

온도변화에 따른 절연매질별 연면방전특성

최은혁, 박혜리, 박승규, 임창호, 이광식
영남대학교*

Breakdown Characteristics of Surface Discharge according to the Temperature Variation

Eun-Hyeok Choi, He-Rie Park, Sung-Gyu Park, Chang-Ho Lim, Kwang-Sik Lee
Yeungnam University

Abstract - 현재 SF₆ 가스를 사용하는 각국 정부 및 환경단체, 전기, 화학 그리고 타 산업분야에서 SF₆ 가스의 환경영향에 관심을 표명하고 있으며, 그 중에서도 전력산업분야는 SF₆의 가스 대체 물질을 찾는 데 많은 연구를 하고 있다. 이에 건조공기, N₂ 가스 및 혼합가스(N₂:O₂)에 대하여 많은 연구로 SF₆를 사용하는 전력설비를 친환경절연체인 건조공기로 대체하여 배전급에 운용되고 있다. 따라서 본 논문에서는 현재 배전급에 친환경절연체로 사용되고 있는 Dry-Air에 대하여 SF₆와의 연면방전 특성 비교하여 고체절연물의 절연성 평가를 하였다.

1. 서 론

현대사회가 첨단과학의 이기를 갈망함에 따라 현재보다 더 많은 전력 에너지를 필요함과 동시에 도시의 공간 활용의 효율성 측면에서 전력기기의 소형화 및 고 신뢰화가 시도되고 있다. 또한, SF₆ 가스 적용 변전기는 공급범위가 확대되어, 혹은 지역에 설치가 되고 있는데, 이 경우 온도 저하에 따라 액화현상으로 절연특성의 큰 변화를 가져오므로서 오동작 현상이 큰 문제점으로 지적되고 있다.

또한, SF₆ 가스의 온난화 계수가 이산화탄소의 23,000배로 대기 중으로 방출될 경우에 온실효과 문제를 야기 시켜 세계적으로 “Kyoto Protocol”에 의해 규제를 가하고 있는 실정이다. 하지만 현실적으로 SF₆ 가스를 대체할 수 있는 물질은 없는 상태에서 SF₆의 전력기기의 소형화, SF₆의 안전성을 확보가 절실히 요구되고 있다.

본 연구에서는 이종의 절연가스하에서 절연물에 따른 연면절연과괴현상과 온도변화에 따른 연면절연과괴현상을 究明하였다. 이에 본 논문의 결과를 바탕으로 현재 개발 및 운용중인 친환경절연체를 이용한 전력설비의 연면절연설계의 기초자료로 활용이 가능할 것이다.

2. 실험장치 및 방법

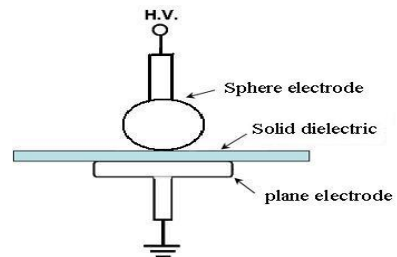
본 실험에 사용된 모의용 챔버는 내·외부 2중 구조로 스테인레스로 만들어졌으며 챔버 내부에 배치된 전극을 관측할 수 있도록 원통형 아크릴 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 설치되어져 있다. 그리고, 절연체들의 절연진단을 위하여 300[kV]까지 고전압을 인가 할 수 있도록 절연설계가 되어 있다.



(a) 모의 GIS 챔버 (b) AC 전원장치
〈사진 1〉 실험용 모의 GIS 챔버, AC 300[kV] 전원장치

실험용 챔버의 압력을 측정하기 위하여 압력계(WISE, 0~15기압)가 설치되어 있고 실험에서 사용하게 되는 최대가압 압력(1~6[atm])을 위하여 안전상 10기압까지 가압 가능하다.

실험에 사용한 AC 전원공급장치는 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였고, 5×10^{-4} [Torr]까지 진공을 유지할 수 있는 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GVD-050A, pumping speed 60ℓ/min)를 사용하여 진공상태를 유지하였다. 전극은 스테인리스 스틸로 제작된 Sphere-Plane (구직경 41[mm], 평판직경 59[mm]) 전극을 그림 1처럼 수직배치하여 실험 하였고 고체절연물은 지름 100[mm], 두께 3[mm]의 Teflon, PC, PE, Bakelite를 사용하였다.

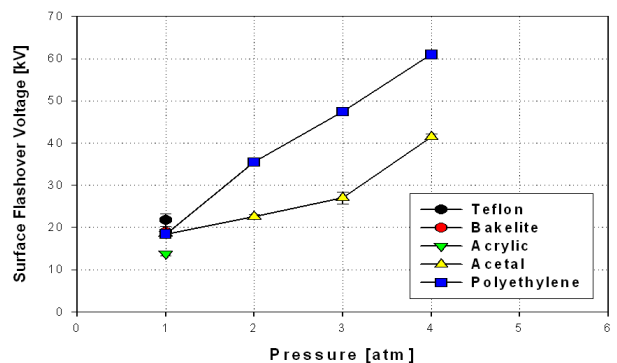


〈그림 1〉 고체절연물과 전극의 배치

실험은 모의 챔버 내부에 전극을 S-P 형태로 배치시킨 후, 전극사이에 고체절연물을 배치하였다. 챔버 내부와 가스-챔버 연결호스의 내부를 동시에 진공으로 배기시킨 후 이종절연가스를 1~6[atm]까지 챔버에 주입하고 AC 교류전압을 인가하여 고체절연물과 압력에 따른 연면절연과괴전압(V_S)과 방전이 발생했을 때, 관측창으로 보이는 발광과 고체절연물 표면위로 진전하는 방전로를 육안으로 관찰하여 그 특성을 분석하였다. 또한 절연가스의 온도변화에 변화에 따른 연면방전특성을 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

연면방전은 삼중점(triple junction: 절연가스, 전극, 고체절연물)에서의 전자방출에 의해 개시되기 때문에, 만일 전극과 고체절연물이 같은 조건이라면, 절연가스가 방전에 있어 가장 큰 영향을 미친다. 그림 2는 이종 고체절연물의 연면방전특성을 나타낸 그림으로 테프론, 아세탈, 베이클라이트의 경우 SF₆ 1[atm]에서 시료가 관통하였으며, 폴리에틸렌과 아세탈은 4[atm]에서 시료가 관통되었다.



〈그림 2〉 이종 고체절연물에 대한 연면방전특성

표 1은 이종 고체절연물의 시료 관통전압(V_p)과 관통전 연면방전개시 전압(V_{sc}), 연면섬락과피전압(V_s)을 보여주고 있다. 표 1과 같이 1[atm]에서는 테프론이 가장 높은 V_{sc} 을 가짐을 확인하였으며, 압력이 상승함에 따라 폴리에틸렌과 아세탈의 V_c 가 평균 1.6[kV/atm], 1.3[kV/atm]으로 증가하였다.

〈표 1〉 이종고체절연물의 관통시 V_{sc} 과 V_p

고체절연물	압력[atm]	V_{sc} [kV]	V_p [kV]
테 프 론	1	20 ~ 23	25 ~ 26
아 크 린	1	19	21
폴리에틸렌	4	60 ~ 62	70
아 세 탈	4	41 ~ 42	45 ~ 48
베이클라이트	1	13 ~ 14	18 ~ 19

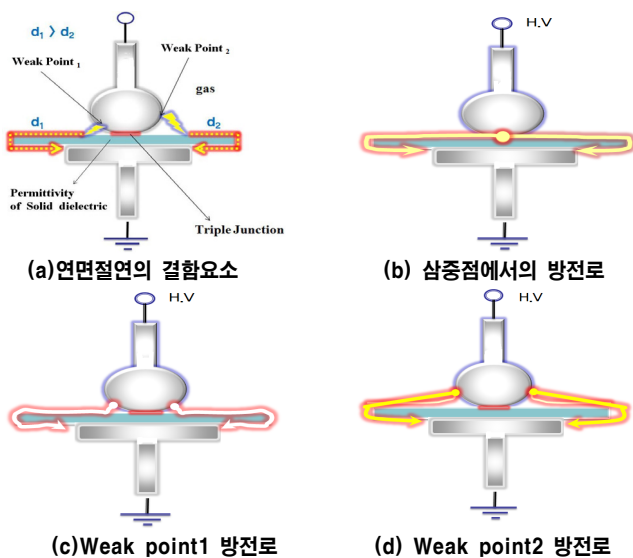
SF₆와 친환경절연체로 연구 및 배전급 전력설비에 적용되어 운용중인 건조공기에서 압력별 V_{sc} 와 V_s 특성을 비교하면, 그림과 같이 SF₆의 경우가 건조공기에 비하여 약 1.5배정도의 연면절연특성이 우수한 것을 확인하였다.

건조공기를 절연가스로 사용할 때, 표 2은 고체절연물과 압력에 따른 V_s 와 압력별 연면방전이 개시되는 지점을 나타내고 있고, 그림 3-(a)는 전극과 고체절연물의 배치에 의해 연면절연과피에 영향을 미치는 요소를, 그림 3-(b~d)는 부분방전의 시작점에 따른 방전로의 형태를 나타내고 있다.

표 2에서 V_s 는 압력이 상승함에 따라 증가하는 경향을 보이며, 고체절연물의 종류에서는 Bakelite를 제외하면 큰 차이가 나타나지 않는다.

〈표 2〉 고체절연물과 압력에 의한 V_s 와 방전개시지점

압력[atm]	Teflon		PE		PC		Bakelite	
	V_s [kV]	방전개시	V_s [kV]	방전개시	V_s [kV]	방전개시	V_s [kV]	방전개시
1	38	W ₂	39	W ₂	37	W ₂	28	W ₂
2	40	W ₂	40	W ₁	40	W ₁	31	W ₁
3	42	W ₁	41	W ₁	40	삼중점	32	삼중점
4	43	삼중점	43	삼중점	41	삼중점	33	삼중점
5	44	삼중점	44	삼중점	41	삼중점	35	삼중점
6	45	삼중점	45	삼중점	42	삼중점	38	삼중점



〈그림 3〉 연면절연과피 요소와 방전로

PC는 압력에 따른 V_s 의 변화폭이 가장 적은 것을 확인 하였다. 또, 압

력 변화로 인해 방전개시 지점이 삼중점에서 전극으로 되면 V_s 는 더욱 더 감소한다. 방전개시 지점의 변화로 인한 V_s 의 변화는 가스의 압력과 고체절연물의 유전율에 의한 것으로 해석 할 수 있다.

연면방전에서 전극과 고체절연물이 결정되면 연면절연내력에 가장 큰 영향을 미치는 것은 가스의 절연내력인데 압력의 상승은 N₂:O₂ 혼합가스로 이루어지는 건조공기의 절연내력 상승을 유도하며, 삼중점의 전계는 매우 높아 방전이 시작되는 지점으로 알려져 있다. 일반적으로 복합 절연이 구성 되었을 때, 유전율과 절연내력이 낮은 기체가 먼저 절연이 파괴 되지만, 압력상승에 의해 가스의 절연내력이 강화될수록 고전계로 구성된 삼중점에서 방전이 개시될 확률이 높아져 표 2과 같이 압력이 높을수록 방전로는 삼중점에서 형성되는 것으로 생각된다.

또한 온도저하에 따라 SF₆의 연면절연과피특성은 아래 사진 2와 같이 그림 3의 Weak point2와 같이 방전로가 형성되어 구의 표면을 따라 삼중점을 지나 고체절연물의 연면으로 도전로가 형성하는 것을 확인하였다. 이에 온도가 저하됨에 따라 Weak point가 구의 상승부로 이동되어 연면방전로가 길어져 연면절연과피전압도 약간 상승함을 확인할 수 있었다.



〈사진 2〉 온도저하에 따른 SF₆의 Weak point

3. 결 론

본 논문은 AC 고전압을 사용하여 각종 매질 (SF₆, 건조공기) 중의 고체절연물에 관한 연면방전특성에 관한 연구를 수행하여 SF₆을 대체할 친환경적인 기체에 관한 평가를 한 논문이다. 고체절연물에 따른 절연특성을 보면 연면절연과피전압은 각각의 고체절연물에 따른 연면절연과피특성은 기압 변화에 따라 선형적으로 증가를 보여주고 있다. 각 기압에 따른 연면절연과피특성은 폴리에틸렌, 테프론, 베이클라이트 순으로 나타남을 확인하였다. 특히 폴리에틸렌과 테프론에서는 기압 변화에 따른 VS 상승률이 테프론이 크게 나타났으며, 이러한 현상으로 6[atm] 이상에서는 폴리에틸렌 보다 우수한 연면절연특성을 가지고 있다. 건조공기는 친환경 절연체인 건조공기 보다 약 0.9배 정도의 절연특성을 가지고 있어서 절연내력은 다소 낮지만, 건조공기는 대기의 공기를 매개로 하여 만들 수 있다는 경제적인 측면에 있어 큰 이점이 있다. 본 논문을 기초로 하여 건조공기를 절연가스로 사용하여 운용중인 배전급의 전력설비와 향후 개발 될 친환경절연체를 이용한 송전급 전력설비의 절연물의 연면특성을 고려하여 설계에 반영시 친환경 전력설비를 개발 운용할 수 있을 것이라 기대된다

〔참 고 문 헌〕

- [1] 최은혁, 이상호, 박승규, 박광서, 김이국, 박원주, 이광식 "절연체에 따른 연면절연성 평가", 한국조명·전기설비학회 2010 춘계학술대회 논문집, pp306~307, 2010.5.
- [2] 최은혁, 구분호, 김이국, 이광식 "친환경절연체의 절연성 평가", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.23, No.5, pp96~100, 2009.5
- [3] Nicholas M. Jordan, et.al., "Electric field and electron orbits near a triple point", American Institute of Physics, journal of applied physics 102, 2007
- [4] Katsumi Kato, et.al., "Application of Functionally Graded Material for Solid Insulator in Gaseous Insulation System", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 13, No. 1, pp362~372 February 2006.
- [5] K.S. Lee, "Surface discharge Characteristics for epoxy resin in Dry-Air with different electrode features", KIIEE Autumn Annual Conf., pp.253-255, October 2008.