

알루미나 방전관의 무성방전 및 오존발생특성

Silent Discharge and Ozone Generation Characteristic of Al₂O₃

김학규, 곽동주

(Hag-Gyu Kim, Dong-Joo Kwak)

Abstract

Recently deep interests and attraction have been paid on the generation of ozone, which is widely used to remove bed smell and to clear water.

In this paper the silent discharge and ozone generation characteristics of various typed discharge chambers were investigated experimentally. Dielectric of Al₂O₃ was embedded in the cylindrical type of discharge chamber to improve the ozone generation rate and to stabilize the silent discharge mode of operation.

Discharge current and ozone concentration depend strongly on the applied voltage and frequency.

Key Words : ozone, silent discharge, ozone concentration, ozone generation rate , dielectric

1. 서 론

최근 급격한 산업의 발달로 생활수준이 향상됨에 따라 이에 수반되는 환경 문제가 심각하게 대두되고 있고, 인구의 팽창 및 도시 집중화에 따른 대기 오염 및 수질오염 등이 심각한 국제 환경 파괴 문제로 부각되고 있다.

이러한 관점에서 기체 방전 시 발생하는 오존을 이용하여 음용수의 악취제거 및 수질개선을 하고자 하는 연구가 관심을 모으고 있다. 오존은 자연계 물질 중에서 산화력이 강하며, 이차적인 오염물을 생성하지 않는 장점을 가지고 있다.

오존을 발생시키는 방법으로는 여러 가지 방법이 있으나, 본 연구에서는 방전중 유전체의 전면에 축적되는 벽 전하의 효과로 보다 낮은 전압 하에서

방전의 발생 및 유지가 가능하며, 에너지 효율의 측면에서 유리한 것으로 생각되는 무성방전을 이용하여 고농도의 오존발생을 도모하고자 한다.

2. 실험

2.1 실험장치

무성방전의 특성을 조사하기 위해 실험장치의 구성은 다음과 같다.

방전관에 공급되는 원료가스는 순수산소(99.99%)를 사용하였으며, 이 원료가스의 유량을 조절하기 위해 MFC(Mass Flow Controller)를 사용하였다. 무성방전 시 전압, 전류를 비롯한 각종 방전 파라미터의 측정에는 오실로스코프 (HP 54540A)와 전류푸루부시스템(Tekronix TM502A) 그리고, Power Analysis(PM3300)를 이용하였다.

그림 1은 오존발생기의 개념도를 나타낸다. 고전압 전극 측에 높은 유전율로 인하여 많은 벽전하의 축적이 기대되는 알루미나를 삽입하였고, 방전 갭은 무성방전 특성 및 오존발생의 에너지 수율에

경성대학교 전기전자공학과
(부산시 대연동 110-1),
Fax: 051-624-5980
E-mail : 0195970106@hanmail.net
djkwak@star.ks.ac.kr

미치는 전극 간격의 효과를 검토하기 위해 1mm, 2mm, 3mm로 다양화하였다. 또한 방전관에 주입되는 원료 가스의 유량은 0.5 L/min으로 하였다.

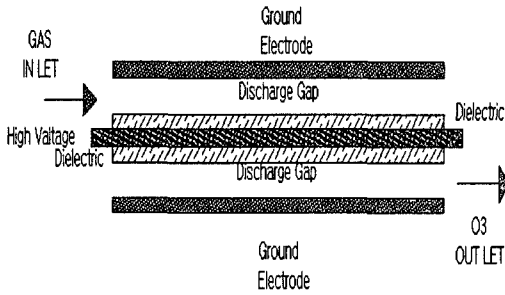


그림 1. 오존발생기의 구조도
Fig. 1. Structure of Ozonizer

3. 실험 결과 및 고찰

그림 2는 외부인가전압(V)과 방전유지전압(V_D)의 파형을 나타낸다. 전하는 전계로 부터 힘을 받아 각각 반대극성의 전극으로 이동하게 되나, 고전극의 전면에 유전체가 존재하므로 전하는 전극에 유입되지 않고, 벽 전하로 남게되어 이 벽 전하가 다음 반 사이클에는 전극의 전계와 벽 전하의 전계 방향이 일치하므로 방전이 용이하게된다. 즉 한 번 방전을 일으키면 그 후에는 낮은 전압에서도 방전을 유지 할 수 있으며, 그림 2에 나타난 바와같이 방전개시순간에 외부인가전압은 방전 유지전압 보다 작다는 것을 알 수 있다.

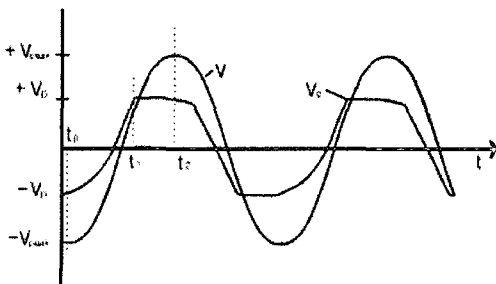


그림 2. 외부인가전압과 방전유지전압
Fig. 2. External voltage and discharge voltage

한편, 본 연구의 경우 Al₂O₃에 축적되는 전하량을 추정해보면,

$$\Delta Q = C \Delta V \quad (1)$$

t₀에서 t₂ 사이에 전송되는 총 전하 입자는

$$Q_{02} = C_D 2 (V_{\text{peak}} - V_D) \quad (2)$$

$$Q_{01} = C_g 2 V_D \quad (3)$$

그러므로, 방전시 하전입자의 이동은

$$\begin{aligned} \Delta Q &= Q_{02} - Q_{01} \\ &= 2 (C_D (V_{\text{peak}} - V_D) - C_g V_D) \end{aligned} \quad (4)$$

로 된다.

단, 여기서 V_{peak}는 외부인가전압의 피크치, V_D는 방전유지전압을 나타낸다.

표. 1. 인가전압에 대한 축적전하량

Table 1. Accumulated charge to the applied voltages

	1mm	2mm	3mm
0kV	0	0	0
3kV	17.181 × 10 ⁻⁶	18.867 × 10 ⁻⁶	13.811 × 10 ⁻⁶
4kV	21.785 × 10 ⁻⁶	21.785 × 10 ⁻⁶	18.414 × 10 ⁻⁶
5kV	23.018 × 10 ⁻⁶	23.018 × 10 ⁻⁶	21.333 × 10 ⁻⁶

본 연구에서 방전공간의 정전용량 C_g = 0.226 × 10⁻⁹[C], 삽입된 유전체의 정전용량 C_D = 3.9871 × 10⁻⁹[C]임을 고려하여 인가전압에 대한 전하량을 계산하여 표 1에 나타내었다.

그림 3은 전형적인 방전전류와 방전전압을 보여 주고 있다. 인가전압의 반주기 동안에는 증가하여 전압이 증가하여 최대치에 이를 때까지 전류가 발생하다가 전압이 감소하면 전류가 멈추게 되는 과정을 반복하고있다.

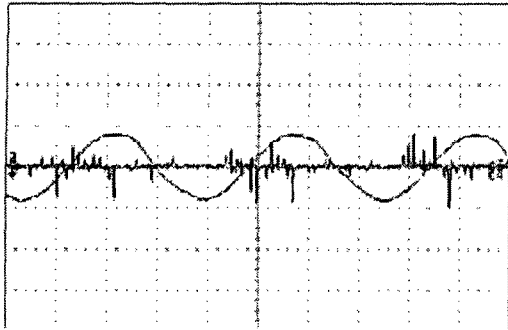


그림 3. 전압 - 전류 파형
 Fig. 3. Typical waveform of discharge voltage and current

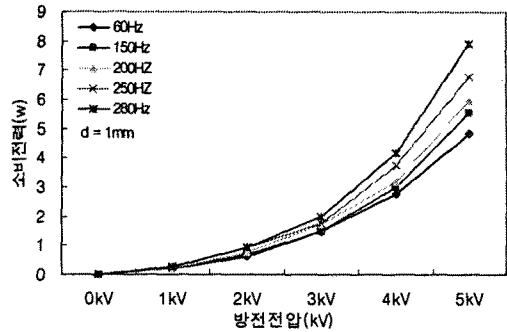


그림 5. 방전전력의 주파수의존성
 Fig. 5. Frequency dependency on discharge power

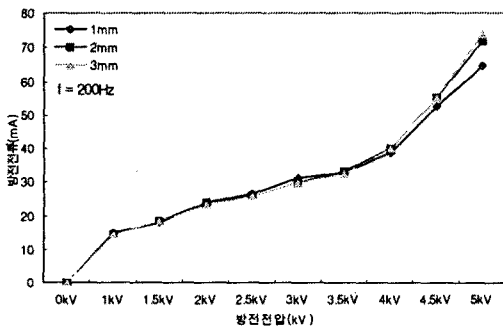


그림 4. 전극간격의 변화에 대한 방전 전압-전류 특성
 Fig. 4. Discharge voltage vs. current characteristics

그림 4에 주파수 200Hz의 경우 전극 간격의 변화에 대한 방전전류의 특성을 나타내었다. 방전전류는 전극간격에 관계없이 전압이 증가함에 따라 완만히 증가하는 경향을 보이고 있다.

그림 5는 주파수의 변화 따른 방전전력을 나타낸다. 방전개시는 주파수에 관계없이 거의 3kV에서 일어나는 경향을 보였으며, 방전전력은 인가 전압에 비례하여 증가하므로, 주파수가 높을수록 방전전력 또한 증가함을 알 수 있었다. 이는 주파수가 상승함에 따라 전자 혹은 이온이 방전공간에 체류할 확률이 높아지며, 결국 방전공간에서의 전계를 강화하여 소비전력을 증대시킨 때문이다.

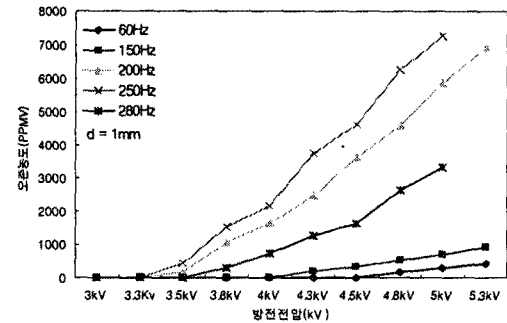


그림 6. 주파수 변화에 의한 오존농도
 Fig. 6. Ozone concentrations at various applied voltage frequencies

오존 발생량에 미치는 전원전압의 주파수 효과를 알기 위해 60Hz의 상용 주파수에서 중 주파수 영역인 280Hz까지의 주파수 변화에 대한 오존농도를 조사하였다. 그 결과를 그림 6에 나타낸다.

그림 6에서 알 수 있듯이 주파수가 상승함에 따라 오존 발생은 보다 낮은 전압에서 생성이 가능하며, 오존 농도 또한 증가함을 알 수 있으나, 280Hz이상의 주파수에서는 농도가 오히려 감소함을 알 수 있었다. 즉, 주파수가 일정 주파수 이상이 되면, 유전체가 발열되면서 방전영역에서의 온도상승효과를 초래하여 오존의 분해작용 또한 활발해지기 때문에 오존생성을 저하하는 것으로 생각된다. 한편, 본 연구에서의 가장 효율이 좋은 주파수 대역은 150Hz ~ 250Hz로 나타났다.

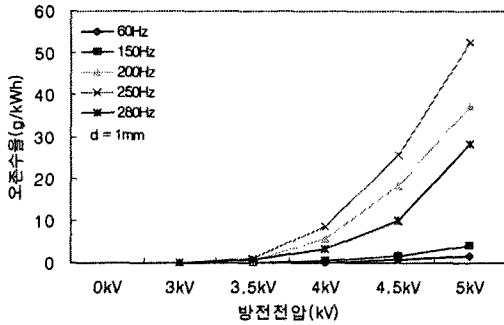


그림 7. 오존수율특성에 미치는 주파수의 영향
 Fig. 7. Frequency effect on ozone yield characteristics

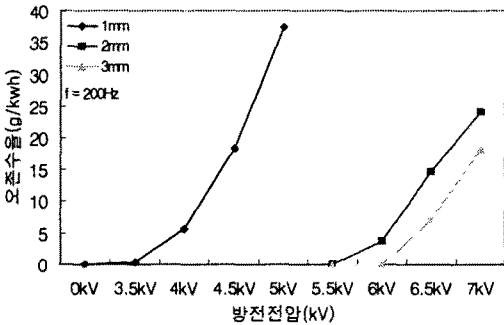


그림 8. 전극간격의 변화에 대한 오존수율특성
 Fig. 8. Ozone yield characteristics under various gap spacings

본 연구에서 오존 수율은 다음 식(5)에 의해 구하였다.

$$\text{오존수율} [g/kWh] = \frac{\text{오존발생량} [g/hr]}{\text{방전전력} [W]} \quad (5)$$

앞 그림 5에서 설명한 바와같이 d = 1mm인 경우 소비전력은 주파수가 증가함에 따라 완만히 증가하였다. 그러나, 본 연구에서 사용한 주파수 및 인가전압 조건하에서 오존 수율이 비교적 활발히 발생하는 약 4kV이후에서 주파수가 증가함에 따라 보다 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 그림7 및 그림8은 주파수 및 전극간격을 매개변수로 한 일정 전압하의 오존수율특성을 나타낸다. 또한, 그림으로부터 전극간격에 관계없이 전압이 증가함에

따라 오존 수율은 매우 급격히 상승함을 알 수 있었으며, 특히 전극간격이 2mm로 길어지면 오존 발생이 시작되는 전압은 5.5kV로 d = 1mm인 경우의 3kV에 비해 거의 2배정도 임을 알 수 있어, 1mm의 방전관에서 가장 높은 수율을 나타냄을 알 수 있었다. 즉, 냉장고의 악취 제거 등 저 농도의 오존이 필요한 경우 오존 수율의 측면에서 전극간격이 짧을수록 유리한 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 오존 생성을 위한 원통형 무성방전관을 제작하였으며, 강유전체 방전 특성에 미치는 영향을 순수산소를 원료가스로 사용하여 무성방전의 특성을 연구하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 방전 개시와 함께 삼입된 유전체에 축적된 전하가 인가 전압의 극성에 따라 방전하여 방전 및 정지를 거듭하는 무성방전임을 알 수 있었다.
- (2) 방전전력은 인가 전압에 따라 비례하여 증가를 하며, 주파수가 높을수록 방전전력 또한 증가함을 알 수 있었다.
- (3) 주파수가 상승함에 따라 오존 발생은 보다 낮은 전압에서 생성이 가능하며, 오존 농도 또한 증가함을 알 수 있으나, 280Hz이상의 주파수에서는 농도가 오히려 감소함을 알 수 있었다.
- (4) 주파수 및 인가전압 조건하에서의 오존 수율이 비교적 활발히 발생하는 약 4kV이후에서 주파수가 증가함에 따라 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다.

참고 문헌

- [1]. 조성호, 이주봉, "오존발생장치 및 오·폐수처리 적용 현황(I)", 첨단 환경기술, 1월호, pp.16~25, 1994
- [2]. Bernie M. Penetrante, "Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution control", Part B, pp.212~221, 1993
- [3]. Rachel Feng, "Automated System for Power Measurement in the Silent Discharge", IEEE Transactions on Industry Applications, V.34 N.3 pp.563~570, 1998