

친환경 절연가스에 따른 연면절연파괴특성 비교

임동영, 최영길*, 최상태**, 박원주, 이광식
 영남대, 한국전기연구소*, 경주대**

Comparison of Surface dielectric breakdown characteristic by N₂:O₂ Mixture gas

Dong-Young Lim, Young-Kil Choi*, Sang-Tae Choi**, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee
 Yeungnam University, Korea Electrotechnology Research Institute*, Gyeongju University**

Abstract - 본 논문은 절연성 악화의 원인이 되는 연면방전에 착안하여 고체절연물의 종류, 크기에 따른 연면방전특성을 친환경 가스중에서 연구하였다. 위의 조건들은 모두 연면절연파괴전압 변화에 영향을 주었으며, 그 중 고체절연물의 크기가 연면절연파괴전압 차이에 가장 큰 영향을 주었다. 그리고 고체절연물 크기의 변화로 연면방전을 촉진 시키는 약점이 존재 하였고, 그 약점에 대한 대책이 강구되어야 한다. 이러한 연구의 결과는 차후, 친환경 절연체를 활용한 절연설계에 유용한 자료가 될 것이다.

실험하였다. 전압상승속도는 3.15[kV/Sec]로 설정하여 인가하였다.

1. 서 론

산업발달과 대용량 에너지 발생을 위하여 사용된 화석연료에 의한 CO₂가 온실효과를 초래한다는 논문이 1896년에 발표된 이래로 현재까지 100년 넘게 다분야에서 환경을 배려한 친환경적 기술들이 시대적 흐름으로 요구되고 있는 실정이다.

전력산업에서도 이러한 시대적 요구에 대응하는 움직임을 활발하게 보이고 있으며, 그 중 대표적인 것이 SF₆ 가스를 대체하는 친환경 절연체 개발에 관한 연구이다. SF₆ 가스는 교토의정서에서 온실가스로 지정되면서 사용 감축이 요구된 절연성 기체로 온실효과가 CO₂의 23,900배이다.

SF₆ 가스를 대체하고자 하는 연구와 시도로 N₂, O₂ 혼합가스와 Dry-air가 배전급에서 대체 가능함을 확인 하였고[1], SF₆ 가스, 친환경 가스의 절연내력까지 비교, 검토 되었다.[2] 하지만 전력설비의 절연설계 시 구조상 친환경 가스 중에서 복합절연이 구성될 때, 절연내력을 약화시키고 매질의 경계면을 따라 진전되는 연면방전특성은 그 연구가 다소 미흡한 실정이다. 그리고 전극, 기체, 고체절연물이 만나서 형성 되며 연면방전이 시작되는 고전계의 영역인 삼중점 효과와 그 지역의 전계를 완화 시키기 위한 연구도 절실히 필요하다.

이에 본 논문은 연면방전을 용이하게 유도할 수 있는 구대평판전극의 수직형 전극배치와 Teflon, Polyethylene(PE), Polycarbonate(PC), Bakelite의 고체절연물을 이용하여 친환경 가스인 N₂ 가스, MA₁ 가스(N₂:O₂ 8:2), Dry-air중에서 연면방전특성을 연구 하였다,

2. 실험장치 및 방법

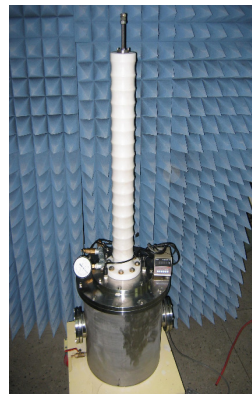
본 실험에 사용된 모의용 챔버는 내·외부 2중 구조로 스테인레스로 만들어졌으며 온도변화에 따른 절연특성을 연구하기 위해 챔버 내부온도를 측정 할 수 있도록 온도센서가 설치되어 있다. 챔버 내부에 배치된 전극을 관측할 수 있도록 원통형 아크릴 관측창(직경 110[mm], 두께 20[mm])이 설치되어 있으며, 실험용 챔버의 압력을 측정하기 위하여 압력계(WISE, 0~15기압)가 설치되어 있다.

압력변화(1~6[atm])를 위하여 안전상 10기압까지 가압 가능하며 높은 고전압에 대한 절연진단이 가능하도록 300[kV]까지 고전압을 인가 할 수 있도록 절연설계가 되어 있다.

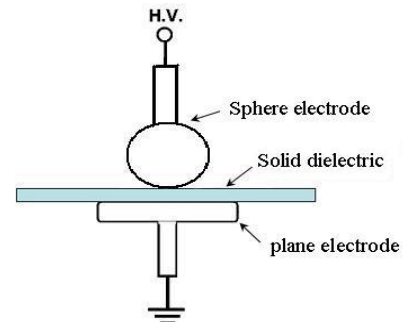
실험에 사용한 AC전원공급장치는 DY-106 (AC 300[kV] / 120[mA])을 사용하였고 5×10⁻⁴[Torr]까지 진공을 유지할 수 있는 진공펌프(SINKU KIKO Co.Ltd, GVD-050A, pumping speed 60 l/min)를 사용하여 진공상태를 유지하였다.

전극은 스테인리스 스틸로 제작된 Sphere-Plane (상부S, 하부P ; S-P, 구직경 41[mm], 평판직경 59[mm]) 전극을 수직배치하여 사용하였다. 연면방전을 위해 설치한 고체절연물은 지름 70[mm], 100[mm] 두께 1[mm], 3[mm]의 Teflon, PE, PC, Bakelite를 사용하였다.

실험방법은 전극(S-P)을 수직배치 후 평판전극위에 고체절연물을 설치하였다. 챔버내부를 진공5×10⁻⁴[Torr]로 배기시키고 친환경 가스를 주입하여 압력과 고체절연물의 종류, 지름, 두께의 변화 따른 연면절연파괴전압(V_S)을 측정하였다. V_S는 5회 측정하여 평균값을 실험메이터로 활용 하였고, 실험이 끝나면 고체절연물을 교체 후 같은 방법으로 반복



<사진 1> 실험용 모의 챔버와 AC 전원장치



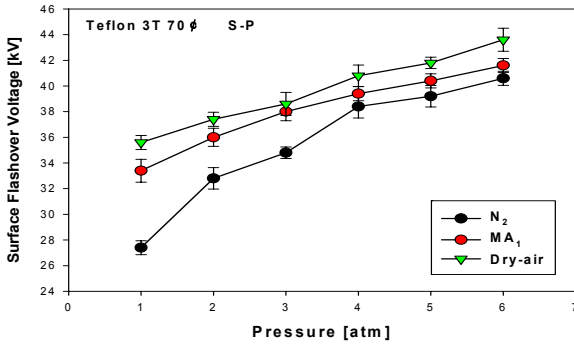
<그림 1> Sphere-Plane 전극의 배치

3. 실험결과 및 고찰

3.1 친환경 가스별 연면방전특성

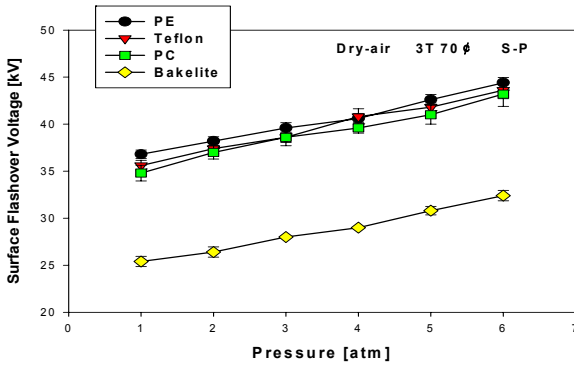
그림 1은 S-P 전극배치에서 두께 3[mm], 지름 70[mm] 크기의 Teflon을 사용하여 친환경 가스별 연면방전특성을 나타낸 그림이다. 이전에 연구된 결과처럼[2] 순수 N₂ 가스보다 전기적 부성기체의 영향을 가지는 N₂:O₂ 8:2의 혼합가스(MA₁)가 연면절연파괴전압(V_S)이 더 높은 결과로 나타났으며, 공기 중 수분을 제거한 Dry-air 보다는 V_S가 낮은 것을 확인 하였다. Dry-air는 압력 상승에 따라 평균적으로 N₂ 가스 보다는 12.5[%], MA₁ 가스 보다는 4[%] 더 높은 결과를 보였다.

Dry-air와 MA₁ 가스는 파센의 법칙을 벗어나지 않고 압력에 따라 선형적으로 상승하였고 반면에, N₂ 가스의 경우에는 압력별 상승률이 가장 크지만 압력이 상승 할수록 증가율이 포화하는 경향을 보이므로 압력 상승으로 인한 연면절연성의 강화에는 한계가 있음을 보여주고 있다. V_S가 낮은 N₂ 가스는 SF₆ 가스를 대체하기 위해 수십년간 연구된 대체 매질로 친환경 가스를 이용한 절연설계에 필요한 실험적, 이론적 데이터가 많아 실제적용, 응용 측면에서 유리한 위치에 있다고 생각 된다.



〈그림 1〉 친환경 가스별 연면방전특성

3.2 고체절연물별 연면방전특성



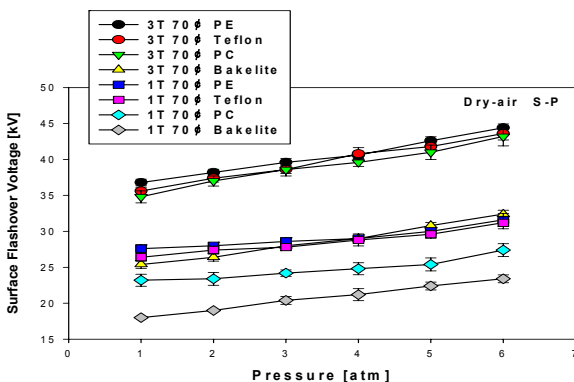
〈그림 2〉 Dry-Air 중 고체절연물에 따른 연면방전특성

그림 2는 3.1항에서 가장 높은 V_S 를 가진 Dry-air에서 두께 3[mm], 지름 70[mm]를 가지는 고체절연물의 종류별 연면방전특성을 나타낸 그림이다. 압력에 따라 모두 V_S 가 선형적으로 상승하였고, 사용된 고체절연물 중 일반적인 전기적 특성(체적저항, 내아크성, 유전율)이 가장 좋지 않은 Bakelite가 가장 낮은 V_S 를 보였다. Teflon, PE, PC는 전기적 특성이 다르지만 V_S 의 차이는 크지 않음을 알 수 있다. 이는 전기적 특성이 V_S 에 미치는 영향이 적다는 것과, 삼중점에서 매질효과의 영향이 있음을 의미하고 있다.

V_S 의 상승률을 압력에 따른 평균 상승률 / 전체 상승률[%]로 표현하면 PE-3.83/20.65[%], Teflon-4.15/22.47[%], PC-4.43/24.14[%], Bakelite-5/27.76[%]로 Bakelite가 높고 PE가 가장 낮다. 상승률이 낮은 것은 반복 측정에 의한 고체절연물의 열화로 인한 것으로 판단되며, 그 영향은 PE가 가장 민감함을 알 수 있다.

압력에 따른 V_S 의 상승률의 차이와 열화의 영향으로 인해 본 실험조건보다 더 높은 압력에서는 Teflon이 PE 보다 더 큰 V_S 가 나타날 것으로 생각된다.

3.3 친환경 가스 중 고체절연물 크기에 따른 연면방전특성

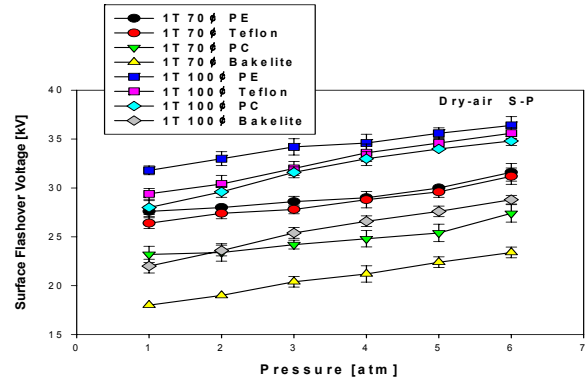


〈그림 3〉 고체절연물을 두께에 따른 연면방전특성

그림 3은 Dry-air 중 고체절연물의 종류와 두께에 따라 V_S 를 나타낸 그림이다. 고체절연물의 두께를 달리하여도 고체절연물 종류별 V_S 는 3.2

항의 특성과 동일한 결과를 보이고 있다.

고체절연물의 두께의 증가는 V_S 가 상승하는 결과로 나타났으며 고체절연물별 증가율은 PE-38[%], Teflon-39[%], PC-57.73[%], Bakelite-39[%]로 확인 되었다. 두께효과는 고체절연물에 따라 평균적으로 연면절연성을 1.4배, 두께효과가 가장 심한 PC의 경우는 1.5배 강화 시킬 수 있다. 하지만 두께의 증가는 연면길이와 V_S 의 증가율을 고려해볼 때 연면방전 전계강도가 높아지는 결과를 초래하여 삼중점에서의 고전계를 유도하는 결과가 되므로 삼중점에서 진전되는 연면방전을 억제하는 대책이 요구 되어진다.



〈그림 4〉 고체절연물 지름에 따른 연면방전특성

그림 4는 고체절연물의 지름을 증가시켰을 때 V_S 의 변화를 나타낸 그림이다. 두께효과처럼 지름의 증가도 V_S 가 상승됨을 확인 하였다. 지름에 따른 V_S 증가율은 PE-18[%], Teflon-14[%], PC-29[%], Bakelite-24[%]로 지름효과도 PC의 경우가 가장 높았다. 지름을 증가시키면 고체절연물의 면적이 넓어지므로 불순물과 같은 오염물에 고체절연물 표면이 오염, 손상될 확률이 증가하여 관통과피를 일으킬 수도 있다. 두께효과와 지름효과를 비교하면 두께효과가 더 좋은 연면절연성을 가지게 된다.

두께, 지름의 효과 모두 V_S 의 상승으로 연면절연성을 강화 시키지만 그에 따른 약점을 드러내는 양면성을 보이고 있다. 따라서 연면절연설계에는 위와 같은 양면성을 염두에 두고 많은 연구와 실험, 실제 적용을 위한 수많은 테스트를 수반하여 약점에 대한 대책을 강구해야만 한다.

4. 결 론

본 논문은 순수 N_2 가스, $N_2:O_2$ 8:2 비율의 혼합가스, Dry-air 중에서 고체절연물(Teflon, Polyethylene, Polycarbonate, Bakelite)에 따른 연면방전특성을 연구하였다. 연면절연과피전압을 상승시키는 요인으로 고체절연물의 전기적 특성, 친환경 가스의 종류, 고체절연물의 크기가 있음을 확인 하였다.

고체절연물의 전기적 특성은 Bakelite를 제외하면 연면절연과피전압 상승에 미비한 효과가 있었으며, 친환경 가스 중에서는 Dry-air가 가장 높은 결과를 보였다. 그리고 고체절연물의 크기에서 지름과 두께 증가에 따라 모두 연면절연과피전압이 상승되는 효과를 가져왔지만 지름, 두께가 증가함에 따라 삼중점의 고전계 유도, 관통과피의 약점이 있음을 알 수 있었다.

이러한 연구의 결과들은 GIS내에 스페이스 재료, 친환경 가스 대체 시 연면절연성 설계에 유용한 자료가 될 것으로 생각된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이광식 외, "배전급 전력설비를 위한 제조공기의 절연성 평가", 한국조명·전기설비학회 논문지, Vol.22, No.2, pp.114-119, 2008.
- [2] 박혜리, "이종(異種) 매질 중 고체절연물의 연면방전 특성", 영남대학교 석사학위논문, 2008.02.
- [3] Eun-Hyeok Choi et al, "Surface Discharge Characteristics in Different Media", 2009 Korea-Japan Joint Symposium on ED & HVE, pp120-125, 2009.
- [4] OSAMU YAMAMOTO and TADASU TAKUMA, "Influence of Electric Field at Cathode Triple Junction on Flashover Characteristics in Vacuum", Electrical Engineering in Japan, Vol. 131, No.3, January 2000, pp 1-8.