

불평등전장에서 SF₆와 SF₆/N₂ 혼합기체의 뇌임펄스 전압에 대한 코로나 방전특성

이복희, 오성균*

인하대 차세대 고전압전력기술연구센터

Characteristics of lightning impulse corona discharges under non-uniform electric fields in SF₆ and SF₆/N₂ mixtures

B.H. Lee, S.K. Oh*

HEIRC, Inha University

Abstract - This paper presents an experimental study on the prebreakdown characteristics in SF₆/N₂ mixtures under non-uniform electric fields when subjected to the positive and negative lightning impulse voltages. SF₆/N₂ mixtures have a merit of an environmental aspect and cost reduction, and safety aspects. In order to analyze the prebreakdown processes in SF₆/N₂ mixtures stressed by impulse voltages, prebreakdown current and light were observed by a shunt with high sensitivity and a photo-multiplier tube, respectively. Additionally, characteristics of luminous events in flashovers were discussed.

1. 서 론

6불화유황 SF₆(Sulfur Hexafluoride)기체는 1900년에 Moissan에 의해 처음으로 합성되었고, 1940년경부터 절연체로 이용되기 시작하였다.[1] SF₆기체는 절연체로서로서의 특성이 우수하기 때문에 주된 절연체로서 기체 절연 장비를 사용하는 송배전계통에 폭넓게 사용되고 있다. 또한, 가스절연개폐장치(Gas-Insulated Switchgear : GIS)의 소형화와 경제적으로 비용을 낮추는데 기여하였다. 그러나, SF₆기체는 높은 지구 온난화 가능성이 있으나 이 기체와 특성이 비슷한 불활성 기체이면서 물리적, 화학적 특성이 우수한 조건을 갖춘 순수기체를 발견하지 못하였다. SF₆/N₂ 혼합기체는 순수 SF₆를 대체할 친환경적인 매체로 사용하기 위한 연구가 진행되고 있다.

SF₆기체와 같은 강한 부성기체와의 혼합기체는 가격을 낮출 수 있고 승화점의 강하와 부성기체의 소량 혼합에 의한 상승효과로 인한 절연내력의 비선형적인 증가의 이점을 기대할 수 있다.[2]

실제 GIS내에서 금속성 이물질이 존재할 경우 그로 인해 절연내력이 약화되는 현상이 나타난다. 급준성 과도 과전압에 대한 대책이 요구되며 정확한 절연 기체의 특성의 파악이 요구되고 있다.[3]

이러한 관점에서부터, 본 논문은 SF₆/N₂ 혼합 기체 중에서 침대 평판 갭의 정·부극성 임펄스 전압에 대한 부분방전과 절연과피 특성에 대하여 논의하였다.

2. 본 론

2.1 실험계 구성

그림 1은 실험적인 장치를 간략하게 도식화하였다.

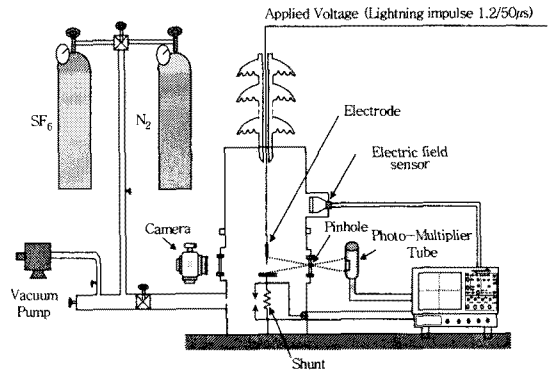


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig 1. A schematic diagram of the experimental apparatus

실험에 사용된 진공 챔버는 상부에 뇌 임펄스 전압을 인가하기에 충분한 절연내력을 가진 부싱(BIL 350kV, In 400A)을 사용하였고, 스테인레스 재질의 몸체는 원통형으로 내경이 396mm이며, 상부와 하부로 나뉘어 플랜지로 접합되어 있다. 상부에는 돌출형으로 전압을 측정할 수 있도록 용량성 전장센서가 설치되어 있으며, 하부에는 부분방전과 절연과피시에 발생하는 전류를 측정하기 위해 분류기를 설치하였다.

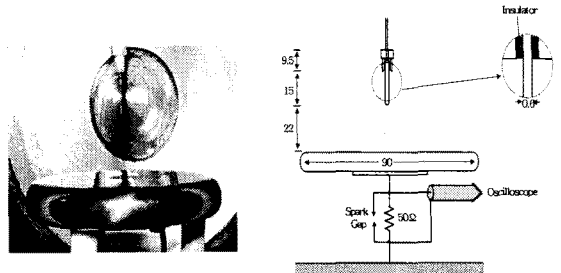


그림 2. 침-평판 전극계 사진 및 구성도

Fig 2. A photograph and schematic diagram of the needle to plane electrode system

GIS내에 금속성 이물질이 조금이라도 존재하게 되면 절연내력이 현저하게 감소하게 되는데 이를 모의하여 불평등 전장의 조건을 만들었다. 그림 2에서 보는 바와 같이 침 전극은 끝단 반경 0.6mm이고, 길이 15mm이며, 평판 전극은 반경 45mm의 크기로 침 전극 하부에 갭 간격이 22mm가 되도록 설치하였다.

2.2 실험방법

정·부극성 뇌 임펄스 전압(1.2/50 μ s)은 압력용기의 절연 부상을 통해 침 전극에 인가하였고, 이를 통해 코로나 방전을 발생시켰다.

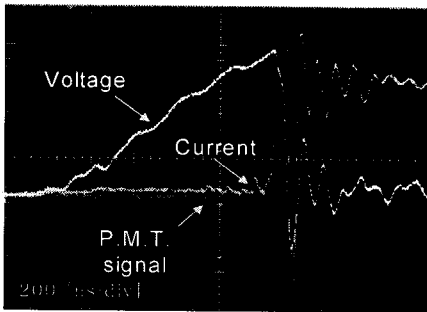
실험에 사용된 기체를 주입할 진공 챔버에 연결된 유희 전 펌프를 이용하여 실험 용기를 수 mTorr까지 배기시켰다. 상용의 N₂와 SF₆기체를 사용하였으며, 가스압력은 0.1-0.3MPa를 단계적으로 증가시켜 가면서 압력계지를 통해 가스를 주입하였다. 인가전압은 전장센서로 전구방전전류는 500 분류기로 측정하였다.

분류기의 출력단에 10:1 감쇠기(attenuator)를 연결하여 전류를 검출하였다. 또한 전구방전에서 절연파괴에 이르기까지 발생하는 코로나 방전광은 광전자증배관(Photo-Multiplier Tube, Hamamatsu R372)을 이용하여 측정하였다. 오실로스코프(TDS 5104B, analog band width: 1GHz, sampling rate: 5GS/s)를 통해 전압, 전류, 광 신호는 측정하였다.

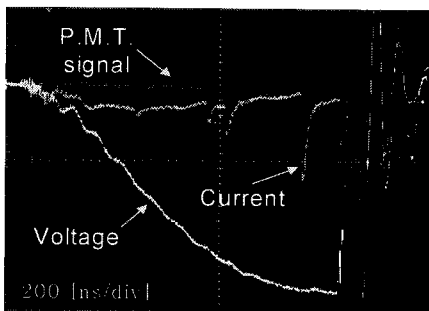
3. 결과 및 고찰

3.1 전구방전신호

정·부극성의 뇌임펄스 전압을 인가한 시점부터 절연파괴에 이르기까지 시간적으로 짧은 순간을 오실로스코프로 측정된 전압, 전류, 광 파형을 그림 3에 나타내었다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 3. 0.2MPa의 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에 인가된 정·부극성의 뇌임펄스 전압, 전구방전전류와 방전광 신호

Fig 3. Waveforms of the positive and negative lightning impulse voltages prebreakdown current and luminous signals in SF₆(20%)/N₂(80%) mixtures at 0.2MPa

초기코로나가 발생하는 시점은 전구방전전류의 신호보다는 방전 광신호로부터 보다 명확하게 결정할 수 있다.

또한 전자사태를 수반하는 전구방전의 진전과정으로 전구방전전류 신호와 방전광 신호는 일대일 대응관계로 나타났다. 그러나 방전광 신호는 방전자중배관의 응답시간 때문에 약 20ns정도 지연되어 나타났다. 전구방전은 침전극의 끝단에서 발단되어 간헐적으로 진전되는 양상임을 알 수 있다. 부극성의 경우 진전간격이 길게 나타났으며, 절연파괴 직전의 스텝간격은 보다 좁게 나타났다.

3.2 절연파괴전압의 압력의존성

순수 SF₆기체와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서의 절연파괴전압-압력과의 관계를 그림 4에 나타내었다.

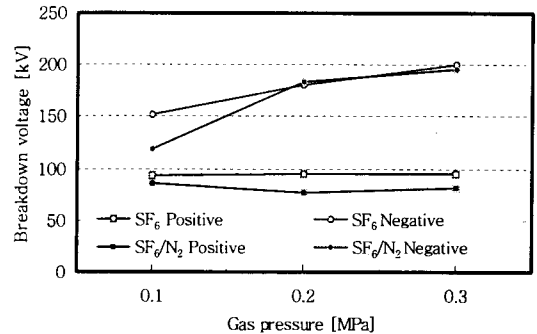


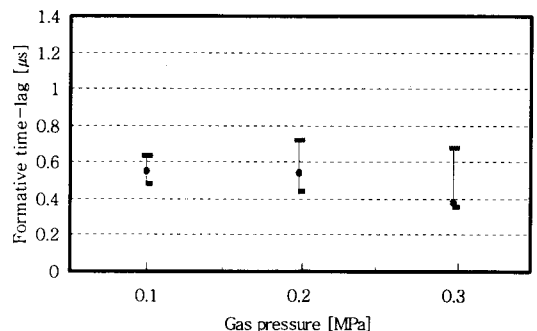
그림 4. SF₆와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체 중에서의 V-p 특성

Fig 4. The V-p curves in SF₆ and SF₆(20%)/N₂(80%) mixtures

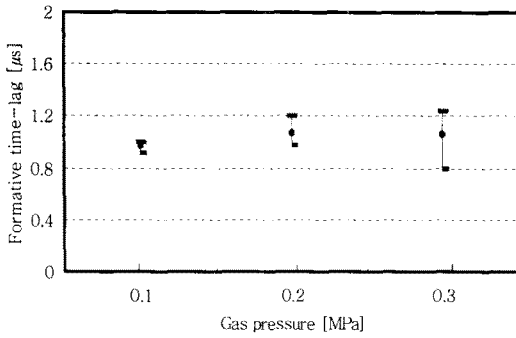
SF₆기체와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체에서 공통적으로 부극성일 때의 압력의존성이 현저하게 크게 나타남을 볼 수 있다. 부극성일 때 압력이 증가함에 따라 섬락되는 전압의 크기가 증가하였음을 알 수 있었지만, 정극성의 경우에는 별 차이를 보이지 않았다. 그리고 정극성에서 보다 부극성의 섬락전압이 높게 나타났음을 알 수 있다.

3.3 혼합기체중 형성지연시간의 압력의존성

SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서 압력에 따른 형성지연시간을 그림 5에 나타내었다. 정극성일 때는 형성지연시간이 압력이 증가함에 따라 점차적으로 감소함을 보였고, 부극성일 때는 다소 증가함을 보였다. 형성지연시간이 짧아질수록 초기 코로나 개시전압이 높아지는 특성을 보였다.



(a)정극성



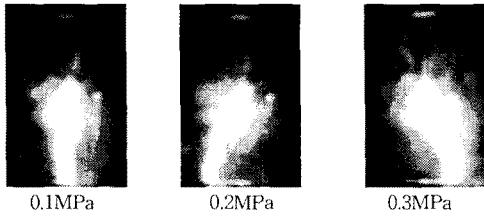
(b)부극성

그림 5. SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서 압력에 따른 형성지연시간특성

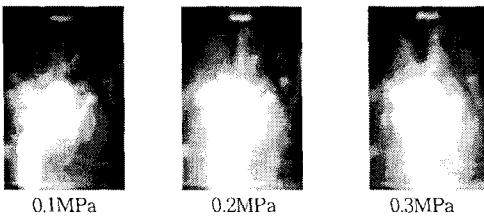
Fig 5. Characteristics of formative time-lag vs. pressure in SF₆(20%)/N₂(80%) mixtures

3.4 절연파괴시의 방전광 현상

SF₆기체와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서 정·부극성 뇌 임펄스 전압을 인가하였을 경우 절연파괴 순간의 방전광을 고성능 디지털 카메라(Nikon, D100)를 통해 촬영하였으며, 0.1-0.3MPa의 기체압력에 대한 결과의 예를 그림 6과 그림 7에 나타내었다.



(a)정극성

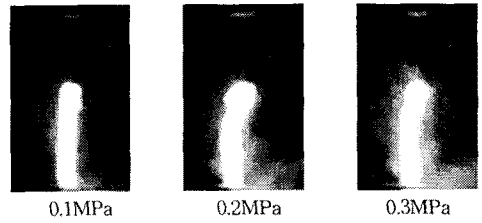


(b)부극성

그림 6. SF₆ 기체 중에서의 방전 현상
Fig 6. Discharge phenomena in SF₆ gas



(a)정극성



(b)부극성

그림 7. SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서의 방전현상
Fig 7. Discharge phenomena in SF₆(20%)/N₂(80%) mixtures

정극성의 뇌임펄스 전압을 인가하였을 때에는 압력이 증가함에 따라 진전경로가 다양하게 나타났고, 0.1MPa의 압력에서 0.2MPa의 압력으로 증가하였을 때, 진전경로의 길이가 현저하게 길어지는 경향성을 보였다.

부극성의 뇌임펄스 전압을 인가하였을 때에는 압력이 증가함에 따라 빛의 밝기가 강렬하게 나타났으며 진전경로를 정극성의 것과 비교하였을 때 방전 채널이 좁아졌고 경로의 길이는 정극성에 비해 짧게 나타나는 특성을 보였다. 특히 정·부극성 모두 침전극의 끝단 돌기부분 주위에서 빛의 밝기가 가장 강함을 볼 수 있었다.

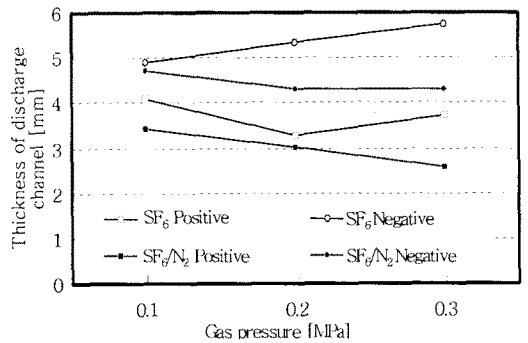


그림 8. SF₆와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에 방전채널의 굵기의 비교
Fig 8. Comparison of the thickness of channel in SF₆ and SF₆(20%)/N₂(80%) mixtures

SF₆기체와 SF₆/N₂ 혼합기체중에서 방전채널의 길이를 그림 8에 나타내었다. SF₆기체와 SF₆/N₂ 혼합기체에서 공통적으로 정극성일 때보다 부극성일 때의 채널길이 길게 나타났다. 혼합기체중에서 정·부극성일 때 압력이 증가함에 따라 방전채널의 굵기는 다소 감소됨을 볼 수 있었다. 또한 정·부극성 모두 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중에서의 방전채널의 굵기는 SF₆기체보다 가늘어졌다.

4. 결 론

SF₆기체와 SF₆(20%)/N₂(80%)의 혼합기체중에서 부분방전특성과 방전진전경로의 고찰을 위한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정극성 절연파괴전압은 부극성 절연파괴전압보다 현저하게 낮게 나타났다.
- (2) 전구방전은 정·부극성 모두 침전극 끝단에 발생한 초기 코로나에 의해 시작되어 계단상으로 진전되는 간헐적 양상을 나타내었으며, 진전 스텝간격은 부

극성에서 훨씬 길게 나타났다.

- (3) SF₆기체와 SF₆(20%)/N₂(80%) 혼합기체중의 방전광을 비교 분석한 결과 정극성의 경우에는 진전경로의 형태가 다양하게 나타남을 알 수 있었고, 부극성 방전채널의 굵기는 정극성의 것보다 굵게 나타났다.

본 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원사업에 의해 작성되었습니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 李福熙, “高電壓大電流工學”, 淸文閣, pp. 64-69, 1993
[2] Tadasu Takuma, Shoji Hamada and Osamu Yamamoto, “APPLICATION OF A GAS MIXTURE WITH c-C₆F₆ IN GAS INSULATION”, High Voltage Engineering Symposium, 22-27 August 1999 Conference Publication No.467, © IEE, 3.1 97.P3, 1999
[3] 金正一, “SF₆와 SF₆-N₂ 혼합기체중에서 불평등전계 절연과 과특성”, 仁荷大學校 工學碩士學位論文, pp.1-3, 2000