

친환경절연재의 절연성 평가

(Assess of Breakdown Characteristics about Environmentally Friendly Gases)

최은혁* · 구본호 · 김이국 · 이광식**

(Eun-Hyeok Choi · Bon-Ho Koo · Lee-Kook Kim · Kwang-Sik Lee)

요 약

산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통 운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되고 있다. 따라서 본 논문은 각종 전력설비에서 SF₆을 대체할 수 있는 친환경절연체로 연구되고 있는 N₂-O₂ 혼합가스(N₂:O₂=100 : 0, 79 : 21, 60 : 40, 40 : 60) 절연과피특성을 究明하여 이를 SF₆가스의 특성과 비교하였다. 이상의 연구 결과, 제조공기와 Dry-Air 절연특성을 구명함으로써 각종 전력용용 설비의 절연설계에 SF₆ 대신 친환경적인 모의공기를 사용 가능함을 본 연구에서 究明하였다. 제조공기를 이용한 친환경적인 절연재 사용으로 지구의 온난화현상 감소에 크게 기여할 것으로 기대된다.

Abstract

With the improvement of industrial society, the high quality electrical energy, simplification of operation and maintenance, ensuring reliability and safety are being required. This paper compares breakdown characteristics in SF₆ gas with N₂/O₂ Mixture gas(N₂:O₂=100 : 0, 79 : 21, 60 : 40, 40 : 60) as using widely in High Voltage insulation equipment with the characteristics in different media which are focused on environmentally friendly gases. As an append result of research, the results are fundamental data for electric insulation design of Distribution Power Facilities which will be studied and developed in the future. And we could make an environment friendly gas insulation material with maintaining dielectric strength by N₂/O₂ Mixture gas which generates a lower lever of the global warming effect.

Key Words : SF₆, GIS, N₂/O₂ Mixture Gas

1. 서 론

SF₆ 가스는 22[kV]급부터 800[kV]에 이르기까지 신뢰성 높은 양질의 절연가스로 유용하게 사용되고 있다. 그러나, 인체에 무해한 SF₆는 방전시 고독성, 고부식성 화합물이 발생하며, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠음에 대한 파괴전압의 민감성, 저온 하에서의 액화로 인한 사고의 위험들을 가지고 있다.

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 박사

** 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수

Tel : 053-810-3953, Fax : 053-810-4767

E-mail : kslee@yu.ac.kr

접수일자 : 2009년 3월 26일

1차심사 : 2009년 3월 27일

심사완료 : 2009년 4월 16일

특히, 지구온난화 계수(GWP)가 이산화탄소의 약 23,900배로 매우 높고 화학적으로도 매우 안정화되어 대기중 수명도 길기 때문에 이에 따라 대기 중에 방출되었을때 장시간 축적되어 지구 온난화에 끼치는 영향이 지대하므로 2005년 "Kyoto Protocol"에 의해 온실가스중 하나로 지정되었으며 CO₂, CH₄, HFC, PFC와 더불어 대표적인 절연가스인 SF₆가스도 오스트레일리아, 캐나다, 일본, EU 등 여러 국가에서 규제물질로 정하였다. 비록 우리나라는 온난화 가스에 대한 개도국으로 선정되어 있지만 앞에서 언급한 여러 국가들은 강제 이행국으로써 온난화물질 대체 연구 및 새로운 전력설비에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 우리나라도 온난화가스에 대한 강제 이행국이 될 것이 확실시 되고 있으며 향후 전력선진국으로 도약하기 위해서는 우리나라도 다양한 대체 절연재 개발에 많은 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 N₂-O₂ 혼합가스와 SF₆의 절연파괴특성을 비교분석하여 SF₆ 가스의 대체 가능성을 검토한 연구이다.

2. 실험 장치 및 방법

사진 1은 본 연구에 사용된 챔버의 개략도로서 그 주요사양은 다음과 같다. 실험용 챔버 내부온도를 측정하기 위하여 온도센서(UNICON, -90~90[°C])를 전극 수직 중심축에서 수평거리 8[cm] 떨어진 곳 온도센서(상, 중, 하) 3개와 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부 온도센서와 전극 부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 존재한다. 이 관측창의 재질은 투명 아크릴이며, 원통형으로 제작 설치하였다. 실험용 챔버 내부는 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60[ℓ/min])로 5×10⁻⁴ [Torr]까지 진공을 유지할 수 있으며, 열 절연을 위하여 챔버 내·외부사이에 진공층을 두었다.

또한 챔버는 압력 변화(1~7[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 압력 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 온도변화(90~-90[°C]) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을

가진 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어 있다. 또한 챔버내 가압상태에서 외부에서 갭을 75[mm]까지 상부에서 조정할 수 있도록 설계하였다. 전원장치는 DY-106(AC 300[kV]/120[mA])을 사용하였다.

사용전극은 스테인레스 스틸인 Sphere-Sphere(구직경 41[mm], S-S)를 사용하였다. 실험방법은 가스를 투입하기전 챔버 내를 5×10⁻⁴[torr]까지 배기시킨 후 각각 SF₆가스, Dry-Air, N₂-O₂ 혼합가스를 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시 절연 파괴전압(V_B) 특성 연구하였다. V_B는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

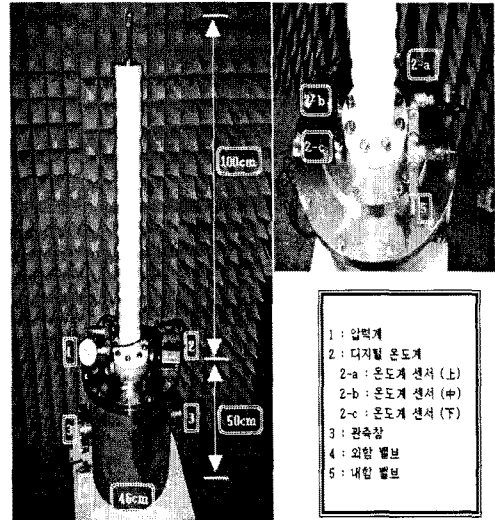


사진 1. 실험용 챔버
Photo1. The experimental chamber

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 SF₆의 압력에 따른 절연파괴특성

그림 1은 압력을 2[atm]에서 4[atm]까지 0.5[atm]씩 변화시킬 때마다 각 d에 따른 SF₆의 V_B의 특성 보여준다. 일반적으로 불평등전계 형성시 d가 길어지면 불평등성이 강화되어 V_B가 포화되는 경향으로 나타나며, 평등전계인 경우는 그림 1과 같이 d가 적을 때보다 d가 상대적으로 클때, V_B의 차가 커지게

진원경절연체의 절연성 평가

된다. 절연파괴특성은 그래프와 같이 d 증가시 선형적으로 상승하였으며, 평균적으로 d 가 1[mm] 증가됨에 따라 V_B 가 2배정도 증가됨을 확인하였다.

또한 그림에서 보는 바와 같이 압력이 증가됨에 따라 V_B 는 상승하였으며, d 가 커질수록 각 압력에 따른 V_B 의 차가 큼을 알 수 있다. 위와 같은 결과는 이미 잘 알려진 Paschen의 법칙에 의존한 결과로 해석된다.

일반적인 전력기기 절연 설계시 평등전계와 불평등전계에 대한 전계해석 및 절연내력 설계를 하는 것으로 알려져 있다. 평등전계의 결과에서 보듯이 일정압력에 d 변화에 따른 절연파괴특성은 선형적으로 나타남을 볼 수 있어 전력설비의 상시 절연감시시스템을 구성시 여러 상황별 V_B 를 추정하여 전력설비의 신뢰성을 보장할 수 있을 것이라 사려된다.

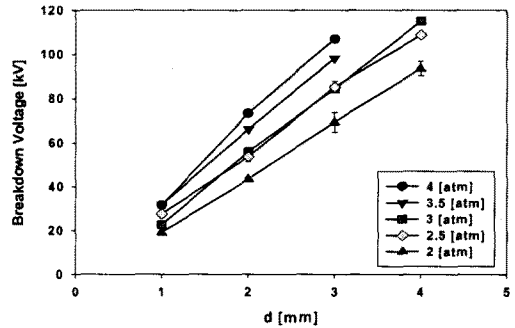
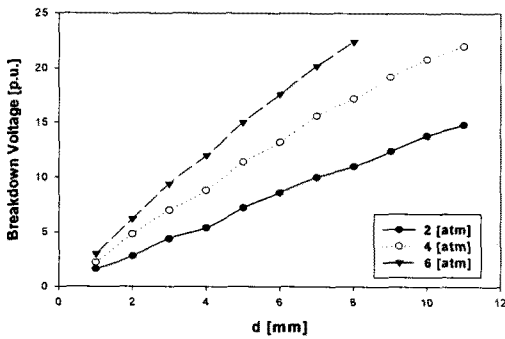


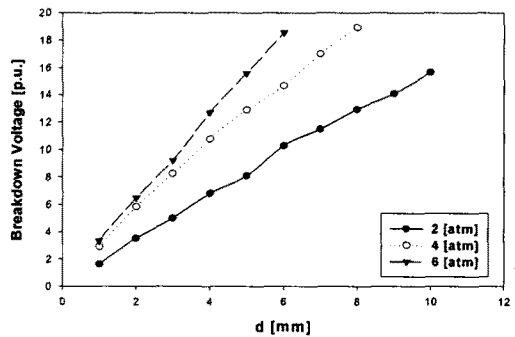
그림 1. SF₆의 절연파괴전압
Fig. 1. Breakdown voltage of SF₆

3.2 N₂:O₂ 성분비에 따른 절연파괴특성

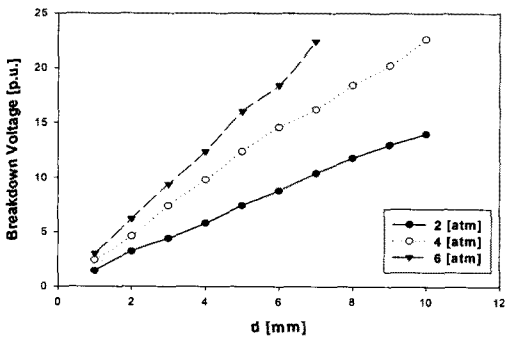
그림 2는 챔버 내에 평등전계 S-S전극을 설치하여 N₂와 O₂의 성분비(100 : 0, 79 : 21, 60 : 40, 40 : 40 :



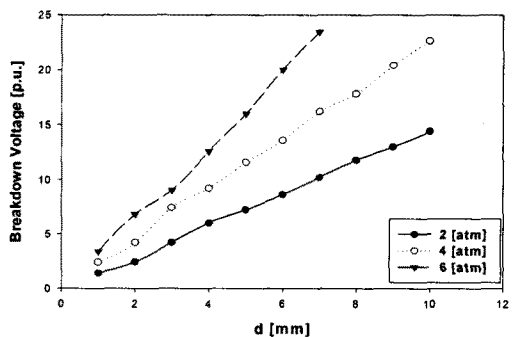
(a) N₂:O₂=100:0



(b) N₂:O₂=79:21



(c) N₂:O₂=60:40



(d) N₂:O₂=40:60

그림 2. N₂와 O₂의 혼합가스에 따른 절연파괴특성

Fig. 2. Breakdown characteristics by electrode variation in N₂:O₂

60)에 따라 2, 4, 6[atm]일 때, 갭 변화에 따른 V_B 을 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 성분비와 압력에 따라 갭(d)가 증가됨에 따라 V_B 가 선형적으로 증가됨을 확인하였다.

$N_2 : O_2=79 : 21$ 에서는 2, 4[atm]에서는 다른 성분비와 달리 d변화에 따른 V_B 증가율이 약 1.16, 1.26배로 약간 높은 반면 6[atm]에서는 V_B 증가율이 1.25배로 낮은 것으로 나타났다. 대체로 N_2 와 O_2 의 같은 성분비 내 일정기압 2, 4와 6[atm]하에서 d변화시 V_B 의 증가율은 약 1.14배, 1.22배, 1.28배 정도로 측정되었다.

또한 같은 성분비 및 갭에서 2[atm]에서 4[atm]으로 압력변화시 V_B 의 증가율은 평균 1.65배로 나타났다. 그러나 4[atm]에서 6[atm]으로 압력변화시 $N_2:O_2$ 의 성분비가 100 : 0, 60 : 40, 40 : 60은 약 1.35배 정도의 V_B 의 증가율을 보인 반면 79 : 21일때는 1.16배 정도의 현저히 낮은 V_B 증가율을 확인하였다.

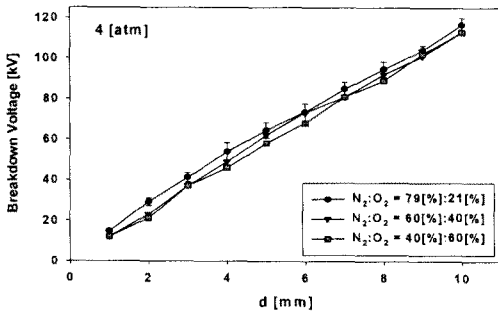


그림 3. 구대구전극에서 $N_2:O_2$ 혼합비별 절연파괴특성
Fig. 3. Breakdown characteristics by $N_2:O_2$ Mixture in S-S electrode

그림 3은 4[atm]의 일정기압에서 혼합비에 따른 갭변화시 절연파괴특성을 나타내고 있다. 그림과 같이 절연파괴특성은 성분비가 79 : 21(제조공기)일 때 가장 높은 V_B 특성을 가지고 있음을 확인하였다. 이것은 O_2 가스 및 N_2 가스의 절연파괴전압은 분자량은 큰 순수 O_2 및 N_2 가스의 순으로 인가전압이 증가됨에 따라 방전으로 인한 전로파괴가 발생된 것으로 나타났다. 이는 분자량이 증가됨에 따라 분자들의 거리가 짧아지므로 인하여 가스의 방전이 가속화되

는 것이라고 생각된다. 따라서 N_2 가스의 비율 높은 $N_2 : O_2=79[%] : 21[%]$ 혼합비의 평균 절연파괴전압이 가장 높게 나타났다고 사려된다.

3.3 혼합가스와 SF_6 의 V_B 특성 비교

그림 4는 $N_2 : O_2=79[%] : 21[%]$ 혼합비의 d 변화별 V_B 값을 100[%] 기준으로 정하고 SF_6 가스와 $N_2 : O_2=60[%] : 40[%]$, $N_2 : O_2=40[%] : 60[%]$ 혼합비별 전극간 거리(d) 변화에 따른 절연파괴특성을 비교한 것이다.

그림에서 알 수 있듯이 4[atm]에서 $N_2 : O_2 =79[%] : 21[%]$ 혼합비의 d 변화별 V_B 값이 나머지 2개의 혼합비와 SF_6 가스 1[atm] 보다는 높게 나왔지만 SF_6 가스 2[atm] 보다는 많이 낮다는 것을 알 수 있었다.

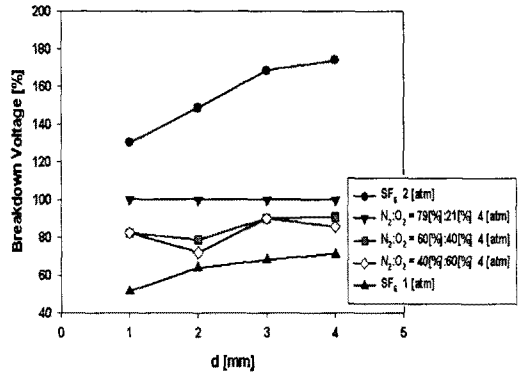


그림 4. SF_6 가스와 $N_2:O_2$ 혼합비별 전극간 거리 변화에 따른 절연파괴특성
Fig. 4. Breakdown characteristics by d variation in SF_6 and $N_2:O_2$ Mixture

국내 중전기업체가 SF_6 가스를 사용하지 않는 친환경개폐장치개발에 경쟁적으로 나서고 있는 가운데 한전은 현행 “25.8[kV] 가스절연개폐장치” 규격을 대체하기 위해 고체절연개폐장치, 질소가스 절연개폐장치, 압축건조공기절연개폐장치 등의 규격을 검토하고 있다. 2[atm]이상의 SF_6 가스를 사용하는 전력설비의 체적을 동일하게 할 때 $N_2 : O_2=79[%] : 21[%]$ 혼합가스의 압력을 대단히 높게 설계에 반영하여야 할 것이므로 전력설비에 응용은 큰 어려움이 따를 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 친환경적인 절연재료인 질소(N₂)와 산소(O₂)의 혼합비 N₂ : O₂=79[%] : 21[%], N₂ : O₂= 60[%] : 40[%] 및 N₂ : O₂=40[%] : 60[%]인 혼합가스의 혼합비별 기본적인 절연파괴특성을 구명함으로써 SF₆의 절연파괴특성과 비교분석 하였다. 또한 각종 전력용용 설비의 절연설계에 SF₆ 대신 위의 혼합가스 중 가장 절연파괴특성이 좋고 친환경적인 N₂ : O₂ =79[%] : 21[%] 혼합가스의 사용 가능함에 대하여 연구하였다.

1. N₂ : O₂ 혼합비에 따른 절연파괴특성
 평등전계 하에서 압력 및 전극간거리(d)가 증가할수록 N₂ : O₂=79[%] : 21[%], N₂ : O₂= 60[%] : 40[%] 및 N₂ : O₂=40[%] : 60[%] 혼합가스의 절연파괴전압은 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서 갭 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였다.
2. SF₆ 가스와 N₂ : O₂ 혼합가스의 절연파괴특성 비교
- 가. SF₆ 가스는 압력과 d가 증가됨에 따라 절연파괴전압도 비례적으로 상승함을 확인하였으며, Paschen의 법칙에 의존한 결과를 얻었다.
- 나. N₂ : O₂=79[%] : 21[%] 혼합가스도 압력과 d가 증가됨에 따라 절연파괴전압이 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서 d 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였다.
- 다. SF₆ 가스 1[atm]의 절연파괴전압에 상응하는 N₂ : O₂=79[%] : 21[%] 혼합가스의 압력이 3[atm]정도인 것이 확인되었다.

장래 본 연구의 결과는 송배전 전력기기들의 소형화 및 신뢰도 증대에 관한 좋은 자료로 응용 가능할 것이며, 이에 위의 결과를 응용하면 SF₆ 가스 대신 N₂ : O₂=79[%] : 21[%] 혼합가스를 전력설비의 절연재료로 사용 가능할 것으로 판단된다.

References

- (1) Landry, M et al. "Dielectric withstand and breaking capacity of SF₆ circuit breakers at low temperatures" Power Delivery, IEEE Transactions on, pp. 1029~1035, July 1988.
- (2) T.Ueda et al, "Discrimination of Partial Discharge Electromagnetic Signal in SF₆ Gas from External Noise Using Phase Gate Control Method", IEEE International Symposium on Electrical Insulation, pp. 117~120, 1996.
- (3) C.Beyer et al. "Influence Reactive SFX Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000.
- (4) Kwang-Sik Lee, "The Characteristics of Insulation with Temperature Variations of SF₆" KIEE Vol 52C No 8, 2003.8.
- (5) Naoki "Streamer and Leader Discharge Propagation Characteristics Leading to Breakdown in Electron in Electronegative Gases" IEEE, 2006.
- (6) Kwang-Sik Lee, Eun-Hyuck Choi, "Breakdown characteristics of SF₆ at various temperature under AC High-Voltage" IEEE - ICPADM 2006, 2006.06.
- (7) 최은혁, "친환경 절연체의 절연특성과 그 진단에 관한 연구" 영남대학교 박사학위논문, 2008.12.

◆ 저자소개 ◆

최은혁 (崔殷赫)

1977년 2월 19일생. 2003년 경일대 전기공학과 졸업. 2005년 영남대 대학원 전기공학과 석사. 2009년 동대학원 졸업(박사). 현재 영남대학교 전기공학과 강사.

구본호 (具本鎬)

1956년 7월 30일생. 1980년 경북대 전자공학과 졸업. 1985년 동대학원 졸업(석사). 1985년 동 대학원 졸업(박사). 현재 경일대학교 제어·전기공학부 교수.

김이국 (金利國)

1946년 9월 30일생. 1969년 영남대 전기공학과 졸업. 1980년 동 대학원 졸업(석사). 2002년 동 대학원 졸업(박사). 현재 경일대학교 전기공학과 교수.

이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 한국조명전기설비학회 편수위원장·부회장 역임. 현재 한국조명전기설비학회 회장. 영남대학교 전기공학과 교수.