

Dry-Air 및 혼합가스의 절연성 평가

최은혁, 최영길, 장승호, 최상태\*, 우성훈\*\*, 김이국\*\*\*, 이광식  
 영남대학교, \*경주대학교, \*\*경운대학교, \*\*\*경일대학교

Assess of Breakdown Characteristics about Dry-Air & N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture

Eun-Hyeok Choi, Young-kil Choi, Seung-Ho Jang, Sang-Tae Choi\*, Sung-Hun Woo\*\*, Lee-Kuk Kim\*\*\*, Kwang-Sik Lee  
 Yeungnam Univ. \*Gyeongju Univ. \*\*Kyungwoon Univ. \*\*\*Kyungil Univ.

**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)과 Dry-Air 기본적인 절연 특성을 밝혀, 각종 전력용 설비의 절연매체로 사용가능함을 구명하고자 한다.

1. 서 론

SF<sub>6</sub> 가스는 22[kV]급부터 800[kV]에 이르기까지 신뢰성 높은 양질의 절연 가스로 유용하게 사용되고 있다. 그러나, 인체에 무해한 SF<sub>6</sub>는 방전시 고독성, 고부식성 화학물이 발생하며, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠음에 대한 파괴전압의 민감성, 저온하에서의 액화로 인한 사고의 위험들을 가지고 있다. 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 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, HFC, PFC와 더불어 대표적인 절연가스인 SF<sub>6</sub>가도 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 온난화 가스에 대한 강제 이행국이 될 것이 확실시 되고 있으며 향후 전력선진국으로 도약하기 위해서는 우리나라도 다양한 대체 절연체 개발에 많은 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 혼합가스, Dry-Air 및 SF<sub>6</sub>의 절연과파괴특성을 비교분석하여 배전급 전력설비에 사용 가능성을 검토한 연구이다.

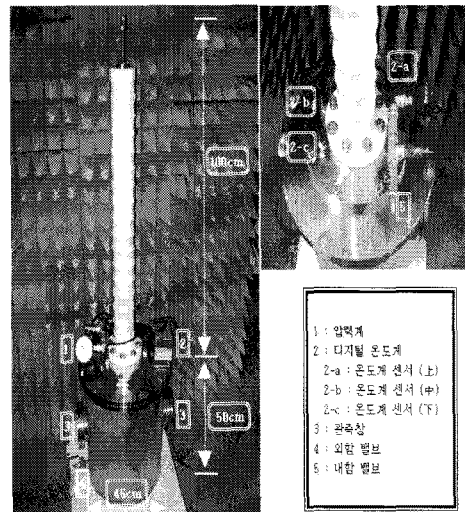
2. 본 론

2.1 실험장치 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 절연성을 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 조절할 수 있도록 설계하였다. 전원장치는 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였다.

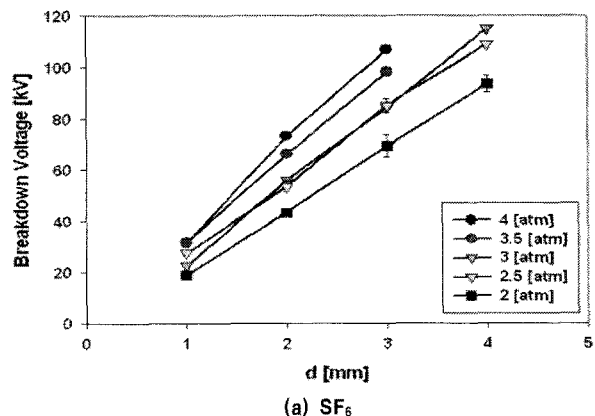
사용전극은 스테인레스 스틸인 Sphere-Sphere (구직경 41[mm], S-S)을 사용하였다. 실험방법은 가스를 투입하기전 챔버 내를 5×10<sup>-4</sup>[torr]까지 배기시킨 후 각각 SF<sub>6</sub>가스, Dry-Air, 혼합가스를 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시 절연과파괴전압(V<sub>B</sub>) 특성 연구하였다. V<sub>B</sub>는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

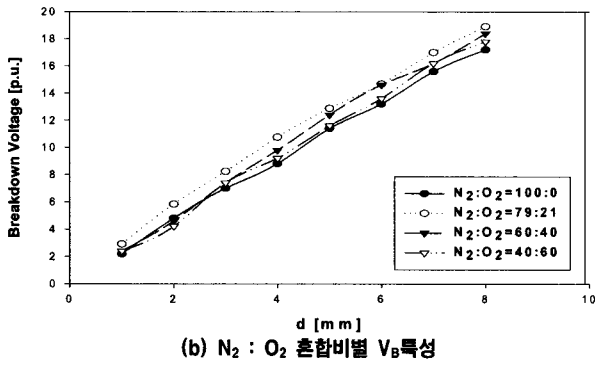


<사진 1> 실험용 챔버

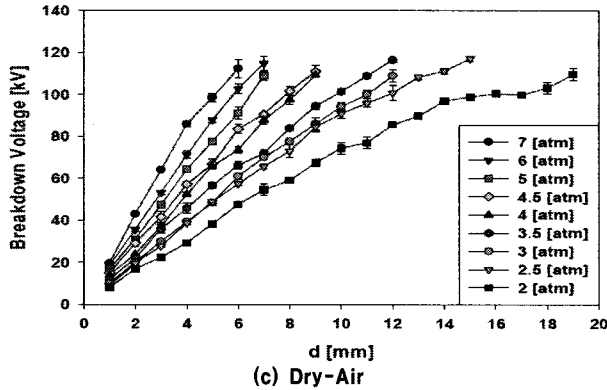
2.1 실험결과 및 고찰

그림 1은 절연매체별 절연과파괴 특성을 보여주고 있다. 그림 1-a는 SF<sub>6</sub> S-S 전극인 경우 평등전계 영역의 실험결과이므로 d의 증가에 따라 선형적 상승을 보여주고 있다. 그림 1-(b)는 일정압력(4[atm])일때 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>의 성분비에 따른 d 변화에 따른 절연과파괴전압특성을 나타내고 있다. 그림과 같이 성분비가 79:21일 때 가장 높은 V<sub>B</sub>특성을 가지고 있음을 확인하였다. 이와 같은 결과는 대기와 비슷한 성분비 79:21일 때 상대적으로 절연과파괴 특성이 안정화되며, Paschen 법칙에 의해 평등전계에 가까운 전극중의 기체의 파괴전압은 압력에 비례하여 높아지고 있음을 확인하였다. 또한 그림 1-c는 Dry-Air의 일정압력에 대하여 갭 변화시 V<sub>B</sub>특성을 나타내었다. 평등전계에서는 SF<sub>6</sub>나 혼합가스와 같이 Paschen 법칙에 의해 선형적으로 증가함을 확인하였으며, 4[atm]의 경우 약 1.3배정도의 갭변화시 V<sub>B</sub> 증가율을 보여주었다.





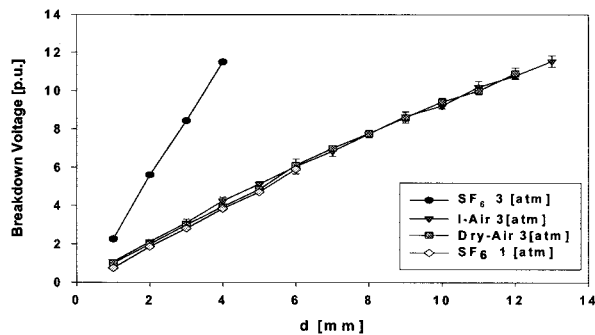
(b) N<sub>2</sub> : O<sub>2</sub> 혼합비별 V<sub>B</sub> 특성



(c) Dry-Air

<그림 1> SF<sub>6</sub>, 혼합가스 및 Dry-Air의 V<sub>B</sub> 특성

현재 사용되고 있는 22.9[kV] 배전급에는 SF<sub>6</sub>가 1.1[atm]정도가 충전되어 운용되고 있다. 따라서 앞에서 실험한 모의공기(79:21), 건조공기 제조장치에 이용한 Dry-Air와 SF<sub>6</sub> 1[atm]의 V<sub>B</sub>를 비교하여 모의공기와 Dry-Air의 절연특성을 평가하고 SF<sub>6</sub> 1[atm]일때 상응하는 모의공기와 Dry-Air의 압력을 그림 2에서 도식하였다. 일정압력에서 d변화에 따른 모의공기(I-Air)가 건조공기(Dry-Air)에 비해 V<sub>B</sub>특성이 약 1.1배정도 높음을 확인하였다. 또한 그림과 같이 SF<sub>6</sub> 1[atm] V<sub>B</sub>에 상응하는 모의공기와 건조공기의 압력은 약 3[atm] 정도로 확인하였다.



<그림 2> 3 [atm]일때 SF<sub>6</sub>, 모의공기 및 건조공기의 절연성 평가

국내 중전기업체가 SF<sub>6</sub>를 사용하지 않는 친환경개폐장치개발에 경쟁적으로 나서고 있는 가운데 한전은 현행 “25.8[kV] 가스절연개폐장치” 규격을 대체하기 위해 고체절연개폐장치, 질소가스절연개폐장치, 압축건조공기절연개폐장치 등의 규격을 검토하고 있다. 이에 본 논문에서는 SF<sub>6</sub>의 일정압력 시 d에 따른 V<sub>B</sub> 값에 상응하는 I-Air의 V<sub>B</sub>와 d를 표 1에서 나타낸다.

표 1에서 2[atm]의 SF<sub>6</sub> d=1일때 V<sub>B</sub>=19에 상응하는 2[atm] I-Air는 d=2.2로 나타난다. 이 경우 SF<sub>6</sub>에 대한 I-Air의 V<sub>B</sub>의 백분율 오차는 1.5[%]로 나타나 같은 SF<sub>6</sub>의 V<sub>B</sub>에 상응하는 신뢰성을 가지고 있다. 또한 압력이 3, 4[atm]으로 상승함에 따라 SF<sub>6</sub>인 경우의 d=1[mm]에 상응되는 I-Air의 d는 2[atm]일 경우와 같이 동일하게 2[mm]이지만, SF<sub>6</sub> d가 2, 3, 4로 상승됨에 따라 상응하는 I-Air의 d는 그림 3에서 보는 것과 같이 약 3배 이상의 d를 가질 때 신뢰성이 보장되는 것으로 사료된다.

또한 표 1에서 보는바와 같이 일정압력시 d에 따른 SF<sub>6</sub>의 V<sub>B</sub>에 상응되는 I-Air의 d를 도출하였다. 한편 일정 d일때 압력에 따른 SF<sub>6</sub>의 V<sub>B</sub>에 상응하는 I-Air의 압력을 산출하면, d=1일 경우 SF<sub>6</sub> 2[atm]에 상응하는

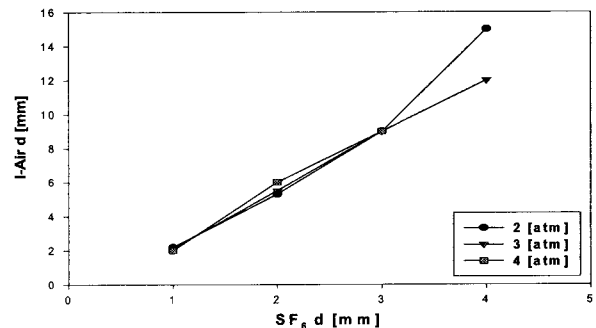
I-Air의 압력은 7[atm]으로 나타났다. 이는 2[atm]이상의 SF<sub>6</sub>를 사용하는 전력설비의 체적을 동일하게 할 때 I-Air의 압력을 대단히 높게 설계에 반영하여야 할 것이므로 전력설비에 응용은 큰 어려움이 따를 것으로 판단된다.

이에 25.8[kV]에 사용하는 1.1[atm] SF<sub>6</sub>에 상응하는 I-Air의 기압을 도출하고자 그림 3과 같이 SF<sub>6</sub> 1[atm]과 I-Air의 절연파괴전압을 비교하여 나타내었다.

<표 1> 일정압력시 d에 따른 SF<sub>6</sub>의 V<sub>B</sub>에 상응되는 I-Air의 d

기압 (atm)	구분	SF <sub>6</sub> d(mm)			
		1	2	3	4
2	SF <sub>6</sub> V <sub>B</sub> (kV)	19	43.4	69.4	93.6
	I-Air V <sub>B</sub> (kV)	19.3	43.7	70.4	94.4
	오차 (%)	2.2	5.3	9	15
	오차 ( )	1.5	0.7	1.44	0.85
3	SF <sub>6</sub> V <sub>B</sub> (kV)	22.6	56	88	109
	I-Air V <sub>B</sub> (kV)	22.18	55.95	86.6	107.8
	오차 (%)	2.1	5.5	9	12
	오차 ( )	-1.9	-0.09	-1.61	-1.11
4	SF <sub>6</sub> V <sub>B</sub> (kV)	31.6	73.4	107	
	I-Air V <sub>B</sub> (kV)	31.6	73.4	104	
	오차 (%)	0	6	9	
	오차 ( )	0	0	-2.88	

\* : 인공신경망에 의한 추정치



<그림 3> 일정압력시 d에 따른 SF<sub>6</sub> V<sub>B</sub>에 상응되는 I-Air의 d

### 3. 결 론

본 논문은 SF<sub>6</sub>, Dry-Air 및 혼합가스의 절연특성을 구명하고, 제조공기를 배전급 전력기에 사용가능성을 평가한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. SF<sub>6</sub>는 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압도 비례적으로 상승함을 확인하였으며, Paschen의 법칙에 의존한 결과를 얻었다.

나. 제조공기 및 Dry-Air도 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압이 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서는 갭 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였으며, SF<sub>6</sub>의 절연내력에 비하여 모의공기의 절연내력은 2.5배에서 3배정도로 절연내력이 현저히 떨어짐을 확인하였다.

다. SF<sub>6</sub> 1[atm]의 절연파괴전압에 상응하는 모의공기의 압력이 3[atm]정도인 것이 확인되었다. 한편 SF<sub>6</sub> 2[atm]일때 상응하는 모의공기의 압력이 7[atm]이상으로 크게 높게 되어 SF<sub>6</sub> 2[atm]이상의 전력설비의 절연체를 제조공기로 대체하는 모의공기의 압력과 체적의 증가시켜 전력설비 설계에 반영되어야 될 것이다.

### [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 전력エネルギー-系統成・運用の高速化", 電學誌, Vol. 112, No. 8, pp592-596, 1992
- [3] R.J.Meats : 3rd Int. Conf., "Gas Discharge", London, Sep, 1974
- [4] 이광식, 최은혁 외, "인공신경망을 이용한 방전전하량 추정정에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 추계 학술대회논문집, 2006.11
- [5] 이광식, 최은혁 외, "배전급 전력설비를 위한 제조공기의 절연성 평가" 한국조명전기설비학회 논문집 22-2-16, 2008.02