

이종절연재하의 갭 변화에 따른 연면방전 특성

(A Study on the Surface Flashover Characteristics in Gap change of Different Insulation Source)

이정환 · 최영길 · 윤대희 · 최상태 · 박원주 · 이광식
(J.H. Lee · Y.K. Choi · D.H. Yoon · S.T. Choi · W.Z. Park · K.S. Lee)

영남대학교

Abstract

본 연구는 Knife형 전극을 사용하여 이종절연재하의 갭 변화에 따른 연면방전 특성을 연구할 목적으로 교류고전압 인가 시 압력(P), 전극간거리(d) 및 사용된 가스의 변화에 따른 절연파괴특성을 연구하였다. 본 연구를 통해 챔버 내의 P와 d가 증가할수록 SF₆, I-Air, Dry-Air 및 순수 N₂는 파센의 법칙에 일치하여 절연파괴특성이 비례 증가하는 것을 확인했다. 그리고 N₂:O₂혼합가스 중 특정 비율에 서는 P에 대해선 비선형적으로, d에 대해선 선형적으로 증가함을 확인했다.

1. 서론

최근 좁은 지역 내에 건물의 밀집, 고층화되고 문명이 발전함에 따라 요구되는 전력용량이 증가하고 있고 그에 따라 송전전압도 격상하고 있는 상황이다. 그러나 전원 및 전력수송설비의 대도시 근교로의 입지는 제안되어 발·변전소용 등 부지의 효율적 사용 및 환경조화를 위해 설비의 축소화, 밀폐화가 불가피하므로 가스절연방식을 이용한 소형이면서 초고압·대용량 전력기기의 사용이 확대되고 있다. 대표적인 가스절연개폐장치(GIS)는 변압기 등을 제외한 대부분의 기기를 단일 금속용기 속에 넣고 가스로 절연하여 밀폐시킨 것으로 기중절연변전소에 비하여 그 규모가 크게 축소되었다. 따라서 GIS는 도심의 지하공간이나 옥내에도 설치가 가능하여 지하공간의 활용도를 높이고, 변전소에 대한 인근주민의 민원을 최소화할 수 있는 장점을 가지고 있어 국토가 좁고 인구가 과밀한 우리나라와 같은 조건을 가진 곳에서 많이 사용한다.

우리나라뿐만 아니라 세계적으로 전력수요가 급격히 증가함에 따라 GIS를 비롯한 전력기기의 초고압, 대용량화가 계속적으로 진행되어 왔으며 많은 나라의 경우 초고압 전력기기가 고부가가치 산업임을 인식하고 개발하고 있다. 이들 기기에 절연 성능이 우수하고 불활성이며 안전한 SF₆가스를 절연매체로 하여 활선부를 밀폐하며 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성과 콤팩트한 구조로 사용하고 있다. 그러나 방전 시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나

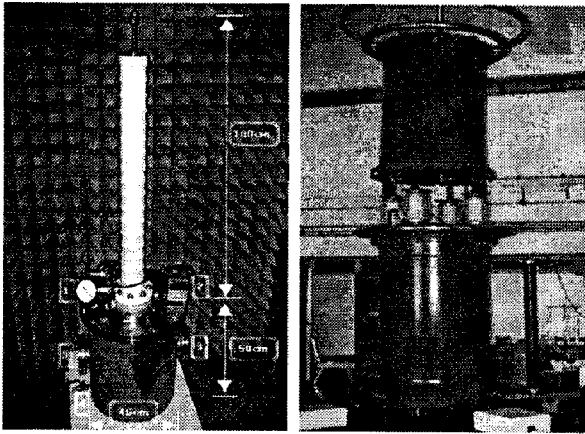
CH₄와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건(-50℃ 이하)에서 SF₆가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같은 단점들이 있고 또한 1997년 12월 일본 Kyoto에서 개최된 제3차 당사국회의 (COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC에 더하여 SF₆ 가스도 지정되어 앞으로는 SF₆ 가스의 배출량이 정식으로 보고되어야 할 뿐만 아니라, 친환경적인 절연매체로 대체하여 사용하여야 한다. 따라서, 본 논문은 실험용 모의 GIS장치 내에 SF₆가스 및 대체 가능성 있는 절연재들의 연면방전 특성에 관해 연구 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 챔버의 외관은 SF₆의 방전 특성을 연구하기 위해 설계·제작한 챔버이다. 사진 1은 전원장치로 AC용 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였다. 실험용 모의 챔버의 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 모의 챔버의 주요 사양은 압력(P) 변화(3~5[atm])를 위해 안전상 10기압 정도의 가압이 가능하고 P 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 본 연구에 사용한 전극의 재료는 스테인리스 스틸로서 전극의 배치는 수평 배치하였으며, Knife 형 전극(재

질 : 스테인레스 스틸, 길이 43[mm], 직경 10[mm], 두께 2[mm], 곡률반경 45°을 제작하여 사용하였고 사용된 전극 형상의 종류는 Knife-Knife전극 (K-K)를 수평방향으로 사용하였다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치
 사진 1. 실험용 모의 GIS 챔버 & AC 300(kV) 전원장치
 Fig. 1. The Experimental model GIS and AC 300(kV) Power Supply

2.2. 실험방법

이종절연재에 대한 실험은 우선 모의 GIS 챔버 내부를 진공상태(5×10^{-4} [torr])로 유지하였다. 이 때 각각의 절연재만의 순수한 성분을 주입시키기 위해 가스와 챔버간에 연결된 호스내부도 진공을 시켰다. 사용된 전극은 동일한 Knife형을 사용하였으며, 각 절연재 종류에 따른 전극간거리(d)는 5~20[mm]까지 5[mm]씩 증가시켜가며 교류전압을 인가(초당 3.15[kV]상승, 누설전류 10[mA]기준)하여 측정하였다. 전극사이의 절연물로는 불소와 탄소의 강력한 화학적 결합으로 인해 매우 안정된 화합물인 테프론을 사용하였다.

절연파괴전압(V_B)은 5회 이상 측정하여 평균값을 이용하였다. 전극 배치는 수평배치이며, 전극에서 d 및 P의 변화에 따른 실험이 끝나면 각각 절연재를 교체 투입 후 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 순수 N_2 의 절연파괴 특성

그림 1은 순수 N_2 에 K-K형 전극으로 형성하여 방전 챔버의 P를 1~7[atm]으로 변경하면서 d에 따른 절연 파괴특성을 나타낸 것이다. 그림 2에서 알 수 있듯이 d와 P가 높아짐에 따라 V_B 도 증가함을 알 수 있다.

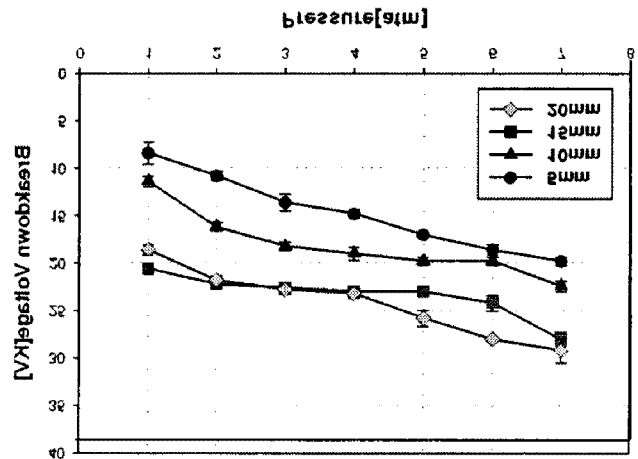


그림 1. 순수 N_2 에서 갭 길이 변화에 따른 연면방전특성 (Knife & Knife Electrode)

Fig. 1. Surface Flashover Characteristics of with Gap variation in N_2

V_B 의 P에 대한 평균 증가 비율은 5[mm]에서는 1.16배, 10[mm]에서는 1.13배, 15[mm]에서는 1.05배, 20[mm]에서는 1.08배로 나타났다.

3.2 동일 압력에서 N_2/O_2 혼합비에 대한 절연파괴 특성

그림 2는 1[atm]에서의 N_2/O_2 의 혼합비 및 d에 따른 V_B 특성을 나타낸 것이다. V_B 의 평균 증가 비율이 N_2/O_2 의 혼합비가 60/40인 경우 평균 1.45배, N_2/O_2 의 혼합비 40/60의 경우 평균 1.53배 또한 V_B 는 60/40은 SF_6 의 약 48~77% 정도 되는 것으로 나타났다.

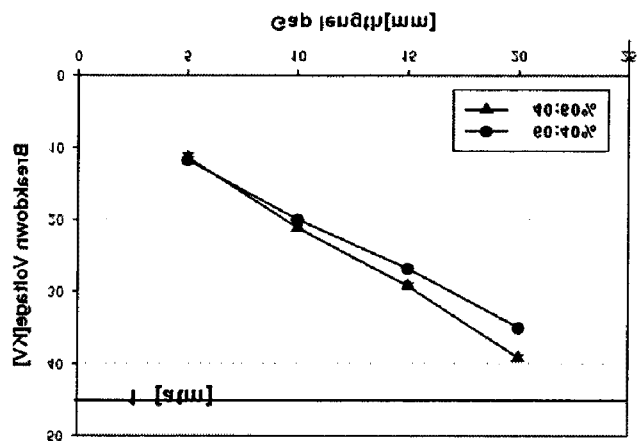


그림 2. 압력 1[atm]일 때 N_2/O_2 혼합비율과 갭 길이 변화에 따른 연면방전특성(Knife & Knife Electrode)

Fig. 2. Surface Flashover Characteristics with N_2/O_2 gas mixtures ratio and Gap Variation under the 1(atm)

혼합비 40/60의 V_B 는 SF_6 의 약 46~83% 정도 되는 것

으로 나타났다. 그림 3은 3[atm]에서의 N₂/O₂의 혼합비 및 d에 따른 V_B특성을 나타낸 것이다. V_B의 평균 증가 비율이 N₂/O₂의 혼합비가 60/40인 경우 평균 1.39배, N₂/O₂의 혼합비40/60의 경우 평균 1.25배로 나타났다. 또한 V_B는 60/40은 SF₆의 약 70~114% 정도 되는 것으로 나타났다.

혼합비 40/60의 V_B는 SF₆의 약 77~102% 정도 되는 것으로 나타났다. N₂/O₂ 혼합가스의 V_B가 SF₆에 비해 높게 측정되었지만 방전 주기시간을 측정시 N₂/O₂ 혼합가스의 경우 초기 방전후 다음 방전까지의 시간이 매우 짧았고 SF₆의 경우 다음 방전까지의 주기가 혼합가스에 비해 매우 길게 측정되었다.

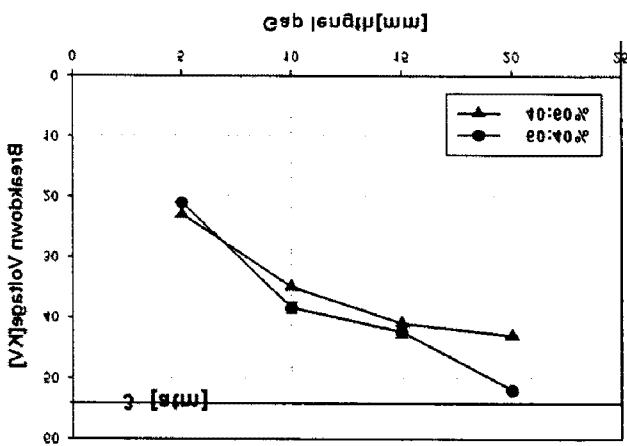


그림 3. 압력 3[atm]일 때 N₂/O₂ 혼합비율과 갭 길이에 따른 연면방전특성(Knife & Knife Electrode)

Fig 3. Surface Flashover Characteristics with N₂/O₂ gas mixtures ratio and Gap Variation under the 3[atm]

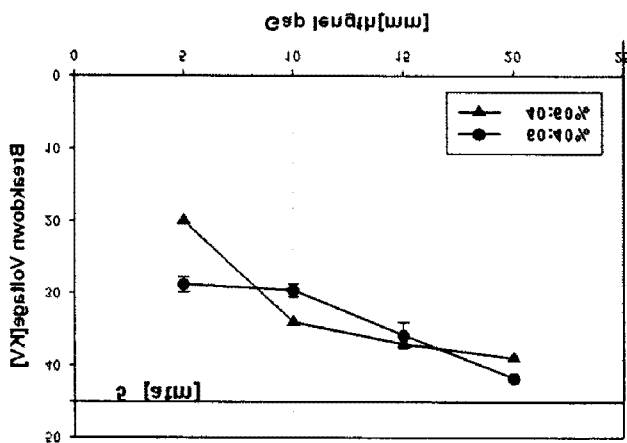


그림 4. 압력 5[atm]일 때 N₂/O₂ 혼합비율과 갭 길이에 따른 연면방전특성(Knife & Knife Electrode)

Fig 4. Surface Flashover Characteristics with N₂/O₂ gas mixtures ratio and Gap Variation under the 5[atm]

그림 4는 5[atm]에서의 N₂/O₂의 혼합비 및 d에 따른

V_B특성을 나타낸 것이다. V_B의 평균 증가 비율이 N₂/O₂의 혼합비가 60/40인 경우 평균 1.13배, N₂/O₂의 혼합비 40/60의 경우 평균 1.29배로 나타났다. 또한 V_B는 60/40은 SF₆의 약 77~84% 정도 되는 것으로 나타났다. 혼합비 40/60의 V_B는 SF₆의 약 53~90% 정도 되는 것으로 나타났다. 5[atm]에서는 3[atm]에 비해 초기 방전이후 방전발생 주기가 비교적 길었으며 SF₆에 비해서는 짧았다.

3.3 5[mm] 갭 길이에서 SF₆와 Dry-Air 및 I-Air의 압력에 대한 연면방전 특성

그림 6은 갭 길이 5[mm]에서의 SF₆, Dry-Air 및 I-Air의 P에 따른 V_B특성을 나타낸 것이다. SF₆의 V_B평균 증가 비율이 Dry-Air에 대해 1기압 2.46배, 2기압 1.99배, 3기압 1.61배, 4기압 1.42배, 5기압 1.44배로 전체 평균 1.78배가 되었다. 또한 I-Air에 대해서는 1기압 2.21배, 2기압 1.61배, 3기압 1.4배, 4기압 1.14배, 5기압 1.14배로 전체 평균 1.5배가 되었다. 그리고 실험후 트레이킹의 흔적은 SF₆ > I-Air > Dry-Air의 순으로 불순물이 많이 생성되었다. 이 실험에서도 친환경 절연재료인 Dry-Air의 특성을 확인 할수 있었다. 그림 5의 결과에서 알수있듯이 d가 5mm일때 파센의 법칙에 적용되므로 SF₆ 및 Dry-Air의 경우 d와 P를 각각 증가시킬 경우 비례 증가하는 V_B를 얻을 수 있을것이라고 예측된다.

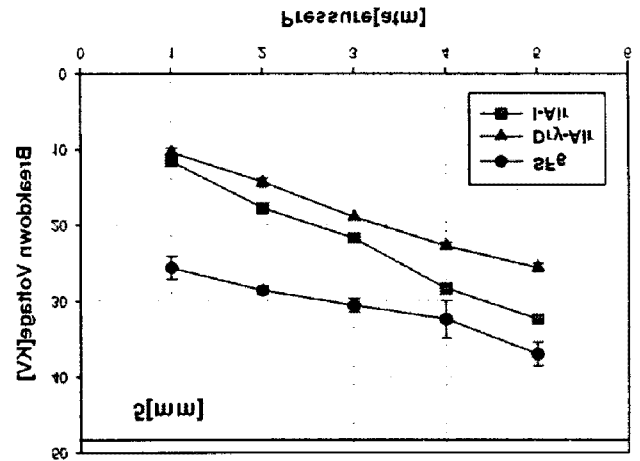


그림 5. 갭 길이 5[mm]일 때 SF₆ 와 Dry-Air의 압력 변화에 따른 절연파괴특성 (Knife & Knife Electrode)

Fig 5. Surface Flashover Characteristics with SF₆ and Dry-Air gas of Pressure Variation under the 5[mm]

측정 결과 1[atm]에서 SF₆는 V_B가 26[kV], 순수N₂는 8.4[kV], N₂/O₂혼합가스비율이 60:40인 경우 11.8[kV] 및 40:60은 11.4[kV] Dry-Air는 10.4[kV], I-Air는 11.4[kV]

로 나타났다. 1[atm]에서 SF₆의 절연성능이 이중절연재의 2배 이상으로 측정되었고 기압이 증가함에 따라 N₂/O₂혼합가스의 V_B 값은 다른 가스에 비해 일정 기압에서 크게 상승하였다. 그러나 초기방전 이후 다음 방전까지의 발생주기시간이 다른 기압에서보다 짧게 측정되었다. 사진 2는 Dry-Air에서 연면방전 후의 절연물 표면의 사진으로 불순물의 흔적은 없으나 절연물의 손상이 있었으며 사진 3은 1200배율로 측정된 것으로 트레이킹 흔적이 확인된다.

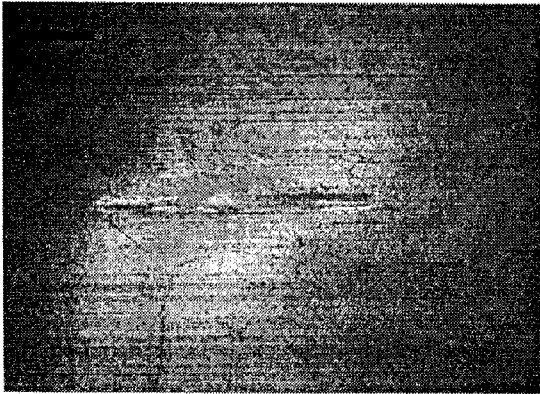


사진 2. Dry-Air에서 연면방전 후의 절연물 표면
(Knife-Knife 전극, 갭 길이 20(mm))
Photo. 2. Surface on The Insulator after Surface
Flashover in Dry-Air

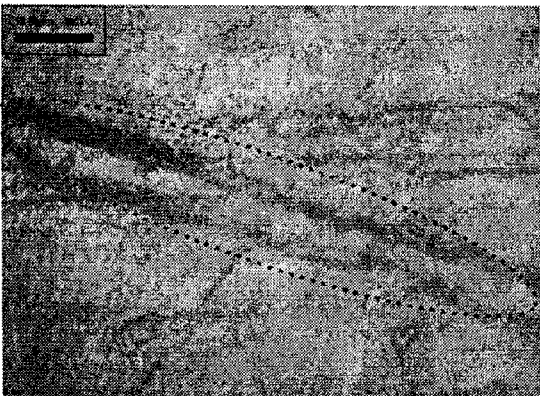


사진 3. Dry-Air에서 연면방전 후의 절연물 표면
(Knife-Knife 전극, 갭 길이 10(mm), x1200)
Photo. 3. Surface on The Insulator after Surface
Flashover in Dry-Air (x1200)

4. 결 론

본 연구에서는 GIS 내부에서 발생할수 있는 연면방전의 특성에 대해 실험하였고 SF₆ 및 이중절연재인, 순수N₂, N₂/O₂혼합가스 및 대체 가능한 절연매질인 제조공기(I-Air) 및 Dry-Air에서 압력(P), 전극간거리(d)의 변화에 따른 절연파괴전압(V_B)의 변화특성으로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) N₂/O₂혼합가스를 제외한 이중절연재에서는

파센의 법칙을 크게 이탈하는 경우는 없었으며 1[atm]에서 SF₆의 절연성능은 다른 절연재의 2배 정도였으며 V_B의 크기는 SF₆ > N₂/O₂(60:40) > N₂/O₂(40:60) = I-Air > Dry-Air > 순수 N₂의 순서로 측정되었다.

(2) 연면방전 후 절연물에 생긴 트레이킹의 흔적을 확인하였을 때 대부분의 경우 삼중점을 기점으로 발생하였고 또한 손상이 가장 심하였다. 그리고 SF₆가 트레이킹 흔적을 따라 불순물의 흔적이 가장 많았으며 Dry-Air가 가장 적게 발생함을 확인 하였다.

(3) 일부 절연재에서는 파센의 법칙을 이탈하는 현상을 보였다. 기압이 증가함에 따라 V_B가 비례 증가함이 아니라 특정 기압에서의 V_B가 현저히 높게 나왔는데 각각의 실험 중 가장 큰 차이는 초기 방전 후 다음 방전까지의 주기 차이가 나는 것이다. 특정기압에서 V_B가 높은 반면 초기 방전이후의 다음 방전 발생까지의 주기가 특정 기압 이상의 조건보다 매우 짧다는 것이다.

추후 이와 관련된 연구가 필요하다고 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Gong Guoli et al, " The influence of SF₆ and SF₆/N₂ dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995
- [2] 이광식 외 4명, " SF₆와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8
- [3] C.Beyer et al. " Influence Reactive SF₆ Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under SF₆ Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000
- [4] 이광식 외 4명, " SF₆ 가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8
- [5] Sayed A. ward " Optimun SF₆-N₂, SF₆-Air, SF₆-CO₂ Mixtures Based on Particle Contamination", Conf. Record of the IEEE Intern. Symp. on Elect. Insul., Anaheim, CA USA, April 2000