

제조공기를 이용한 봉전극의 형상 및 갭길이에 따른 절연파괴특성

(Breakdown Characteristics According to the Type & Gap of Rod-electrodes Using Imitation Air)

이정근* · 이수형 · 안인석 · 장준오**

(Jung-Keun Lee · Su-Hyoung Lee · In-Seok Ahn · Jun-Oh Jang)

Abstract

In this paper the experiments of breakdown characteristics of rod-electrodes by pressure and gap change of imitation-air were described. The results are fundamental data for electric insulation design of distribution power facilities which will be studied and developed in the future. And we could make an environment friendly gas insulation material with maintaining dielectric strength by imitation air which generates a lower lever of the global warming effect.

Key Words : Imitation Air, Breakdown Characteristics, SF₆ Gas

1. 서 론

SF₆ Gas는 송배전 전력설비의 대표적인 절연가스로 널리 사용되고 있으며, 무색, 무취, 무미의 기체로서 열적, 화학적 특성이 안정하며 내열성, 비연소성, 비부식성, 비폭발성과 강한 절연내력 특성 및 우수한 아크소호능력을 가지고 있고 절연파괴시 내압상승이 적은 특성을 가지고 있다[1].

하지만 SF₆ Gas는 저온 및 높은 압력에서 액화하기 쉬우며, 또한 적외선 흡수력이 크고 화학적 불활성 때문에 대기중 방출시 신속하게 제거되지 못하는 관계로 성층권 오존을 파괴하는 온실가스 물질로 알려져 있다[2].

SF₆는 안정된 열적·화학적 특성 및 우수한 절연성과 차단성으로 인하여 고전압 전력기기 내의 절연성과 차단성으로 인하여 고전압 전력기기 내의 절연매체·소호매체로써 주로 사용되어져 왔으며, 전력기기의 소형화 및 고신뢰화에 많은 기여를 해오고 있다. 전력설비에서 SF₆의 사용량을 줄이기 위해서는 SF₆의 회수량을 증가시키는 기술을 개발하거나, SF₆를 대체할 수 있는 친환경 물질을 개발하는 것이 고려될 수 있으며[3], 이에 대한 연구가 전 세계적으로 활발하게 진행되고 있다.

현재 및 장래에 있어 가스절연은 환경적으로 수용 가능하여야 한다. 따라서 지구온난화의 최상의 대책

* 주저자 : 위덕대학교 정보전자공학 박사수료
** 교신저자 : 위덕대학교 정보전자공학과 부교수
* Main author : Uiduk Univ. Dept. of Information and Electronics, Ph.D. Candidate
** Corresponding author : Uiduk Univ. Dept. of Information and Electronics, Associate Professor
Tel : 053-610-6515, Fax : 053-610-6513
E-mail : ljdkk@kopo.ac.kr
접수일자 : 2013년 3월 8일
1차심사 : 2013년 3월 13일
심사완료 : 2014년 1월 13일

은 SF₆ 가스의 배출을 방지하는 것이다.

이를 위한 가장 효율적인 방법은 SF₆ 가스를 전혀 사용하지 않는 것이다. 이와 같은 주장이 환경측면에서는 유효적이긴 하나 가까운 장래에 SF₆ 가스 사용을 배제한다는 것은 산업적 및 사회적 관점에서 실행하기 어렵다. 그러나 이와 같은 주장에 따라 대체가스에 대한 조사와 아울러 고전압절연용 대체기술에 대한 필요성이 증가되고 있다.

SF₆ 가스 대체용 기체절연체를 찾기란 표면적으로 보기보다 아주 어려운 문제이다. 왜냐하면 기체재료가 만족해야 할 기초적 및 실용적 요구조건이 많고 수많은 연구와 시험이 수반되어야 하기 때문이다.

2008년 3월, 한국전력 송변전기술팀에서는 25.8kV의 교류회로에 사용하는 옥내변전소용 친환경가스절연개폐장치(Environment-Friendly Gas Insulated Switchgear, EGIS)의 일반 구매규격을 제정하였으며, 여러 연구기관에서 제조공기, 건조공기, 질소, 혼합가스에 대한 연구가 진행되고 있는 것으로 알려져 있다 [4-5].

본 논문은 제조공기의 봉전극의 형태에 따른 절연과괴특성을 확인하여, 각종 전력응용 설비의 절연설계에 SF₆ Gas 대신 친환경적인 제조공기의 사용 가능성을 알아보았다[7].

따라서 본 연구에서는 전력설비에서 사용가능한 친환경적인 절연재료인 제조공기의 봉전극에 대한 기본적인 절연과괴특성을 확인하여 차후에 개발될 송배전 전력기기들의 연구개발에 관한 기초 자료로 활용되어 친환경 전력설비의 절연설계의 기초자료를 제공하고 자 한다.

2. 실험 장치 및 방법

사진 1은 본 연구에서 사용한 전원장치(JiangSu Leiyu High Voltage Equipment CO.Ltd)이다. 전원장치는 AC 400kV, 3A까지 인가 가능하다. 두께 20mm의 스테인레스로 제작하여 챔버는 내직경 250mm, 높이가 400mm로서 체적은 약 20ℓ이며, 5기압까지 가압이 가능하도록 설계·제작되었고, 100kV까지 인가 가능하다.

챔버 내부에 절연가스를 가압하기 전, 진공펌프를 챔버에 연결하여 내부압력을 5×10⁻⁴Torr로 배기시킬 수 있으며, 가압시 압력을 측정하기 위하여 압력계(WISE, 0~15기압)를 사용하였다.

사용된 전극은 표 1과 같이 봉전극을 이용하여 봉대 평판전극에서 전극사이의 갭변화(1~15mm)에 따른 제조공기의 절연과괴전압을 실험하였다.

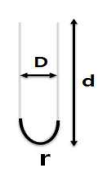
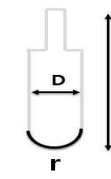
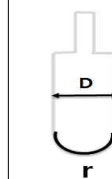
실험에 사용된 제조공기는 순도 99.9999%의 산소와 질소를 혼합되어 제조된 것을 사용하였다.

실험챔버에 제조공기의 압력별 AC전압을 인가하여 절연과괴전압을 5회 측정하여 최대-최소치와 그 평균값을 평균연면방전전압(V_B)으로 측정하여 표시하였다. 또한 인가한 전원의 전압상승 속도는 3kV/s로 하였다. 연면방전 측정방법은 리더방전에 의한 초기방전전압을 이용하였다[6].



사진 1. 전원장치
Photo 1. Power Supply

표 1. 전극 모양
Table 1. Feature of electrode

구분	봉전극		
형태			
특징	D=5mm r=6.3mm d=60mm	D=9mm r=9.4mm d=70mm	D=18mm r=15mm d=70mm

3. 실험 결과 및 고찰

SF₆ 가스 대체 절연물질로 연구되고 있는 제조공기를 이용하여 봉전극의 형상별로 압력에 따른 V_B을 측정하여 분석하였다.

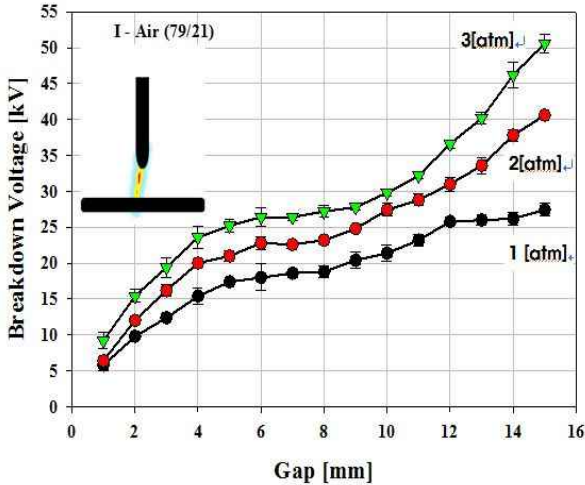


그림 1. 봉전극의 절연파괴전압(D=5mm)
Fig. 1. Breakdown voltage of Rod-electrode

그림 1은 지름이 5mm인 봉전극 대 평판전극의 압력별 갭길이 변화에 대한 V_s를 측정된 그래프이다.

전극간거리가 작은 1mm에서는 직각전극과 같은 절연특성을 보이고 있으며 6mm에서 10mm 구간에서는 포화하는 형태를 보이다가 갭 길이가 증대됨에 따라 불평등성이 강하게 나타남을 그래프에서 확인하였다.

그림 2는 지름이 9mm인 봉전극 대 평판전극의 압력별 갭길이 변화에 대한 V_s를 측정된 그래프이다.

지름이 증가함에 따라 전계의 평등성이 강하게 나타나 그림 1과 달리 갭간 압력별 V_s가 비례하여 상승함을 알 수 있다. 또한 그림 2에서 압력이 높을수록 갭의 상승에 따른 V_s가 비례하여 상승하였다.

그림 3는 지름이 18mm인 봉전극 대 평판전극의 압력별 갭길이 변화에 대한 V_s를 나타낸 그림이다. 그림 2에서 확인한 것과 같이 지름이 상승함에 따라 평등성이 강해져 갭상승에 따른 V_s가 비례적으로 상승함 확인하였으며, 2atm과 3atm에서는 다른 봉전극과 달리

제조공기의 압력보다 전계의 평등성이 강해져 거의 일정하게 나타났다.

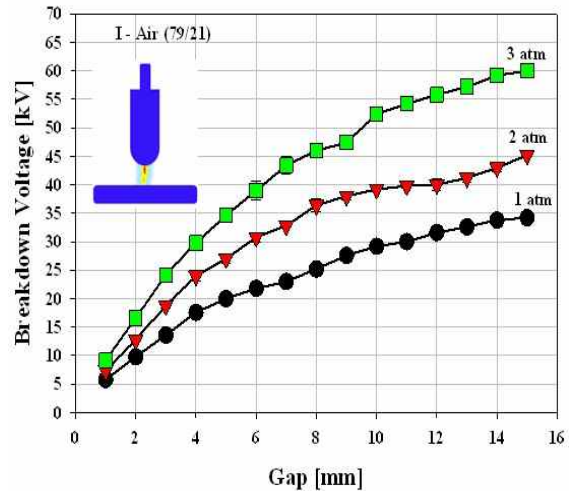


그림 2. 봉전극의 절연파괴전압(D=9mm)
Fig. 2. Breakdown voltage of Rod-electrode

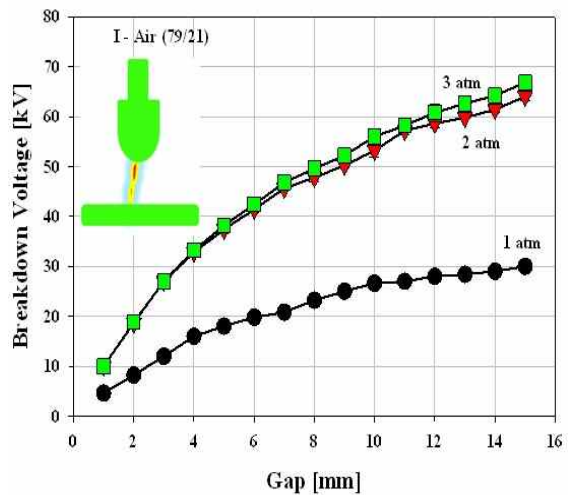


그림 3. 봉전극의 절연파괴전압(D=18mm)
Fig. 3. Breakdown voltage of Rod-electrode

봉전극 D=9, 18mm의 압력별 갭길이 변화에 따른 절연파괴전압에 대한 실험식이 아래와 같이 표현됨을 확인하였다. 표 2는 지금에 따른 식의 상수 a, b의 값을 나타내고 있다.

$$V_B = y + ax^b [kV]$$

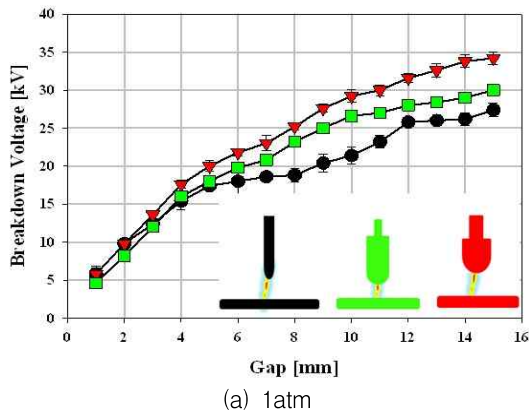
표 2. Vs식의 상수
Table 2. Constant of VS equation

(a) D=9mm 봉전극

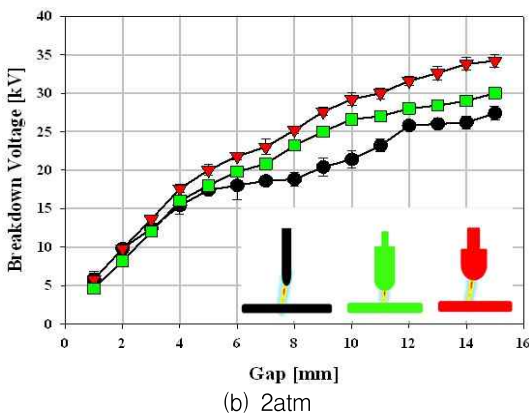
압력	상수			오차
	y	a	b	
1 atm	-30.6552	34.4535	0.2123	0.73%
2 atm	-47.3829	56.6119	0.2504	0.95%
3 atm	-40.7252	49.8791	0.2845	1.02%

(b) D=18mm 봉전극

압력	상수			오차
	y	a	b	
1 atm	-14.5503	19.8402	0.3372	0.82%
2 atm	-79.9334	85.95	0.1381	1.3%
3 atm	-40.9235	48.8256	0.2736	1.3%



(a) 1atm



(b) 2atm

그림 4. 봉전극의 절연과괴전압
Fig. 4. Breakdown voltage of Rod-electrode

그림 4는 1, 2atm일 때 봉전극의 지름에 따른 Vs에 대하여 도식하였다. 곡률이 클수록 압력이 높을수록 평등성이 강하게 나타남을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 논문에서는 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 다양한 절연매질 중에서 친환경적인 절연가스로 주목받고 있는 제조공기의 절연과괴특성을 봉전극을 이용하여 측정/분석하였다.

압력과 전극의 갭이 증대됨에 따라 포화하게 되는 것은 d가 증대 되어 갈수록 그 불평등성이 증대되어 Paschen 법칙을 벗어나는 것으로 해석 할 수 있다.

또한 봉전극의 지름의 크기에 따라 절연과괴 장소가 변화됨을 확인하였으며 봉전극의 경우 단갭에서 전계형상에 의한 절연과괴현상을 확인하였으며 갭길이 증가함에 따라 불평등성이 강하게 나타남을 확인하였다.

일반적으로 알려진 것처럼 SF₆에 대하여 I-Air의 절연과괴 전압은 평균 49%, 최대 65%의 연면절연과괴 전계강도를 보이고 있으며[5], 그 재료를 자연에서 충분히 얻을 수 있고 친환경적이라는 큰 이점이 있다. 제조공기를 절연가스로 사용하는 전력설비의 절연설계시 본 논문의 내용이 절연설계의 기초자료로 사용될 것이 기대된다.

References

- [1] L.G. Christophorou, J.K. Olthoff and R.J. Van Brunt, "Sulfur Hexafluoride and the Electric Power Industry", IEEE Electrical Insulation Magazine, Vol. 13, No. 5, pp. 20-24, September/October, 1997.
- [2] L.G. Christophorou and R.J. Van Brunt, "SF₆/N₂ Mixtures Basic and HV Insulation Properties", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.2, No.5, pp.952-1003, October 1995.
- [3] Toshiaki Rokunhe, Yoshitaka Yagihashi, Kenji Aoyagi, Takashi Oomori and Rumihiro endo, "Development of SF₆-Free 72.5 kV GIS", IEEE Trans. on Power Delivery, Vol.22, No.3, pp.1869-1876, July 2007.
- [4] Masayuki Hikita, Shinya Phtsuka, Shigemitsu Okabe and Shuhei Kaneko "Insulation Characteristics of Gas Mixtures including Perfluorocarbon Gas", IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol.15, No.4, pp.1015-1022, August 2008.

- [5] Eun-Hyeok Choi, Bon-Ho Koo, Lee-Kook Kim, Kwang-Sik Lee, "Assess of Breakdown Characteristics about Environmentally Friendly Gases", Journal of KIEE, Vol. 23, No. 5, pp. 96-100, 2009.
- [6] He-Rie Park, Eun-Hyeok Choi, Lee-Kook Kim, Kwang-Sik Lee, "Surface Discharge Characteristics for Epoxy Resin in Dry-Air with Variations of Electrode Features and Epoxy Resin Size", Journal of KIEE, Vol. 23, No. 2, pp. 154-160, 2009.
- [7] Ki-Son Han, Jin-Yul Yoon, Hyung-Jun Ju, "Breakdown Characteristics of Dry Air under 170kV GIB", Vol. 24, No. 10, pp. 136-142, 2010.

◇ 저자소개 ◇



이정근(李正根)

1971년 5월 15일생. 1999년 경일대학교 제어계측공학과 졸업. 2005년 경상대학교 교육대학원 전기전자통신교육 졸업(석사). 2010년~현재 위덕대학교 대학원 정보전자공학과(박사재학중). 2000년~현재 한국폴리텍대학 달성캠퍼스 근무.

Tel : (053)610-6515
E-mail : ljkllk@kopo.ac.kr



이수형(李秀滢)

1971년 8월 14일생. 1994년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1996년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 2001년 동대학원 전자공학과 졸업(박사). 2005년~현재 위덕대학교 정보전자공학과 부교수.

Tel : (054)760-1664

E-mail : soohyong@uu.ac.kr



안인석(安寅錫)

1964년 7월 5일생. 1987년 연세대학교 전기공학과 졸업. 1989년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1989~1999년 삼성전자(주) 생산기술연구소 선임연구원. 1999년~현재 위덕대학교 에너지전기

공학부 부교수.

Tel : (054)760-1623

E-mail : isahn@uu.ac.kr



장준오(張俊五)

1965년 11월 9일생. 1988년 경북대학교 전자공학과 졸업. 1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(박사). 1999년~현재 위덕대학교 정보전자공학과 부교수.

Tel : (054)760-1624

E-mail : jojang@uu.ac.kr