

SF₆와 제조공기의 절연특성 비교 연구

(The Breakdown Characteristics of SF₆ and Imitation-Air)

최은혁, 박혜리, 도영희, 최영길, 이광식

(Eun-Hyuck Choi, Herie Park, Yeong-Hoei Do, Young-kil Choi, Kwang-Sik Lee)

영남대학교, *한국전력공사,

Abstract

With the improvement of industrial society, the high quality electrical energy, simplification of operation and maintenance, ensuring reliability are being required. Also we request urgently change a SF₆ for an environment friendly gas insulation material. In this paper the experiments of breakdown characteristics by pressure and gap change of Imitation-Air in model GIS(Gas Insulated Switchgear) were described. Also assess of breakdown characteristics about Imitation-Air and SF₆.

It is considered in this paper that the results are fundamental data for electric insulation design of Distribution Power Facilities which will be studied and developed in the future.

1. 서 론

SF₆ 가스는 22[kV]급부터 800[kV]에 이르기까지 신뢰성 높은 양질의 절연가스로 유용하게 사용되고 있다.

그러나, 인체에 무해한 SF₆는 방전시 고독성, 고부식성 화합물이 발생하며, 수증기, 도전성입자 및 도체 표면 거칠음에 대한 파괴전압의 민감성, 저온에서의 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 CO₂, CH₄, HFC, PFC와 더불어 대표적인 절연가스인 SF₆가스도 오스트레일리아, 캐나다, 일본, EU 등 여러 국가에서 규제물질로 정하였다. 비록 우리나라는 온난화가스에 대한 개도국으로 선정되어 있지만 앞에서 언급한 여러 국가들은 강제 이행국으로써 온난화물질 대체 연구 및 새로운 전력설비에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 향후 우리나라도 온난화가스에 대한 강제 이행국이 될 것이 확실시 되고 있으며 향후 전력선진국으로도 약하기 위해서는 우리나라도 다양한 대체 절연재

개발에 많은 연구 및 개발의 필요성이 있다고 사료된다.

따라서, 본 연구에서는 제조공기(I-Air)와 SF₆의 절연과피특성을 비교분석하여 배전급 전력설비에 사용 가능성을 검토한 연구이다.

2. 실험 장치 및 방법

사진 1은 본 연구에 사용된 챔버의 외관으로서 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 60 l/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 안전

상 10기압 정도의 가압이 가능하고 압력 유지를 위해 실험용 챔버 내의 기밀성 유지가 가능하다. 온도변화(90~90℃) 및 유지가 가능하고 높은 절연성을 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.

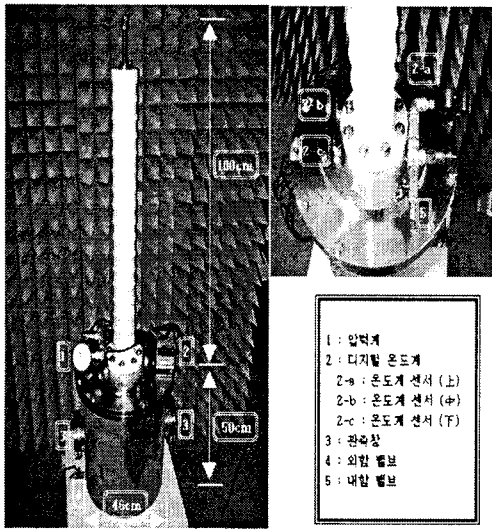


사진 1. 실험용 챔버

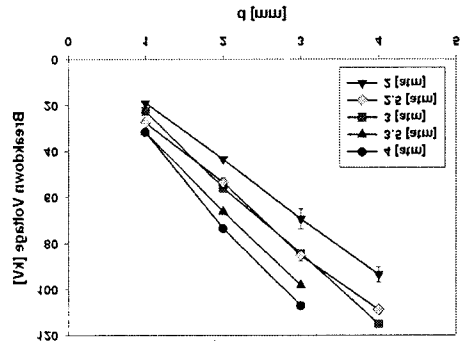
사용전극은 스테인레스 스틸인 Sphere-Sphere (구직경 41[mm], S-S)을 사용하였다.

I-Air의 실험방법은 가스를 투입하기전 챔버 내를 5×10^{-4} [torr]까지 배기시킨 후 SF₆가스를 2~4[atm]까지 0.5[atm]씩 주입하였다. 이에 각 압력에 따른 갭(d) 변화시(1~4[mm]) 절연파괴전압(V_B) 특성 연구하였다. I-Air도 SF₆와 같은 방법으로 배기시킨후 I-Air를 2~4[atm]까지 0.5[atm]씩 주입하여 d 변화시(1~15[mm]) V_B를 측정하였다. V_B는 10회 측정하여 평균한 값을 이용하였다.

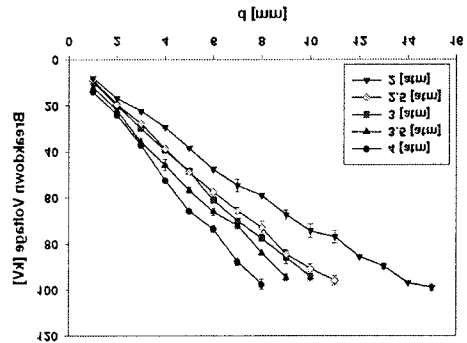
3. 실험 결과 및 고찰

3.1 SF₆와 I-Air의 압력에 따른 절연파괴특성 일반적으로 배전급 GIS 등에 사용되는 SF₆는 약 1[atm]에서 3[atm]정도의 압력을 적용운용하고 있

다. 본 연구에서는 4[atm]까지 변화시킬 때마다 각 d에 따른 V_B의 특성을 연구하였는바 다음과 같은 특성을 보여준다.



(a) SF₆



(b) I-Air

그림 1. 전원별 SF₆ & I-Air의 절연파괴전압

그림 1은 압력을 매개변수로 한 V_B-d 특성이 다. 그림에서 에리바는 10회 측정중 최대 및 최소 값을 나타내며 그 평균값을 점으로 표현하였다. SF₆의 절연파괴특성은 그래프와 같이 d 증가시 선형적으로 상승하였으며, 평균적으로 d가 1[mm] 증가됨에 따라 V_B가 3배정도 증가됨을 확인하였다.

I-Air도 절연파괴특성은 d 증가에 따라 SF₆와 같이 선형적으로 증가하는 것을 확인하였다. SF₆의 절연내력에 비하여 제조공기의 절연내력은 약 2.5배에서 3배정도이며, 갭이 증가함에 따라 절연내력이 SF₆에 비하여 현저히 떨어짐을 확인하였다. 또한 SF₆와 같이 압력증가에 따라 V_B는 상승하였으며, d가 증가할 수록 각 압력에 따른 V_B값의 크기가 더욱더 커짐을 확인하였다.

3.2 SF₆와 I-Air의 절연성능평가

현재 사용되고 있는 22.9[kV] 배전급에는 SF₆가

1.1[atm]정도가 충전되어 운용되고 있다. 따라서 앞에서 실험한 I-Air, 건조공기 제조장치를 이용한 Dry-Air^[9]와 SF₆ 1[atm]의 V_B를 비교하여 모의공기와 Dry-Air의 절연특성을 평가하고 SF₆ 1[atm]일때 상응하는 I-Air와 Dry-Air의 압력을 그림 2에서 도식하였다.

일정압력에서 d변화에 따른 I-Air가 Dry-Air에 비해 V_B특성이 약 1.1배정도 높음을 확인하였다. 또한 그림과 같이 SF₆ 1[atm] V_B에 상응하는 I-Air와 Dry-Air의 압력은 약 3[atm] 정도로 확인하였다.

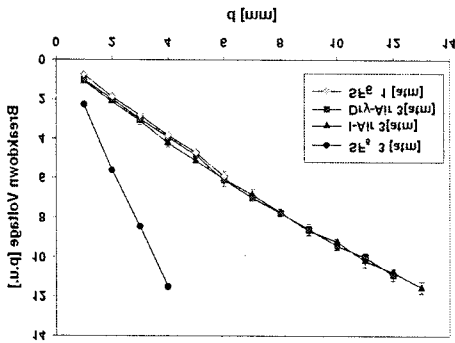


그림 2. 3[atm]일때 SF₆, Dry-Air 와 I-Air의 절연성 평가

국내 중전기업체가 SF₆를 사용하지 않는 친환경 개폐장치개발에 경쟁적으로 나서고 있는 가운데 한전은 현행 “25.8[kV] 가스절연개폐장치” 규격을 대체하기 위해 고체절연개폐장치, 질소가스절연개폐장치, 압축건조공기절연개폐장치 등의 규격을 검토하고 있다. 이에 SF₆의 일정압력시 d에 따른 V_B 값에 상응하는 I-Air의 V_B와 d를 표1에서 나타낸다.

공학적인 신뢰성을 가지기 위해서는 오차는 ±3%내에 있어야 되므로 오차범위를 만족하지 못하는 실험치는 그림 3의 인공신경망을 이용하여 SF₆에 상응하는 I-Air의 V_B와 d를 추정하여 표시하였다. I-Air의 일정기압 2, 3, 4[atm]일때 평등전계에 대한 압력별 갭 변화에 따른 절연파괴전압의 실험데이터를 기초하여 신경망 모델은 2입력 (갭 길이, 압력), 1출력(절연파괴전압) 및 중간층 1개, 중간층의 유닛은 7개로 설계하였으며, 각 유닛에서의 응답함수는 시그모이드 함수를 사용하였다.

설계된 알고리즘을 이용하여 기압 SF₆에 상응하

는 I-Air의 d와 V_B 신경망모델로 추정하여 표1에 적용시켰다.

그림 3은 신경망모델에 사용된 압력에 따른 절연파괴전압 추정 플로우차트를 나타내고 있다.

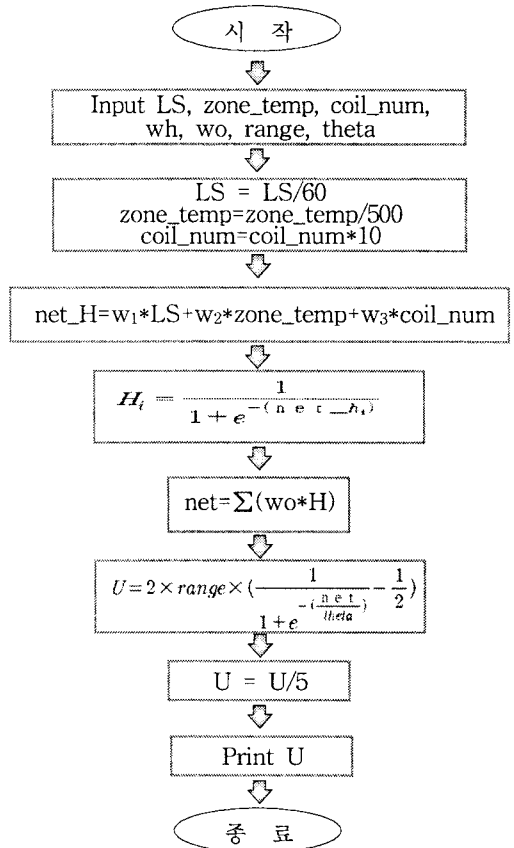


그림 3. 신경망모델 플로우차트

표 1에서 2[atm]의 SF₆ d=1일때 V_B=19에 상당하는 2[atm] I-Air는 d=2.2로 나타난다. 이 경우 SF₆에 대한 I-Air의 V_B의 백분율 오차는 1.5[%]로 나타나 같은 SF₆의 V_B에 상당하는 신뢰성을 가지고 있다. 또한 압력이 3, 4[atm]으로 상승함에 따라 SF₆인 경우의 d=1[mm]에 상응되는 I-Air의 d는 2[atm]일 경우와 같이 동일하게 2[mm]이지만, SF₆ d가 2, 3, 4로 상승됨에 따라 상응하는 I-Air의 d는 약 3배 이상의 d를 가질 때 신뢰성이 보장되는 것으로 사료된다.

또한 표 1에서 보는바와 같이 일정압력시 d에 따른 SF₆의 V_B에 상응되는 I-Air의 d를 도출하였다. 한편 일정 d일때 압력에 따른 SF₆의 V_B에 상응하는 I-Air의 압력을 산출하면, d=1일 경우 SF₆

2[atm]에 상응하는 I-Air의 압력은 7[atm]으로 나타났다. 이는 2[atm]이상의 SF₆를 사용하는 전력설비의 체적을 동일하게 할 때 I-Air의 압력을 대단히 높게 설계에 반영하여야 할 것이므로 전력설비에 응용은 큰 어려움이 따를 것으로 판단된다.

표 1. 일정압력시 d에 따른 SF₆의 V_B에 상응되는 I-Air의 d

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

* : 인공신경망에 의한 추정치

5. 결 론

본 논문은 SF₆와 제조공기의 절연특성을 구명하고, 제조공기를 배전급 전력기기에 사용가능성을 평가한 연구로 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. SF₆는 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압도 비례적으로 상승함을 확인하였으며, Paschen의 법칙에 의존한 결과를 얻었다.

나. 모의공기도 압력과 갭이 증가됨에 따라 절연파괴전압이 상승하였다. 하지만, 낮은 압력에서는 갭 증가에 따른 절연파괴전압이 포화됨에 따라 Paschen의 법칙을 벗어남을 확인하였으며, SF₆의 절연내력에 비하여 모의공기의 절연내력은 2.5배에서 3배정도로 절연내력이 현저히 떨어짐을 확인하였다.

다. SF₆ 1[atm]의 절연파괴전압에 상응하는 모의공기의 압력이 3[atm]정도인 것이 확인되었다. 한편 SF₆ 2[atm]일때 상응하는 모의공기의 압력이 7[atm]이상으로 크게 높게 되어 SF₆ 2[atm]이상의 전력설비의 절연재를 제조공기로 대체시는 모의공

기의 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 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] 김현숙, 김소윤, "미래를 준비하는 신경망 컴퓨터", 크라운출판사, 1994
- [5] 한학홍, "패턴인식개론", 한빛미디어, 2005
- [6] 오성권, "프로그래밍에 의한 컴퓨터 지능", 내하출판사, 2002
- [7] R.J.Meats : 3rd Int. Conf., "Gas Discharge", London, Sep, 1974
- [8] 이광식, 최은혁 외, "인공신경망을 이용한 방전전하량 추정에 관한 연구", 한국조명전기설비학회 추계 학술대회논문집, 2006.11
- [9] 이광식, 최은혁 외, "배전급 전력설비를 위한 제조공기의 절연성 평가" 한국조명전기설비학회 논문집 22-2-16, 2008.02