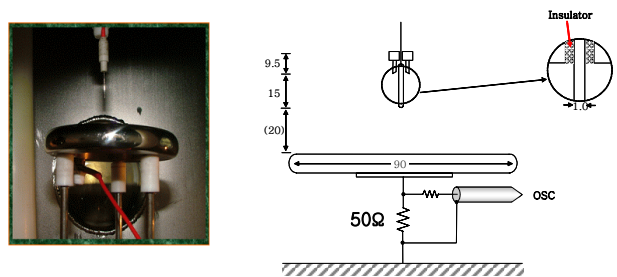


그림 2. 침-평판 전극계 사진 및 구성도
 Fig. 2. Photo. and schematic diagram of the needle-to-plane electrode system

전구방전전류의 진전메커니즘을 분석하기 위하여 실험용기의 창구에 광전자증배관(photo-Multiplier Tube)을 설치하여 방전광을 검출하였다.

2.2 실험방법

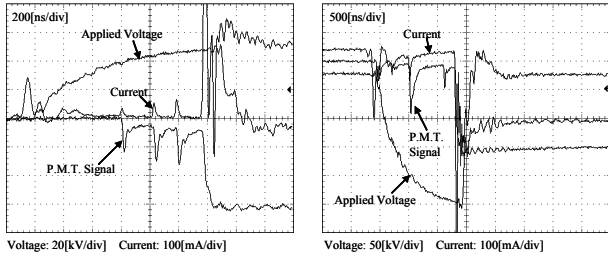
최대한 SF₆/N₂ 혼합가스만 실험용기에 주입하기 위하여 유희전 펌프 로 실험용기를 7.0×10⁻³ Torr까지 배기시킨 다음, 가스혼합기를 이용하 여 10%의 SF₆기체와 90%의 N₂기체를 혼합하여 실험용기 내의 혼합가 스압력이 0.1 MPa이 될 때까지 주입하였다. 그리고 드라이아이스를 사 용하여 실험용기내 SF₆/N₂ 혼합가스의 온도를 -25~25 °C 범위에서 변 화시키면서 정극성과 부극성의 너임펄스전압을 침-평판전극에 인가하였 다. 이 때 인가전압, 전구방전전류와 방전광신호를 디지털 오실로스코프 (TDS 644B, analog band width: 500 MHz, sampling rate: 2.5 GS/s)로

측정하였다. SF₆/N₂ 혼합가스의 온도변화에 따른 방전특성을 보기 위하여 온도변화 단위를 5°C로 하여 침-평판전극에서의 절연파괴전압, 방전전류와 방전광신호를 측정하고 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 절연파괴특성

0.1 MPa의 압력에서 온도변화에 따른 침-평판전극에서의 임펄스전압에 대한 전구방전을 분석하기 위하여 절연파괴전압, 방전전류와 방전광신호를 측정하였다. -10 °C에서 정극성과 부극성의 뇌임펄스전압을 침-평판전극에 인가하였을 경우의 방전전류와 측정된 방전광신호를 그림 3에 나타내었다.



(a) 정극성

(b) 부극성

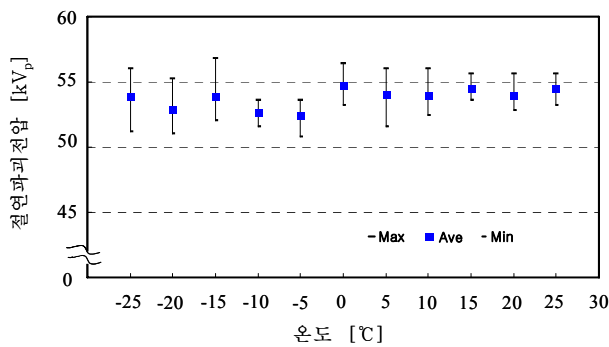
그림 3. -10 °C에서 SF₆/N₂ 혼합가스내의 인가전압, 방전전류 및 방전광신호의 파형

Fig. 3. Waveforms of the applied voltage, discharge current and luminous events in SF₆/N₂ gas mixtures at -10 °C

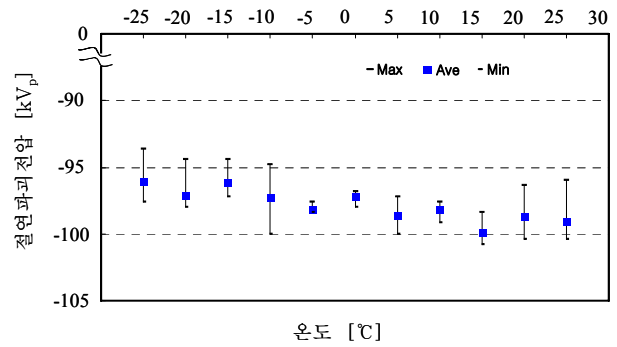
방전전류의 파형으로 보자면 정극성의 경우와 부극성의 경우 모두 주로 리더진전에 의하여 방전이 일어난다는 것을 알 수 있다. 정극성과 부극성의 경우 리더가 진전하여 절연파괴에 이르게 된다. 정극성의 경우보다 부극성의 경우가 절연파괴전압이 높고 동시에 절연파괴시간도 더 길게 나타났다. 또한, 온도 변화에 상관없이 부극성보다는 정극성의 경우가 통계적지연시간이 길게 나타났다. 이는 초기전자의 발생메카니즘에 관계된다. 정극성의 경우 초기전자는 주로 기체중의 부이온으로 부터의 탈리작용에 의한 전자방출이나 여기원자 혹은 분자의 충돌누적전력에 의해서 공급된다. 그리고 부극성의 경우 초기전자는 대부분 침 끝단으로부터의 전계전자방출에 의해서 공급된다. 따라서 전계전자방출에 의해 공급되는 전자가 기체중의 부이온으로부터의 탈리작용에 의한 전자방출이나 여기원자 혹은 여기분자의 충돌누적전력에 의해서 공급되는 전자보다 더 많다는 것을 알 수 있다.

3.2 온도변화에 따른 절연파괴전압 특성

SF₆가스의 단점을 보완하려는 목적으로 SF₆/N₂ 혼합가스를 대체가스로 선정하고 일정한 양의 SF₆/N₂ 혼합가스를 실험용기에 주입한 다음 온도를 변화시키면서 실험을 수행하였다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 4. 뇌임펄스전압에 대한 SF₆/N₂ 혼합가스의 온도특성
Fig. 4. Temperature Characteristics of SF₆/N₂ gas mixtures under the lightning impulse voltage

같은 온도와 압력의 조건하에서 초기전자생성의 불균형성에 의하여 때때로 절연파괴전압의 크기는 다르지만 그 평균 절연파괴전압의 크기를 온도에 따라 비교해 볼 때 정극성일 경우, 온도의 변화에 따라 절연파괴전압은 거의 일정하였지만 부극성일 경우, 온도가 낮아짐에 따라 절연파괴전압도 점차적으로 낮아졌다. 앞의 그림 3에서 볼 때 정·부극성의 전구방전은 모두 리더의 진전에 의하여 일어난다. 하지만 정극성의 경우 침전극에 전압이 인가되면 실험 용기내 기체의 부이온 또는 수분과 같은 불순물의 탈리작용에 의해서 초기전자가 공급되어 충돌전력에 의해서 전자사태가 발생되고 따라서 리더방전의 진전에 의해서 절연파괴가 일어난다. 다시 말하면, 스트리머 코로나의 진전에 의해서 절연파괴가 일어난다. 이 때 전자의 이동도, 공간전하의 생성은 거의 온도의 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 부극성일 경우, 침전극에 전압이 인가되면 전극주위의 전계가 전자의 충돌에 의한 기체분자의 임계전리전압 이상이 되면 1차 전자사태가 전극과 반대방향으로 성장되어 간다. 따라서 1차 전자사태가 전리영역경계점($\alpha = \eta$)까지 성장하게 되면, 전자들은 기체분자에 부착되어 부이온을 형성한다. 이 때 전자가 부착된 부이온의 이동도, 공간전하의 생성은 온도의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다.

3. 결론

본 연구에서는 SF₆/N₂ 혼합가스의 뇌임펄스전압에 대한 불평등전계중에서의 절연내력 및 전구방전현상에 대하여 분석 및 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 불평등전계 중에서 SF₆/N₂ 혼합기체의 절연특성은 부극성인 경우 약간의 온도의존성이 있으며, 정극성의 경우에는 기체온도의 변화에 거의 의존하지 않았다.
- (2) 정·부극성 평균절연파괴전압을 온도변화에 따라 측정된 결과, 정극성인 경우 약 2 kV_p의 변동을 가지면서 평균절연파괴전압이 52 kV_p 이상이었다. 부극성인 경우, 약 4 kV_p의 전압변동을 가지면서 평균절연파괴전압이 -96 kV_p 이상이었다.

[참고 문헌]

[1] T. Kawamura, Bok-Hee Lee, T. Nishimura and M. Ishii, "Breakdown Characteristics of SF₆ Gap Disturbed by a Metallic Protrusion under Oscillating Transient Overvoltages", Jpn. J. Appl. Phys. 33, 2043(1994)
 [2] H. Saitoh, K. Morita, T. Kikkawa, N. Hauakawa, and H. Okbo, "Impulse Partial Discharge and Breakdown Characteristics of Pod-Plane Gaps in N₂/SF₆ gas mixtures", IEEE Trans., on Dielectrics and Insulation, Vol.9, No.4, pp. 544~550, 2002
 [3] T. Kawamura and Bok-H. Lee, "Transient Impulse Breakdowns of SF₆ gas in Inhomogeneous Electric Fields", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38, No.8, pp.4898~4904, 1999.
 [4] F. Buret, and A. Beroual, "SF₆ Dielectric behaviour in a high voltage circuit-breaker at low Temperature under lightning impulses" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.11, No. 1, January 1996.