

수중 전도도 변화에 따른 수표면 방전의 특성

(Characteristics of Water Surface Discharge due to Water Conductivity)

박승록* · 김진규 · 김형표

(Seung-Lok Park · Jin-Gyu Kim · Hyung-Pyo Kim)

요 약

수표면을 전극으로 사용한 무성방전형 오존발생기를 제안하고 수중의 전도도 변화가 수표면 방전에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다. 수표면 방전에 중요한 영향을 줄 수 있는 요소로 방전공간내의 이온과 수중의 이온 및 극성분자등이 있다. 본 연구에서는 전도도를 변화시켜 수중에 존재하는 이온의 수를 조절함으로써 방전특성을 변화시키고자 하였다. 이를 위해 증류수내에 각각 다른양의 NaCl을 투입함으로써 전도도를 변화시켰고 이때의 전류-전압특성과 오존발생특성을 비교 조사하였다. 결과적으로 순수한 증류수를 사용한 경우보다 NaCl을 투입한 경우 안정된 방전을 발생시킬 수 있었고 투입하는 NaCl의 양을 늘어감에 따라 방전개시전압을 낮출 수 있었다.

Abstract

A silent type ozone generator using water surface electrode was proposed. And it was investigated experimentally that a variation of water conductivity affected to water surface discharge. Important factors affecting to water surface discharge are ions in discharge space and ions and polarized molecules in water and so on. In this study, It was intended to change the characteristics of discharge by controlling the number of ions in water. The number of ions in water could be controlled by changing the water conductivity. Water conductivity was controlled by quantity of inserted NaCl to distilled water. At this time, current-voltage characteristics and characteristics of ozone generation quantity were investigated in each case. As a result, when NaCl was inserted in distilled water, more stable discharge was generated. As the quantity of NaCl was increased, discharge starting voltage could be lowered.

Key Words : Ozone, Taylor cone, Water Surface Discharge, Water Conductivity

1. 서 론

오존은 강력한 산화력을 가지고 있어서 수처리등 환경 및 산업계의 여러분야에서 크게 주목되고 있다.

따라서, 고효율의 오존발생장치의 개발, 새로운 영역에서의 응용과 적용연구가 국내외에서 활발히 수행되고 있는 실정이다[1,2,3,4]. 수처리시에 사용하는 상용의 오존발생기는 무성방전형 또는 유전체 장벽 방전형을 주로 사용하고 있다[5,6]. 한편, 공기중의 산소로부터 만들어진 오존을 수처리에 이용하기 위해 수중으로 용해시키는 과정이 필요하다. 이때, 공기중에서 발생된 오존의 용해효율이 낮아 용해되지 못한 오존이 다시 공기중으로 유출됨으로써 환경공

* 주저자 : 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21 계약교수
Tel : 054-467-4412, Fax : 054-467-4270
E-mail : parkssi@hanmail.net
접수일자 : 2003년 7월 16일
1차심사 : 2003년 7월 25일
심사완료 : 2004년 1월 8일

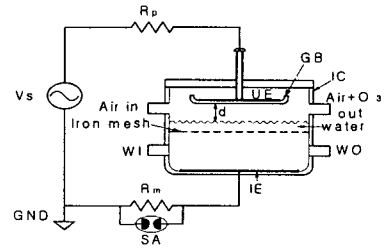
해를 유발시키는 문제점이 있다. 따라서 오존을 수중으로 효과적으로 용해시키기 위한 여러 연구가 행해지고 있고, 수중에서 직접 오존을 발생시키는 방법[7]과 수표면을 전극으로 이용하는 방법[8,9] 등도 연구되고 있다. 특히 수표면을 전극으로 이용하는 오존발생방법은 공기중 오존발생방법에 비해 수표면을 방전전극으로 사용함으로써 오존발생시 문제가 되는 방전공간의 과도한 온도상승을 막을 수 있는 이점이 있다. 동시에 수표면상의 방전에 의해 발생된 많은 작은 수돌기들에 의해 오존의 일부가 수중에 직접 용해되도록 할 수 있는 이점이 있다.

본 연구는 수표면의 수돌기(Taylor cone)를 이용한 유전체 장벽방전형 오존발생장치에 관한 기초연구로서 수중의 전도도를 변화시킴으로써 수표면방전의 특성을 제어할 수 있는 가능성을 조사하였다.

수표면 방전에 영향을 줄 수 있는 요소로써 여러 가지를 고려할 수 있다. 그 중 중요한 요소로써 수중에 포함된 각종 이온들, 극성분자들을 생각할 수 있고 이들은 방전특성에 직접적인 영향을 끼칠 수 있다. 따라서 본 연구에서는 방전시 인가되는 높은 전계에 의해 영향을 받을 수 있는 수중의 이온, 극성분자들의 수를 전도도의 변화에 의해 조절함으로써 이들이 수표면 방전에 미치는 영향을 간접적으로 조사하였다. 이를 위해 NaCl을 사용하여 수중의 전도도를 변화시켰고 수표면 방전의 특성은 전류-전압특성, 오존발생특성을 조사함으로써 실험적으로 규명할 수 있었다.

2. 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. 수표면의 바로 아래(약 5mm)에는 철망(iron mesh)을 설치하여 방전시 발생하는 수표면의 유동현상을 줄일 수 있도록 하였다



- | | |
|--------------------------|----------------------|
| Vs : voltage source | IC : insulating case |
| Rp : protecting resistor | WI : water inlet |
| Rm : measuring resistor | WO : water outlet |
| UE : upper electrode | d : air gap spacing |
| SA : surge arrester | GND : ground |
| IE : induction electrode | GB : glass bowl |

그림 1. 수표면 방전장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of water surface discharge system

이때, 수중의 전도도 변화를 위해 증류수(distilled water)에 NaCl을 농도별로 투입하였다.

수중의 밑면에는 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 디지털오실로스코프(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. 수중의 전도도는 전도도 측정기(pH meter, Model HM-40V, Japan)를 사용하여 측정하였다. 인입기체로는 공업용 공기를 유량 2 LPM으로 고정하여 사용하였다. 모든 실험장치는 전자 차폐된 철제함 내에 설치하여 실험하였다.

3. 실험결과 및 고찰

그림 2는 증류수(2 [μS])를 사용하고 유전체장벽과 수표면사이의 거리 즉, 공간간격(air gap spacing, d)을 7~9[mm]로 변화시켰을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 전압이 인가되면 작은 변위전류

수중 전도도 변화에 따른 수표면 방전의 특성

가 흐르고 전압이 증가함에 따라 수표면이 유동하기 시작하고 물결모양을 형성하는 것을 관찰할 수 있다. 인가전압이 높아짐에 따라 수표면의 유동현상은 더욱 심해지고 원추모양의 작은 물기둥 즉, 수돌기 끝부분에서 불규칙적인 방전이 발생하게 된다.

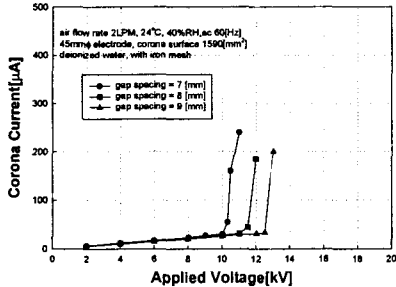


그림 2. 증류수(2 [μ S]) 사용시 방전공간 간격변화에 따른 전류-전압특성

Fig. 2. Current-voltage characteristics for different air gap spacings of distilled water(2 [μ S])

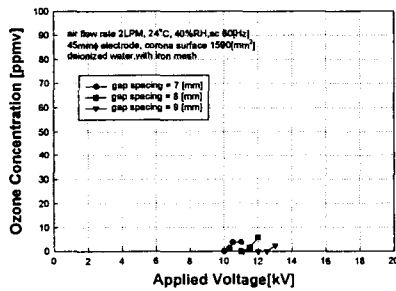


그림 3. 증류수(2 [μ S]) 사용시 방전공간 간격변화에 따른 오존발생량특성

Fig. 3. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of distilled water(2 [μ S])

인가전압이 더욱 높아지면 순식간에 수표면에 형성된 수돌기들이 신장하여 수돌기 끝부분이 유전체 장벽으로 사용된 유리그릇의 표면에 이르게 되고 공간간격이 단락됨으로써 교락(breakdown)현상이 발생한다.

그림에서 알 수 있듯이 각각의 공간간격에서 방전의 진행단계가 시작과 동시에 급격히 진행됨을 볼 수 있다. 즉, 방전의 시작과 거의 동시에 교락현상으로 이어짐을 알 수 있다. 이때 방전전류는 공간간격 7[mm]의 경우 최대 약 250[μ S]를 흘릴 수 있었다.

그림 3은 증류수를 사용하고 공간간격을 7~9 [mm]로 변화시켰을 때의 오존발생량특성을 나타낸 그림이다. 그림2의 전류-전압특성으로부터 알 수 있듯이 방전의 시작과 거의 동시에 교락현상이 발생하여 오존발생 역시 거의 없음을 알 수 있다. 이때, 각각의 공간간격의 경우 최대 10[ppmv]이내의 낮은 오존발생량을 보여주었다.

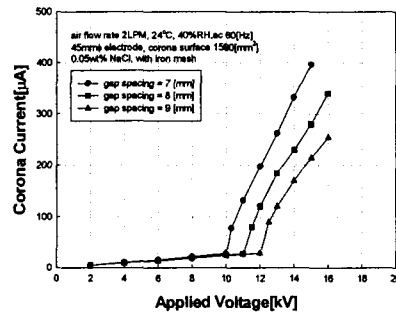


그림 4. 증류수에 NaCl(0.05wt%, 1175 [μ S]) 투입시 방전공간 간격변화에 따른 전류-전압특성

Fig. 4. Current-voltage characteristics for different air gap spacings of distilled water with NaCl(0.05wt%, 1175 [μ S])

그림 4는 증류수에 0.05wt%의 NaCl을 투입해서 1175 [μ S]의 전도도를 가지게 하고 유전체장벽과 수표면사이의 거리 즉, 공간간격(air gap spacing, d)을 7~9[mm]로 변화시켰을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 그림 2의 증류수의 경우와 마찬가지로 전압이 인가되면 작은 변위전류가 흐르고 전압이 증가함에 따라 수표면에 물결모양을 형성하는 것을 관찰할 수 있다.

그러나 증류수의 방전특성과는 다르게 방전의 진행이 급격하지 않고 장벽방전의 단계를 거치는 것을 볼 수 있다. 즉, 공간간격 7[mm]의 경우 인가전압 10[kV]에서 방전이 시작되고 약 14[kV]까지 교락현상 없이 수표면 방전이 지속되었다.

이러한 현상은 불순물이 거의 없는 증류수 속에 NaCl을 투입함으로써 방전에 영향을 줄 수 있는 이온의 수를 증가시킬 수 있었기 때문으로 사료된다.

인가전압이 더욱 높아져 약 14[kV] 이상이 되면 방전에 의해 발생된 수돌기들이 신장하여 유리그릇의 표면에 이르게 되고 공간간격이 단락됨으로써 교락(breakdown)현상이 발생한다. 이때 공간간격

7[mm]에서 최대 약 400[μ A]의 전류를 흘릴 수 있었다.

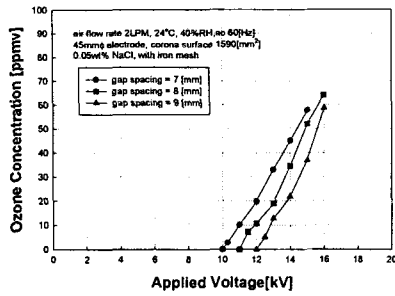


그림 5. 증류수에 NaCl(0.05wt%, 1175 [μ S]) 투입시 방전공간 간격변화에 따른 오존발생량특성
Fig. 5. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of distilled water with NaCl(0.05wt%, 1175 [μ S])

그림 5는 증류수에 0.05wt%의 NaCl을 투입해서 1175 [μ S]의 전도도를 가지게 하고 공간간격을 7~9[mm]로 변화시켰을 때의 오존발생량특성을 나타낸 그림이다. 전류-전압특성에서 살펴보았듯이 방전이 급격히 진행되지 않고 안정된 단계를 거침으로써 오존발생량 역시 증류수의 경우보다 급격하게 증가하게 된다.

방전의 시작과 동시에 오존이 발생하고 인가전압이 증가함에 따라 오존발생량 역시 증가하여 공간간격 7[mm]의 경우 인가전압 16[kV]에서 최대 약 65[ppmv]의 오존을 발생시켰다.

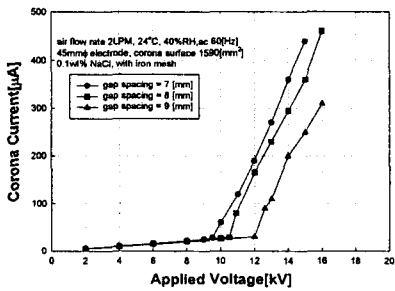


그림 6. 증류수에 NaCl(0.1wt%, 2400 [μ S]) 투입시 방전공간 간격변화에 따른 전류-전압특성
Fig. 6. Current-voltage characteristics for different air gap spacings of distilled water with NaCl(0.1wt%, 2400 [μ S])

그림 6은 증류수에 0.1wt%의 NaCl을 투입해서

2400[μ S]의 전도도를 가지게 하고 유전체장벽과 수 표면사이의 거리 즉, 공간간격(air gap spacing, d)을 7~9[mm]로 변화시켰을 때의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다. 그림 4의 증류수에 0.05wt%의 NaCl을 투입한 경우와 유사한 특성을 보여준다.

그러나 공간간격 7[mm]와 8[mm]의 경우 방전개시전압이 약 0.5[kV] 앞당겨진 것을 알 수 있다.

이러한 현상은 그림 4의 경우에 비해 2배에 해당하는 0.1wt%의 NaCl을 투입해서 2400 [μ S]의 전도도를 가지게 함으로써 방전에 관여할 수 있는 이온의 수를 더욱더 증가시킬 수 있었기 때문으로 사료된다.

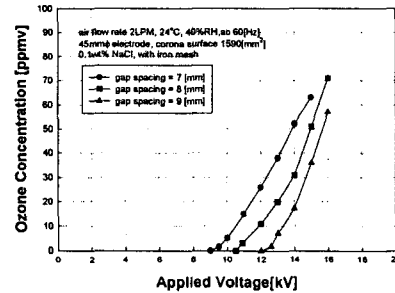


그림 7. 증류수에 NaCl(0.1wt%, 2400 [μ S]) 투입시 방전공간 간격변화에 따른 오존발생량특성
Fig. 7. Ozone generation characteristics for different air gap spacings of distilled water with NaCl(0.1wt%, 2400 [μ S])

그림 7은 증류수에 0.1wt%의 NaCl을 투입해서 2400 [μ S]의 전도도를 가지게 하고 공간간격을 7~9[mm]로 변화시켰을 때의 오존발생량특성을 나타낸 그림이다. 전류-전압 특성과 마찬가지로 그림 5의 경우와 유사한 특성을 보여주지만 방전개시전압이 앞당겨짐으로써 오존발생 역시 그림 5의 특성보다 약 0.5[kV] 낮은 전압에서 시작됨을 알 수 있다. 또한 같은 전압에서 방전전류량도 훨씬 많아져 그림 5의 특성에 비해 같은 공간간격과 전압에서 발생하는 오존발생량이 크게 늘어난 것을 볼 수 있다.

최대오존발생량은 공간간격 7[mm]의 경우 인가전압 16[kV]에서 약 70[ppmv]의 오존을 발생시켰다. 이러한 결과는 그림 5의 전도도가 낮은 경우에 비해 최대 오존발생량이 약 5[ppmv] 증가한 결과이다. 이 상으로부터 방전에 사용되는 물의 전도도가 증가함

수중 전도도 변화에 따른 수표면 방전의 특성

에 따라 안정된 방전을 유지할 수 있는 전압범위를 증가시키고 방전전류 또한 증가시킬 수 있었다. 결과적으로 방전에 의해 발생하는 오존발생량 역시 증가시킬 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 수표면의 수돌기(Taylor cone)를 이용한 유전체 장벽방전형 오존발생장치에 관한 기초연구로서 수중의 전도도를 변화시킴으로써 수표면 방전의 특성을 제어할 수 있는 가능성을 조사하였다.

이를 위해 방전시 인가되는 높은 전계에 의해 영향을 받을 수 있는 수중의 이온, 극성분자들의 수를 전도도의 변화에 의해 조절함으로써 이들이 수표면 방전에 미치는 영향을 간접적으로 조사하였고 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 증류수(2 [μ S])를 사용한 경우 공간간격에서 방전의 진행단계가 시작과 동시에 급격히 진행되었고 방전의 시작과 거의 동시에 교락현상으로 이어짐을 알 수 있다. 따라서 오존발생 역시 각각의 공간간격에서 최대 10[ppmv]이내의 낮은 오존발생량을 보여 주었다.

2. 증류수에 0.05wt%의 NaCl을 투입해서 1175 [μ S]의 전도도를 가지게 한 경우 증류수의 특성과는 다르게 방전의 진행이 급격하지 않고 장벽방전의 단계를 거치는 것을 볼 수 있었다. 이때, 공간간격 7[mm]의 경우 인가전압 16[kV]에서 최대 약 65 [ppmv]의 오존을 발생시킬 수 있었다.

3. 증류수에 0.1wt%의 NaCl을 투입해서 2400 [μ S]의 전도도를 가지게 한 경우 0.05wt%의 NaCl을 투입한 경우보다 유사한 특성을 보여주었지만, 보다 낮은 전압에서 방전 및 오존발생을 시킬 수 있었고 결과적으로 많은 방전전류를 흘려 공간간격 7[mm]의 경우 인가전압 16[kV]에서 최대 약 70[ppmv]의 오존을 발생시킬 수 있었다.

References

- [1] 池畑昭, "オゾンの環境汚染への應用", 日本静電氣學會誌, 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.

◇ 저자소개 ◇

박승륙 (朴勝祿)

1971년 2월 2일생. 1995년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1997년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2002년~현재 국립금오공과대학교 전자공학부 BK21계약교수.

김진규 (金振圭)

1967년 2월 24일생. 1990년 경일대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 2000년 경북대학교 전자전기공학부 BK21조교수. 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수.

김영표 (金亨杓)

1967년 2월 5일생. 1992년 경북대학교 공과대학 전기공학과 졸업(학사). 1994년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 경북대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1996년 보국전기공업(주) 기술연구소. 현재 상주대학교 전자전기공학부 조교수.