

## Surface Discharge Characteristics of a DC Corona Charged Ferroelectric Pellet Barrier

琴尙澤\* · 李根宅\*\* · 文在德\*\*\*

(Sang-Taek Geum · Geun-Taek Lee · Jae-Duk Moon)

**Abstract** - Surface corona discharge characteristics of a dc corona charged ferroelectric pellet barrier have been investigated experimentally. Electric charges stored on the surfaces of the ferroelectric pellets by a dc corona discharge provide partial electric fields on the surfaces of the ferroelectric pellets, which could generate surface corona discharges on the ferroelectric pellets. This system utilizes both the surface discharges on the ferroelectric pellet barrier and the corona discharge between corona tip and mesh electrode. Positive and negative dc voltages were applied to the tip to generate partial discharges, and corona currents were estimated to investigate the buildup charge on ferroelectric pellets as a function of the applied time and the charge relaxation time constants of ferroelectric pellets. As a result, in the case of the negative corona discharge with the ferroelectric pellet barrier, the mean corona current and ozone generation increase greatly, and the surface discharges on the ferroelectric pellets can be generated efficiently. It is also found that, charge relaxation time, dielectric constants of ferroelectric pellets, polarity of applied voltage and applied time affected to the surface discharges among the ferroelectric pellets.

**Key Words** : Surface Discharge, Ferroelectric Pellet, Buildup Charge, Charge Relaxation Time Constant, Dielectric Constant

### 1. 서 론

최근 비열 방전 플라즈마원으로 유효하게 쓰이고 있는 코로나 방전장치는 전극의 기하학적 구조에 따라 선 대 원통형, 유전체 장벽 방전형, 강유전체 층 방전형으로 크게 나뉘어 개발되어 왔다[1]. 선 대 원통형 코로나 방전장치는 가는 선과 원통형의 두 전극사이에 고전압의 전원을 인가해 선과 원통전극사이에 코로나를 발생시키는 것으로, 배진 입자들을 하전시켜 집진전극에 집진하는 원리를 응용한 전기집진장치로 널리 사용되어왔다[1]. 유전체 장벽 방전 장치는 한 쪽이 유리와 같은 얇은 유전체 장벽으로 덮인 두 개의 전극 사이에 교류 고전압이 인가된 것으로 무성 방전(silent discharge)장치라 부르기도 하는데[2] 오존의 생성을 목적으로 1857년 Simens에 의해 처음 개발되어 대량의 오존발생, 유해가스의 제거 등 여러 산업분야에 응용되고 있다[3-7]. 강유전체 층 방전 장치는 원통형으로 된 장치 내부에 강유전체 소구들을 위치시키고 양쪽을 금속망 전극으로 고정시켜 고압의 교류 전원을 인가한 구조의 방전장치다[8]. 높은

유전상수를 가진 유전체 층에 외부전압이 인가되면 강유전체 소구는 분극화되고 강한 전계가 각각의 강유전체 소구들의 접촉점간에 형성된다. 따라서, 많은 펄스 방전이 접촉점 주위에 발생되며, 이때의 방전 에너지는 강유전체의 유전상수에 의해 변화시킬 수 있는 장점이 있다.

이상과 같은 강유전체 층을 이용한 코로나 방전은 유해가스 제거장치 등에 응용되어 왔다[9,10]. 이와 같은 코로나 방전장치는 유전체 장벽 방전을 이용한 것이 주로 검토되어 있으며, 최근 교류전원을 인가한 강유전체 층방전이 제안되어 응용되고 있으나, 이에 대한 구체적인 연구는 아직 미진한 실정이다[11].

본 연구에서는, 지금까지 제안되지 않은 새로운 강유전체 층 방전 구조를 갖는 침 대 평판형 방전 장치를 제안하였다. 강유전체 층을 망전극상에 설치한 침 대 평판전극형 구조에 기존의 교류전원 인가와 달리 직류 고전압을 인가함으로써 침 대 평판 사이의 부분방전과 강유전체 층 상부에 축적되는 공간전하들 간의 국부 방전을 복합적으로 이용하고자 하였다. 불평등 고전계에서의 코로나 방전에 의해 생성된 공간전하들이 강유전체구의 표면에 축적되면, 강유전체구는 분극화되고, 강유전체구 층 사이에 강한 국부전계를 형성시킨다. 이러한 공간전계가 코로나방전에 의해 공간전하들이 계속 강유전체구 상에 축적됨으로써 임계치 이상( $E \geq 30kV/cm$ )이 되면 강유전체구 층 사이에 표면방전을 일으키게되며, 결국, 불평등 전계 사이의 코로나방전에 강유전체구 층 사이의 표면방전이 합쳐져 이중 방전의 효과를 가져오게

\* 正 會 員 : 慶北大學 電氣工學科 博士課程

\*\* 正 會 員 : 徐羅伐大學 電氣科 兼任教授 · 工博

\*\*\* 正 會 員 : 慶北大學 電子 · 電氣工學部 正教授 · 工博

接受日字 : 1998年 10月 15日

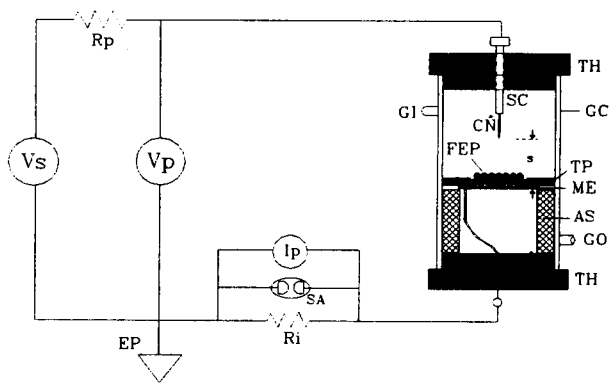
最終完了 : 1999年 3月 25日

될 것이다.

본 연구는 효과적인 강유전체 층방전 장치개발을 위한 기초연구로서, 강유전체 층을 설치했을 때 방전 및 오존 발생 특성에 미치는 강유전체 층의 영향과, 침 대 평판형 강유전체 층방전에서 정, 부 코로나, 인가전원의 변화, 강유전체 층의 유전상수 및 완화시정수가 강유전체 층의 코로나 하전에 미치는 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과이다.

2. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 실험에 사용된 강유전체 층방전 구조의 코로나 방전장치를 나타낸 것이다. 강유전체 층을 이용한 코로나 방전장치는 유리 실린더의 상하를 합성수지로 고정시킨 후 내부에 침 대 평판구조의 방전장치를 설치한 것으로, 평판은 금속망으로 하고 이 금속망 전극상에 강유전체 층을 상설시킨 구조를 가진다. 즉, 코로나 전극의 상하 공격을 가변할 수 있도록 구성된 침 대 평판형의 하측 철망 전극상에 절연판(Teflon, 2 mm thick)을 상설하고, 이 절연판의 중심에 공간층(50 mm)을 형성하여 이 공간층내에 강유전체 층장벽(ferroelectric pellet barrier; FEP, d=5.0 mm)을 설치한 것이다. 상부의 침전극과 하부의 망전극 사이에 직류 고전압을 인가하여 인가 전압과 방전전류를 보호저항(Rp, 2.5M Ω)과 직렬로 연결된 전류측정용 저항(Ri, 1.00kΩ)을 사용하여 측정하였다.



- |                           |                          |
|---------------------------|--------------------------|
| AS : acryl support        | ME : mesh electrode      |
| CN : corona needle        | Ri : current resistor    |
| EP : earthed point        | Rp : protection resistor |
| FEP: ferroelectric pellet | s : gap spacing          |
| GC : glass cylinder       | SA : surge arrester      |
| GI : gas inlet            | TP : Teflon plate        |
| GO : gas outlet           | TH : Teflon holder       |
| Ip : corona current       | Vp : applied dc voltage  |
| SC : spacing controller   | Vs : dc power supply     |

그림 1 강유전체 층을 이용한 침 대 평판형 코로나 방전 장치 개략도

Fig. 1 Schematic of tip-to-plate type corona discharge reactor utilizing ferroelectric pellet barrier

인가전압 및 코로나전류는 축적형 오실로스코프 (Tektronix Model TDS340A) 및 고주파 고전압 프로브

(Tektronix Model P6015A 1000:1 probe)를 사용하여 측정하였으며, 126개의 전류파형을 평균하여 평균 코로나 전류를 구하였다. 발생 오존 농도는 저농도와 고농도의 오존 모니터(Dasibi Ozone Monitor Model 1108 and Model DY-1500)로 측정하였다. 강유전체 층의 유전상수 및 완화시정수를 측정하기 위해 임피던스 측정장치(HP Impedance/Gain-Phase Analyser Model 4194A)를 사용하였다. 강유전체 층, 인가시간 및 인가전원의 변화에 대한 실험을 위해, 강유전체 층을 단층으로 쌓아서 실내공기(20℃, 35%RH)를 동일 온도, 습도 분위기 속에서 2 l/min.의 동일유속으로 주입하여 실험하였다. 강유전체 층의 유전상수 및 완화시정수 변화 실험을 위해 7종류의 강유전체 층, 즉, εr= 6, 35, 60, 100, 650, 2500, 10000을 복층으로 사용하였다. 전극간의 거리, s는 20 mm로 고정하였다. 이때의 인입기체로는 공업용 건조공기(bombed dry air, 30℃, 11%RH)를 2 l/min.의 동일유속으로 주입하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 강유전체 층 단층의 유무에 따른 침 대 망전극간의 평균 코로나 전류 특성을 인가 전압을 변수로 하여 나타낸 것이다. 평균 코로나 전류는 강유전체 층 단층이 없는 경우, 인가 전압의 증가에 따라 서서히 증가하는 전형적인 I-V특성을 보여준다. 그러나, 강유전체 층 단층을 위치시킨 경우 약 20kV 이상에서 강한 코로나 방전이 발생하여, 급격히 방전전류가 증가함을 보여준다. 이는 강유전체 층상에 하전축적된 전하들에 의해 연면 방전이 발생됨을 보여주는 것이다.

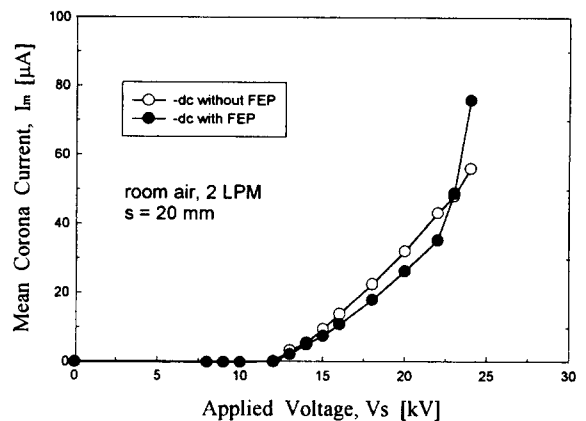


그림 2 강유전체 층 유무에 따른 방전 장치의 방전 특성  
Fig. 2 Discharge characteristic of the discharge reactor with and without ferroelectric pellet barrier

그림 3은 강유전체 층 단층의 유무에 따른 침 대 평판 전극의 오존 발생특성을 인가 전압을 변수로 하여 나타낸 것이다. 강유전체 층 단층을 위치시킨 경우 그림 2의 경우와 같이 약 20kV 이상에서 오존발생량이 급격히 증가함을 보여 강유전체 층방전의 발생이 있음을 보여준다. 그림 4는 강유전체 층 단층이 위치한 경우 정, 부 코로나가 침 대 평판

전극의 평균 코로나 전류 특성에 미치는 영향을 인가 전압을 변수로 하여 나타낸 것이다. 평균 코로나 전류는 정, 부 코로나 모두, 인가 전압의 증가에 따라 서서히 증가하여 각각 15kV, 12kV에서 급격히 증가함을 보여준다. 한편, 동일 전압에서는 부 코로나의 경우가 정 코로나의 경우에 비해 더 높은 평균 코로나 전류치를 나타냄을 알 수 있다.

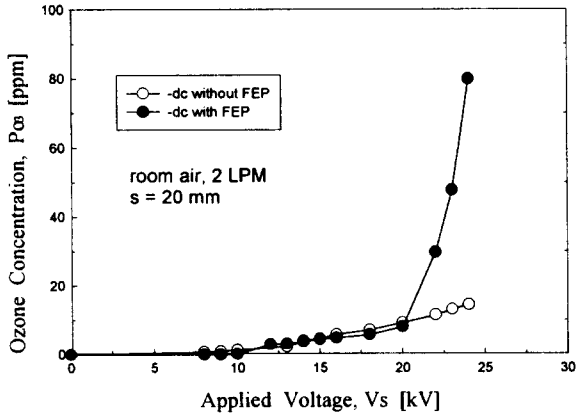


그림 3 강유전체구 층 유무에 따른 방전 장치의 오존 발생 특성

Fig. 3 Ozone generation characteristic of the discharge reactor with and without ferroelectric pellet barrier

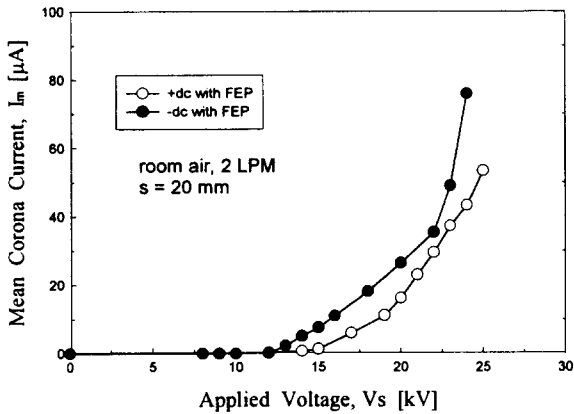


그림 4 정, 부 코로나에 따른 방전 장치의 방전 특성

Fig. 4 Discharge characteristic of the discharge reactor for positive and negative corona

그림 5는 강유전체구 단층이 위치한 경우 정, 부 코로나가 침 대 평판 전극의 오존 발생 특성에 미치는 영향을 인가 전압을 변수로 하여 나타낸 것이다. 오존 발생량은 정, 부 코로나 모두, 인가 전압의 증가에 따라 서서히 증가하여 약 20kV 이상에서 급격히 증가함을 보여준다. 한편, 동일 전압에서는 부 코로나의 경우가 정 코로나의 경우에 비해 더 높은 오존 발생량을 나타내며, 20kV 이상에서는 더욱 급격히 오존 발생량이 증가함을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 강유전체구 층에서의 공간전하의 축적이라는 관점에서는 정, 부 코로나에 의한 양 및 음 전하의 축적량과 이동도 등

의 효과, FEP층의  $\epsilon_r$  및 배치 구조에 따른 극성효과 등에 따라 방전 및 오존발생특성이 차이를 나타내겠지만, 본 실험 결과 부 코로나가 높은 코로나 전류를 발생시키므로 본 연구에 적합한 극성이라 사료된다.

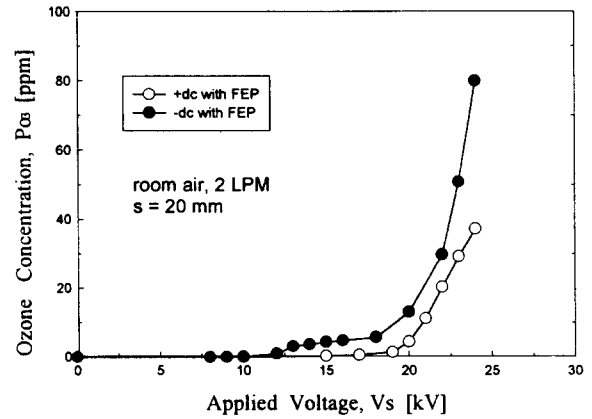


그림 5 정, 부 코로나에 따른 방전 장치의 오존 발생 특성  
Fig. 5 Ozone generation characteristic of the discharge reactor for positive and negative corona

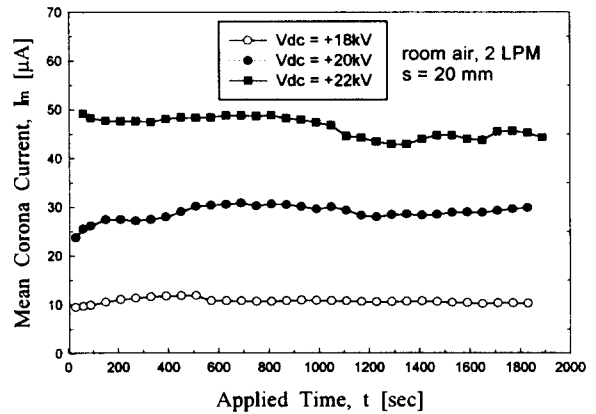


그림 6 인가 전압의 크기에 따른 평균 코로나 전류의 경시 변화

Fig. 6 Variation of mean corona current as a function of applied time for various applied voltages

그림 6은 강유전체구 층이 설치된 침 대 평판 전극의 평균 코로나 전류 특성을 강유전체 층의 하전시간의 변화에 따라 인가 전압의 크기에 대해 나타낸 것이다. 인가 전압의 크기가 증가할수록 평균 코로나 전류의 경시 변화도 약 1000sec이후에서 현저해 짐을 알 수 있다. 이러한 현상은 정 코로나 경우, 부 코로나 경우에 비해 정극성의 공간 전하를 발생시키므로 이동도가 비교적 느려 강유전체구 층의 상부에 공간 전하가 축적되고, 축적 전하량이 절연파괴가 가능한 임계치 이상이 되면 강유전체구 층과 하부전극 사이에서 다시 국부 방전을 일으켜 이를 반복하기 때문으로 사료된다. 그러므로 인가 전압이 증가 할 수록 더욱 많은 양의 공간 전하가 강유전체구 층에 축적되었다가 국부적으로 방전되는

현상이 빠르게 반복 진행되어, 평균 코로나 전류의 변화도 현저해 짐을 나타낸다. 반면, 부 코로나의 경우, 발생한 부극성을 가진 공간전하의 전자가 대부분으로 정극성의 경우에 비해 빠른 이동도를 가져 강유전체구 층상에서의 축적, 방전 과정이 급속하게 진행되므로 축적이 가능한 정도의 현저한 변화를 나타내지 않는 것으로 판단된다.

그림 7은 강유전체구 층이 설치된 침 대 평판 전극의 오존 발생 특성을 강유전체 층상의 하전시간의 변화와 인가 전압의 크기에 대해 나타낸 것으로, 시간의 변화에 따른 오존 발생량도 그림 6의 평균 코로나 전류의 변화 추이를 따르고 있다.

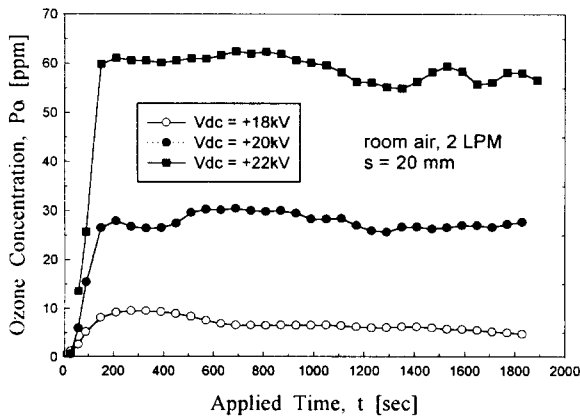


그림 7 인가 전압의 크기에 따른 오존 발생량의 경시 변화  
Fig. 7 Variation of ozone generation as a function of applied time for various applied voltages

이는 코로나 전류가 침 선단에서 강유전체구 표면과 연면을 따라 하부 접지 된 철판 전극으로 흐르며, 이때 강유전체구 층과 이 층에 축적된 공간전하에 의한 전압( $V=Q/C$ )가 공기의 절연과괴전압( $E \geq 30kV/cm$ )보다 크게되면 강유전체구 표면 주위의 공기층을 방전시켜 공기 중에 오존을 발생시키기 때문인 것으로 판단된다. 정 코로나 경우 인가 전압의 크기가 증가할수록 평균 코로나 전류의 시간에 따른 변화도 현저해 지고, 오존발생량도 평균 코로나 전류의 변화 추이를 따르고 있다.

이상의 실험결과, 강유전체구 층이 침 대 평판 전극 상에 설치되면, 코로나 방전특성을 변화시킬 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 강유전체구의 물리적 성질이 방전에 미치는 영향을 조사하기 위하여 여러 가지의 강유전체를 이용하여 실험을 수행하였으며, 표 1은 본 실험에 사용된 6종류의 강유전체구의 비유전율, 비저항, 그리고, 각 각의 완화시정수를 나타낸 것이다.

그림 8은 6종류의 강유전체구의 완화시정수 변화가 코로나 나침 선단에서의 최소 코로나 유지전압에 미치는 영향을 나타낸 것으로 완화시정수가 증가함에 따라 코로나 유지전압도 증가함을 알 수 있다. 이는, 강유전체구의  $\rho$ 나  $\epsilon$ 이 커서 완화시정수가 클수록, 강유전체구 층 상부에 축적된 전하의 방전시간이 느려지므로 코로나를 계속 유지하기 위한 인가전압이 증가해야하기 때문으로 사료된다.

한편, 완화시정수가 작은 경우, 강유전체 층 상부에 축적된 전하의 층, 방전 과정이 완화시정수가 큰 경우에 비해 빨리 진행되므로 비교적 낮은 인가전압에서도 코로나 방전이 유지될 수 있는 것을 보여준다. 또한, 정코로나의 경우, 부코로나에 비해 더 높은 코로나 유지전압이 필요하게 됨을 보여주는데 이는, 정코로나의 경우, 부코로나에 비해 상대적으로 강유전체구 층에서의 전하의 이동속도가 느린 양전하의 축적, 방전으로 인해 코로나 유지를 위해서는 더욱 높은 인가전압이 필요하게 됨을 의미하는 것으로 사료된다.

표 1 강유전체구의 유전상수, 비저항 및 완화시정수  
Table 1 Dielectric constants, resistivities and relaxation time constants of ferroelectric pellets

$\epsilon_r$	6	35	60	100	650	2500
spec.						
$\tan \delta$ [ $\times 10^{-3}$ ]	40.00	11.80	5.50	3.76	7.36	252.69
resistivity [ $\times 10^6 \Omega cm$ ]	67.77	38.72	48.57	42.69	3.35	0.03
time constant [ $\times 10^{-6} sec$ ]	36	120	258	378	193	6

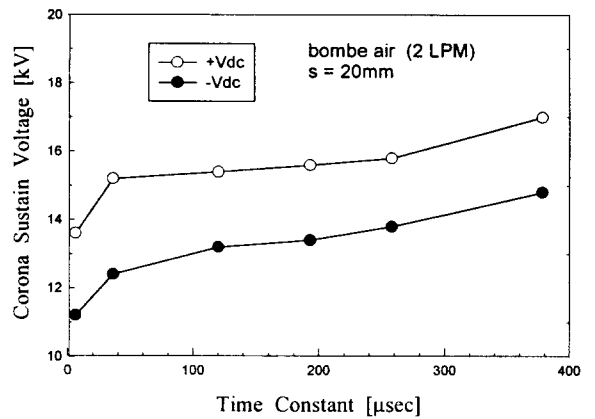


그림 8 강유전체구 층의 전하 완화 시정수에 따른 코로나 유지전압  
Fig. 8 Corona sustain voltages for various charge relaxation time constants of ferroelectric pellet barrier

그림 9는 정코로나의 경우, 강유전체구의 유전상수 변화에 따른 강유전체구 사이의 코로나개시전압을 나타낸 것으로 유전상수가 증가함에 따라 코로나개시전압은 감소함을 알 수 있다.

이러한 현상을 개념적으로 검토해보면 두 유전체 사이의 전속밀도의 경계조건으로 설명이 가능하다[12]. 식 (1)에서와 같이 공기와 유전체의 전속밀도의 경계조건에 의해 식 (2)와 같이 전계의 관계식으로 나타낼 수 있다. 결국 식 (3)에서 알 수 있듯이 침 선단과 강유전체구 상부 층 사이의 공기층에 인가되는 전계의 세기는 강유전체구의  $\epsilon_r$ 이 증가함

에 따라 강유전체에 비해 더욱 큰 값을 갖게되며, 따라서 방전은 공기층에서 쉽게 발생되어 코로나 개시전압이 낮아지게 된다.

$$D_a = D_f \tag{1}$$

$$\epsilon_0 E_a = \epsilon_0 \epsilon_f E_f \tag{2}$$

$$E_a = \epsilon_f E_f \tag{3}$$

여기서,  $D_a$ ,  $D_f$  는 각각 공기층과 강유전체에서의 전속밀도이며,  $E_a$ ,  $E_f$  는 각각 공기층과 강유전체구 층에서의 전기장 세기를 나타낸다.

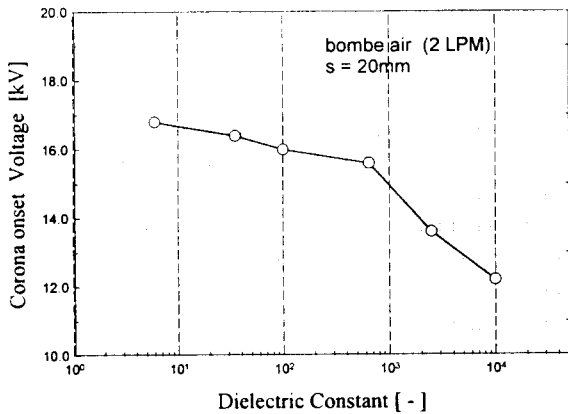


그림 9 강유전체구 층의 유전상수에 따른 정코로나 개시 전압

Fig. 9 Positive corona onset voltages for various dielectric constants of ferroelectric pellet barrier

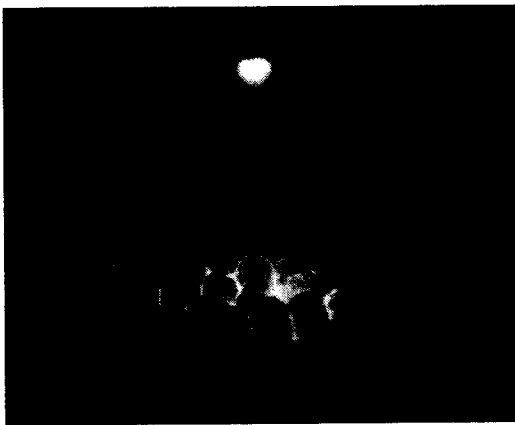


그림 10 강유전체구 층에서의 코로나 방전 사진

Fig. 10 Photo of corona discharge on the ferroelectric pellet barrier

그림 10과 11은 강유전체구 층에서의 방전현상을 촬영한 것으로서, 직류 인가 전압을 증가시킴에 따라 그림 10에서와 같이 침선단과 강유전체구 층 사이의 코로나방전, 그리고 강유전체구 층 사이의 연면방전이 동시에 발생하여 효과적인 이중방전이 구현됨을 관찰할 수 있다.

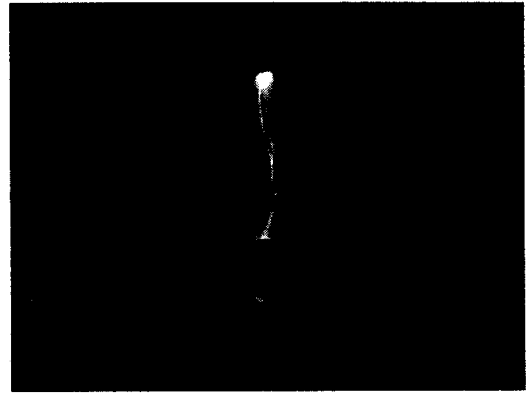


그림 11 강유전체구 층에서의 아-크 방전 사진

Fig. 11 Photo of arc discharge on the ferroelectric pellet barrier

한편, 인가전압을 더욱 증가시킴에 따라 그림 11에서와 같이, 갑자기 침선단과 강유전체구사이에서 아-크방전이 발생함을 관찰하였고, 이러한 경우 발생오존의 열해리로 인해 발생오존량의 급격한 감소를 초래하였다.

#### 4. 결 론

본 연구는 효과적인 강유전체 층방전 장치 개발을 위한 기초연구로서, 지금까지 제안되지 않은 새로운 강유전체구 층방전 구조형태인 침 대 평판형을 제안하고 강유전체의 전기물성적 특성이 코로나 방전에 미치는 영향을 조사하였다. 강유전체구 층을 설치했을 때 방전 및 오존 발생 특성에 미치는 강유전체 층의 영향과, 침 대 평판형 강유전체구 층방전에서 정, 부 코로나 및 인가전원의 변화, 강유전체구의 유전상수 및 완화시정수의 변화가 강유전체구 층의 코로나 하전에 미치는 영향을 실험적으로 연구 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 강유전체구 단층이 없는 경우보다 있는 경우와, 정코로나보다도 부코로나 인가시 큰 평균 코로나전류와 많은 오존이 발생하여 강유전체구 층의 설치가 큰 방전전력을 얻을 수 있어서 공학적으로 유효하게 응용될 가능성을 보여주었다.
- (2) 강유전체구 층방전에서의 평균 코로나 전류는 정코로나의 경우 인가전압의 증가와 시간(하전시간)의 증가에 따라 약 1000sec이후 경시변화가 현저했으며, 오존의 발생량도 평균 코로나전류의 경시변화에 따라 동일한 경향으로 변화하였다.
- (3) 강유전체구 층의 방전현상은 강유전체구의 전기물성, 즉, 비저항, 비유전율, 그리고, 이들로부터 계산된 전하완화

시정수에 따라 특성의 차이를 보여주었으며, 전하완화시 정수가 증가함에 따라 코로나 유지전압은 증가하는 경향을 보여주었고 비유전율의 증가에 따라 코로나 개시 전압은 감소하는 경향을 보여주었다.

참 고 문 헌

[1] NATO, Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge Univ, England Sept. 21-25, 1992.

[2] S. Masuda, K. Akutsu, M. Kuroda, Y. Awatsu and Y. Shibuya "A Ceramic-based Ozonizer using High-frequency Discharge", IEEE/IES Ann. Mtg., 1985.

[3] 문재덕, 이근택, "線對圓筒形 非熱플라즈마 反應裝置의 방전 및 NO除去 特性", 대한전기학회 논문지, 제45권, 9호 pp.1324-1330, 1996.

[4] G. Dinelli, L. Civitano and M. Rea, "Industrial Experiments on Pulse Corona Simultaneous Removal of NOx and SO2 from Flue Gas", IEEE Trans on IA, Vol. 26, No. 3, pp. 535-541, 1990.

[5] T. Oda, A. Kumada, K. Tanaka, T. Takahashi, and S. Masuda, "Low-Temperature Atmospheric Pressure Discharge Plasma Processing for Volatile Organic Compounds", Proc. of ESA-IEJ Joint Symp. Electrostatics, pp.227-235, 1994.

[6] T. Oda, T. Takahashi, H. Nakano and S. Masuda, "De-Composition of Fluorocarbon Gaseous Contaminants by Surface Discharge-Induced Plasma Chemical Processing", IEEE Trans on IA, Vol. 29, No. 4, pp.787-792, 1993.

[7] Jae-Duk Moon, G. S. P. Castle and S. Masuda, "High Efficiency Ozone Generation Using a Helical Stripline Electrode and a Fast Rising Pulse Voltage", Conference Records of IEEE/IAS '86 Annual Mtg., pp.1205-1210, 1986.

[8] K. Jogan, A. Mizuno, T. Yamamoto, and J. S. Chang, "The Effect of Residence Time on the CO2 Reduction from Combustion Flue Gasses by an AC Ferroelectric Packed Bed Reactor", IEEE Trans on IA, Vol. 29, No. 5, pp. 876-881, 1993.

[9] T. Yamamoto, K. Ramanathan, P. A. Lawless, D. S. Ensor, J. R. Newsome, N. Plaks, and G. H. Ramsey, "Control of Volatile Organic Compounds by an AC Energized Ferroelectric Pellet Reactor and a Pulsed Corona Reactor", IEEE Trans on IA, Vol. 28, No. 3, pp. 528-533, 1992.

[10] A. Mizuno, Y. Yamazaki, H. Ito, and H. Yoshida, "AC Energized Ferroelectric Pellet Bed Gas Cleaner", IEEE Trans on IA, Vol. 28, No. 3, pp. 535-540, 1992.

[11] A. Ogata, N. Shintani, K. Mizuno, S. Kushiyama and T. Yamamoto, "Decomposition of Benzene Using Non-Thermal Plasma Reactor Packed with

Ferroelectric Pellet", Conference Records of IEEE/IAS '97 Annual Mtg., pp.1975-1982, 1997.

[12] Arthur R. Von Hippel, Dielectrics and Waves, The MIT Press, 1954.

저 자 소 개



김 상 택 (琴 尙 澤)

1969년 7월 2일 생. 1994년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1996년~현재 동 대학원 전기공학과 박사과정

Tel : (053) 940-8601

E-mail : gst@palgong.kyungpook.ac.kr



이 근 택 (李 根 宅)

1964년 4월 15일 생. 1987년 경북대학교 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학) 현재 서라벌대학 전기·전자·전산 공학부 겸임교수

Tel : (053) 357-2553



문 재 덕 (文 在 德)

1946년 7월 25일생. 1970년 경북대 사대 물리교육과 졸업. 1975년 동 대학원 전자공학과 졸업(석사). 1979년~1982년 일본 동경대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1982년~1983년 일본 Simon사 동경대 파견연구원. 1986년~1987년 캐나다 Western Ontrio대 전기공학과 및 응용정전기연구소 초빙조교수. 1983년 일본정전기학회 학술논문상. 1990년 ISESP Harry J. White Award. 1992년 대한전기학회 학술상 수상. 1996년 당학회 방전고전압분과회 간사장. 1998년 현재 경북대 공학연구원장. 전자기술연구소 소장. 현재 경북대 공대 전자전기공학부 교수

Tel : (053) 950-5601

E-mail : jdmoon@bh.kyungpook.ac.kr