

불평등전계 하에서 Dry-Air와 N₂의 절연성능평가

(The Assess of Breakdown Characteristics about Non-Uniform Fields at Dry-Air and N₂ Gas)

최은혁, 임창호, 최영길, 최상태*, 김정배**, 이광식

(Eun-Hyuck Choi, Chang-Ho Lim, Young-kil Choi, 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 SF₆을 대체할 친환경적인 절연매체의 개발이 절실히 요구되고 있다. 이에 본 연구는 모의 GIS내 친환경적인 절연재료인 질소(N₂)와 건조공기(Dry-Air)의 기본적인 절연특성을 구명함하였다. 또한 본 실험의 조건내에서 절연설계식을 도출하여 각종 전력용 설비의 절연매체로 사용가능시 기초자료로 사용 가능할 것으로 사려된다.

1. 서론

산업사회의 발달과 더불어 신뢰성 높은 양질의 전기 에너지와 운전 및 보수의 간편화, 계통운용의 신뢰성, 안전성 확보가 요구되고 있다. 이에 따라 절연특성이 매우 우수한 고압의 SF₆ 가스를 절연 재료로 사용하는 전력설비의 사용이 증가되고 있는 실정이며, 국·내외에 건설, 운전 중이다.

그 대표적인 전력기기인 가스절연개폐장치(GIS)는 40년전부터 상업화가 시작된 이래 25.8[kV]급에서 800[kV]급까지 광범위하게 사용되고 있으나, 방전시 고독성, 고부식성 화합물 형성이 화합물로부터 공기나 CH₄와 같은 비극성 오염물질 제거의 곤란성, 수증기, 도전성 입자 및 도체 표면 거칠기에 대한 파괴전압의 민감성, 저온조건에서 SF₆가스가 부분적으로 액화되는 경우와 같이 주위 환경에 따라 아주 낮은 온도에서 나타나는 비 이상적인 기체 거동 등이 단점이라 할 수 있다. 또한 현재 초고압 송변전기기에 적용되고 있는 SF₆ 가스는 잘 알려진 바와 같이 가격이 비싸고 저온 및 높은 압력에서 액화되기 쉬우며 온난화 계수가 CO₂의 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 SF₆가스는 급후 총량 제한에 의해 사용량이 규제 받을 가능성이 대단히 높다.

따라서 본 연구는 모의 GIS내 친환경적인 절연재료인 질소(N₂)와 건조공기(Dry-Air)의 기본적인 불평등전계시 절연특성을 구명함으로써 각종 전력용 설비의 절연매체로 사용가능함을 구명하고자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

사진 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 5×10⁻⁴[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 절

연성을 가진 SF₆ 가스의 절연내력 시험을 위해 300[kV]까지 고압인가를 할 수 있도록 절연설계가 되어있다. 또한 챔버내 가압상태에서 외부에서 갭을 75[mm]까지 상부에서 조정할 수 있도록 설계하였다.

전원장치는 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였다.

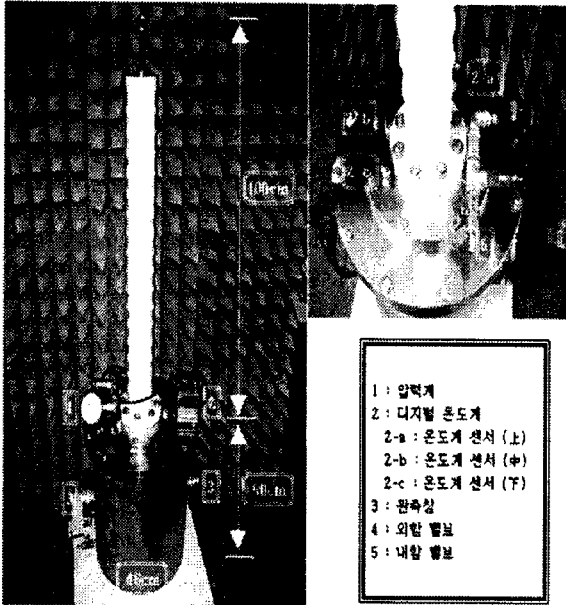


사진 1. 실험용 챔버

사용전극은 스테인레스 스틸인 Needle-Plane전극 (Needle ; 상부, Plane ; 하부, Needle의 D_N ; 5[mm], $\theta=20^\circ$, Plane ; 곡률반경 3[mm], D 59[mm])을 사용하였다.

N₂와 Dry-Air의 실험방법은 가스를 투입하기 전 챔버 내를 5×10^{-4} [torr]까지 배기시킨 후 혼합가스를 혼합비별로 가스압을 기준으로 일정압력에 대하여 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시 절연파괴전압(V_B) 특성 연구하였다. V_B는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 N₂와 Dry-Air의 불평등전계시 V_B 특성

AC 전원인가시 N₂ 절연파괴특성 실험시 불평등전계에서 2[atm]부터 4[atm]까지 0.5[atm]씩 증가시키고 4[atm]부터 7[atm]까지 1[atm]씩 증가시켜 갭(d) 변화별 절연파괴전압(V_B)를 5회 측정하여 최대값과 최소값을 표시하였으며 5회 평균값을 그 d의 V_B로 표현하였다.

그림 1은 N₂에서 불평등전계에 따른 절연파괴전압(V_B)의 관계를 나타내고 있다. 그림에서 나타난 바와 같이 성분비와 압력에 따라 d가 증가됨에 따라 V_B가 선형적으로 증가됨을 확인하였다. 또한 Paschen의 법칙에 의하여 갭길이의 증가에 따라 V_B가 감소함을 알수있다.

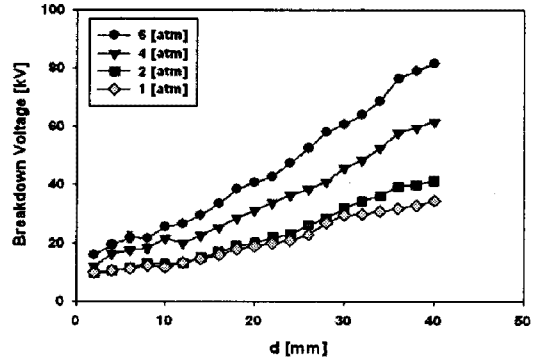


그림 1. N₂에서 불평등전계시 절연파괴특성

그림 2는 AC전원 인가시 Dry-Air의 압력, 전극간거리 및 불평등전계시 절연파괴전압에 대하여 도식하였다. 불평등 전계시 평균 1.1배 정도의 갭 변화시 절연파괴전압이 증가하였다.

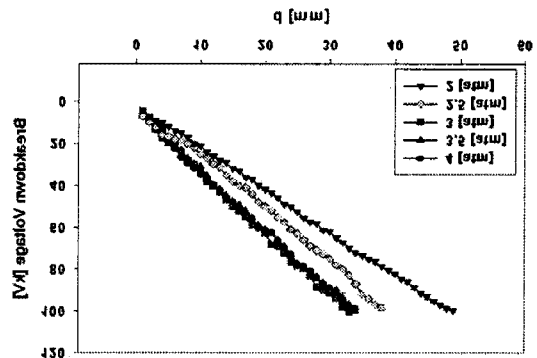


그림 2. Dry-Air의 불평등전계시 절연파괴특성

3.2 Dry-Air와 N₂의 불평등시 절연파괴 전계강도

그림 3은 Dry-Air의 불평등전계 형성시 압력에 따른 절연파괴전계강도를 d=5[mm] 간격으로 나타내고 있다. 그림과 같이 d=1[mm]일 때 가장 높은 전계강도를 보여주고 있으며, 갭이 증가함에 따라 비슷한 상승곡선 형태를 보여주고 있다.

불평등전계시 절연파괴전계강도를 바탕으로 압력에 따른 절연파괴 전계강도의 식을 도출하면 식 1로 나타나며, 여기서 a, b는 상수이며, 상수값은 표 1과 같은 변수로 표현된다. 본 식의 유효범위는

압력 3-7[atm]이며, 갭길이 1-30[mm]사이의 불평등 전계에서 유효하다. 이 식의 평균 오차율은 2.35[%]의 오차율을 가지며 공학적으로 가치 있는 식으로 사료된다.

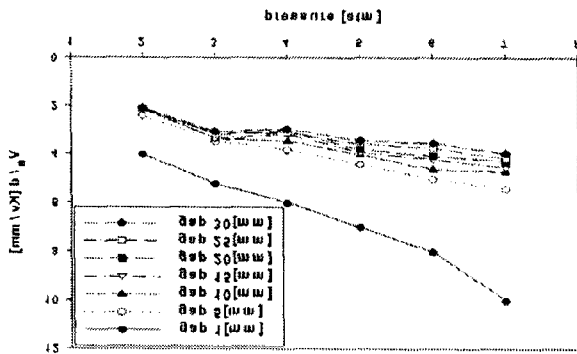


그림 3. Dry-Air의 불평등시 압력에 따른 절연파괴전계강도

$$y = ax + b \quad (\text{식 1})$$

($y : V_B/d[\text{kV}/\text{mm}]$, $x : P[\text{atm}]$)

표 1. Dry-Air의 절연강도식의 상수값

a,b,오차 갭[mm]	a값	b값	오차 [%]
최대 1[mm]	1	2.2	1.6
최소 30[mm]	0.5	1	3.6
5[mm]	0.7	1	1.7
10[mm]	0.5	1.5	2
15[mm]	0.5	1.4	2.6
20[mm]	0.4	1.65	1.4
25[mm]	0.3	1.95	3.6

그림 4는 N₂의 불평등전계 형성시 압력에 따른 절연파괴전계강도를 d=5[mm] 간격으로 나타내고 있다. 그림과 같이 d=1[mm]일 때 가장 높은 전계강도를 보여주고 있으며, 갭이 증가함에 따라 절연강도 그래프가 비슷한 경향을 보여주고 있다.

그림 4의 절연파괴 전계강도에 따른 절연파괴 전계강도의 식을 도출하면 식 1과 같이 Dry-Air와 같은 형태의 식을 도출하였다. 상수값은 표 3-3와 같은 변수로 표현된다. 본 식의 유효범위는 압력 1-6[atm]이며, 갭길이 1-38[mm]사이의 불평등 전계에서 유효하다. 이 식의 평균 오차율은 2.47[%]의 오차율을 가지며 공학적으로 가치 있는 식으로 사료된다.

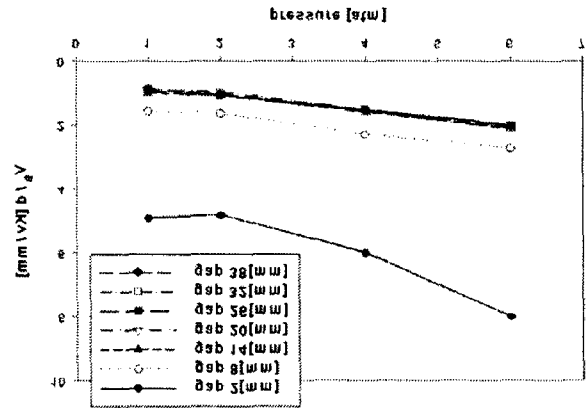


그림 4. N₂의 불평등시 압력에 따른 절연파괴전계강도

표 2. N₂의 절연강도식의 상수값

a,b,오차 갭[mm]	a값	b값	오차 [%]
최대 2	0.5	4	2.33
최소 40	0.3	0.4	1.16
8	0.3	1	3
14	0.2	0.8	2
20	0.2	0.8	3.5
26	0.2	0.6	1.6
32	0.2	0.6	3.25
38	0.2	0.6	2.95

5. 결론

본 연구에서는 친환경적인 절연재료인 N₂와 Dry-Air의 기본적인 절연파괴특성을 구명하였으며, 기본적인 절연강도식을 도출하였다.

장래 본 연구의 결과는 송배전 전력기기들의 친환경적이며, 소형화 및 신뢰도 증대에 관한 좋은 자료로 응용 가능할 것이며, 이에 위의 결과를 응용하면 SF₆ 가스 대신 Dry-Air를 전력설비의 절연재료로 사용 가능할 것으로 판단된다.

참고문헌

- [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, 長澤隆士, "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, "평등/불평등 전계 하에서 제조공기와 SF₆에 대한 압력별 절연파괴특성", 한국조명전기설비학회 추계학술대회 논문집, 2007.11.