

평등/불평등 전계에서 SF₆-N₂ 혼합가스의 절연파괴 특성연구

서창식*, 이진선*, 김정태**, 구자윤*
 *한양대학교(EM&C), **대진대학교

Breakdown Characteristics of SF₆-N₂ Mixtures
 under Uniform and Non uniform Electric Field

C.S. Seo*, J.S. Lee*, J.T. Kim**, J.Y. Koo*
 *HanYang Univ. EM&C, **DaeJin Univ.

Abstract

In this work, experimental investigation was carried out for the breakdown characteristics of SF₆, N₂ and their mixtures under the uniform and non-uniform electric field, by use of HVAC and standard impulse testing voltages, as a function of different gas pressures from 1 atm to 5 atm. The results show that the dielectric strength of the SF₆ mixed in N₂ was significantly increased at its portion of 10%, which might imply that the optimum mixture of SF₆ for the HV switch gear could be proposed to be 10%.

1. 서 론

전력설비의 초고압화 및 소형화에 관한 연구가 최근 급증하고 있어서 GIS와 같이 컴팩트화된 초고압설비에 대해 과거에 일반적으로 사용하던 공기절연방식 대신에 절연성능이 월등히 뛰어난 SF₆ 가스를 사용하고 있다. 그러나 SF₆는 다른 가스혼합물에 비해서 가격이 상당히 비싸고 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 금속 이물질로 인한 국부적인 고전계에 매우 민감한 반응을 보이는 등의 단점을 가지고 있기 때문에 다른 대체물을 찾으려고 많은 노력을 했지만 SF₆보다 나은 어떠한 가스도 찾지 못했다. 따라서 Air, N₂, CO₂, He 등의 기체와 혼합하는 방식에 관심을 가지게 되었고 특히 안정성과 경제성등을 고려할 때 가장 적합한 N₂, Air 등을 혼합하는 방법이 선진국을 중심으로 시도되고 있다. 이러한 SF₆ 혼합가스는 용해문제를 쉽게 해결하고 가스의 비용을 절감시키고 국부전계의 증가(local field enhancement)로 인한 절연세기의 감도를 어느 정도 감소시키는 등의 많은 장점이 있다.

본 연구는 경제적인 절연매개체의 개발과 SF₆와 N₂ 그리고 이들의 혼합가스에 대한 절연파괴 매카니즘을 이해하기 위해서 수행하였다.

실험방법은 N₂를 실험용 챔버에 압력비에 따라서 SF₆와 혼합한 후에 혼합비를 변화시켜 가면서 전극을 평등 전계와 불평등전계인 경우로 구성하였다. 정상적인 운전 전압인 교류전압과, 절연설계시 중요한 기준이 되는 뇌 충격파와 개폐충격파에 대한 절연내력을 측정하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

절연파괴특성 실험을 하기 위해서 교류전압 200kV, 파두시간 0.3ms인 표준 스위칭 임펄스 400kV 및 1.2/50μs의 표준 뇌 임펄스 400kV의 정격을 가지는 Haefely사의 Multi-Test Set을 사용하였다.

교류전압을 인가하는 경우, 절연파괴 예상전압까지 대략 1분내에 상승하도록 전압을 인가하는 단시간 절연파괴 시험방법을 적용하였고, 각각의 가스압력에 대해서 10회씩 절연파괴전압을 구하였다.

스위칭 임펄스와 뇌 임펄스의 전압은 각각의 파두시간이 0.3ms와 1.2/50μs인 표준파형을 인가하였고 "up and down" 방법을 사용하여 각각 20회씩 전압을 인가하였으며 50%절연파괴전압을 구하였다.

실험용 챔버는 교류전압 200kV, 임펄스전압 400kV까지, 챔버의 내부압력은 10기압까지 견딜 수 있도록 설계되었으며, 진공계이지와 압력계이지를 설치하고 관측창을 설치하여 챔버의 내부를 관찰할 수 있도록 하였다. 이러한 실험용 챔버에 실험시 절연기체의 순도를 유지하기 위해서 진공펌프를 사용하여 챔버내부의 공기를 10⁻³ torr 까지 진공을 시킨 후에 각 기압(1-5atm)에 대해서 각 혼합비별로 (각각 0, 10, 30, 50, 80, 100%에 대해서) SF₆를 N₂에 혼합시켰다.

혼합방법은 Dwyer사의 Flow Meter (Max 1L/min)를 통하여 흐르는 양을 관찰하면서 VICTOR사의 Regulator를 사용하여 압력비를 조정하면서 혼합하였고 정확성을 위하여 GC(Gas Chromatography)를 이용하여 혼합비를 확인하였다.



그림 1 평등전계에 관한 실험전경

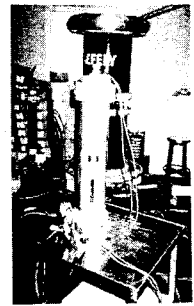


그림2. 불평등전계에 관한 실험전경

챔버내의 전극은 평등전계인 경우 로고스키전극을 사용해야 하지만 제작이 매우 까다로운 단점이 있어서 구의 직경에 비해서 전극간의 거리가 작을때에는 준평등전계를 등가적으로 평등전계로 고려할 수 있으므로 평등전계에 관한 실험에 구대구 전극(직경 50mm 구-구)을 사용하였다. 또한 불평등전계의 경우에는 평판전극은 가급적 로고스키전극의 형태로 구성하였고 제작의 편리성과 실험의 정확성을 위해 봉대평판 전극(침끝곡률반경 0.5mm)을 사용하였다.

2.2 평등전계에서의 절연파괴특성

평등전계는 그림 2와 같은 직경 50mm인 구대구 전극을 이용하여 4mm의 간격을 유지하였으며, 가스의 혼합비와 챔버의 압력을 1atm에서 5atm까지 변화시키면서 교류전압, 정·부 스위칭 임펄스, 정·부 뇌 임펄스전압을 인가하여 절연파괴 전압을 측정하였다.

(1) 인가전압의 형태에 따른 특성 변화

챔버압력 5atm에서 갭의 간격이 4mm일때, SF₆가스의 혼합비와 인가전압의 형태에 따른 시험결과는 그림 3과 같다.

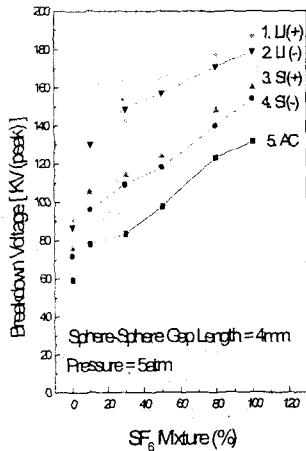


그림 3. 5기압 평등전계에서의 인가전압의 형태와 혼합비에 따른 절연특성

혼합비가 10%일때, 100% SF₆가스의 절연파괴전압과 비교하면, 교류전압에서 60%, 스위칭 임펄스에서 65%, 뇌 임펄스의 경우 75%로 나타났다. 각 혼합비에 따른 절연파괴전압의 변화도 혼합비 10%에서 가장 크게 변화하였으며 그 이상의 혼합비에서는 변화의 정도가 완만하였다. 아직까지 이러한 결과에 대한 분석은 정론화되어 있지는 않지만 다음과 같은 해석이 가능하다. SF₆가 낮은 에너지내에서도 매우 높은 부착단면적을 가지고 있으므로, 혼합된 SF₆가 소량이더라도 낮은 에너지 전자의 거의 대부분의 부착이 가능하여 추가적으로 SF₆의 혼합량을 증가시켜도 절연내력의 커다란 증가는 발생되지 않은 것으로 사료된다 [2]. 한편 스위칭 임펄스와 뇌 임펄스의 경우, 정극성에서 절연파괴전압이 다소 크게 나타났지만 극성간에 따른 차이는 그다지 크지 않았다.

2.3 불평등전계에서의 절연파괴특성

불평등전계에서 혼합비와 인가전압형태에 따른 절연파괴 전압 측정을 위해, 전극은 그림 1과 같은 평판전극과 침끝 곡률반경 0.5mm인 봉전극을 사용하였고 전극간격은 평등전계에서와 같은 조건인 4mm로 고정하였다.

(1) 인가전압의 형태에 따른 특성 변화

챔버의 압력을 5atm으로 하고 갭의 간격을 4mm로 했을 때 불평등전계에서의 SF₆가스의 혼합비와 인가전압의 형태에 따른 시험결과는 그림 4과 같다.

혼합비가 10%일때, 100% SF₆가스의 절연파괴전압과 비교하면, 교류전압에서 74%, 스위칭임펄스에서 79%, 뇌 임펄스의 경우 72%이다. 각 혼합비에 따른 절연파괴전압의 변화도 혼합비 10%에서 가장 크게 변화하였으며 그 이상의 혼합비에서는 변화의 정도가 완만하였다.

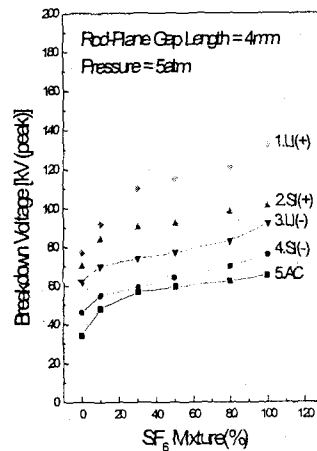


그림 4. 5기압의 불평등전계에서의 인가전압의 형태와 혼합비에 따른 절연특성

(2) 인가전압의 특성과 절연특성과의 관계

그림 4의 결과를 이해하기 위해서 인가전압의 극성이 절연특성에 미치는 영향을 파악하고자 다음의 두 가지 실험이 수행되었다.

가) 스위칭임펄스

과두시간 0.3ms인 정·부극성 스위칭 임펄스전압을 인가하여 압력과 혼합비 변화에 따른 절연파괴특성의 결과는 그림 5와 같다. 혼합비가 10%일 때 절연파괴 전압은 100% SF₆파괴전압의 73% 이상이며, 특히 부극성전압에 의한 절연파괴값이 정극성에 비해 낮은 것은 향후 더욱 깊이 연구되어야 한다.

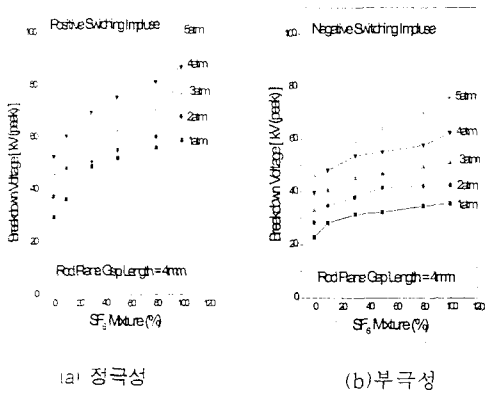


그림 5. 불평등전계에서의 혼합비와 압력에 따른 스위칭임펄스의 극성별 절연특성

나) 뇌임펄스

1.2/50 μ s 인 정·부극성 뇌 임펄스를 인가하여 압력과 혼합비 변화에 따른 절연특성의 결과는 그림 6과 같다. 혼합비에 따른 특성은 스위칭 임펄스의 결과와 같은 양상을 보였으나, 정극성에서는 SF₆ 가스의 혼합비 증가에 따라 절연내력이 급속하게 커짐을 알 수 있다.

스위칭 임펄스와 뇌 임펄스의 정·부극성 절연과피 전압간의 차이가 많은 것은 불평등전계에서 발생할 수 있는 공간전하에 의한 효과 때문에 부극성에서보다는 정극성에서의 절연과피 전압이 상당히 높게 나타나는 것으로 생각된다.

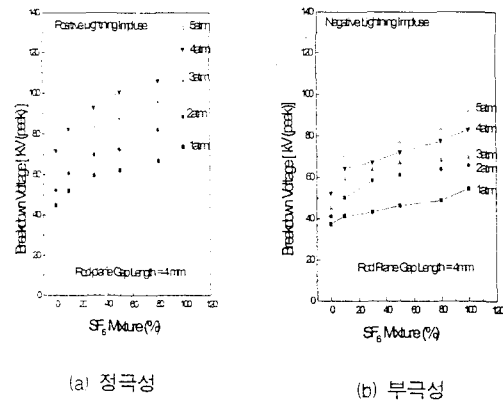


그림 6. 불평등전계에서 혼합비와 압력에 따른 뇌 임펄스 극성별 절연특성

3. 결 론

1. SF₆와 N₂혼합가스의 절연특성은 평등전계나 불평등전계의 경우 모두 SF₆의 혼합비가 10%일때의 절연과피값이 가장 크게 증가되고 그 이상의 혼합비에서는 증가정도가 완만하였다.
2. N₂에 대한 SF₆의 혼합비가 10%인 경우, 100% SF₆의 절연내력의 75%정도를 유지할 수 있다.

3. 임펄스전압의 경우, 스위칭 임펄스와 뇌 임펄스 모두 정극성의 경우가 부극성에 비해서 절연과피값의 차이가 현저하며 이러한 결과에 관한 해석은 정론화되어 있지 않다. 그러나, 본 연구에서는 평등전계에서 발생할 수 있는 공간전하에 의한 효과 때문에 부극성보다 정극성에서 절연과피전압이 상당히 높게 나타나는 것으로 사료된다.

이와 같은 실험적 결과를 고려할때, 고전압 전력기기의 절연설계시 SF₆와 N₂가스의 혼합비는 10%정도가 적절한 것으로 제안한다.

[참 고 문 헌]

- [1] M.S Dincer and T. Aydin, "Simulation of Limiting Field Behavior in Electron Swarms in SF₆, N₂ Gas Mixtures" IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol.1, pp. 139-145 No 1, February 1994
- [2] N.H Malk, A.H Qureshi, "A Riew of Electrical Breakdown in Mixtures of SF₆ and other gases", IEEE Trans. Electrical Insulation, Vol EI-14 pp. 1-13 No 1, February 1979
- [3] E. Kuffel and A. Yializis, "Impulse breakdown of positive and negative rod-plane gaps in SF₆-N₂ mixtures", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-97, No. 6, pp. 2359-2366, Nov/Dec 1978
- [4] J.M. Pelletier, Y. Gervais and D. Mukhedkar, "Dielectric strength of N₂-He mixtures and comparison with N₂-SF₆ and CO₂-SF₆ mixtures", IEEE Trans. PAS, Vol. PAS-100, No. 8, pp. 3861-3869, August 1981
- [5] S.Y Jin, J.S Lee, J.T kim, J.Y koo, "Breakdown Characteristics of SF₆-Air Mixtures under Uniform and Non Uniform Electric Field ". 1999년도 제3회 전력기기 심포지엄 논문집, pp.197-199, April 1999