

## 친환경 절연가스 중 연면절연성 향상을 위한 고체유전체의 유전율과 지름에 따른 연면방전특성 연구

(A Study on the Surface Discharge Characteristics by Dielectric Constant and Diameter of Solid Dielectrics to Improve Surface Dielectric Strength in Eco-Friendly Insulation Gas)

임동영\* · 민경준 · 박혜리 · 최은혁 · 최상태 · 박원주 · 이광식\*\*

(Dong-Young Lim · Gyeong-Jun Min · He-Rie Park · Eun-Hyeok Choi · Sang-Tae Choi · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee)

### Abstract

This paper studied surface discharge characteristics by a dielectric constant and diameter of solid dielectrics in  $N_2/O_2$  mixture gas. Applied electric field strength at  $N_2/O_2$  mixture gas was changed from the dielectric constant and diameter of the solid dielectrics, and insulation performance of the  $N_2/O_2$  mixture gas determined surface discharge voltage. In each of the diameter at the solid dielectrics, the surface discharge voltage was increased by lengthening surface distance, whereas increasing rate of the surface discharge voltage was different from gas pressure. Thus, In this paper, main factors of surface discharge are as follows. 1) Insulation performance of  $N_2/O_2$  mixture gas, 2) Dielectric constant of solid dielectrics, 3) Surface discharge path. It was clear that the surface discharge voltage depend on the main factors. These results will be applied to useful data for an eco-friendly composite insulation design.

Key Words : Surface Discharge, Solid Dielectric, Dielectric Constant,  $N_2/O_2$  Mixture Gas, Medium Effect

### 1. 서 론

전력산업에서 고전압 전력설비에 사용하는  $SF_6$  가스의 사용이 규제되면서 친환경 절연매질의 개발을 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근 저자들은 친환경 가스( $N_2/O_2$  혼합가스, 건조공기)를 절연매질로 하여 그 절연특성과 연면방전특성을 연구한바 있다 [1-2]. 또한 친환경 가스 중 고체유전체 종류에 따른 연면방전특성이 연구되어졌지만[3], 친환경 가스 중 연면방전특성에 대한 연구는 많이 다루어지지 않았다.

---

\* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 박사과정  
\*\* 교신저자 : 영남대학교 전기공학과 교수  
\* Main author : Doctor course of Electrical Engineering at Yeungnam University  
\*\* Corresponding author : Professor of Electrical Engineering at Yeungnam University  
Tel : 053-815-7291, Fax : 053-810-4767  
E-mail : without38@naver.com  
접수일자 : 2012년 11월 8일  
1차심사 : 2012년 11월 13일  
심사완료 : 2012년 12월 12일

현재 22kV의 배전급에 해당하는 개폐장치는 친환경 가스와 고체절연을 이용하는 방식으로 개발되어지고 있다. 이 개폐장치는 친환경 가스절연개폐장치(Environment-Friendly Gas Insulated Switchgear)와 고체절연개폐장치(Solid Insulated Switchgear)이다. 그 장치는 스페이서의 사용과 고체절연으로 인해 고체절연물과 그 주위의 절연가스가 접하는 경계면으로 발달하는 연면방전에 취약하므로, 더 높은 고전압에 이들 장치를 적용시키기 위해서는 연면절연성을 향상시키는 것이 중요하다. 연면절연성의 향상은 고체유전체의 유전율과 종류를 응용하는 방법으로 연구되고 있다[4-8]. 따라서 연면방전에서 고체유전체는 연면절연성 향상에 중요하다고 할 수 있다.

이에 본 논문은 고체유전체가 연면절연성에 미치는 영향을 파악하기 위해, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스 중 고체유전체의 유전율과 크기에 따른 연면방전특성을 연구하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구에 사용되어진 실험장치와 실험회로도를 보여주고 있다. 실험을 위해 AC 전원장치, 고전압장치, 테스트 챔버, 고전압 분압기가 사용되어졌다.

AC 전원장치는 교류 60Hz DY-106(AC 300kV/120 mA)으로 AC 고전압을 발생시키고, 2차측의 고전압장치(DY-050725(0.2~0.65μF))는 승압된 교류고전압을 병렬로 연결된 테스트 챔버에 인가시키는 역할을 한다.

테스트 챔버는 전압 300kV까지, 온도변화 -90~100℃까지 인가 유지가 가능하다. 테스트 챔버 내부압력을 측정하고 특정 혼합가스를 압력비로 혼합시키기 위한 압력계(WISE, 0~15 기압)가 설치되어져 있다. 본 연구를 위한 압력범위는 1~3atm으로, 이는 배전급 친환경 개폐장치에 적용시키기 위함이다. 이 압력은 압력계 게이지 압력을 기준으로 하였다.

그림 1에서 R<sub>2</sub>, R<sub>3</sub>로 표현된 고전압 분압기(High Voltage Probe EP-100K, 3000:1)는 테스트 챔버에 인가된 고전압을 측정하기 위해 사용되어졌다. 또한 R<sub>1</sub>은 방전 시 방전전류과형을 측정하기 위한 저항이다.

그 외 연구를 위해 사용되어진 실험재료들은 전극, 고체유전체, 가스가 있다. 전극은 그림 2와 같이 연면

방전을 효과적으로 발생시키기 위해 수직으로 배치하였다. 상부 전극인 구전극(Sphere electrode)은 지름이 41mm이며 하부전극인 원형평판전극(Circular type plane electrode)의 지름은 59mm이다. 이들 전극의 재질은 SUS304를 사용하였다. 고체유전체는 테프론(TE), 폴리카보네이트(PC), 베클라이트(BE)가 사용되어졌다. 고체유전체의 선정은 가스절연시스템에서 사용되는 스페이서의 유전율을 기준으로 선정하였고, 그 유전율 범위는 2.1~4.7이다[9]. 가스는 친환경 가스인 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스를 사용하였다.

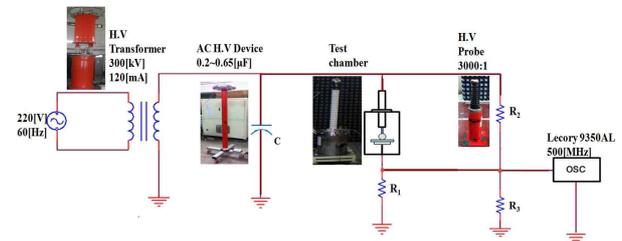


그림 1. 실험장치와 회로도  
Fig. 1. Experiment equipment and circuit

실험방법은 모의챔버 내부에 전극을 그림 2와 같이 수직배치 하고 그 사이에 고체유전체를 삽입한다. 순수한 성분의 가스를 주입하기 위해 진공펌프(SINKU KIKO Co.LTd, Gud-050A, Pumping seed 60 l/min)로 모의챔버 내부를 진공( $5 \times 10^{-4}$ Torr) 상태로 만든 후 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스를 가압하였다. N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스의 혼합비는 100 : 0, 80 : 20, 60 : 40%로 하였으며, 이들을 각각 N<sub>2</sub>, MA<sub>1</sub>, MA<sub>2</sub>로 명명 하였다. 가스의 혼합비는 압력계의 게이지를 기준으로 분압법칙을 적용시켰으며, 혼합순서는 혼합비를 고려하여 N<sub>2</sub>를 주입하고 나머지 압력을 O<sub>2</sub>로 챔버에 가압 하였다.

테스트 챔버에 3.15kV/sec의 상승속도로 고압이 인가되면 부분방전과 방전에 의한 트래킹이 연면절연성에 영향을 미치기 때문에 고체유전체의 재사용은 하지 않았다. 고전압 인가 후, 연면절연과파전압(V<sub>S</sub>)을 각 압력별로 5번씩 측정하여 그 평균값을 실험데이터로 활용하였다. 혼합가스가 안정화된 상태에서 V<sub>S</sub>를 측정하기 위하여, 혼합가스의 가압과 방전 직후에는 20~30초의 시간적 여유를 두고 전압을 다시 인가하

였다. 각 실험이 끝나면 고체절연물을 교체하여 반복 실험을 수행하였다.

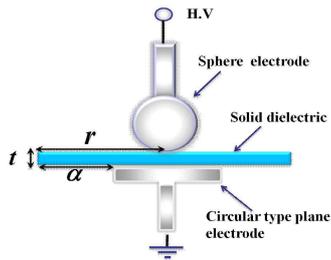


그림 2. 전극의 수직적 배치  
Fig. 2. Vertical arrangement of electrode

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 고체유전체 유전율에 의한 연면방전특성

$N_2/O_2$  혼합가스 중 고체유전체 종류에 의한  $V_S$ 는 알려진 고체유전체의 절연파괴강도와 상이하다[3]. 이는 고체유전체와 전극을 에워싸는 주위매질의 절연성에 따라 매질효과가 기인함을 저자들이 확인한 바 있다. 본 항에서는 이전 연구에서 고찰되지 않았던 고체유전체의 유전율에 따른 연면방전특성을 연구하고자 한다. 고체유전체의 전기적 특성과 종류, 표면거칠기, 내아크성, 전극의 윤활도, 연면거리, 삼중점 전계등은 동일한 조건에서 연구하였다.

그림 3은 고체유전체의 유전율에 따른  $V_S$  특성을 보여주고 있다. 가로축은 전기적 특성으로 알려진 고체유전체의 유전율을 나타내고 있으며 그 유전율은 TE-2.1, PC-2.9, BE-5 이다. 그림 3에서,  $V_S$ 는 매질의 압력이 상승하거나 고체유전체의 유전율이 감소할수록 증가한다. 그리고 각 가스 중의  $V_S$  특성은 유전율이 커질수록 낮아지는 경향을 나타내고 있다. 그리고 가스별  $V_S$ 는  $MA_1 > MA_2 > N_2$ 의 순서인 것을 확인할 수 있다.

압력의 상승은 전극과 고체유전체를 에워싸는 주위매질인  $N_2$ ,  $N_2/O_2$  혼합가스의 절연내력상승을 유도하고, 이 상승은 연면절연성을 향상시켜  $V_S$ 가 증가하게 된다. 즉 매질효과에 의해  $V_S$ 가 증가한다.

고체 자체의 절연성은 기체보다 우수하기 때문에 부

분방전은 삼중점에 에워싸는  $N_2/O_2$  혼합가스의 절연파괴로부터 개시된다. 이는 절연가스의 매질효과가 연면절연성에 깊은 관련이 있음을 의미한다. 고체유전체 주위의 절연가스는 유전율이 '1'에 가까우므로, 주위매질의 전계강도는 유전율이 더 큰 고체유전체의 유전율에 의존한다. 특히 고체유전체의 유전율이 증가하면 주위매질의 전계강도가 커지게 되므로  $V_S$ 는 그림 3과 같이 감소한다. 이러한 본 연구의 결과로 고체유전체의 유전율이 커질수록 전계는 주위매질인 혼합가스에 더욱더 높게 인가되게 되어  $V_S$ 는 유전율이 커짐에 따라 낮아짐을 알 수 있다.

그림 3에서 고체유전체를 에워싸고 있는 매질이  $N_2$ ,  $MA_1$ ,  $MA_2$ 인 경우에 유전율에 따른  $V_S$ 의 특성은 유사하게 나타난다. 이는 고체유전체의 유전율이 주위매질의 전계강도에 영향을 미치지,  $V_S$ 는 주위매질인  $N_2$ ,  $MA_1$ ,  $MA_2$ 의 절연성능으로 결정되기 때문이라 판단된다. 이들 가스의 절연성능과 특성은 참고문헌 [1]에서 연구되어졌고, 절연파괴전압-압력 특성은 모두 유사한 것으로 밝혀져 있다.

그림 3-(d)는 주위매질이 3atm의  $N_2$ ,  $MA_1$ ,  $MA_2$ 에서 고체유전체의 유전율- $V_S$  특성을 보여준다. 각 주위매질별  $V_S$  특성은 유사하게 나타나지만,  $V_S$ 는  $N_2$ 인 경우가 낮다. 이는  $N_2$ 의 절연성이  $N_2/O_2$  혼합가스보다 떨어짐에 기인하며,  $MA_1$ 이  $N_2$ 보다 절연성이 높은 것은  $O_2$ 의 전자부착능력 때문이다. 또한 그림 3에서  $MA_1$ 과  $MA_2$ 의 절연성능은 크게 차이가 나타나지 않으므로,  $V_S$  역시 이들 두 매질에서는  $N_2$ 인 경우보다 높게 나타나게 됨을 확인할 수 있다.

본 실험의 동일한 조건 아래에서 고체유전체의 유전율이 변화하여도, 각 가스의 압력상승에 따른  $V_S$ 의 증가효과 즉, 매질효과는 실험에 사용된 각 가스에서 잘 나타나고 있다. 이것은 동일한 실험조건에서 매질효과가 고체유전체의 유전율 변화에 영향을 받지 않는다는 것을 의미한다. 상술한 것처럼 고체유전체의 유전율이 변화할 때  $V_S$ 는 주위매질의 절연성능에 의해 결정되므로, 매질효과의 적용은 연면절연성 향상에 대단히 중요하다고 할 수 있다.

그림 3의 분석을 통해  $V_S$ 는 고체유전체의 유전율이 증가함에 따라 주위매질에 가해지는 전계강도가 커져,

주위매질의 절연성이  $V_S$ 를 결정한다는 것을 알았다. 이러한 연면방전특성을 기반으로 본 연구의 실험조건에서 3atm 중 주위매질과 유전율에 따른  $V_S$ 의 실험식

을 유도하였으며 그 식은 다음과 같다.

$$V_s = M + k\varepsilon \text{ kV} \quad (1)$$

여기서  $V_s$ 는 연면절연과괴전압 kV,  $\varepsilon$ 는 고체유전체의 유전율이다. 상수  $M$ 과  $k$ 의 산정은 Sigma plot의 polynomial-linear 함수처리 기법을 이용하였고 본 연구의 특성을 고려하여  $M$ 은 주위매질의 절연내력에 관한 상수,  $k$  주위매질에 가해지는 전계에 관한 상수로 규정할 수 있다. 이들 상수의 크기와 식 (1)의 평균오차는 표 1에 나타내었고, 식 (1)의 결과는 그림 3-(d)의 실선으로 표시하였다. 그리고 평균오차 (average error,  $A_e$ )는 실험으로 측정된  $V_S(V_1)$ 와 식 (1)에 의한  $V_S(V_2)$ 에 대한 오차를 고체유전체의 유전율별로 식 (2)로 계산한 후 그 평균값을 기록하였다.

$$A_e = \frac{(V_1 - V_2)}{V_2} \times 100 \% \quad (2)$$

식 (1)에서 고체유전체의 유전율의 증가로  $V_s$ 가 감소해야 하므로  $k$ 는 음의 값을 가진다. 그리고  $M$ 은 주위매질의 절연내력에 의존하는 상수이므로 실험에 사용된 절연가스 중 절연내력이 가장 우수한  $MA_1$ 이 가장 크고  $N_2$ 가 가장 작다. 이는 표 1에서 확인할 수 있다.

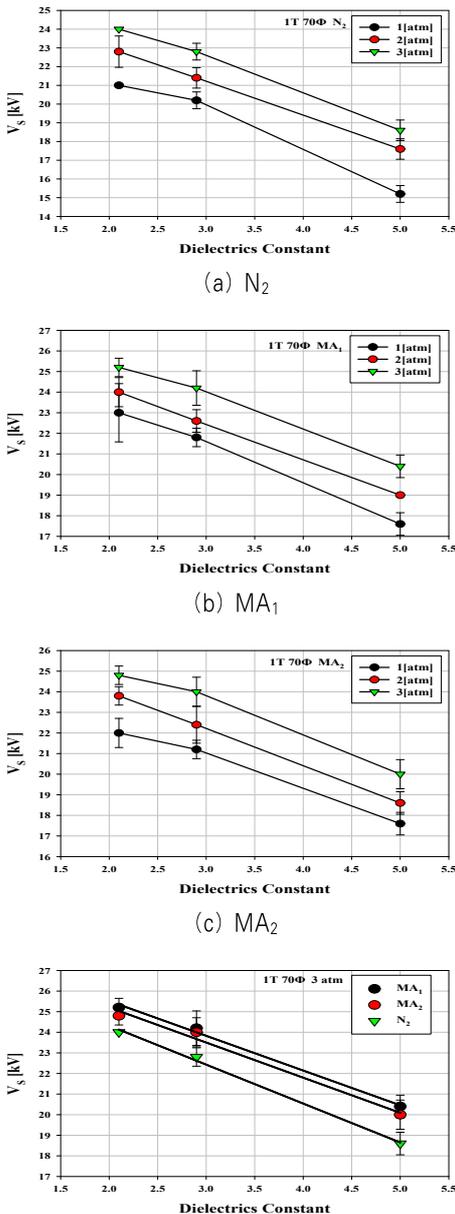
표 1. 식 (1)에 관한 상수와 평균오차  
Table 1. Constant and average error with respect to expression (1)

주위매질	$M$	$k$	$A_e$ %
$N_2$	28.1	-1.761	1.12
$MA_1$	28.8883		1.18
$MA_2$	28.6193		2

### 3.2 고체유전체 지름에 따른 연면방전특성

연면절연성은 고체유전체 크기에 영향을 받는다. 이에 본 항은 고체유전체 지름에 따른  $V_S$ 의 특성을 분석하였다.

그림 4는  $MA_1$  중 TE의 지름을 달리하였을 때,  $V_S$  특성을 보여주고 있다. 그림 4로부터  $V_S$ 는 TE의 지름



(d) Dielectric constant of solid dielectric- $V_S$  characteristics of  $N_2/O_2$  Mixture gas at 3atm

그림 3. 고체유전체의 유전율- $V_S$  특성  
Fig. 3. Dielectric constant of solid dielectric- $V_S$  characteristics

이 길어지고 압력이 상승할수록 증가하였다. 그리고 각 지름에서 압력상승에 의한  $V_S$ 의 상승률이 상이한 것을 알 수 있다. 여기서 각 지름에서 압력상승에 의한  $V_S$ 의 증가율을  $K_{V_S}$ 라 하고, 그  $K_{V_S}$ 는 식 (3)으로 계산하여 그 수치를 표 2에 나타내었다.

$$K_{V_S} = \frac{V_{SH} - V_{SL}}{V_{SL}} \times 100\% \quad (3)$$

여기서  $V_{SH}$ 는 비교하고자 하는 두 압력에서 높은 압력측의  $V_S$ 이고,  $V_{SL}$ 은 낮은 압력측의  $V_S$ 이다.

고체유전체의 종류, 주위매질의 종류와 압력, 전극 형상과 크기, 기타 주위환경(온도, 습도)이 같은 조건에서, TE의 지름이 증가하는 것은 연면거리가 늘어나는 결과이므로 TE의 지름이 50, 70, 100mm로 길어질수록  $V_S$ 는 증가하게 된다. 고체유전체 지름의 변화는 주위매질의 전계강도를 변화시키고 그 전계강도는 주위매질에 가해진다. 따라서  $V_S$ 는 주위매질의 절연성이 주된 결정을 한다. 이는 3.1항에서 고찰된 유전율에 따른  $V_S$ 의 특성과 유사하다.

TE의 각 지름에서 압력에 따른  $K_{V_S}$ 가 상이한 것은 구전극과 원형평판전극에서 형성되는 삼중점간 연면거리, 고체유전체의 표면 거칠기와 그 표면의 불순물에 의한 작용으로 설명할 수 있다.

그림 2와 같은 전극배치에서 고체유전체의 지름( $D$ )과 하부전극인 원형평판전극의 지름( $P_D$ )에 따라 연면거리( $l$ )는 식 (4), (5)와 같다. 식 (4)는  $D > P_D$ , 식 (5)는  $D < P_D$ 인 경우에 해당한다.

$$l = r + t + \alpha \text{ mm} \quad (4)$$

$$l = r + t \text{ mm} \quad (5)$$

여기서  $r$ 은 고체유전체의 반지름 mm,  $t$ 는 고체유전체의 두께 mm,  $\alpha$ 는 고체유전체 지름에 의해 추가되는 연면거리 mm이다. 이  $\alpha$ 는 연면거리를 증대시켜  $V_S$ 의 증가효과를 가진다.  $D$ 가 70, 100mm인 경우는 식 (4)로, 50mm인 경우는 식 (5)로 연면거리가 결정된다.

TE의 지름이 50mm인 경우는  $\alpha$ 의 영향이 없고 구전극과 원형평판전극의 삼중점간 거리가 70, 100mm

의 TE 보다 상대적으로 더 짧다. 이로 인해 삼중점에서 고전계의 영향이 현저해지고 연면방전의 개시와 진전이 매우 용이해져 압력상승에 의한  $V_S$  증가 효과를 감소시킨다. 따라서 매질효과는 삼중점의 고전계로 인한 코로나 방전이 전로파괴에 가장 큰 영향을 미치게 되면 크게 나타나지 않는다. 한편  $\alpha$  영향에 의한  $V_S$  증가효과도 떨어지게 되어  $K_{V_S}$ 는 더 감소하게 된다.

$K_{V_S}$ 가 감소하는 다른 요인은 고체유전체의 표면 거칠기와 표면의 불순물이고 그 영향은 전계가 강할수록 현저해진다. 실험조건에서 연면거리가 결정된 후 압력의 상승으로 인한 매질효과는  $V_S$ 를 증가시켜 연면전계강도( $E_S$ )를 증가시킨다. 본 연구에서 고르지 못한 표면거칠기와 불순물이 분포할 확률은  $D$ 가 100mm인 경우 가장 높다. 따라서  $D=100$ mm에서 주위매질의 압력을 상승시키는 것은 표면거칠기와 불순물의 현저한 영향을 초래한다. 그 결과 매질효과는 크게 나타나지 않아  $K_{V_S}$ 가 감소한다. 이러한 영향은 주위매질의 압력이 2atm  $\rightarrow$  3atm으로 상승할 때,  $K_{V_S}$ 가 더 낮게 나타남을 표 2에서 확인할 수 있다. 반면에  $D$ 가 70mm일 때, 고체유전체의 표면거칠기, 불순물의 영향은  $D$ 가 100mm인 경우보다 현저하지 않고 두 전극에서 형성하는 삼중점간 연면길이도  $D$ 가 50mm인 경우보다 길다. 그리고  $\alpha$ 의 영향도 가해지므로  $K_{V_S}$ 가 가장 크다.

상술한 영향을 각  $D$ 별로 정리하면,  $D$ 가 50mm인 경우는 가장 짧은 두 전극의 삼중점간 거리와  $\alpha$ 의 영향이 없어  $K_{V_S}$ 가 가장 낮고,  $D$ 가 100mm인 경우는 압력상승에 의한  $E_S$ 의 증가로 고체유전체의 표면거칠기와 불순물의 지배적인 영향을 받는다. 이로 인해 매질효과가 크게 나타나지 않아  $D$ 가 70mm인 경우보다  $K_{V_S}$ 가 낮다. 마지막으로  $D$ 가 70mm인 경우에  $K_{V_S}$ 는  $\alpha$  영향, 충분한 삼중점간 거리,  $D=100$ mm보다 더 낮은 고체유전체의 표면거칠기와 불순물의 영향으로 가장 높다.

이상의 결과로 매질효과는 두 전극의 짧은 삼중점간 거리로 인한 고전계와  $E_S$  증가에 따른 고체유전체 표면 불순물의 영향이 지배적이면 매질효과가 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

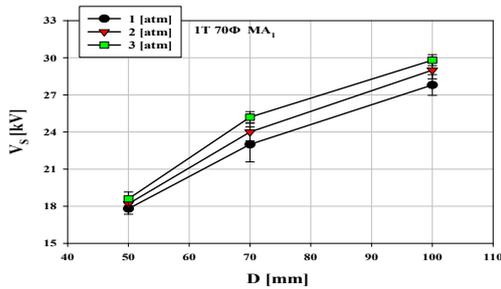


그림 4. MA<sub>1</sub> 중 고체유전체 지름-V<sub>s</sub> 특성  
Fig. 4. Diameter of solid dielectric-V<sub>s</sub> characteristics in MA<sub>1</sub>

표 2. TE의 각 지름에서 압력에 따른 K<sub>Vs</sub>  
Table 2. K<sub>Vs</sub> with pressure at each diameter of TE  
압력 atm, 길이 mm, 증가율 %

길이 \ 압력	1 → 2	2 → 3	평균
50	2.25	2.2	2.23
70	4.35	5	4.68
100	4.32	2.76	3.54

#### 4. 결 론

본 논문은 친환경 가스(N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture gas) 중 고체유전체의 유전율과 지름이 연면방전에 미치는 영향을 주위매질의 압력이 1~3atm 압력구간에서 연구하여 아래와 같은 중요한 결론을 얻었다.

- 1) 연면절연과괴전압은 고체유전체와 전극을 에워싸는 주위매질의 압력상승으로 인한 매질효과의 영향으로 증가하였다.
- 2) 연면절연과괴전압은 주위매질의 절연성능으로 결정되었고 주위매질에 가해지는 전계강도가 낮을수록 더 높았다. 즉 압력상승에 의한 매질효과, 고체유전체 유전율의 감소, 고체유전체의 지름이 길어지는 경우 연면절연과괴전압이 증가하였다.
- 3) 고체유전체의 유전율에 의한 연면방전특성은 주위매질이 N<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스인 경우에 모두 유사한 경향으로 나타났다. 연면절연과괴전압은 주위매질의 절연성능으로 결정되므로 절연성능이 더 좋은 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스가 N<sub>2</sub>보다 더 높았다. 이

는 전기적 부성기체인 O<sub>2</sub>의 전자부착 효과로 인해 N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스의 절연성이 N<sub>2</sub>보다 높아짐에 기인한다.

- 4) 주위매질의 절연성, 고체유전체의 유전율, 주위매질에 가해지는 전계강도를 고려한 연면절연과괴전압에 관한 식은 다음과 같이 도출되었다.

$$V_s = M + k\varepsilon \text{ kV}$$

위 식에서 각 기호와 상수는 본문에 기술한 바와 같으며 유효압력은 3atm이다.

- 5) 구전극과 원형평판전극 사이에서 형성되는 짧은 삼중점간 거리로 인한 코로나 방전과 고체유전체의 표면 거칠기, 불순물의 영향이 전로과괴에 가장 큰 영향을 미치는 경우 매질효과는 상대적으로 크게 나타나지 않았다. 이로 인해 50, 70, 100mm의 각 지름에서, 압력에 따른 연면절연과괴전압의 상승률은 상이하였다.

고체유전체의 유전율과 지름으로 연면절연성을 강화시키는 것은 매질효과, 주위매질의 전계강도, 고체절연물의 표면상태를 고려해야 한다. 본 연구의 결과는 추후 친환경 복합절연설계에 유용하게 응용될 수 있을 것이다.

#### References

- [1] Eun-Hyeok Choi, Bon-Ho Koo, Lee-Kook Kim, Kwang-Sik Lee, "Assess of Breakdown Characteristics about Environmentally Friendly Cases", Journal of KIIEE, Vol. 23, No. 5, pp. 96-100, 2009.
- [2] 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 KIIEE, Vol. 23, No. 2, pp. 154-160, 2009.
- [3] Dong-Young Lim, He-Rie Park, Eun-Hyeok Choi, Sang-Tae Choi, Kwang-Sik Lee, "Surface Discharge Characteristics of Solid Dielectrics in N<sub>2</sub>/O<sub>2</sub> Mixture Gas for Eco-Friendly Insulation Design", Journal of KIIEE, Vol. 26, No. 3, pp. 9-15, 2012.
- [4] Muneaki Kurimoto, Katsumi Kato, Masahiro Hanai, Yoshikazu Hoshina, Masafumi Takei, Hitoshi Okubo, "Application of Functionally Graded Material for Reducing Electric Field on Electrode and Spacer Interface", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol.

- 17, No. 1, pp. 256-263, 2010.
- [5] C. Pugazhendhi Sugumaran, M. R. Mohan, K. Udayakumar, "Investigation of Dielectric and Thermal Properties of Nano-filler (ZrO<sub>2</sub>) Mixed Enamel", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 17, No. 6, pp. 1682-1686, 2010.
- [6] Hitoshi Okubo, "Enhancement of Electrical Insulation Performance in Power Equipment Based on Dielectric Material Properties", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation Vol. 19, No. 3, pp. 733-754, 2012.
- [7] Hiroyuki Shinkai, Hisashi Goshima, and Masafumi Yashima, "A Study on Hybrid Insulation Composition Joint Using Gas and Solid Insulator for Gas-Insulated Power Equipment", Electrical Engineering in Japan, Vol. 178, No. 1, pp. 11-20, 2012.
- [8] Junichi Sato, Susumu Kinoshita, Osamu Sakaguchi, Masaru Miyagawa, Toshio Shimizu, and Mitsutaka Honma, "Solid Insulated Switchgear and Investigation of its Mechanical and Electrical Reliability", Electrical Engineering in Japan, Vol. 174, No. 4, pp. 28-36, 2011.
- [9] J.R.Laghari "Spacer Flashover In Compressed Gases", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. E-20, No. 1, pp. 83-92, 1985.

◇ 저자소개 ◇



**임동영 (林東永)**

1983년 4월 12일생. 2009년 2월 경주대학교 컴퓨터정보시스템공학부 졸업. 2011년 8월 영남대학교 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정.



**민경준 (閔景俊)**

1986년 5월 3일생. 2012년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



**박혜리 (朴惠利)**

1984년 8월 14일생. 2007년 영남대 전기공학과 졸업. 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 및 프랑스 Cergy-Pontoise 대학교 전기공학과 공동 학위과정(박사).



**최은혁 (崔殷赫)**

1977년 2월 19일생. 2003년 경일대 전기공학과 졸업. 2005년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국폴리텍 VI대학 대구캠퍼스 스마트전기과 교수.



**최상태 (崔相泰)**

1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Ruhr Bochum 대학교 전기공학부 석사과정 졸업(Dipl. Ing.). 1997년 동 대학원 박사과정 졸업(Dr. Ing.). 1998년~현재 경주대학교 전기에너지전자공학과 부교수.



**박원주 (朴元住)**

1954년 3월 14일생. 1978년 2월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1980년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1993년 3월 큐우슈대학 대학원 졸업(박사). 1994년~현재 영남대학교 전기공학과 교수. 현재 본 학회 부회장, 편수위원장.



**이광식 (李廣植)**

1948년 10월 25일생 1971년 02월 영남대학교 전기공학과 졸업. 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전 고전압 연구회 간사장역임. 현재 본 학회 명예회장. 영남대학교 전기공학과 교수.