

# DC(-) 전원 인가시 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>의 혼합비에 관한 절연특성

( The Breakdown Characteristics of N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Applied DC(-) voltage )

최은혁, 이창욱, 장승호, 최상태\*, 김정배\*\*, 이광식

(Eun-Hyuck Choi, Chang-Uk Lee, Seung-Ho Jang, Sang-Tae Choi, Jung-Bae Kim, Kwang-Sik Lee)

영남대학교, \*경주대학교, \*\*효성중공업

## Abstract

현재 산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성의 확보가 요구되고 있다. 또한 SF<sub>6</sub>을 대체할 친환경적인 절연매체의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 본 연구는 모의 GIS내 친환경적인 절연재료인 질소(N<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)의 혼합가스(N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=79:21, N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=60:40, N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=40:60)의 기본적인 절연특성을 구명함으로써 각종 전력용 설비의 절연매체로 사용가능함을 구명하고자 한다.

## 1. 서 론

산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기 에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되고 있다. 이에 따라 절연특성이 매우 우수한 고압의 SF<sub>6</sub> 가스를 절연재료로 사용하는 전력설비의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에 건설, 운전 중이다.

그 대표적인 전력기인 가스절연개폐장치(GIS)는 40년전부터 상업화가 시작된 이래 25.8[kV]급에서 800[kV]급까지 광범위하게 사용되고 있으나, 방전시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH<sub>4</sub>와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성 입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건에서 SF<sub>6</sub>가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같이 주위 환경에 따라 아주 낮은 온도에서 나타나는 비 이상적인 기체 거동 등이 단점이라 할 수 있다. 또한 현재 초고압 송변전기에 적용되고 있는 SF<sub>6</sub> 가스는 잘 알려진 바와 같이 가격이 비싸고 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 온난화 계수가 CO<sub>2</sub>의 약 23,900배로 대기 중으로 방출될 경우에는 온실효과를 야기 시키는 단점을 가지고 있다. 최근 환경에 대한 관심과 규제가 높아지면서 온실가스에 대한 규제로서 교토 의정서가 정식 발효됨에 따라 SF<sub>6</sub>가스는 금후 총량 제한에 의해 사용량이 규제 받을 가능성이 대단히 높다.

따라서 본 연구는 모의 GIS내 친환경적인 절연재료인 질소(N<sub>2</sub>)와 산소(O<sub>2</sub>)의 혼합가스(N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=79:21, N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=60:40, N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=40:60)의 기본적인 절연특성을 구명함으로써 각종 전력용 설비의 절연매체로 사용가능함을 구명하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

그림 1은 본 연구에 사용된 챔버의 개략도로서 그 주요사양은 다음과 같다. 실험용 챔버 내부온도를 관측하기 위하여 온도센서(UNICON, -90[°C]~90[°C])를 실험용 챔버 내부 중심부에 전극부와 평행하게 전극 수직 중심축과 8[cm] 떨어진 곳 온도센서를 상·중·하 3개와 실험용 챔버 내부압력을 측정하기 위해 압력계(WISE, 0~15기압)를 설치하였다. 실험용 챔버 내부 온도센서와 전극부를 관측할 수 있는 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 존재한다. 이 관측창의 재질은 투명 아크릴이며, 원통형으로 제작 설치하였다. 실험용 챔버 내부를 진공펌프 (SINKU KIKO Co.Ltd, GUD-050A, pumping speed 60ℓ/min)로 5×10<sup>-4</sup>[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 절

연성을 가진 SF<sub>6</sub> 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다. 또한 챔버내 가압상태에서 외부에서 겹을 75[mm]까지 상부에서 조정할 수 있도록 설계하였다.

DC(-) 전원장치는 Pulse Electronic Eng. Tokyo ; HDV-300 KIV-N을 사용하였다.

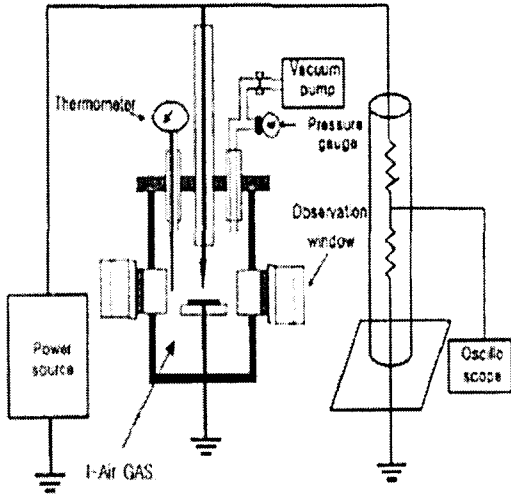


그림 1. 실험용 챔버

사용전극은 스테인레스 스틸인 Needle-Plane전극 (Needle ; 상부, Plane ; 하부, Needle의 D<sub>N</sub> ; 5[mm],  $\theta=20^\circ$ , Plane ; 곡률반경 3[mm], D 59[mm]), Sphere-Sphere전극의  $\Phi$ 는 41[mm]이며 Sphere-Sphere (구직경 41[mm], S-S)을 사용하였다.

혼합가스의 실험방법은 가스를 투입하기 전 챔버 내를  $5 \times 10^{-4}$ [torr]까지 배기시킨 후 혼합가스를 혼합비별로 가스압을 기준으로 일정압력에 대하여 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 겹(d) 변화시(1~4[mm]) 절연과피전압(V<sub>B</sub>) 특성 연구하였다. V<sub>B</sub>는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

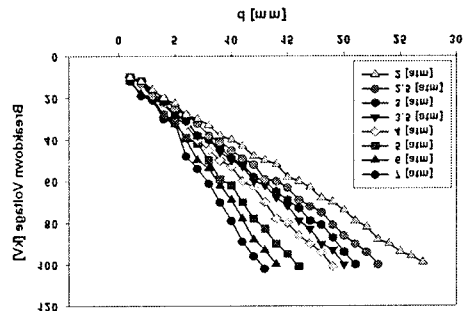
#### 3.1 전극형상에 따른 기압별 V<sub>B</sub> 특성

그림 2는 N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=79[%]:21[%] 혼합비에서 불평등(침 대 평판전극), 평등전계(구 대 구전극) 전계형상별 기압변화에 따른 V<sub>B</sub>를 측정한 결과이다.

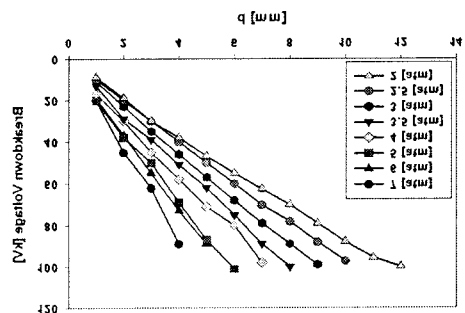
그림 2-(a)는 불평등전계 형성시 2 [atm]부터 4 [atm]까지 0.5 [atm]씩 증가시키고 4 [atm]부터 7 [atm]까지 1 [atm]씩 증가시켜 d 변화별 V<sub>B</sub>를 5회 측정하여 최대값과 최소값을 표시하였으며 5회 평균값을 그 d의 V<sub>B</sub>로 표현하였다. 절연과피특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과피특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가율은 약 1.04배 증가하였다. 이것은 Paschen의 법칙에 기인한다.

그림 2-(b)는 평등전계에 따른 절연과피특성을 불평등전계와 같이 실험하여 그 결과를 나타내고 있다. 절연과피특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과피특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른 V<sub>B</sub>의 평균 증가율은 약 1.23배 증가하였다. d 변화에 따른 V<sub>B</sub>가 불평등전계에 비하여 평등전계가 3배 이상임을 확인하였다.

(-) DC 전압 인가시 평균 V<sub>B</sub>가 불평등전계에서 보다 평등전계에서 더 높게 나타나는 이유는 불평등전계의 침 전극 주변에서 전계집중 현상이 평등전계의 구 전극 주변보다 더 강하게 작용하기 때문이다.



(a) 침 대 평판



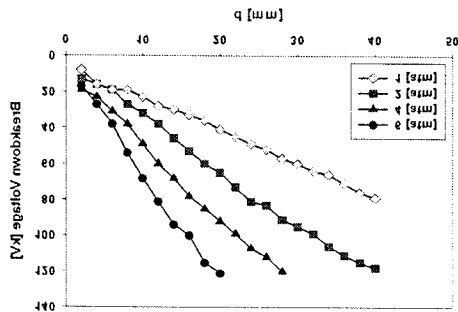
(b) 구 대 구

그림 2. N<sub>2</sub>:O<sub>2</sub>=79[%]:21[%] 혼합비에서 전극형상에 따른 절연과피특성

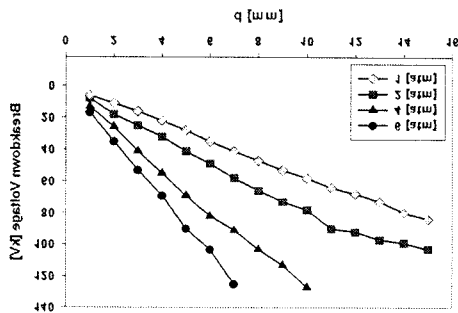
그림 3은  $N_2:O_2=60[\%]:40[\%]$  혼합비에서 불평등(N-P), 평등전계(S-S) 전계형상별 기압변화에 따른  $V_B$ 를 측정된 결과이다.

그림 3-(a)는 불평등전계 형성시 1 [atm]부터 2 [atm]까지 1 [atm]씩 증가시키고 2 [atm]부터 6 [atm]까지 2 [atm]씩 증가시켜 d 변화별  $V_B$ 를 5회 측정하여 최대값과 최소값을 표시하였으며 5회 평균값을 그 d의  $V_B$ 로 표현하였다. 절연과괴특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과괴특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가율은 약 1.06배 증가하였다.

그림 3-(b)는 평등전계에 따른 절연과괴특성을 불평등전계와 같이 실험하여 그 결과를 나타내고 있다. 절연과괴특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과괴특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가율은 약 1.16배 증가하였다. d 변화에 따른  $V_B$ 가 불평등전계에 비하여 평등전계가 3배 이상임을 확인하였다.



(a) 침 대 평판

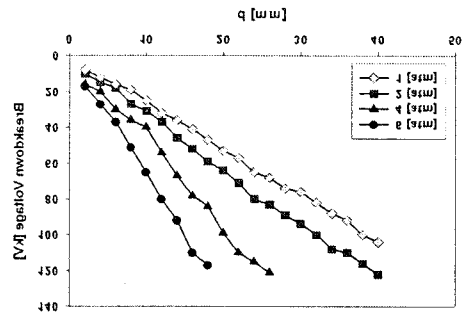


(b) 구 대 구

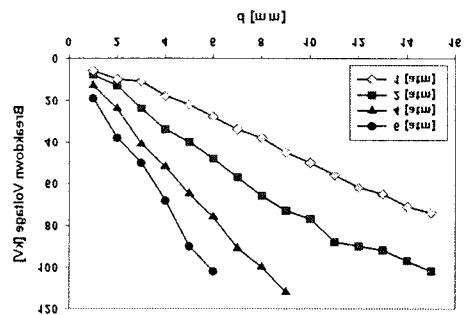
그림 3.  $N_2:O_2=60[\%]:40[\%]$  혼합비에서 전극 형상에 따른 절연과괴특성

그림 4은  $N_2:O_2=60[\%]:40[\%]$  혼합비에서 불평등, 평등전계 전계형상별 기압변화에 따른  $V_B$ 를 측정된 결과이다.

그림 4-(a)는 불평등전계 형성시 절연과괴특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과괴특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가율은 약 1.06배 증가하였다. 그림 4-(b)는 평등전계에 따른 절연과괴특성을 불평등전계와 같이 실험하여 그 결과를 나타내고 있다. 절연과괴특성 결과 그래프와 같이 d 증가시 절연과괴특성은 상승하였으며, 평균적으로 압력별 d 증가에 따른  $V_B$ 의 평균 증가율은 약 1.16배 증가하였다. d 변화에 따른  $V_B$ 가 불평등전계에 비하여 평등전계가 3배 이상임을 확인하였다.



(a) 침 대 평판



(b) 구 대 구

그림 4.  $N_2:O_2=40[\%]:60[\%]$  혼합비에서 전극 형상에 따른 절연과괴특성

## 5. 결론

본 연구에서는 친환경적인 절연재료인 질소( $N_2$ )와 산소( $O_2$ )의 혼합비  $N_2:O_2=79[\%]:21[\%]$ ,

$N_2:O_2=60\%:40\%$  및  $N_2:O_2=40\%:60\%$ 인 혼합 가스의 혼합비별 기본적인 절연파괴특성을 구명함으로써  $SF_6$  가스의 절연파괴특성과 비교분석 하였다.

또한 각종 전력응용 설비의 절연설계에  $SF_6$  가스 대체 혼합가스중 가장 절연파괴특성이 좋고 친환경적인  $N_2:O_2=79\%:21\%$  혼합가스의 사용 가능함에 대하여 연구하였다.

가. 평등/불평등전계하에서 압력 및 전극간거리가 증가할 수록  $N_2:O_2 = 79\%:21\%$ ,  $N_2:O_2=60\%:40\%$  및  $N_2:O_2=40\%:60\%$  혼합가스의 절연파괴전압은 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서 갭 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였다

나. 평등 / 불평등 전계 하에서  $N_2:O_2 = 79\%:21\%$  혼합비의 평균 절연파괴전압이  $N_2:O_2 = 60\%:40\%$  및  $N_2:O_2 = 40\%:60\%$  혼합비의 평균 절연파괴전압보다 높게 나타났으며 또한  $N_2:O_2 = 60\%:40\%$  혼합비의 평균 절연파괴전압이  $N_2:O_2 = 40\%:60\%$  혼합비의 평균 절연파괴전압보다 높게 나타나는 것을 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 가속화되는 것이라고 생각된다. 따라서  $N_2$  가스의 비율 높은  $N_2:O_2 = 79\%:21\%$  혼합비의 평균 절연파괴전압이 가장 높게 나타났다고 생각된다.

### 참 고 문 헌

[1] Toshio Suzuki, "Future Power System & Challenges in Electric Power Engineering", 8th International Symposium on High Voltage Engineering, Yokohama, Japan, August 23-27, 1993.  
 [2] 土森紀之, 長澤隆土, "21세기의 전력에너지-と轉送技術

III・系統成・運用の高速化", 電學誌, Vol. 112, No. 8, pp592-596, 1992  
 [3] 財團法人電力中央研究所, 電力輸送技術の長期研究ビジョンを定", 電中研ニュース, No. 213, 平成 3-12.  
 [4] 이광식 외, "평등전계에서  $SF_6$ 와 건조공기의 압력별에 따른 절연특성 연구", 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2007.11.  
 [5] 이광식 외, "평등/불평등 전계 하에서 제조공기와  $SF_6$ 에 대한 압력별 절연파괴특성", 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2007.11.  
 [6] 이상우 외, "압력변화에 따른  $Ar/N_2$  및  $Kr/N_2$  혼합가스의 절연파괴 특성", Journal of KIEE, Vol. 16, No.1, January 2002