

## Reduction of Height of Taylor Cone Caused by Water Surface Discharge and Its Ozone Generation Characteristics

朴勝祿\* · 金振圭\*\* · 金周勇\*\*\* · 李大熙<sup>§</sup> · 文在德<sup>§§</sup>

(Seung-Lok Park · Jin-Gyu Kim · Ju-Yong Kim · Dae-Hee Lee · Jae-Duk Moon)

**Abstract** - A silent type ozone generator using water surface has been studied and improved its ozone generation characteristics by the controlling the height of Taylor cone by installing a mesh electrode, a dielectric bed of glass beads in the just under the surface of the water. The current-voltage characteristics and characteristics of ozone generation quantity of the test system were investigated and discharge current oscillograms of the each cases of the mesh electrode and the beds were observed and compared each other to analyze the discharge conditions. The Taylor cone height could be the cause of the discharge bridge to decrease the ozone generation on the discharge spacing. In this study, the hight of Taylor cone could be reduced greatly by installing the mesh and the glass beads bed just under the water surface. Therefore a higher ozone generation also could be obtained.

**Key Words** : ozone, Taylor cone, water surface discharge, glass beads, stainless mesh

### 1. 서 론

오존은 강력한 산화력을 가지고 있어서 수처리등 환경 및 산업계의 여러 분야에서 크게 주목되고 있다. 따라서, 고효율의 오존발생장치의 개발, 새로운 영역에서의 응용과 적용연구가 국내외에서 활발히 수행되고 있는 실정이다.[1,2,3,4] 수처리에 사용하는 상용의 오존발생기는 무성방전형 또는 유전체 장벽방전형을 주로 사용하고 있다.[5,6] 공기중의 산소로부터 만들어진 오존을 수처리에 이용하기 위해 수중으로 용해시키는 과정에서 용해효율이 낮아서 다시 공기중으로 유출되어 환경공해를 유발시키는 문제점이 있다. 따라서 오존을 수중으로 효과적으로 용해시키기 위한 여러 연구가 행해지고 있고, 수중에서 직접 오존을 발생시키는 방법[7]과 수표면을 전극으로 이용하는 방법[8,9] 등이 연구되고 있다. 특히 수표면을 전극으로 이용하는 오존발생방법은 공기중 오존발생방법에 비해 수표면을 방전전극으로 사용함으로써 오존발생시 문제가 되는 방전공간의 과도한 온도상승을 막을 수 이점과 방전공간이 수표면에 방전에 의해 발생된 많은 작은 수돌기들에 의해 오존의 일부가 수중에 직접 용해되도록 할 수 있는 이점이 있다.

본 연구는 수표면의 수돌기를 이용한 유전체 장벽방전형

오존발생장치에 관한 기초연구로서 수표면의 과도한 유동현상에 의해 오존발생에 미치는 비효율적인 방전현상을 개선하여 오존발생에 유리한 방전을 발생시킬 수 있는 방법에 중점을 두고 연구하였다. 즉 수표면을 전극으로 사용할 때 강한 교류전계에 의해 수표면에서 발생하는 과도한 크기의 수돌기(Taylor cone)[10,11,12]가 발생되고 이렇게 발생된 수돌기가 장벽으로 사용되는 유전체까지 근접하여 방전공간을 단락시킴으로써 효과적인 방전을 일으키지 못하는 단점이 있다. 따라서 본 연구에서는 교류전계에 의해 발생된 수돌기의 높이를 조절하여 안정된 방전을 일으키고자 하였다. 즉, 유전체를 수도수 표면의 아래부분까지 투입하거나 금속망을 수표면 바로 아래에 설치함으로써 수중전계의 형태를 변화시켜서 수표면 방전과 수돌기의 모양을 제한시키고자 하였다. 제한한 실험장치에 대한 실험의 결과를 전압-전류특성, 오존발생량특성 및 오실로스코프의 파형을 통해 비교 검토하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 실험방법 및 장치

그림 1은 실험에 사용된 수표면을 전극으로 이용한 유전체 장벽방전형 오존발생장치와 실험장치의 개략도이다. 오존발생장치는 그림 1과 같이 유리용기(pyrex, 두께 : 2 mm, 지름 : 60 mm)의 윗면에 원형의 전극(UE : upper electrode, 재질 : SUS304, 지름 : 45 mm, 두께 : 0.1 mm)을 설치하고 나사를 부착하여 그 피치로써 수표면과의 거리(d)를 적절히 조절할 수 있도록 하였다. 이 때 수표면방전의 형태를 결정짓기 위해 물 속에 작은 유리구슬(구직경 : 약 2 mm, glass beads :  $\epsilon_r=6$ )을 투입하거나, 스테인레스 그물

\* 正 會 員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 博士修了

\*\* 正 會 員 : 慶北大 電子電氣工學部 BK21 助教授 · 工博

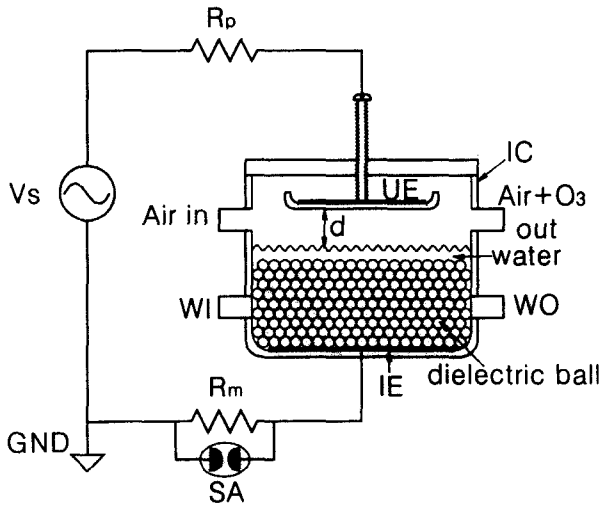
\*\*\* 正 會 員 : 電力研究院 電力系統研究室 先任研究員

§ 正 會 員 : 釜山情報大 教授

§§ 正 會 員 : 慶北大 大學院 電氣工學科 教授 · 工博

接受日字 : 2001年 3月 17日

最終完了 : 2001年 6月 15日



- Vs : voltage source
- Rp : protection resistor
- Rm : measuring resistor
- UE : upper electrode
- SA : surge arrester
- IE : induction electrode
- IC : insulator case
- WI : water inlet
- WO : water outlet
- d : air gap spacing
- GND : ground

그림 1 수표면 방전장치의 개략도.  
Fig. 1 Schematic of water surface discharge system.

(mesh size : 2 mm, 재질 : SUS mesh 304)을 공간간격(d)과 비슷한 값으로 하기 위해 수표면으로부터 약 5 mm 하부에 설치하였으며, 또한 수중의 하면에 유도전극(IE : Induction Electrode)을 설치하여 실험하였다. 이때, 인가 고전압 전원장치는 상용 고전압 변압기(출력 최대 전압 : 20 kV, 최대 전류 : 100mA)를 사용하였다. 본 실험의 방전전류 및 전압은 실효치로써 축적형오실로스코프(Tektronix Model TDS360A)와 고주파 고전압 프로브(Tektronix, P6015A)를 사용하여 측정하였으며, 정밀저항의 양단에 계기보호용 충격전류흡수 장치(surge arrester, 250V)를 삽입하여 측정계기를 보호하는 동시에 방전전류를 측정할 수 있도록 하였다. 실험에서 발생된 오존은 오존모니터(Dasibi, Model 1108)를 사용하여 측정하였다. 인입기체는 공업용 공기를 유량 2 LPM으로 고정하여 사용하였다. 모든 실험장치는 전자 차폐된 철제함 내에 설치하여 실험하였다.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 2는 수도수를 사용하고 유전체장벽과 수표면사이의 거리 즉, 공간간격(air gap spacing, d)을 6~9 mm로 변화시켰을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 전압이 인가 되면 작은 변위전류가 흐르고 전압이 증가함에 따라 수표면이 유동하기 시작하고 물결모양을 형성하는 것을 관찰할 수 있다. 인가전압이 더욱 높아지면 방전이 개시되고 수표면에는 수돌기인 원추모양의 작은 물기둥들이 수직 상방향으로 형성된다. 이때, 각각의 공간간격에서 전압이 일정한 값 이

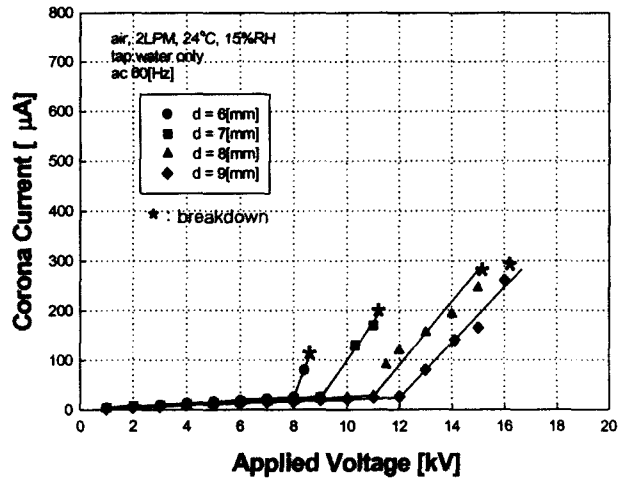


그림 2. 방전공간간격변화에 따른 수도수의 전류-전압 특성.  
Fig. 2. Current-voltage characteristics for different air gap spacings of tap water.

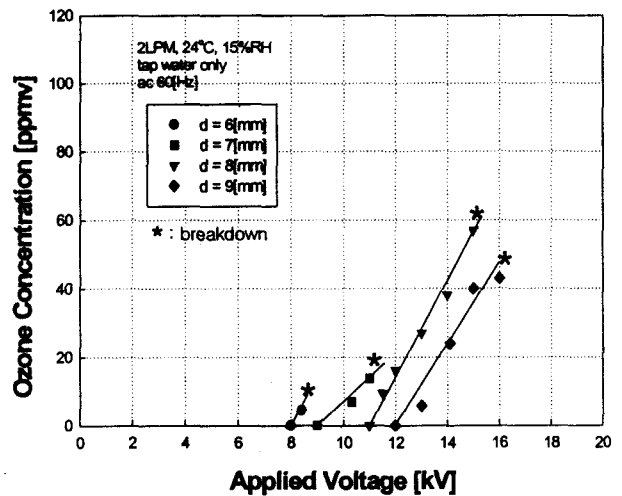


그림 3. 방전공간 간격변화와 인가전압에 따른 수도수의 오존발생량특성.  
Fig. 3. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of tap water.

상 되면 수표면에는 크고 높은 수돌기가 생성되어 심한 유동현상이 발생하고, 수돌기 끝부분이 유전체 장벽으로 사용된 유리그릇의 표면에 이르게 됨으로써 공간간격이 단락되어져서 교락(breakdown)현상이 발생한다. 공간간격이 6, 7 mm인 경우에는 8, 9 mm에 비해 낮은 전압에서 교락현상이 발생하고 공간간격이 8, 9 mm인 경우에는 15 kV이상까지 교락현상이 발생하지 않고 6, 7 mm때 보다 안정된 방전현상을 보여준다. 이때의 수돌기나 유동현상은 사진촬영이 곤란하며 육안으로 관측하였다.

그림 3은 수도수를 사용하고 공간간격을 6~9 mm로 변화시켰을 때의 오존발생량특성을 나타낸 그림이다. 공간간격이 6, 7 mm인 경우 인가전압이 낮을 때는 소량의 오존이 발생되나, 인가전압이 증가하여 각각 8.3 kV 및 11 kV에서

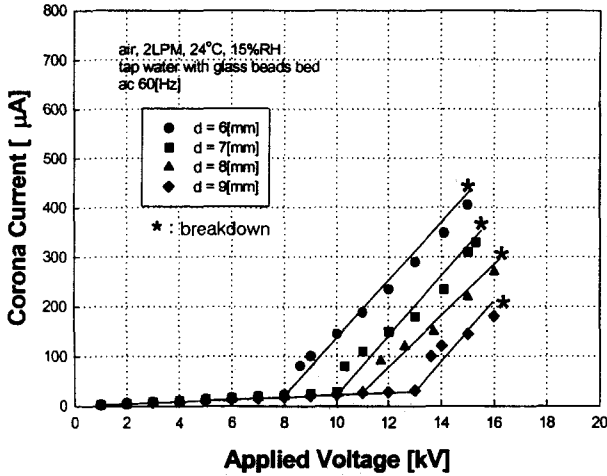


그림 4. 유리구슬 유전체가 충전된 수도수의 방전공간간격 변화에 따른 전류-전압 특성.  
 Fig. 4. Current-voltage characteristics for different air gap spacings of tap water with glass beads bed.

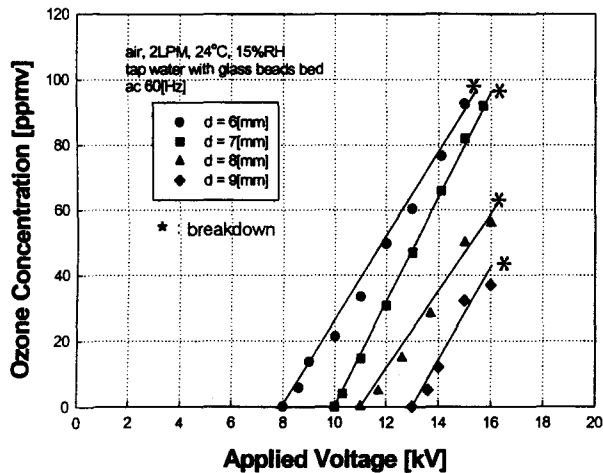


그림 5. 유리구슬 유전체가 충전된 수도수의 방전공간간격 변화에 따른 오존발생량특성.  
 Fig. 5. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of tap water with glass beads bed.

는 그 길이가 6 mm이상의 과도한 크기의 물기등이 유전체 장벽으로 사용된 유리구슬의 표면에 부착됨으로써 교락현상이 발생한다. 따라서 오존이 발생할 수 있는 공간간격이 없어지고 더 이상 오존은 발생하지 않게 된다. 공간간격이 8, 9 mm인 경우에는 약 15 kV 이상까지 물기등의 길이가 유리구슬과 닿지 않는 7 mm이하로 공간간격보다 작아서 교락현상이 발생하지 않고 이때 발생하는 최대오존발생량 역시 공간간격이 6, 7 mm일 때 보다 많은 57 ppmv 및 43 ppmv를 나타내었다.

그림 4는 수도수내에 수표면의 유동현상을 줄여서 전류-전압특성과 오존발생량특성을 변화시킬 것으로 생각되는 비유전율이 물에 비해 매우 작은 유전체구(glass beads, 직경 약 2 mm,  $\epsilon_r=6$ )를 수표면 하부(수표면에서 약 5 mm)에 투

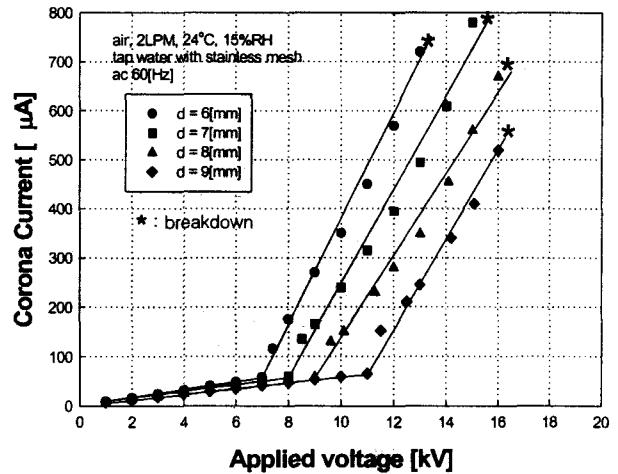


그림 6. 금속망이 설치된 수도수의 방전공간간격변화에 따른 전류-전압 특성.  
 Fig. 6 Current-voltage characteristics for different air gap spacings of tap water with stainless mesh electrode.

입했을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 그림이다. 방전개시 전까지는 공간간격에 상관없이 일정량의 변위전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 방전이 시작되면 공간간격이 6, 7 mm인 경우 그림 2의 수도수를 사용하였을 경우와는 달리 인가전압 15.0 kV 및 15.3 kV까지 교락현상 없이 안정된 방전특성을 보임으로써 각각 최대 403  $\mu A$  및 330  $\mu A$ 의 전류를 흘릴 수 있었다. 이러한 현상은 수도수 속에 유전체구를 투입함으로써 수도수의 유동성을 기계적으로 적게 하고 또한 도전을 감소와 상대적인 수중전계의 증대 및 집중화로 말미암아 수표면의 과도한 유동현상을 줄일 수 있었기 때문으로 미시적인 현상은 앞으로 더욱 세밀한 연구가 요구된다. 그러나 공간간격이 8, 9 mm일 경우 그림 2의 경우와 유사하게 공간간격에 높은 전압이 인가됨으로서 방전개시 후 즉시 교락현상으로 진전되는 것을 보여준다.

그림 5는 수도수내에 유전체구를 투입했을 때의 오존발생량특성을 나타낸 것이다. 공간간격이 6, 7 mm인 경우 방전개시후 인가전압의 증가에 따라 급격한 오존발생량의 증가를 보이고 인가전압 약 15 kV까지 안정된 방전특성을 보임으로써 92 ppmv 및 95 ppmv의 최대오존발생량을 나타내었다. 이는 수도수만의 경우에 비해 유전체구를 투입 설치함으로써 약 2배 정도의 많은 오존발생량을 얻을 수 있음을 보여준다. 반면, 공간간격이 8, 9 mm인 경우 방전개시후 인가전압의 증가에 따라 급격한 오존발생량의 증가를 보이지만 인가전압 약 16 kV이상에서는 수표면에 과도한 유동현상을 보이고 교락현상이 발생함으로써 오존은 더 이상 발생하기 어렵게 됨을 보여준다.

그림 6과 7은 수도수내의 수표면에 금속망(stainless steel mesh, 그물눈금 : 1 mm, 두께 : 1 mm)을 수표면에서 약 5 mm아래에 설치했을 때의 전류-전압 특성 및 오존발생량특성을 나타낸 그림이다. 수도수내에 유전체구를 투입한 경우에 비해 방전개시 전압차이는 없으나 많은 양의 방전전류를 흘리는 것을 볼 수 있다.

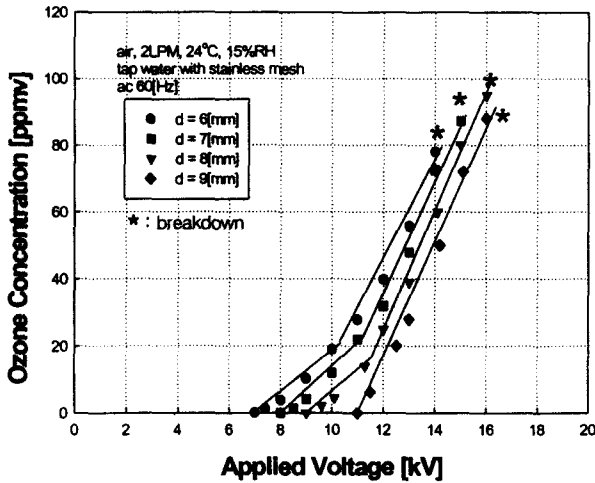


그림 7. 금속망이 설치된 수도수의 방전공간간격에 따른 오존발생량특성.

Fig. 7. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of tap water with stainless mesh electrode.

오존발생량특성 역시 공간간격이 6 mm인 경우의 오존발생량이 매우 적은 것을 제외하고 비교적 비슷한 오존발생량특성을 보여준다. 이것은 수도수내에 설치한 금속망이 수표면의 유동현상을 기계적으로 줄일 뿐만 아니라 수표면의 전계를 상대적으로 균일하게 함과 동시에 수돌기의 발생영역이 금속망 지름의 크기정도로 제한되었기 때문으로 사료된다.

그림 8과 9는 공간간격은 8 mm로 고정하고 이제까지 실험한 각 경우의 전류-전압 특성과 오존발생량특성을 서로 비교한 그림이다. 그림 8의 전류-전압특성에서는 수도수내에 금속망을 설치한 경우가 유전체구를 설치한 경우에 비해 방전개시전압이 약 20%로 낮으나, 동일전압에서의 전류증가분 즉, 기울기(slope,  $\Delta i / \Delta v$ )가 3배정도의 현저한 전류증가와 상대적으로 효과적인 전류-전압특성을 나타냄을 보여주었다. 그림 9의 오존발생량특성에서는 수도수내에 금속망을 설치한 경우가 95 ppmv로써 동일한 공간간격내에서 최대오존발생량을 나타내었다.

그림 10은 인가전압은 15 kV, 공간간격은 8 mm로 고정했을 때 공기층만 있는 경우(a), 수도수를 사용한 경우(b), 수도수에 유전체구를 충전한 경우(c), 그리고 금속망을 설치한 경우(d) 각각에 해당하는 방전전류파형을 나타낸 그림이다. 그림 10의 (a)의 공기층장벽방전의 방전전류파형과 수표면을 갖는 (b), (c), (d)의 경우 즉, 수표면을 사용한 장벽방전의 경우는 서로 다른 모양의 방전전류파형을 나타낸다. 먼저 그림 10(a)와 (b)를 서로 비교하면 약간의 차이를 나타낸다. 부주기 방전파형의 경우 (a)의 경우가 (b)의 경우에 비해 큰 펄스의 수가 적으며 이는 (b)의 경우가 수표면상의 돌기형성으로 이들 돌기 방전에 의해 큰 펄스방전을 발생시킨 것으로 사료된다. 그러나, 그림 10(a)의 경우 정주기 방전파형과 부주기 방전파형이 큰 차이를 보여주지 않지만, 그림 10(b)의 정주기 방전파형은 큰 펄스가 거의 없고 방전전류가 뭉쳐져서 나타난다. 이는 정극성 방전이 방전발생기구

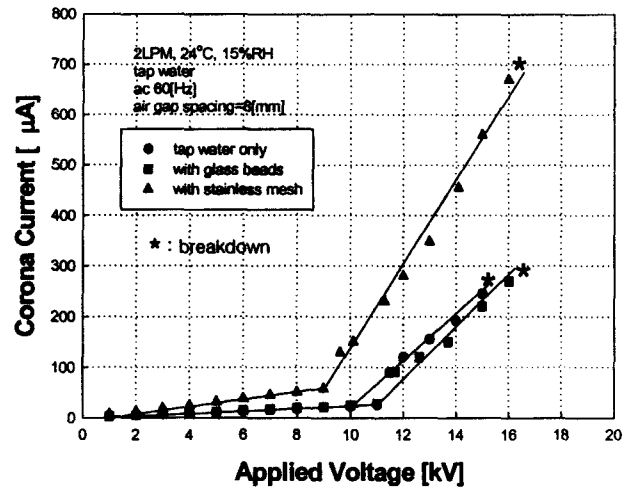


그림 8. 각 경우의 전류-전압 특성의 비교.  
Fig. 8 Comparison of current-voltage characteristics for each case tested.

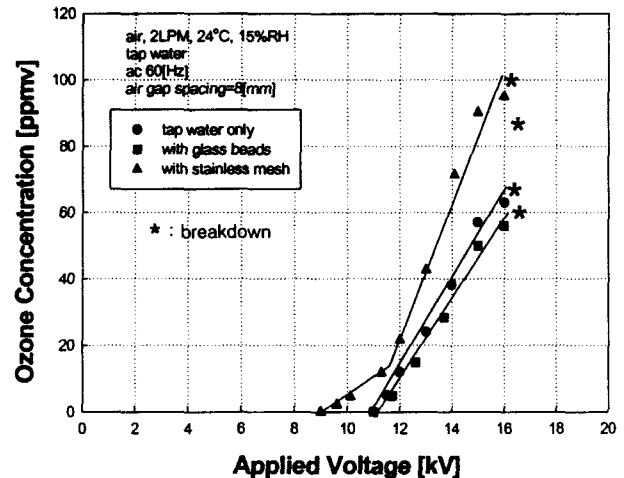
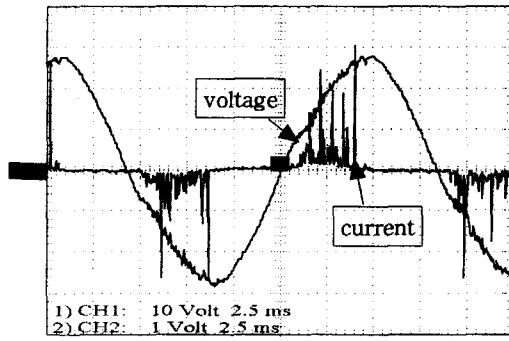
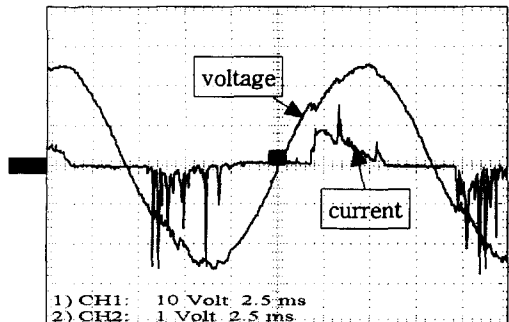


그림 9. 각 경우의 오존발생량특성의 비교.  
Fig. 9 Comparison of ozone generation characteristics for each case tested.

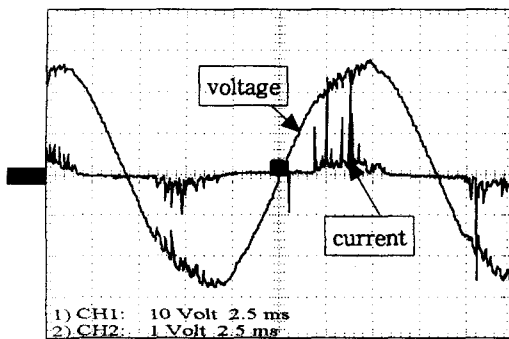
상 좌우로 잘 전파되기 때문에 국부적인 방전이 억제되어 나타난 결과라고 사료되나, 본 실험 결과만으로는 분명하지는 않다. 그림 10(a)나 (b)에 비해 그림 10(c), (d)의 각 경우는 분명히 그림 10(b)에 비해 부주기 방전의 경우 방전전류의 큰 펄스가 매우 적은 것을 보여주는데, 이는 유전체구가 충전 되거나 금속망 전극이 수표면 근처에 설치됨으로서 방전시 수표면상의 돌기 형성이 상대적으로 어렵게 되며 따라서 수돌기에 의한 큰 펄스방전이 크게 억제되기 때문에 나타난 결과라고 사료된다. 이와 같은 결과는 직접 오존발생 조건으로도 작용되어 상대적으로 많은 오존을 발생시킨 것으로 판단된다. 왜냐하면, 오존발생에는 미세펄스방전주(micropulse discharge column)가 유효하며, 큰 펄스방전주는 전극간을 단락시키거나 큰 방전전력이 공급되어 많은 발열을 시키고 이는 바로 생성된 오존을 해리시키는 역할을 하기 때문이다. 한편, 정주기방전의 경우는 그림 10(b)에 비



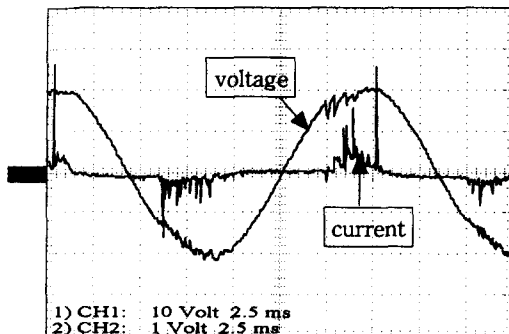
(a) air gap spacing



(b) tap water only



(c) tap water with glass beads



(d) tap water with stainless steel mesh

그림 10 각 실험조건에의 경우 방전전류파형 비교(공간간격 : 8 mm, 인가전압 : 15 kV(rms), 5 kV/div.)

Fig. 10 Comparison of discharge current oscillograms for each case(air gap spacing : 8 mm, applied voltage : 15 kV(rms), 5 kV/div.)

해 (c) 그리고 (d)의 경우 기저부분은 비슷한 방전 전류동향이 나타나나 (b)에 비해 많은 펄스 방전전류가 용이하게 형성되는 것을 보여준다. 이는 많은 오존발생을 위한 본 연구 목적상 매우 바람직한 결과로서, 유전체구나 금속망이 수표면의 큰 돌기형성을 억제하는 것을 간접적으로 보여준 결과라고 사료된다. 결과적으로, 수도수만 사용하는 것보다 유전체의 충전이나 금속망을 설치하는 것은 수도기를 제어할 수 있으며, 효과적으로 오존을 발생시킬 수 있는 방법중의 하나임이 실험결과로 나타났다.

### 3. 결론

본 논문은 수표면을 전극으로 이용한 새로운 형태의 유전체 장벽방전형 오존발생장치에 관한 논문으로써 수표면의 과도한 유동현상에 의한 오존발생에 비효율적인 방전현상을 개선시키고자 하였다. 이를 위해 교류전계에 의해 수표면에 발생된 수도기의 크기를 제한할 수 있을 것으로 사료되는 유전체를 수도수중에 투입하거나 적절한 그물눈금을 갖는 금속망을 수표면 바로 아래에 설치하여 실험적인 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 수도수를 사용한 경우 일정한 전압이상이 공간간격이상에 인가될 때 수표면상의 과도한 유동현상에 의해 방전공간을 단락시키는 정도의 매우 큰 수도기가 발생하며, 이로 말미암아 방전이 불규칙하며, 따라서 방전공간간격이 6, 7 mm인 경우 각각 5 ppmv 및 13 ppmv의 매우 작은 오존발생량을 얻을 수 있었다.
2. 수도수( $\epsilon_r=80$ )내에 비유전율이 현저히 작은 유전체구(glass beads,  $\epsilon_r=6$ )를 투입한 경우 인가전압 약 15 kV까지 안정된 방전을 얻을 수 있었고, 방전공간간격이 6, 7 mm의 경우 각각 92 ppmv 및 95 ppmv의 매우 큰 오존발생량을 얻을 수 있었다.
3. 수도수내 표면 하부(수표면에서 약 5 mm)에 일정한 그물눈금을 갖는 금속망(stainless steel mesh, mesh size : 2 mm)을 설치했을 경우 공간간격 8 mm, 인가전압 15 kV에서 560  $\mu$ A의 방전전류가 흐르는 것을 볼 수 있다. 6~9 mm공간간격에서 그 모양과 높이가 일정한 방전수돌기를 발생시킬 수 있었으며, 방전공간간격이 7, 8 mm에서 각각 87, 93 ppmv의 매우 큰 오존발생량을 얻을 수 있었다. 이는 수도수만을 투입했을때의 방전전류 245  $\mu$ A, 와 두 종류의 유전체를 설치한 경우의 방전전류 220  $\mu$ A에 비해 높은 방전전류값이었다.
4. 인가전압을 15 kV, 공간간격은 8 mm로 고정하고 각 실험조건에의 경우에 해당하는 무성방전전류파형을 관찰하였다. 수도수를 사용한 경우 수표면에 형성되는 불규칙하고 높이가 일정하지 않은 다수의 수돌기가 형성되었다. 그러나 수도수중에 유전체구를 수표면 바로 아래까지 투입하거나 금속망을 수표면하에 설치함으로써 방전전류의 형태가 뭉쳐지지 않고 무성방전시와 같이 단시간의 펄스형태를 띄는 것을 알 수 있다. 따라서, 이러한 방법은 수돌기를 제어할 수 있는 방법으로 유효하며, 오존발생에 유리한 안정된 무성방전을 발생시킬 수 있음을 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] 池畑昭, "オゾンの環境汚染への應用", 日本靜電氣學會誌, 7,3, pp 167-175, 1983.
- [2] B. S. Kirk and R. McNabney, "Ozone in Water and Wastewater Treatment," Ann Arbor Science, Ann Arbor, Michigan, 1972.
- [3] 官田定次郎 : 水處理技術, 21, 129, 1980.
- [4] Hitachi UV/ozone asher, UA-5200, HITACHI, JAPAN and Fusion 200AC-II Asher System, Fusion Semiconductor Systems, USA.
- [5] S. Masuda, K Akutsu, M Kuroda, Y. Awatsu, and Y. Shibuya, "A ceramic based ozonizer using high-frequency discharge," IEEE Ind. Appl., vol IA-24, no. 2, pp 223-231, Mar./Apr. 1988.
- [6] Yukiharu Nomoto, Toshikazu Ohkubo, Seiji Kanazawa and Takayoshi Adachi, "Improvement of Ozone Yield by a Silent-Surface Hybrid Discharge Ozonizer," IEEE Ind. Appl., vol 31, no. 6, pp 1458-1462, Nov./Dec. 1995.
- [7] Heinz P. Fritz, Jordanis C. G. Thanos, and Dietrich W. Wabner, "Electrochemical Synthesis, X V II [1] Ozone Synthesis by Electrolysis of Water," pp 1617-1627, 1979
- [8] James A. Robinson, Maurice A. Bergougnou, William L. Cairns, G. S. Peter Castle, and Ion I. Inculet, "A New Type of Ozone Generator Using Taylor Cones on Water Surfaces," IEEE Ind. Appl., vol 34, no. 6, pp 1218-1223, Nov./Dec. 1998.
- [9] Ion I. Inculet, "Method and Apparatus for Ozone Generation and Treatment of Water," U. S Patent, 5478533, Dec. 26, 1995.
- [10] Sir Geoffrey Taylor, F. R. S, "Disintegration of water drops in an electric field," Proc. R. S. Loud. A, Math. Phys. Sci., vol.280, pp. 383-397, Aug. 1964.
- [11] G. A. Dawson, "Eclectical Corona from Water-Drop Surfaces," J. Geophys. Res., vol. 75, no. 12, pp 2153-2158, Apr 20, 1970.
- [12] Masanori Hara and Masanori Akazaki, "Onset Mechanism and Development of Corona Discharge on Water Drops Dripping From A Conductor Under High Direct Voltage," Journal of Electrostatics, vol. 9, pp 339-353, 1981.

저 자 소 개



박 승 록 (朴勝錄)

1971년 2월 2일 생. 1995년 경북대 공과대학 전기공학과 졸업. 1997년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 경북대 대학원 전기공학과 박사과정 수료.  
Tel : 053-940-8601, Fax : 053-950-6600  
E-mail : psl@palgong.knu.ac.kr



김 진 규 (金振圭)

1967년 2월 24일 생. 1990년 경일대 공과대학 전기공학과 졸업. 1994년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대 대학원 전기공학과 졸업(공학) 현재 경북대 공대 전자전기공학부 BK21 조교수

Tel : 053-950-7325, Fax : 053-950-6600  
E-mail : kjpg@bh.knu.ac.kr



김 주 웅 (金周勇)

1969년 9월 27일 생. 1992년 경북대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸(석사). 1994 - 현재 전력연구원 전력계통연구실 선임연구원

Tel : 042-865-5923, Fax : 042-865-5804  
E-mail : kimjy@kepri.re.kr

이 대 희 (李大熙)

1951년 1월 28일 생. 1973년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 경북대 공대 전기공학과 졸업(공학). 현재 부산정보대학 전기과 교수

Tel : 051-330-7118, Fax : 051-334-7780  
E-mail : leedh@pitc.ac.kr



문 재 덕 (文在德)

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

Tel : 053-950-5601, Fax : 053-950-5600  
E-mail : jdmoon@knu.ac.kr