

수표면 방전을 이용한 오존발생특성

김인웅* · 김찬규* · 박승록** · 문재덕*
 *경북대학교 대학원 전기공학과, **금오공과대학교 전자공학부

Ozone Generation Characteristic Utilizing a Water Surface Discharge

In-Woong Kim* · Chan-Gyu Kim* · Seung-Lok Park** · Jae-Duck Moon*
 *Dept. of Electrical Engg., Graduate School, Kyungpook National University
 **Dept. of Electronic Engg. Kumoh national university of technology

Abstract - A silent discharge type ozone generator using a water surface as an electrode has been proposed and investigated experimentally. A water surface has many Taylor cones when the ac voltage is applied on its surface, which increase the discharge surface greatly. In this paper, it was studied about the effect of the water conductivity. As increasing the water conductivity, the amount of generated ozone was increased and the silent discharge on the water surface took place steadily and calmly.

1. 서 론

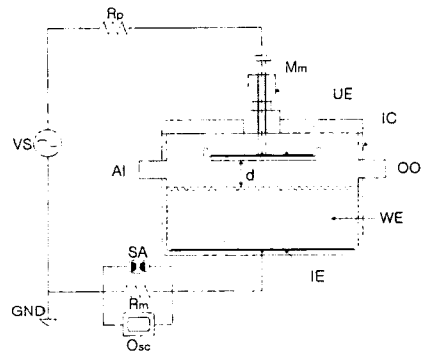
오존은 수처리 등 여러 분야에서 크게 주목되어 이의 연구가 국내외에서 활발히 수행되고 있다.[1,2,3] 수처리 시에 사용되는 통상의 무성방전형 오존발생장치[4]의 출력 오존을 수처리 하기 위하여 처리 수중에 용해시킬 때, 오존의 수중 용존율은 매우 낮다. 따라서 최근에는 수중 또는 수표면을 이용하는 오존발생방법이 제안되고 있다.[5,6] 특히 수표면을 전극으로 이용하는 오존 발생 방법은 방전공간에서 수표면 방전에 의해 발생된 많은 작은 수들기(Taylor cone)[7,8]에 의해 효과적으로 오존이 발생될 수 있는 이점이 있다. 본 연구에서는 수표면을 전극으로 이용한 유전체장벽 방전형 오존발생장치에서의 기초특성과 특히 전극으로 사용한 물의 도전을 변화가 오존발생특성에 미치는 영향을 실험적으로 연구, 검토하였다.

2. 본 론

2.1 실험방법 및 장치

그림 1은 본 실험에 사용된 수표면을 전극으로 이용한 유전체장벽방전형 오존발생장치와 실험장치의 개략도이다. 오존발생장치는 그림 1과 같이 유리용기(pyrex, 두께: [2mm], 지름: [60mmφ])의 내부 상면에 원형의 전극(UE, 재질: SUS304, 지름: [45mmφ], 두께: 0.1[mm])을 설치하고 간격제어장치(micrometer)를 부착하여 수표면과의 거리(d)를 조절할 수 있도록 하고, 수중의 하면에 유도전극(IE)을 설치하여 실험하였다. 이때의 인가고전압장치는 상용 고전압 장치($V_{max} = 20[kV]$, $I_{max} = 100[mA]$)를 사용하였다. 본 실험의 방전전류 및 전압은 실패치로써 측정형 오실로스코프(Tektronix Model TDS360A)와 고주파 고전압 프로브(Tektronix P6015A)를 사용하여 측정하였으며, 정밀저항의 양단에 계기보호용 충격 전류 흡수 장치(surge arrester, 250[V])를 삽입하여 측정 계기가 보호되게 하였다. 발생된 오존은 오존모니터(Dasibi, Model 1108)를 사용하여 측정하였으며, 인입 기체로는 공업용 인조 공기를 유량 0.5[LPM]으로

고정하여 사용하였다. 그리고 실험수의 도전율은 증류수(distilled water)에 염화나트륨(NaCl)을 첨가하여 조절하였다. 모든 실험 장치는 전자 차폐된 철제함 내에 설치하여 실험하였다.



- VS : voltage source
- IC : insulator case
- Rp : protection resistor
- Mm : micrometer
- Rm : measuring resistor
- UE : upper electrode
- SA : surge arrester
- IE : induction electrode
- GND : ground
- d : air gap spacing
- AI : air inlet
- Osc : oscilloscope
- OO : ozone outlet
- WE : water electrode

Fig. 1 Schematic of experimental setup.

2.2 실험결과 및 고찰

그림 2는 증류수를 사용하고 유전체장벽과 수표면사이의 공간간격(d)을 6~9[mm]로 변화시켰을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 전압이 인가되면 작은 변위 전류가 흐르고, 따라서 수

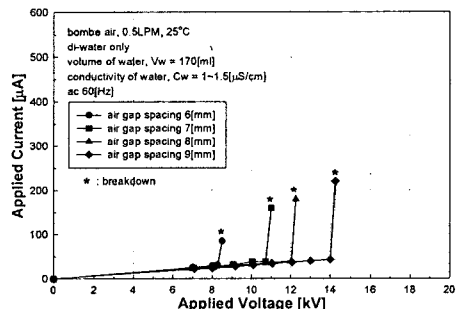


Fig. 2. I-V characteristics for different air gap spacing.

표면이 유동하기 시작하고 물결모양을 형성하는 것을 유안으로 관찰할 수 있다. 인가 전압이 증가되면 공간간격 층에 방전이 개시되고 수표면에는 수돌기(Taylor cone)인 원추모양의 작은 물기둥이 수직방향으로 형성된다. 증류수의 경우 수돌기의 신장이 빠르게 진전되고 인가전압이 일정한 값 이상이 되면 수표면에는 수돌기와 더불어 심한 유동현상이 발생되어 수돌기의 끝부분이 유전체장벽으로 사용된 유리용기의 하부 표면에 이르러짐으로써 공간간격이 단락 되어 전원의 단락(electrical breakdown)현상이 발생했다. 각각의 공간 간격별 방전이 개시되는 시점의 전압을 실험적으로 조사한 결과 공간간격이 6(mm)인 경우 약 8.4(kV), 7(mm)인 경우 약 11(kV), 8(mm)인 경우 약 12.1(kV), 그리고 9(mm)인 경우 약 14.1(kV)를 나타내었다. 즉, 도전율이 극히 낮은 증류수의 경우($\sigma = 1 \sim 1.5(\mu\text{S}/\text{cm})$)는 방전이 개시되는 전압이 공간간격별로 비교적 큰 차이를 나타냄을 알 수 있었다. 그리고 방전 개시 후 수돌기의 신장이 급속히 진전됨을 확인할 수 있었다.

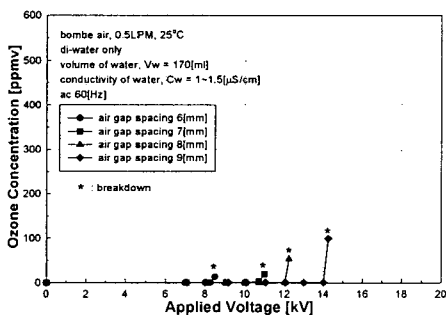
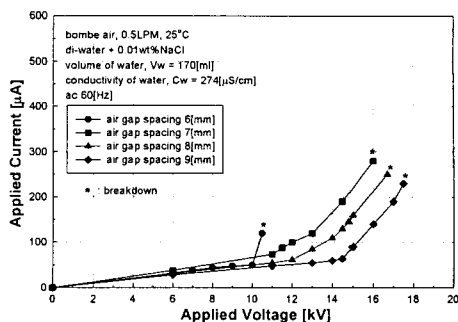


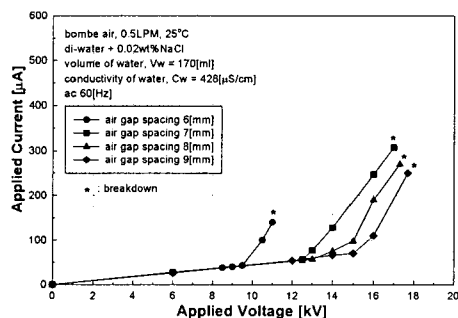
Fig 3. Ozone generation characteristics for different air gap spacing.

그림 3은 증류수를 사용하고 공간간격을 6~9(mm)로 변화시켰을 때의 오존발생특성을 나타낸 것이다. 각각의 공간간격의 경우 방전개시시점부터 단락현상이 발생하는 순간의 좁은 인가전압범위에서 오존이 발생하였다. 즉, 도전율이 극히 낮은 증류수의 경우는 오존발생을 지속할 수 있는 인가전압의 범위가 매우 좁음을 알 수 있었다. 이 때의 최대 오존발생량은 공간간격이 큰 8, 9(mm)인 경우가 6, 7(mm)인 작은 경우 보다 많은 65(ppmv), 100(ppmv)를 나타내었다.

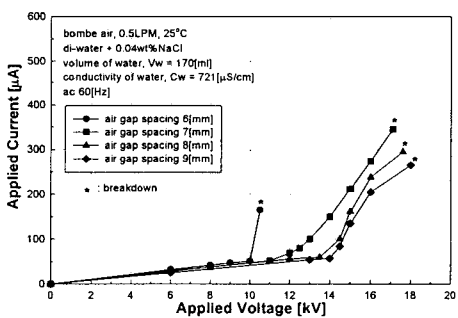
그림 4는 수중 도전율별 수표면 방전에서의 전류-전압특성을 나타낸 것으로써, 증류수에 각각 0.01, 0.02, 0.04(wt%)의 염화나트륨(NaCl)을 첨가한 경우의 전류-전압특성을 나타낸 것이다. 공간간격 6(mm)인 경우의 방전개시전압은 도전을 변화와는 큰 상관없이 일정한 값(약 10(kV))을 나타내었다. 이러한 현상은 좁은 공간 간격과 물의 유동성으로 인한 수표면상의 불규칙한 수돌기의 높이에 의해 수중 도전율에 의한 영향력이 적기 때문인 것으로 사료된다. 그러나 수중 도전율별 공간간격 7, 8, 9(mm)인 경우의 방전 개시 전압을 보면, 그림 4(a)의 경우($\sigma = 274(\mu\text{S}/\text{cm})$)는 방전개시전압이 공간간격 7(mm)인 경우 약 11(kV), 8(mm)인 경우 약 12(kV), 그리고 9(mm)인 경우 약 14(kV), 그림 4(b)의 경우($\sigma = 428(\mu\text{S}/\text{cm})$)는 방전개시전압이 공간간격 7(mm)인 경우 약 12.3(kV), 8(mm)인 경우 약 13(kV), 그리고 9(mm)인 경우 약 15(kV), 그리고 그림 4(c)의 경우($\sigma = 721(\mu\text{S}/\text{cm})$)는 방전개시전압이 공간간격 7(mm)인 경우 약 11(kV), 8(mm)인 경우 약 13.5(kV), 그리고 9(mm)인 경우 약 14(kV)이었다. 그림 4(b)와 그림 4(c)의 경우는 방전 개시 전압이 거의 비슷하나, 전반적



(a) distilled water with 0.01wt% of NaCl



(b) distilled water with 0.02wt% of NaCl



(c) distilled water with 0.04wt% of NaCl

Fig 4. I-V characteristics for different air gap spacing and water conductivity.

으로 도전율이 높아질수록 방전 개시 전압과 공간간격의 단락현상이 발생하는 순간의 인가전압 역시 증가함을 알 수 있었다. 이는 수중 도전율의 증가가 수돌기의 형성 과정을 안정적으로 이끌며 수돌기의 성장을 지연시키는 작용을 하는 것으로 사료된다.

그림 5는 수중 도전율별 수표면 방전에서의 오존발생 특성을 나타낸 것으로써, 증류수에 각각 0.01, 0.02, 0.04(wt%)의 염화나트륨(NaCl)을 첨가한 경우의 오존발생특성을 나타낸 것이다. 공간 간격 6(mm)인 경우 도전율이 증가함에 따라 발생 오존량 역시 증가하나, 방전개시 후 단락현상으로서의 진전이 급격히 이루어지게 됨에 따라 오존 발생 지속 범위가 크지 않았다. 이러한 현상은 빠른 단락현상으로서의 진전으로 인해 방전공간이 단락 됨으로써 더 이상의 오존이 발생할 수 없음을 나타낸다. 수중 도전율별 공간간격 7, 8, 9(mm)인 경우 동일 인가전압 16(kV)에서의 오존발생량을 비교해보면, 그

3. 결 론

본 논문은 수표면을 전극으로 이용한 유전체장벽방전형 오존발생장치에 관한 기초연구로서 수중의 도전을 변화가 오존발생특성에 미치는 영향을 조사하였다. 이를 위해 증류수(distilled water)에 염화나트륨(NaCl)를 첨가하여 서로 다른 도전을 가지는 경우에 대해 실험적인 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

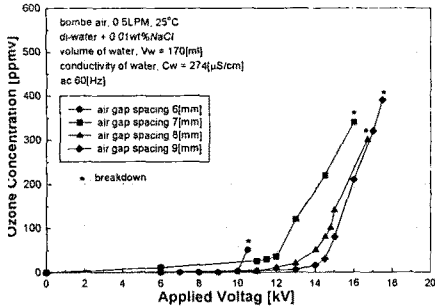
1. 도전율이 극히 낮은 증류수($\sigma = 1 \sim 1.5 \mu\text{S/cm}$)의 경우 방전개시전압이 공간간격에 의해 크게 달라짐을 알 수 있었다. 또한, 방전 개시 후 수몰기의 신장이 급속히 진전되어 유전체장벽에 이르게 됨으로써 좁은 인가전압 범위의 오존발생구간을 가지며 낮은 오존발생량을 나타내었다.

2. 수중 도전을 변화에 따른 특성으로써 공간간격이 6(mm)로 작은 경우 방전개시전압은 도전율의 변화와는 큰 상관없는 값(약 10(kV))를 나타내었다. 그러나 공간간격이 7, 8, 9(mm)인 경우에는 같은 공간간격에서 도전율이 증가함에 따라 수표면의 방전은 안정적으로 진행되고 방전개시전압은 높아짐을 나타내었다.

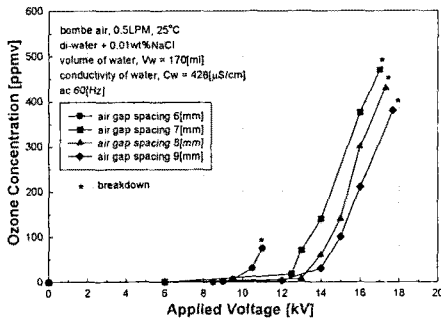
3. 도전율이 증가함에 따라 수표면의 방전이 안정되고 오존발생에 적절한 모드의 방전이 발생함으로써 오존발생량 역시 증가하여 공간간격(d) 7(mm), 도전율(σ) 428($\mu\text{S/cm}$)의 조건에서 발생최대오존량 470(ppmv)을 얻을 수 있어서 새로운 형태의 오존발생장치로서의 가능성을 보여주었다.

[참 고 문 헌]

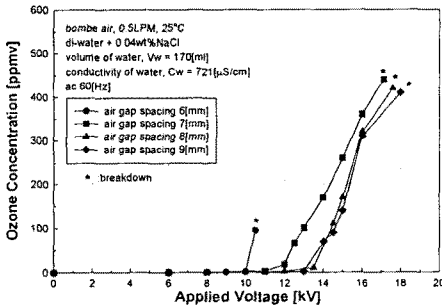
- [1] 内藤 茂三, "新版オゾン利用の新技術", 三ゆう書房, pp. 339~426, 1993.
- [2] 内藤 茂三, 食品と開發, vol.33, no.3, pp.15~19, 1998.
- [3] 山吉 孝雄, Antibact. Antifung. Agents., vol.22, no.11, pp.637~643, 1994.
- [4] Y. Nomoto, T. Ohkubo, S. Kanazawa and T. Adachi, "Improvement of Ozone Yield by a Silent-Surface Hybrid Discharge Ozonizer", IEEE nd. Appl., vol.31, no.6, pp.1458~1462, 1995.
- [5] Heinz P. Fritz, Jordanis C. G. Thanos, and Dietrich W. Wabner "Electrochemical Synthesis, XVII[1] Ozone Synthesis by Electrolysis of Water", pp.1617~1627, 1979.
- [6] 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 IA., vol. 34, no.6, pp.1218~1223, 1998.
- [7] 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, 1964.
- [8] M. Hara and M. 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.



(a) distilled water with 0.01wt% of NaCl



(b) distilled water with 0.02wt% of NaCl



(c) distilled water with 0.04wt% of NaCl

Fig 5. Ozone generation characteristics for different air gap spacing and water conductivity.

림 5(a)의 경우($\sigma = 274[\mu\text{S/cm}]$)는 공간간격이 7, 8, 9(mm)일 때 각각 330, 230, 210(ppmv), 그림 5(b)의 경우($\sigma = 428[\mu\text{S/cm}]$)는 공간간격 7, 8, 9(mm)일 때 각각 380, 300, 210(ppmv), 그리고 그림 5(c)의 경우($\sigma = 721[\mu\text{S/cm}]$)는 공간간격 7, 8, 9(mm)일 때 각각 370, 320, 310(ppmv)이었다. 즉, 도전율이 증가하는 경우 오존 발생량 역시 증가함을 알 수 있었다. 그리고 수중 도전율이 상대적으로 높은 그림 5(c)의 경우에는 공간간격과는 큰 상관없이 인가전압이 증가함에 따라 오존이 안정적으로 발생함을 알 수 있었다.