

## N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>혼합가스 중 Teflon수지의 연면방전 특성

(The Surface Flashover Characteristics of Teflon Resin in N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture Gas)

이정환 · 박혜리 · 임창호 · 박송규 · 김세동 · 임동영 · 이광식

(J.H. Lee · Herie Park · C.H. Im · S.K. Park · S.D. Kim · D.Y. Im · K.S. Lee)

영남대학교

### Abstract

본 연구는 Knife형 전극을 사용하여 SF<sub>6</sub>와 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>의 혼합체적비가 각각 100:0, 80:20, 60:40인 혼합가스에서의 갭 변화에 따른 연면방전 특성을 연구할 목적으로 교류고전압 인가 시 압력(P), 전극간거리(d) 및 사용된 가스의 변화에 따른 절연파괴특성을 연구 하였다. 본 연구를 통해 챔버 내의 P와 d가 증가할수록 연면절연파괴전압은 상승하다가 일정한 압력 이상에서는 포화하는 경향을 보였고, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>의 혼합체적비가 100:0인 경우는 SF<sub>6</sub>의 37%, 80:20은 47%, 60:40은 46%로 나타났다.

N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스 중에서 체적혼합비율이 80:20인 경우가 연면절연내력이 가장 좋게 나타났다.

## 1. 서 론

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·변전소용등 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 SF<sub>6</sub>가스를 절연매체로 하여 활선부를 밀폐하며 외기 및 환경에 영향을 받지 않도록 함으로서 높은 신뢰성과 콤팩트한 구조로 사용하고 있다. 그러나 방전 시 고특

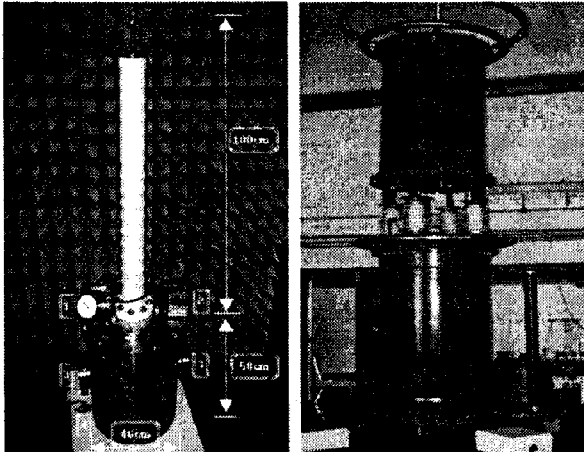
성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH<sub>4</sub>와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건(-50℃ 이하)에서 SF<sub>6</sub>가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같은 단점들이 있고 또한 1997년 12월 일본 Kyoto에서 개최된 제3차 당사국회의 (COP3, 지구온난화방지 Kyoto회의)에서, 온실효과를 가진 배출규제 대상으로서, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, PFC에 더하여 SF<sub>6</sub> 가스도 지정되어 앞으로는 SF<sub>6</sub> 가스의 배출량이 정식으로 보고되어야 할 뿐만 아니라, 친환경적인 절연매체로 대체하여 사용하여야 한다. 따라서 본 논문은 실험용 모의 GIS장치 내에 SF<sub>6</sub>가스 및 대체 가능성 있는 절연체들의 연면방전 특성에 관해 연구 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험용 모의 챔버의 외관은 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(재질 : 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

이종절연체에 대한 실험은 우선 모의 GIS 챔버 내부를 진공상태( $5 \times 10^{-4}$ [torr])로 유지하였다. 이 때 각각의 절연체만의 순수한 성분을 주입시키기 위해 가스와 챔버간에 연결된 호스내부도 진공을 시켰다. 사용된 전극은 동일한 Knife형을 사용하였으며, SF<sub>6</sub>는 1~5[atm]까지, 순수 N<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스인 경우는 1~7[atm]까지 챔버에 주입하여 각 압력에 대한 연면방전 특성도 연구대상이다.

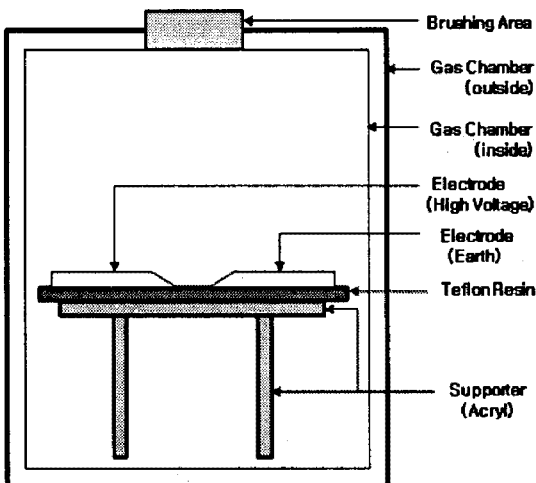


그림1. 전극 배치도

Fig1. Configuration of Electrode Arrangement

교류전압을 인가(초당 3.15[kV]상승, 누설전류 10[ $\mu$ A]기준)하여 측정하였다. 전극사이의 절연물로는 불소와 탄소의 강력한 화학적 결합으로 인해 매우 안정된 화합물인 Teflon을 사용하였다. 연면절연파괴전압(V<sub>B</sub>)은 5회 이상 측정하여 평균한 값을 이용하였다. 전극 배치는 그림1처럼 챔버 내에 수평배치 하였고 전극에서 d 및 P의 변화에 따른 실험이 끝나면 각각 절연가스를 교체 투입 후 같은 방법으로 실험을 수행하였다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 SF<sub>6</sub>의 연면절연파괴 특성

그림 2는 SF<sub>6</sub>가스의 P를 1~5[atm]으로 변경하면서 d에 따른 V<sub>B</sub>를 나타낸 것이다. P-d의 변화에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 상승비는 1~5[mm]까지 각각 14%, 17%, 10%, 9.4% 및 8.3%로 증가 하였다.

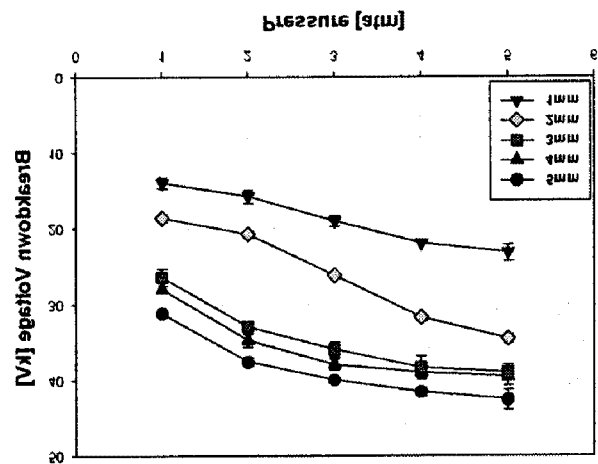


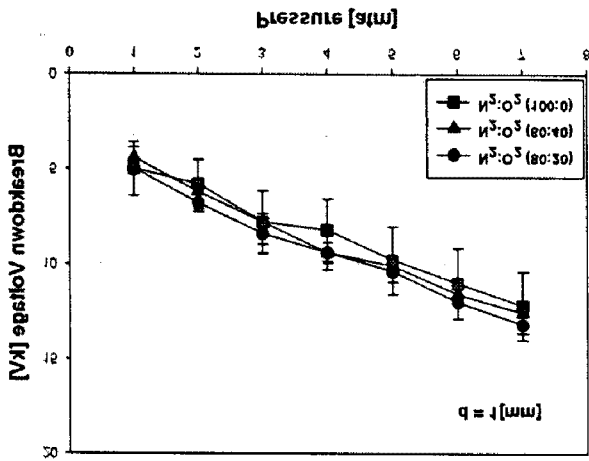
그림 2. SF<sub>6</sub> 에서 P-d에 따른 연면방전특성

Fig 2. Surface Flashover Characteristics of with P-d in SF<sub>6</sub>

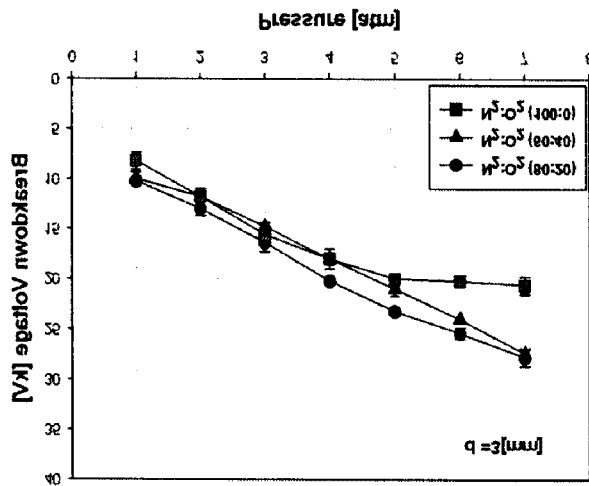
그림 2에서 알 수 있듯이 P와 d가 증가함에 따라 V<sub>B</sub>도 증가함을 알 수 있다. 또한 3[atm]이상에서는 파센의 법칙을 이탈하여 포화되는 경향을 보인다. 이는, d의 증가율에 비해 V<sub>B</sub>의 증가율은 적고 P의 상승과 더불어 인가전계가 강해지고 전극 표면의 미세돌기 등의 영향이 현저하기 때문이다.

### 3.2 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합비에 따른 거리별 연면절연파괴특성

그림 3의 (a),(b)는 친환경 가스인 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>혼합가스의 체적혼합비율 및 d에 따른 V<sub>B</sub>특성을 나타낸 것이다.



(a) 1(mm)일 때의 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>가스의 혼합비에 따른 연면절연 파괴전압



(b) 3(mm)일 때의 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>가스의 혼합비에 따른 연면절연 파괴전압

그림 3. N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스 중의 거리별 연면절연파괴전압  
Fig. 3. Breakdown voltage of Surface discharge  
N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> mixture gas according to variety distance

그림 3의 (a)는 Knife 형 전극을 수평으로 배치하고 전극간 거리를 1[mm]로 설정하였다. 또한 각 매질의 압력을 1~7[atm]으로 1[atm]씩 상승시켰을 경우 각각의 혼합비에 따른 V<sub>B</sub>의 값을 나타낸 것으로 체적혼합비율이 80:20의 경우가 V<sub>B</sub>가 가장 높게 나타났다. 순수 N<sub>2</sub>의 기압별 V<sub>B</sub>는 평균 1.16배로 증가하였고, 80:20은 1.2 배, 60:40은 1.18배로 증가하였다.

그림 3의 (b)는 전극간의 d가 3[mm]인 경우에는 N<sub>2</sub>의 V<sub>B</sub>의 값이 기압에 따라 선형적으로 증가하다가 5[atm]부터는 포화하여 다른 혼합가스에 비해 절연내력이 확연하게 떨어지는 것을 확인할 수 있다. N<sub>2</sub>가 대체적으로 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스 보다 절연성이 좋지 못한 것으로 나타나는데, O<sub>2</sub>는 전기적 부성가스이므로 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 혼합가스가 절연특성이 더 양호한 것으로 볼 수 있다.

### 3.3 4[mm]에서 SF<sub>6</sub>와 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스의 연면방전 전계강도

그림 4는 갭 길이 4[mm]에서의 SF<sub>6</sub>, N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> 혼합가스의 연면방전 전계강도(E<sub>d</sub>)특성을 나타낸 것이다.

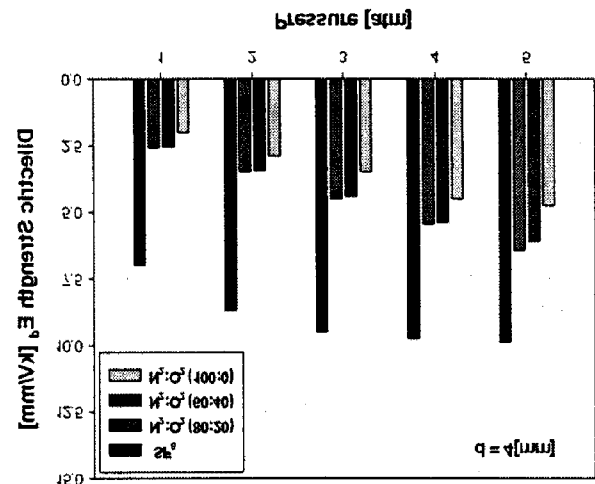


그림 4. 4(mm)일 때 SF<sub>6</sub>와 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스의 연면방전 전계강도 비교

Fig. 4. Comparison of Surface discharge dielectric strength in SF<sub>6</sub> and N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> mixture gas at 4(mm)

표 1. SF<sub>6</sub>와 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스의 기압별 연면방전 전계강도 상승비(%)

Tab. 1. Increasing rate of dielectric strength in SF<sub>6</sub> and N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub> mixture gas with variation of pressure(%)

Pressure [atm]	1→2	2→3	3→4	4→5	
Kind of Gas	SF <sub>6</sub>	24.3	9.2	2.6	1.5
	N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> (80:20)	34.6	28.6	21.1	18.3
	N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> (60:40)	35.3	27.5	22.7	13.0
	N <sub>2</sub> :O <sub>2</sub> (100:0)	45.0	20.7	28.6	5.6

E<sub>d</sub>는 V<sub>B</sub>를 연면거리로 나눈 값으로써, 전극간의 거리를 기준하였다.

표 1은 P의 증가에 따른 SF<sub>6</sub>와 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스의 연면방전 전계강도 상승비를 나타낸 것이다. E<sub>d</sub>의 평균 상승비는 SF<sub>6</sub> 및 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>혼합가스의 체적혼합비율이 80:20, 60:40, 100:0이 각각 9.4%, 25.7%, 24.6% 및 25.0%로 나타났다.

그림 4와 표 1에서 알 수 있듯이 절연매질에 따른 E<sub>d</sub>의 상승비는 P가 상승할수록 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 SF<sub>6</sub>에 대한 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>의 혼합체적비율이 80:20인 혼합가스의 E<sub>d</sub>의 비가 P의 상승에 따라 평균 42%정도이며 V<sub>B</sub>의 비가 48%이나 대기 중에 풍부한 재원이 있

으며 특히, 친환경적이므로 사용가능성이 충분하다고 판단된다.

이상의 결과에서  $N_2/O_2$  혼합가스가  $SF_6$ 가스 정도의 절연성을 가지려면 연면거리의 증대 및 압력의 증대가 요구됨을 알 수 있다. 그 결과 용기의 체적의 증가 및 두께가 상대적으로 두꺼운 것을 택하여야 할 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 GIS 내부에서 발생할 수 있는 연면방전의 특성에 대해 실험하였고  $SF_6$  및  $N_2/O_2$ 체적혼합비율에 따른 혼합가스의 절연파괴전압( $V_B$ )의 변화특성으로서 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1)  $SF_6$ 에서 전극간 거리가 1~2[mm]일 경우는 압력의 증가에 따라 연면절연파괴전압이 선형적으로 상승하나 3~5[mm]는 포화하는 경향을 보인다. 이는 전극간의 거리가 매우 짧은 경우는 평등성을 나타내어 Paschen의 법칙에 따른 특성을 보이나, 거리가 길수록 불평등성이 커지게 되어 Paschen의 법칙을 이탈하게 되기 때문이다. 또한 전극간의 거리가 길어지게 되면 연면면적이 커지게 되고 그에 따라, Weak spot(취약점)이 개재될 확률이 커지게 되므로 연면절연성을 악화시키는 원인으로 작용하게 된다.

(2)  $N_2/O_2$  혼합가스 중에서도 거리 및 압력의 증가에 따라 연면절연파괴전압이 포화하는 경향을 보이는데 이는, 결론 (1)에서 언급한바와 같이 설명할 수 있다.  $N_2/O_2$ 체적혼합비율에 따른 혼합가스 중, 비율이  $N_2/O_2(80:20)$ 일 경우가 절연내력이 가장 좋았으며  $SF_6$ 에 비해 절연내력은 떨어지나 친환경적인 특성과 자원이 풍부하므로 대체매질로의 가능성이 있다.

#### 참 고 문 헌

[1] Gong Guoli et al, " The influence of  $SF_6$  and  $SF_6/N_2$  dissociating products on the electrical performance of several insulating varnishes ", Electrical Insulating Materials, pp. 495~497, 1995

[2] 이광식 외 4명, "  $SF_6$ 와 액체 질소의 절연파괴특성과 正氣泡現象 ", Vol 54C No 8, 2005.8

[3] C.Beyer et al. " Influence Reactive  $SF_6$  Gases on Electrode Surfaces after Electrical Discharge under  $SF_6$  Atmosphere ", IEEE Trans, pp. 234~240, 2000

[4] 이광식 외 4명, "  $SF_6$  가스의 온도변화에 따른 절연특성 ", 대한전기학회 논문지 Vol 52C No 8, 2003.8

[5] Sayed A. ward " Optimun  $SF_6-N_2$ ,  $SF_6-Air$ ,  $SF_6-CO_2$  Mixtures Based on Particle Contamination", Conf. Record of the IEEE Intern. Symp. on Elect. Insul., Anaheim, CA USA, April 2000

[6] 이상우, 김이국, 김인식, 이동인, 이광식, "평등 및 불평등 전계하에서 순수 Ar,  $N_2$ 가스와 Ar/ $N_2$  혼합가스의 교류 절연파괴 특성"전기조명학회논문집, pp.20-27, 2001.9

[7] Toshiaki Rokunche, Yoshitaka Tagihashi, Jenji Aoyagi, Takashi Oomori, and Fumihiko Endo. "Edvelopment of  $SF_6$ -Free 72.5 kV GIS", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.22, No.3, pp.1869-1876, July.2007