

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스 절연파괴특성

(Impulse breakdown Characteristics in SF₆/N₂ Gas Mixtures with a Temperature Variation)

이 봉* · 이복희**

(Feng Li · Bok-Hee Lee)

요 약

본 논문은 온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스 중에서 높은 불평등전계의 임펄스절연파괴특성에 대한 실험적인 결과를 기술하였다. 온도범위는 -25~25[°C]로 정하여 실험을 수행하였다. 임펄스 전구방전진전은 방전전류와 방전 광신호의 측정에 의해 분석되었다. 결과로써, 절연파괴전압은 정극성보다 부극성에서 온도변화에 대한 의존성이 강하게 나타났다. 온도가 상승함에 따라 부극성에서의 리더진전 스텝핑시간이 정극성보다 더 길게 나타났다. 본 연구 결과는 뇌서지에 대하여 우수한 성능을 가지는 가스절연선로의 설계에 유용한 정보가 될 것이다.

Abstract

This paper presents the experimental results of impulse breakdown characteristics in SF₆/N₂ gas mixtures under a highly non-uniform electric field with a change in temperature. The test temperature ranges from -25 [°C] to 25 [°C]. The processes of impulse preliminary breakdown developments were analyzed by the measurements of current pulse and luminous signals. As a result, the temperature dependance of breakdown voltage for the negative polarity was much stronger than that for the positive polarity. When increasing the temperature, The leader stepping time for the negative polarity was shown to be longer than that for the positive polarity. The results presented in this paper can be used as a useful information in designing the gas insulation lines with prominent ability for lightning surge.

Key Words : Impulse breakdwn, SF₆/N₂ gas mixtures, Leader stepping time, Gas insulation line

1. 서 론

오늘날 전 세계적으로 대용량 가공송전선로 건설

을 위한 경과지 확보가 어렵고, 대도시 확장 및 신도시 개발 등으로 발생하게 되는 환경보전에 대한 민원으로 인하여 가공송전선로 건설이 어렵게 되어, 이에 대한 대응수단으로써 친환경 대용량 지중전력전송 시스템인 가스절연 송전선로(GIL, Gas Insulated Transmission Line)의 적용이 활발히 검토되고 있다. GIL은 가공송전선로에 필적하는 대용량 송전능력을 가진다. 가공송전선로의 송전용량은 배치상태, 대

* 주저자 : 인하대 공대 전기공학과 박사과정.

** 교신저자 : 인하대학교 전기공학부 교수

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2008년 8월 4일

1차심사 : 2008년 8월 7일

심사완료 : 2008년 8월 27일

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스 절연파괴특성

기온도, 환기조건들에 따라 다르나 보통 공기 중에서 4,000~5,000[A] 이상의 전류용량과 63[kA]의 단락전류 용량을 가진다. GIL은 지상설치, 전력구 및 직매포설 등과 같이 다양한 배치 및 포설이 가능하며 선로상황과 환경여건에 따라 융통성 있는 대응이 가능하다.

GIL은 도체가 금속외함에 수납되어 있어서 가공선로에 비하여 기상조건에 덜 민감하고, 설비 고유특성상 기존 지중케이블 시스템보다 전류용량이 크고 정전용량이 적다는 특성이 있으며, 전자계 저감효과가 매우 커 최근의 전자계 피해에 관련된 민원 해결에도 매우 유리하다. 지중케이블 선로와는 달리 가공선로와 통합하여 재폐로 운전 등이 가능하며, 사고발생 시 화재발생의 우려가 없다는 장점도 있다. 그러나 GIL의 절연매질로 사용되고 있는 SF₆가스의 지구온난화계수(GWP)가 CO₂기체의 약 23,900배이므로 1997년의 교토의정서에서 SF₆가스를 규제대상가스로 정하였다. 2000년대부터는 절연가스로 SF₆/N₂(SF₆ 20[%]이하) 혼합가스를 사용하는 GIL 연결을 자동화 용접방식으로 적용하여 500[m] 이상의 장거리 선로를 비교적 경제적으로 구성할 수 있는 2세대 GIL이 개발되어 현장에 적용되고 있다 [1-5]. N₂ 가스의 경우, 가격이 싸고, 공기 중에 많이 존재하고 있는 친환경적인 가스이며, SF₆ 가스를 질소에 10[%]만 혼합시켜도 순수 SF₆ 가스의 방전전압의 약 70[%]에 도달한다[6]. 예를 들면 프랑스전력회사(EDF) 같은 경우는 GIL에 SF₆(10[%])/N₂ 혼합가스를 절연매질로 사용하고 있다[7-8]. 2세대 GIL은 SF₆를 절연가스로 하는 1세대 GIL에 비하여 설치비용이 50[%]정도 대폭 절감됨으로써 현재 일본, 스위스, 영국, 프랑스 등지에서 적용되고 있으며 꾸준히 설치 수요가 창출되고 있는 것으로 나타나 있다.

그러나 현재 SF₆/N₂ 혼합가스의 주위온도변화를 고려한 절연설계에 관한 체계적 연구는 이루어지지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는, 주위온도가 변화할 때, 불평등전계 중에서 임펄스전압에 의해서 발생하는 SF₆/N₂ 혼합가스의 절연파괴특성을 규명하기 위하여 침-평판이 설치된 챔버에 SF₆/N₂(10:90) 혼합가스를 채워 일련의 기체방전실험을 수행하였다.

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 절연파괴특성과 전구방전진전과정을 해석하기 위하여 전구방전전류와 방전광을 측정하고, 분석하여, 절연파괴까지 이르는 전구방전과정을 집중적으로 분석하였다.

2. 실험계의 구성 및 방법

2.1 실험계의 구성

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

본 연구에 사용된 실험 용기는 상부에 뇌임펄스전압을 인가하기에 충분한 절연내력을 가진 부싱(BIL 350[kV], 400[A])을 설치하고, 0.1[MPa]압력이 견딜 수 있는 내경 396[mm]의 스테인레스강을 이용하여 원통형으로 제작하였다. 불평등전계를 모의하여 실험용기의 하부에 침-평판전극을 제작하여 설치하였다. 침-평판전극에 전압을 인가하기 위하여 최대 400[kVp]까지 발생할 수 있는 임펄스발생장치를 사용하였다. 침-평판전극에서 발생하는 절연파괴 전압을 측정하기 위하여 분압비가 10,000:1인 분압기를 사용하였고, 전구방전전류는 전극하부에 설치된 고응답 분류기를 이용하여 검출하였다. 또한 침-평판전극사이에서 발생하는 방전광신호는 광전자증배관을 관측창에 부착하여 측정했다.

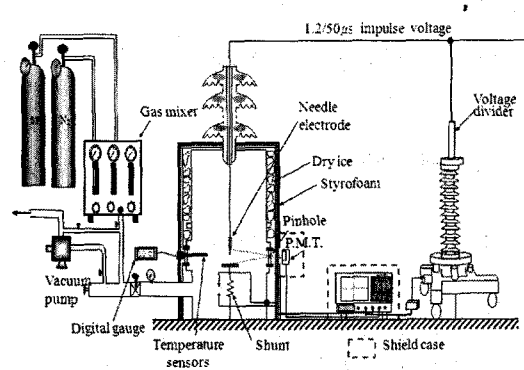


그림 1. 실험계의 구성

Fig. 1. Configuration of the experimental setup

챔버내의 평판과 침전극 끝단 사이의 간격은 20[mm]이고, 바늘모양의 돌기물은 곡률 반경 및 길이는 0.5[mm] 및 20[mm]이며, 하부의 평판전극은 직경이 90[mm]인 스테인리스강을 사용하였다[9]. 챔버 내의 온도를 관측하기 위하여 디지털 온도센서를 전극중심부와 약 10[cm]간격을 두어 설치하였다. 측정장비의 보호용으로 분류기에 스파크 갭을 병렬로 설치하였으며, 인가전압과 전구방전전류의 측정용 케이블은 동축케이블을 2중 메쉬 와이어(mesh wire)로 차폐하였고, 실험에 사용된 오실로스코프는 차폐함 내에 내장시켰다. 계측기용 전원은 절연변압기를 통하여 공급하며, 실험에 사용한 모든 장비를 공통접지 함으로써 외부에서 발생하는 잡음과 외란의 영향을 최소화하였다. 실험용기의 온도를 변화시키기 위하여 스티로폼으로 실험용기의 부상하부를 보온시켰다.

그림 2는 실험용기의 온도를 변화시키기 위하여 설계한 모의 GIS 실험장치의 사진이다.

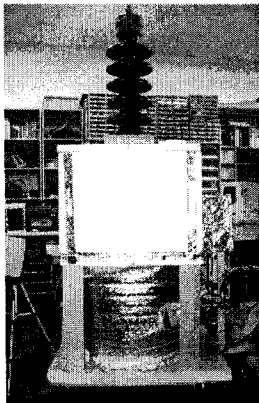


그림 2. 실험장치의 사진
Fig. 2 . Photo. of the experimental setup

냉각설비는 사진에서 보듯이 챔버 상부에 적당량의 드라이아이스가 들어갈 수 있도록 고강도 스티로폼을 챔버모양에 맞춰 제작하였고, 하부에 단열재를 씌웠다.

2.2 실험방법

최대한 SF₆/N₂ 혼합가스만 실험용기에 주입하기

위하여 유희전 펌프로 실험용기를 7.0×10^{-3} [Torr]까지 배기시킨 다음, 가스혼합기를 이용하여 10[%]의 SF₆가스와 90[%]의 N₂가스를 혼합하여 실험용기 내의 혼합가스압력이 0.1[MPa]이 될 때까지 주입하였다. 그리고 드라이아이스를 사용하여 실험용기내 SF₆/N₂ 혼합가스의 온도를 -25~25[°C] 범위에서 변화시키면서 정극성과 부극성의 뇌임펄스전압을 매번 10회씩 침-평판전극에 인가하였다. -25[°C]와 25[°C]에서의 실험용기내의 압력은 온도변화로 인해 0.02[MPa] 정도의 차이가 나는 것을 확인했다. 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[°C]로 정하여 침-평판전극에서의 절연파괴전압, 방전전류와 방전광신호를 측정하고 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 전구방전현상

온도변화에 따른 침-평판전극에서의 1.2/50[μs] 임펄스전압에 대한 전구방전을 분석하기 위하여 절연파괴전압, 방전전류와 방전광신호를 측정하였다. -25[°C]와 25[°C]에서 정극성과 부극성의 뇌임펄스전압을 침-평판전극에 인가하였을 경우 SF₆(10[%])/N₂ 혼합가스 중에서의 대표적인 절연파괴전압, 방전전류와 측정된 방전광 신호를 그림 3에 나타내었다. 전구방전전류와 방전광 펄스는 거의 일치하는 순간에 검출되었다.

1.2/50[μs] 임펄스전류가 인가된 경우, 전구방전전류의 진전과정은 간헐적인 리더의 계단상 진전에 의해서 이루어짐을 알 수 있다. 초기스트리머코로나에 의해서 형성된 리더는 인가전압의 증가함에 따라 리더펄스가 점차적으로 진전하여 전극사이의 방전을 일으킨다.

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스 절연파괴특성

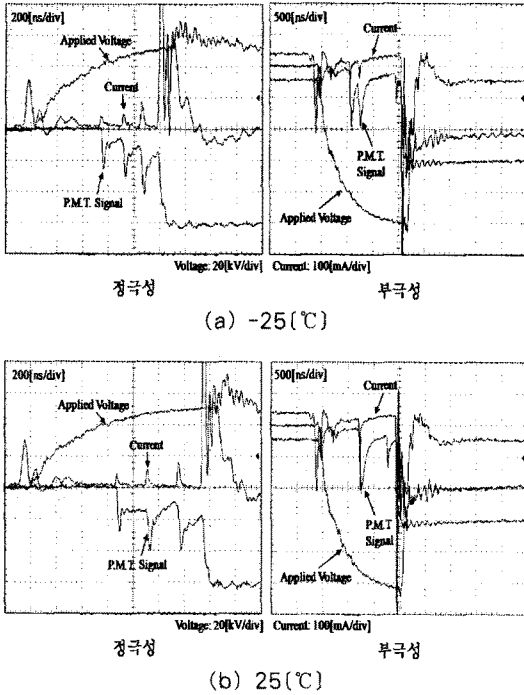


그림 3. -25[°C]와 25[°C]에서 SF₆/N₂ 혼합가스내의 인가전압, 방전전류 및 방전광신호의 파형
 Fig. 3. Waveforms of the applied voltage, discharge current and light signals in SF₆/N₂ gas mixtures at the temperatures of -25[°C] and 25[°C]

리더펄스 사이의 시간간격은 선구자의 발달을 설명하기 위한 중요한 파라미터가 된다. 전구방전전류의 파형에서 리더펄스 사이의 시간간격, 즉 스템핑 시간 t_s 는 온도변화에 따라 변화하는 것을 관찰할 수 있다. 리더 스템핑 시간 t_s 는 전자와 가스분자들 사이의 충돌 및 리더 전류밀도에 의하여 결정되고, 스트리머코로나 전류의 크기와 가스온도의 영향을 받는다. 스케일링법칙으로 리더 스템핑 시간 t_s 를 유도해보면, 스트리머코로나에 의해서 생기는 선전하밀도 λ 는 인가전압 V_a 에 비례한다. q_i 을 이온이 이동하면서 생기는 공간전하라고 하면, 이 때의 전계의 증분 ΔE 는

$$\Delta E = \frac{q_i}{4\pi\epsilon_0 r_{st}^2} \quad (1)$$

으로 나타낼 수 있다. 펄스를 발생하는 공간전하를 만들기 위한 전하 q_i 는

$$q_i = v_{di} \cdot t_s \cdot \lambda \quad (2)$$

이며, 여기서 v_{di} 는 이온의 이동속도이다. 따라서,

$$t_s = \frac{q_i}{v_{di} \cdot \lambda} = \frac{4\pi\epsilon_0 \Delta E}{v_{di}} \cdot \frac{r_{st}^2}{V_a} \quad (3)$$

이고, 여기서 r_{st} 는 스트리머 반경이다.

파형에서 인가전압 V_a 의 크기는 정극성의 경우, 온도변화에 따라 거의 변화가 없는 것을 알 수 있다. 리더 스템핑 시간 t_s 는 스트리머 반경 r_{st} 에 비례한다.

만일, N_0 가 $t=0$ 에서 초기부피의 이온밀도라고 가정하면, 입자들의 확산에 의해 생성된 시간 t 에서의 부피로부터 거리 r 만큼 떨어진 지점의 밀도 N 은 다음 식으로 주어질 것이다.

$$N = \frac{N_0}{(4\pi Dt)^{3/2}} \exp\left(-\frac{r^2}{4Dt}\right) \quad (4)$$

여기에서 D 는 확산계수이며, 따라서 스트리머 반경 r_{st} 는

$$r_{st}^2 \propto D \quad (5)$$

확산계수 D 는

$$D = \bar{\lambda} \bar{v} / 3 \quad (6)$$

로 표현된다. 여기서, $\bar{\lambda}$ 는 가스 중에서 이온들의 평균자유행정이고, \bar{v} 는 그들의 평균 열운동속도이다. $\bar{\lambda} \propto T/p$ 와 $\bar{v} \propto \sqrt{T}$ 을 고려하면

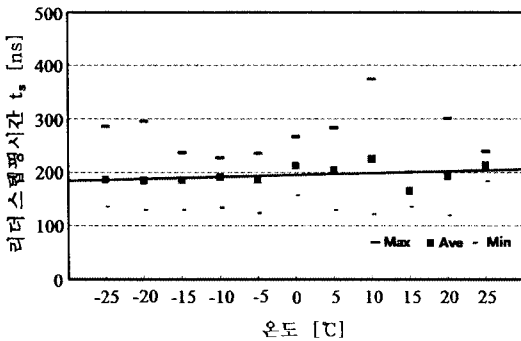
$$D \propto T^{3/2}/p \quad (7)$$

이며 여기서, T 는 가스온도이다. 따라서 식 (3), (5)와 (7)에서

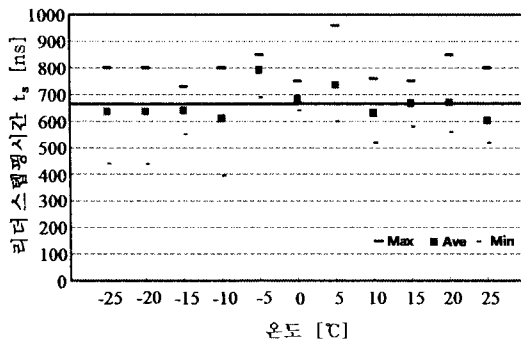
$$t_s \propto T^{3/2}/p \quad (8)$$

이 된다. 따라서 리더 스텝핑시간은 가스온도와 가스압력에 의하여 결정된다[10].

그림 4에서는 -25[°C]와 25[°C]의 온도변화 범위 내에서 정·부극성 임펄스를 인가하였을 경우, 스텝핑시간 t_s 을 나타냈다.



(a) 정극성



(b) 부극성

그림 4. 온도변화에 따른 리더 스텝핑시간
Fig. 4. Leader stepping time as a function of temperature variation

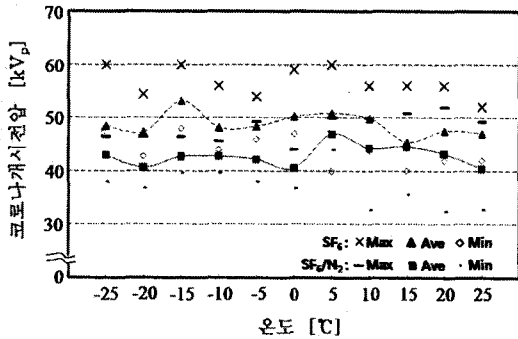
정극성 임펄스전압을 인가할 경우, 전반적으로 보면 리더 스텝핑시간이 불규칙적인 분포를 가지면서 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 매번 전구방전진전과정에서 주위이온들의 자유행정과 열운동속도가 다르기 때문에 리더 스텝핑시간이 불규칙적인 분포를 가진다고 판단되며, 리더 스텝핑시간이 온도가 상승함에 따라 약간 길어지는 것으로 나타났다. 부극성 임펄스전압을 인가할 경우, 리더 스텝핑시간이 불규칙적인 분포를 가지며, 온도변화에 상관없이 거

의 일정하였다. 이는 온도변화와 온도변화에 의한 챔버 내의 압력변화에 대한 의존성이 거의 동일함을 알 수 있다. 또한 정극성보다 부극성에서 리더 스텝핑시간이 더 길게 나타났다. 이는 부극성의 경우 공간전하인 부이온의 전계완화작용이 길게 나타나기 때문에 정극성보다 리더 스텝핑시간이 더 길게 나타난다고 생각된다.

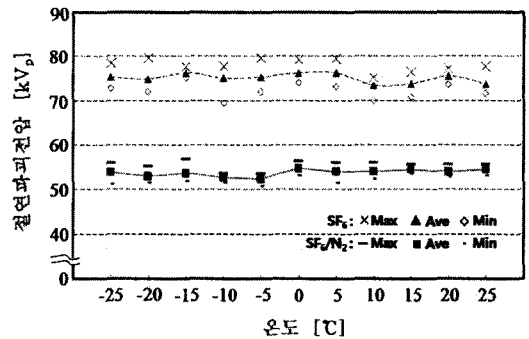
3.2 온도변화에 따른 코로나개시전압

전구방전의 진전과정은 초기코로나가 개시되고, 리더가 형성되며, 리더의 진전으로 절연파괴가 이루는 형태를 나타낸다. 따라서 리더의 진전과 공간전하효과에 직접적으로 관련되는 초기코로나 개시전압을 측정하고 검토하는 것은 바람직하다. 본 연구에서 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스 중에서 정·부극성의 임펄스전압이 인가된 경우에 나타나는 코로나 현상을 분석하였다. 그림 5는 침-평판 전극계에서 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 온도 변화에 따른 코로나 개시전압을 나타내었다. 정극성의 경우, -25~25[°C]의 온도변화에서 SF₆가스와 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 코로나 개시전압은 거의 일정한 값으로 편차가 큰 분포를 나타내었다. 부극성의 경우, 정극성의 경우보다 코로나개시전압이 30[kVp] 정도 높게 나타났으며, SF₆가스와 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 코로나 개시전압은 거의 일치하며, 편차가 큰 분포를 나타냈다. 온도가 높아짐에 따라 코로나 개시전압이 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 가스온도와 인가전압의 상승시간에 의해서 변화되는 전극내의 전계분포에 의한 초기전자의 발생비율과 초기코로나의 발생조건이 다르기 때문인 것으로 생각된다. 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 코로나 개시전압이 높으며, 온도변화에 의존한다. 이러한 원인은 정극성의 경우, 초기전자가 부이온 또는 불순물로부터의 탈리작용에 의해 발생될 확률이 높기 때문인 것으로 생각된다. 부극성의 경우에는 초기전자가 전계방출에 의해 발생되더라도 스트리머 코로나를 형성하는데 요구되는 에너지의 양이 온도의 함수로 작용하기 때문에 온도가 높아짐에 따라 코로나 개시전압도 약간 상승한다[11].

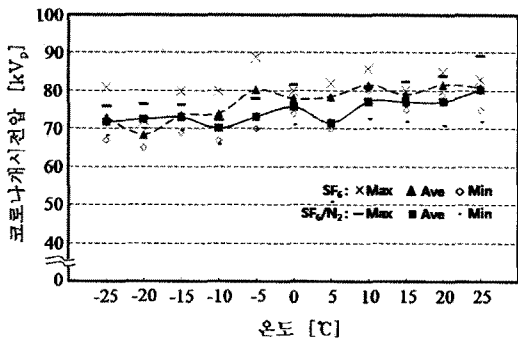
온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스 절연파괴특성



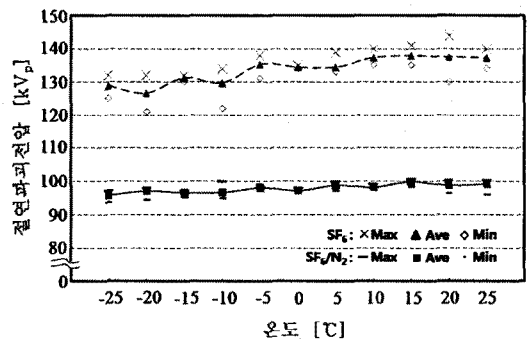
(a) 정극성



(a) 정극성



(b) 부극성



(b) 부극성

그림 5. 온도변화에 따른 코로나개시전압 특성
Fig. 5. First corona onset voltage Characteristics according to the temperature variation

그림 6. 온도변화에 따른 SF₆가스와 SF₆/N₂ 혼합가스의 절연파괴전압특성
Fig. 6. Breakdown voltage characteristics in SF₆ gas and SF₆/N₂ gas mixtures as a function of temperature variation

3.3 온도변화에 따른 절연파괴전압

SF₆가스의 단점을 보완하려는 목적으로 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스를 대체가스로 선정하고 일정한 양의 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스를 실험용기에 주입한 다음 온도를 변화시키면서 순수 SF₆가스와 비교하여 실험을 수행하였다. 그림 6에서는 온도변화에 따른 SF₆가스와 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 절연파괴전압을 나타내었다. SF₆가스와 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스에서 임펄스전압에 대한 절연파괴전압은 코로나개시전압보다 상당히 높은 것이 특징이다. 같은 온도와 같은 압력의 조건하에서 SF₆가스와 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 초기전자생성의 불규칙성에 의하여 매년 절연파괴전압의 크기는 다르게 나타났다.

때문에 평균 절연파괴전압의 크기를 온도에 따라 비교해 볼 때 정극성의 경우, 온도의 변화에 따라 절연파괴전압은 거의 일정하였다. SF₆(10%)/N₂ 혼합가스에서는 평균 절연파괴전압이 52.4~54.56[kVp] 사이에서 불규칙하게 분포하였으며, SF₆가스에서는 평균 절연파괴전압이 73.4~76.32[kVp] 사이에서 불규칙하게 분포하였다. 부극성의 경우, SF₆(10%)/N₂ 혼합가스에서는 평균 절연파괴전압이 95.76[kVp]에서 99.12[kVp]까지 증가하였으며, SF₆가스에서는 평균 절연파괴전압이 128.8[kVp]에서 137.2[kVp]까지 증가하였다. 이는 앞의 그림 3에서 볼 때 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스에서 정·부극성의 전구방전은 모두 리더의 진전에 의하여 일어난다. 정극성의 경우 침전극에 전압이 인가되면 실험 용기내 기

체의 부이온 또는 수분과 같은 불순물의 탈리작용에 의해서 초기전자가 공급되어 충돌전리에 의해서 전자사태가 발생되고 따라서 리더방전의 진전에 의해서 절연파괴가 일어난다. 다시 말해, 스트리머 코로나의 진전에 의해서 절연파괴가 일어난다. 이 때 전자의 이동도, 공간전하의 생성은 $-25 \sim 25[^\circ\text{C}]$ 의 온도변화의 영향을 거의 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 1차전자사태가 전리영역 경계점($\alpha = \eta$)까지 성장하게 되면, 전자들은 기체분자에 부착되어 부이온을 형성한다. 이 때 전자가 부착된 부이온의 이동도, 공간전하의 생성은 온도의 영향을 받고 있다는 것을 알 수 있다. 부극성의 경우가 정극성의 경우보다 절연파괴전압이 44[kV] 정도 크며, 온도가 상승함에 따라 부극성의 경우, 절연파괴전압이 점차 높아졌다. 여러 연구자에 의한 실험 결과를 종합하여 볼 때 부극성의 뇌 임펄스전압절연파괴전압 V_{\min} 은 가스압력 p 의 함수로서 표현된다[11].

$$V_{\min} = K\sqrt{p} \quad (9)$$

뇌임펄스전압을 인가할 경우, 챔버 내의 온도가 상승함에 따라 가스압력도 증가하게 되고 따라서 절연파괴전압도 증가하게 된다.

3.4 방전광 현상

그림 7에서는 SF₆(10[%])/N₂ 혼합가스 중에서 방전광신호를 나타내고 있다. SF₆(10[%])/N₂ 혼합가스 중에서 정 · 부극성 임펄스전압이 인가되어 섬락이 일어나기까지의 전체 방전진전과정 동안에 발생하는 방전광에 대한 현상을 알아보기 위해서 고성능 디지털 카메라를 이용하여 방전경로를 촬영하였다.

부극성의 경우가 정극성의 경우보다 방전광의 굵기가 더 크게 나타났으며, 정극성에서 리더의 진전경로는 임의적으로 꼬불꼬불하게 나타났다. 그리고

온도가 높아짐에 따라 부극성에서 방전광 굵기가 더 크게 나타났다.



그림 7. SF₆/N₂ 혼합가스 중에서의 방전현상
Fig. 7. Discharge light images in SF₆/N₂ mixtures

이는 정극성의 경우 스트리머의 진전은 전극계의 전계방향과 일정한 것이 아니라 스트리머 전에 임의로 발생하는 전자사태에 의한 영향을 많이 받게 되며, 리더의 진전경로는 임의성을 보인다. 또한 임의로 발생한 전자사태는 스트리머의 끝단에 집중하므로 스트리머채널의 굵기가 작으며 따라서 방전광의 굵기도 상대적으로 작다. 부극성의 경우, 광자와 전자사태가 스트리머의 끝단에서 이온화 영역으로 방사상으로 팽창하는 진전 현상을 보이므로 진전하는 리더의 굵기는 정극성보다 크게 된다. 가스온도가 상승함에 따라 절연파괴전압은 상승하며, 부극성에서의 방전광 굵기도 점차 커짐을 알 수 있다[12].

4. 결 론

SF₆(10[%])/N₂ 혼합가스는 무독성, 불연성 물질로

온도변화에 따른 SF₆/N₂ 혼합가스의 임펄스 절연파괴특성

서 비용절감 등의 장점을 갖기 때문에 기체절연송전선로(GIL)의 절연체재료로 연구 및 사용되고 있다. 따라서 본 연구에서는 SF₆(10%)/N₂ 혼합가스와 SF₆ 가스의 절연파괴전압, 코로나 전류와 방전광신호의 동시 측정을 통해 연구되었다. SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 불평등전계에서의 절연내력 및 전구방전현상에 대하여 분석 및 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 정·부극성 코로나개시전압을 온도변화에 따라 측정한 결과, 정극성인 경우 거의 일정한 값으로 편차가 큰 분포를 나타내었으며, 부극성인 경우가 정극성의 경우보다 온도 의존성이 높았으며, 코로나개시전압은 SF₆가스보다 낮았다.
- (2) 정극성인 경우, 절연파괴전압은 52.4~54.56[kV_p] 사이에서 불규칙하게 분포하였으며, 부극성인 경우 절연파괴전압은 온도가 증가함에 따라 95.76[kV_p]에서 99.12[kV_p]까지 증가하였으며, SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 절연파괴전압은 순수 SF₆가스보다 낮았다.
- (3) 정극성의 방전채널의 진전경로는 임의성을 보였으며, 부극성 방전채널의 굵기는 정극성보다 굵었다. 또한 온도가 상승함에 따라 부극성에서 방전광이 더 밝았다.
- (4) SF₆(10%)/N₂ 혼합가스의 절연파괴전압은 순수 SF₆가스보다 낮지만 비용절감 및 친환경적인 장점이 있다. 부극성보다 절연파괴전압이 낮은 정극성을 기준으로 절연협조를 한다면 GIL의 대체절연가스로 사용될 수 있다.

References

- [1] T. Kawamura, Bok-Hee Lee, T. Nishimura and M. Ishii, "Breakdown Characteristics of SF₆ Cap Disturbed by a Metallic Protrusion under Oscillating Transient Overvoltages", Jpn. J. Appl. Phys. Vol.33, Part 1, No.4A, pp.2043~2049, 1994.
- [2] H. Saitoh, K. Morita, T. Kikkawa, N. Hara, and H. Okubo, "Impulse Partial Discharge and Breakdown Characteristics of Rod-Plane Caps in N₂/SF₆ gas mixtures", IEEE Trans., on Dielectrics and Insulation, Vol.9, No.4, pp. 544~550, 2002.
- [3] T. Kawamura and Bok-Hee Lee, "Transient Impulse Breakdowns of SF₆ gas in Inhomogeneous Electric

Fields", Jpn. J. Appl. Phys, Vol.38, No.8, pp.4898~4904, 1999.

- [4] Roberto Benato, Claudio Di Mario and Hermann Koch, "High-Capability Applications of Long Gas-Insulated Lines in Structures" IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.22, No. 1, January 2007.
- [5] Hermann Koch and Mel Hopkins, "Overview of gas insulated lines (GIL)", IEEE Power Engineering Society General Meeting, 2005.
- [6] 李福熙: 高電壓大電流工學, 清文閣, pp.72, 1993.
- [7] Waymel X 1998 Gaseous Dielectrics VIII ed L C Christophorou and J K Olthoff (New York: Kluwer/Plenum) pp 345~51, 1998.
- [8] L Vial, A M Casanovas, J Diaz, I Coll and J Casanovas, "Decomposition of high-pressure (400 kPa) SF₆ and SF₆/N₂ (10:90) mixtures submitted to negative or 50 Hz ac corona discharges in the presence of water vapour and/or oxygen", J. Phys. D: Appl. Phys., Vol. 34, pp. 2037~2051, 2001.
- [9] 이복희 외 3명, "불평등전계에서 SF₆기체의 뇌임펄스 절연파괴특성", 대한전기학회 하계학술대회 논문집 7. 14-16, pp.1921~1923, 2004.
- [10] Y. Qiu, W. Gu, Q. Zhang and E. Kuffel: "The Pressure Dependence of the Leader Stepping Time for a Positive Point-Plane Gap in SF₆ gas", J. Phys. D : Appl. Phys., Vol. 31 pp. 3252~3254, 1998.
- [11] 李京沃, "불평등전계에서 SF₆-N₂ 혼합가스의 방전특성", 인하대학교 박사논문, pp.73~79, 2001.2
- [12] L. Niemeyer, L. Ullrich and N. Wiegart, "The Mechanism of Leader Breakdown in Electronegative Gases", IEEE Trans., Vol.E-24, No.2, pp309~324,1989.

◆ 저자소개 ◆

이 봉 (李 峰)

1978년 9월 5일생. 2006년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전기공학과 박사과정.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

e-mail : lifeng197895@hanmail.net

이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 현재 인하대공대 전자전기공학부 교수. 본 학회 부회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

e-mail : bhlee@inha.ac.kr