

Al₂O₃ 세라믹 유전체 오존발생기의 방전면적 특성

박현미 송현직 이상근* 임창호 윤병한** 김종현 이광식
영남대학교, 구미1대학* 거창기능대학**

Discharge Area Characteristics of Ozonizer with Al₂O₃ Dielectric

Hyun-Mi Park, Hyun-Jig Song, Sang-Gun Lee*, Chang-Ho Lim, Bung-Han Yoon**,
Jong-Hyun Kim, Kwang-Sik Lee

Abstract - This paper is researched discharge and ozone generation characteristics of ozonizer using Al₂O₃ Ceramic dielectric. The discharge characteristics with variation of the discharge electrode area is studied. The characteristics of ozone concentration, ozone generation and ozone yield were measured to discharge power, discharge electrode area and supplied gas flux for oxygen and air. The solubility of ozone for water concentrations and ozone generations proportional to discharge power and discharge electrode area. Ozone yield has slowly increase with increasing discharge power at high flow-rate. As the result, the maximum values of ozone characteristics ozone generation and ozone yield, can be obtained 5817[ppm] and 36[g/kWh]. We make enough the ozone concentration as the air in the home. An electric discharge electrode area is apt to shrink gradually into a miniaturization trend of the ozonizer but the enlargement of the occurrence flight of the electric discharge area gives the characteristic enhance the aid in the identity condition through the structure improvement.

1. 서 론

산업 사회의 고도성장으로 대기 및 수질 등의 생활 환경오염이 시급한 문제로 제기되고 있으며, 세계 각국에서는 환경복원 기술에 관한 많은 연구를 진행하고 있다.

최근에는 국내에서도 삶의 질을 중요시하는 '웰빙' 트렌드와 휴식 안정을 필요로 하는 현대인이 늘어남에 따라 건강하고 체적한 생활환경 조성에 많은 초점이 이루어지고 있다.

이러한 관점에서 환경오염의 원인이 되는 오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 일환으로 전기적 방전 현상에 의해 발생되는 고도의 무공해 처리 기술인 오존(O₃)이 활용되고 있다.

오존은 자기분해의 과정에서 생기는 원자상태 산소의 작용에 의해 강력한 산화력을 유지하고 있기 때문에 미생물의 불활성화 및 제거 등에 널리 이용할 수 있다. 또한 오존화 가스를 수증에 용해시켜 오존수로서도 이용할 수 있기 때문에 환경개선을 위한 다양한 분야에 활용가능한 이점을 있다.

특히 오존수는 수질환경개선 분야에 있어서 상하수도 오염방지기술, 산업폐수 처리기술, 용수재이용기술 등에 사용하고 있다. 또한, 가정에서 피부미용을 위한 세척, 과일, 야채, 생선류, 식기 및 주방용기의 세척과 구강 위생, 칫솔 소독세척 및 악취제거 등과 같이 그 활용범위가 대단히 광범위하다^[1].

이러한 오존의 발생을 위하여 기체방전을 이용한 무성방전형 오존발생기가 널리 이용되고 있다. 일반적인 무

성방전형 오존발생장치는 전극부가 내장된 오존발생기 외에 원료가스공급장치, 전극냉각장치 및 전원장치로 구성되어지나, 오존발생장치에서 소비되는 전력의 약 70% 가 오존발생기의 방전부에서 발생하는 열손실 등에 의하여 소모되므로 오존발생장치의 수율이 이론치보다 상당히 떨어지는 것으로 알려져 있다.

오존발생기장치의 성능을 향상시키기 위해서는 오존이 발생되는 방전공간에서의 전극구조, 원료가스의 유량, 방전면적 등과 같은 제특성에 관한 연구가 무엇보다 중요한 것으로 알려지고 있다^[3,4].

이러한 관점에서 본 연구에서는 피부미용 효과 및 가정용 살균 세척용 오존수 제조를 위한 소형 오존발생기로써 활용가능한 2전극-1gap 방식의 무성방전형 오존발생기를 설계제작하였다. 이때, 오존발생기의 전극부에 Al₂O₃ 세라믹 유전체를 사용하여 방전전극의 면적, 원료가스의 종류 및 유량변화에 따른 방전면적 특성, 오존생성특성 및 오존용해도특성을 연구검토하였다.

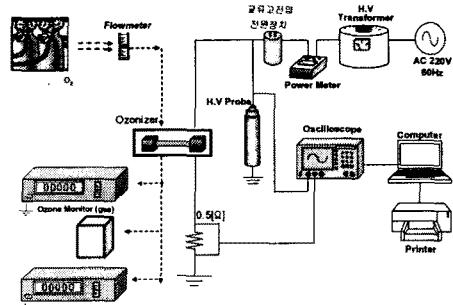
2. 본 론**2.1 실험장치 및 방법**

그림 1. 실험장치의 개략도

그림 1은 Al₂O₃ 세라믹 유전체를 채용한 무성방전형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름선도로서 원료가스 공급장치 및 계측장치들을 흐르는 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이다.

원료가스로는 상업용 산소(O₂)를 사용하였으며, flow meter(0 ~ 5[l/min])를 통하여 일정유량(Q)으로 오존발생기에 공급하였다.

유전특성과 내열성이 좋은 Al₂O₃ 세라믹 유전체(유전율 9 ~ 11, 내경×외경 : 11 × 15[mm])를 채용한 오존발생기는 그림 2와 같이 고전압 전극으로 SUS304(두께 :

4.0[mm])을 사용하였으며, 유전체 외부에 Cu(두께 : 0.1[mm])를 밀착하여 접지전극으로 사용하였다.

첫째, 오존발생기의 오존생성특성을 연구검토하기 위하여 원료가스의 Q , W_d 및 A_d 의 변화에 따른 O_{3con} , O_{3Y} 를 측정 및 계산하였다.

둘째, 수율이 가장 좋은 조건인 A_d 가 $125[\text{cm}^2]$ 이고, W_d 가 8W 일 때, 원료가스에 따른 오존용해도(O_{3Lcon}) 특성을 연구검토하였다.

이때, 원료가스로는 산소와 공기를 이용하였고, 용매로는 일반수돗물 ($7l$, 21°C)을 접촉조에 담아 용해시켰다. 오존을 좀더 빠르고 균일하게 용해시키기 위해 수증펌프(AC220V, 소비전력 10W)를 사용하였다.

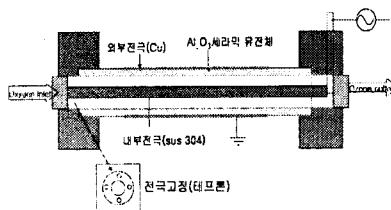
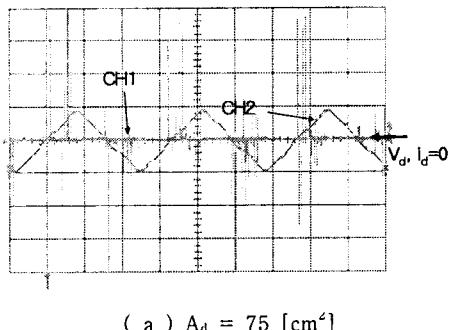


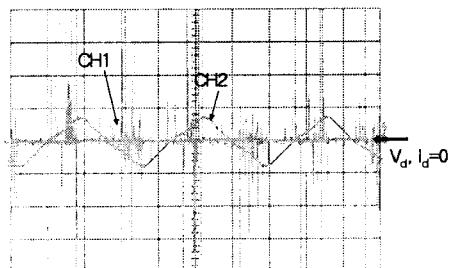
그림 2. 오존발생기의 개략도

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 방전면적 변화에 따른 방전특성



(a) $A_d = 75 [\text{cm}^2]$



(b) $A_d = 125 [\text{cm}^2]$

CH1 : 2[V/div], CH2 : 2[A/div], CH1, CH2, : 5[x/div]

그림 3. 산소원료가스의 $Q = 0.5[\text{l}/\text{min}]$, $W_d = 12[\text{W}]$ 인 경우, A_d 의 변화에 따른 방전전압 및 방전전류 파형

그림 3의 (a), (c)는 원료가스가 산소이고 Q 가 $0.5 [\text{l}/\text{min}]$, W_d 가 $12[\text{W}]$ 인 경우, A_d 가 각각 $75, 125[\text{cm}^2]$ 일 때의 방전전압(V_d)과 방전전류(I_d) 파형을 나타낸 것이다.

이때, CH1은 접지전극의 전류파형이며, CH2는 전압파형을 각각 나타낸 것이다.

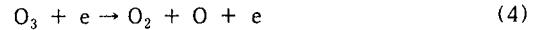
그림과 같이 방전전류 pulse 는 정부 방전전압의 최대치까지 형성되다가 방전전압이 강하하면서 Al_2O_3 세라믹

유전체 표면에 축적되어 있는 전하에 순간적으로 역전계가 걸리면서 방전이 일시에 정지되어 방전휴지구간이 형성된다. 또한 방전면적이 증가할수록 전류 pulse 가 증가하면서 방전전류가 상승하였다.

2.2.2 방전면적 변화에 따른 오존생성특성

그림 4는 원료가스가 산소인 경우, Q 가 0.5 및 $2.0 [\text{l}/\text{min}]$ 일 때 W_d 와 A_d 의 변화에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 특성을 나타낸 것이다.

그림과 같이 W_d 와 A_d 가 증가할수록 O_{3con} 이 상승하였다. 무성방전에 의한 오존생성기구^[5]는 식 (1) ~ (4) 와 같이 ① 전자충돌에 의한 산소활성종의 생성, ② 오존생성반응 및 ③ 오존분해반응에 의하여 이루어지는 것이다. 그러나 무성방전형 오존발생기의 오존생성농도가 높아질수록 오존의 분해반응 또한 활발하기 때문에 고농도의 오존생성을 저해하게 된다.



여기서 e : 전자, O : 산소원자, O_2 : 기저상태의 산소분자, O_3 : 오존

그리고 방전전력이 일정한 경우, 외부전극 면적이 증가하면 원료가스중의 산소분자가 방전공간에 채류하는 시간이 길어지면서 동일한 전력을 상대적으로 넓은 방전면적에 공급함으로써 방전공간의 열발생이 둔화되면서 식 (3) 및 (4)와 같은 오존의 분해반응이 억제되어 O_{3con} 및 O_{3Y} 가 상승하는 것이다.

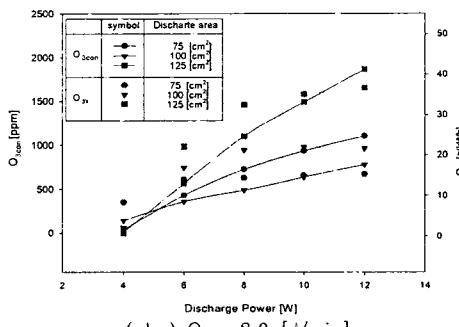
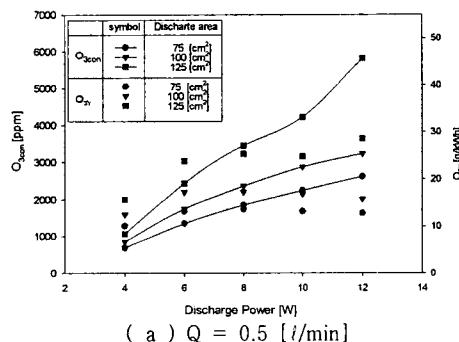


그림 4. Q 가 $0.5, 2.0 [\text{l}/\text{min}]$ 일 때, W_d 와 A_d 의 변화에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 특성

그러나 A_d 의 증가에 따라 O_{3Y} 는 상승되며, W_d 가 증가함에 따라서 상승하다가 포화되는 것으로 나타났다.

오존발생량과 방전전력의 적으로 주어지는 O_{3Y} 는 방전형태와 방전영역에서의 온도에 의하여 결정되는데, 방전 전력이 8[W]정도 까지는 방전전력 상승에 따라 O_{3Y} 가 증가되는 율이 크게 나타나며, 그 이후는 완만하게 상승한 후 포화하게 된다. 이것은 저전력에서는 방전에 의한 분해되는 율이 낮으며 투입전력이 클 경우에는 상대적으로 발생열이 높으므로 식 (3), (4)와 같은 분해되는 반응이 활발하게 진행되기 때문이다.

또한, 그림 4의 (a), (b)에 주목하면 W_d 가 일정한 경우, Q 가 증가함에 따라 O_{3con} 은 저하되지만 O_{3Y} 는 상승하였다.

2.2.3 원료가스에 따른 오존용해도 특성

그림 5는 방전전력 8[W]일 때, 접촉 시간 (τ , [s])의 변화에 따른 O_{3Lcon} 특성을 나타낸 것이다.

오존용해농도는 원료가스로 산소를 사용하였을 경우 최대 1.41[ppm], 공기를 사용하였을 경우 최대 1.21[ppm]로 용해되었으며 용해시작 8분후부터 점점 포화되는 것을 알 수 있다.

일반적으로 기상의 오존농도 O_{3con} 과 수증기 오존용해도 O_{3Lcon} 와의 관계에는 다음 식이 성립한다.^[1]

$$O_{3Lcon} = D \cdot O_{3con} \quad (D: \text{분배계수}) \quad (5)$$

즉 분배계수 D 는 액중의 오존용해도 O_{3Lcon}/mgL^{-1} 의 비이다. 동일한 전력 하에서 오존생성특성은 산소분자의 수의 증가에 따라 산소원료가스인 경우가 공기보다 O_{3con} 이 높게 나타나기 때문에 그에 비례하여 O_{3Lcon} 역시 산소원료가스인 경우가 높게 나타나는 것이다.

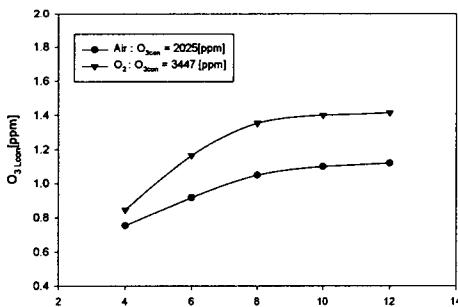


그림 5. 방전전력 8 [W]일 때, τ 의 변화에 따른 O_{3Lcon} 특성

표1 오존의 살균능력(21℃, pH7.0)

미생물의 종류	수증오존농도 (PPM)	미생물 농도 (개/M)	접촉시간	사멸율 (%)
대장균	0.96	10^5 Cells	5초	100
포도상구균	1.08	10^5 Cells	5초	100
녹농균	1.01	10^5 Cells	5초	100
인플란자	0.96	$10^{2.9}$ ELD ₅₀	5초	100
계통적수염바이러스	0.72	$10^{1.9}$ ELD ₅₀	5초	100
전殖적염성바이러스	1.20	$10^{1.9}$ ELD ₅₀	5초	100

표 1에 각종 미생물을 살균할 때 필요한 수증오존농도는 최고 1.20[ppm]으로 접촉시간 5초 이내에 사멸율 100%를 보이고 있다.

따라서 본 연구에서 사용한 Al_2O_3 을 채용한 세라믹 오존발생기를 사용한다면 원료가스로 공기를 사용하여도 피부미용을 위한 세안수에 필요한 충분한 오존발생특성을 얻을 수 있다

3. 결 론

본 연구에서는 피부미용 효과 및 가정용 살균 세척용 오존수 제조를 위한 소형 오존발생기로써 활용 가능한 2전극-1gap 방식의 무성방전형 오존발생기를 설계제작하였다. 이때, 오존발생기의 전극부에 Al_2O_3 세라믹 유전체를 사용하여 방전전극의 면적, 원료가스의 종류 및 유량변화에 따른 방전면적특성, 오존생성특성 및 오존용해도특성을 연구검토하였다.

(1) 원료가스가 산소인 경우 방전면적 125[cm²], 방전전력 12[W] 유량 0.5[l/min] 부근에서 최대 오존발생농도 5817[ppm]을 얻을 수 있었고, 방전면적 125[cm²], 방전전력 10W 유량 1.5[l/min] 부근에서 최대오존발생수율 36[g/kWh]를 얻었다.

(2) 원료가스의 유량을 증가시키면 오존농도와 오존발생량은 반비례하여 감소하지만 오존수율은 향상된 특성을 얻을 수 있었다.

(3) 동일한 전력 하에서 오존생성특성은 산소분자의 수의 증가에 따라 산소원료가스인 경우가 공기보다 O_{3con} 이 높게 나타나기 때문에 그에 비례하여 O_{3Lcon} 역시 산소원료가스인 경우가 높게 측정되었다.

오존발생기의 소형화 추세로 방전전극 면적이 점차 줄어드는 추세이나 구조개선을 통해 오존발생기내의 방전면적의 증대가 오존생성특성의 향상에 충분한 제인자가 될 수 있을 것으로 기대 된다.

참 고 문 헌

- [1] 杉光英俊, “オゾンの基礎と応用”, 光刊 pp.195.
- [2] 송현직, 이광식 외 6명, “고주파 전압인가에 의한 무성방전형 오존발생기의 원료가스 온도특성에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol.15, No5, pp46~54, 2001
- [3] 이문기 외 4명, “불순물 첨가에 따른 Al_2O_3 세라믹 공진기의 마이크로파 유전특성에 관한 연구”, 한국전기전자제품학회 추계학술대회 논문집 pp.64~67, 1997
- [4] 송현직, 이광식, 외 4명, “3상 전압인가형 중첩방전형 오존발생기의 오존생성 상승효과”, 대한전기학회 논문지, Vol. 49C, No.8, pp.486~476, 2000.
- [5] Byung-Joon Chun, Sang-Keun Lee, Kwang-Sik Lee, “Ozone Generation Characteristics of a Piled Plate-Type Ozonizer”, KIEE International Trans. on EA, 12C, No.1, pp.33~37, 2002.
- [6] 이동훈, 박홍재, 박재윤, “Ba-Ti-Si 세라믹 방전관의 오존발생 특성 연구”, Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol.16, No.7, P.634, July 2003.
- [7] 왕덕현 외 5명, “산화알루미늄-탄화티타늄(Al_2O_3 -TiC) 세라믹 복합체의 방전가공” Theses Collection of Materials Research Institute Vol. 7, pp. 191~202, December 1996