

세라믹 방전관의 오존 발생 특성

조국희*, 박재윤, 박상현, 이동훈, 박홍재.
* 한국전기 연구원, 경남대학교 전기공학과

Ozone Generation Characteristic of Ceramic Reactor using Ti-Al-Si

K.H. Cho, J.Y. Park, S.H. Park, D.H. Lee, H.J. Park.
Korea Electrotechnology Research Institute, Electrical Engineering of Kyungnam Uni.

Abstract - A novel ozonizer has been developed using a high frequency surface discharge and a high purity ceramic as its dielectric component. And A cylindrical thin compound ceramic catalyst in reactor is adhered to inside of the film-like outside electrode. An ac exciting voltage with frequency to 0.6 kHz from 1.0 kHz and 4~6 kV of peak-to-peak is applied between the electrodes to produce a stable high-frequency silent discharge for generation of ozone. A substantial reduction of the exciting voltage is also enabled by using a thin ceramic. As a result, the ozonizer can easily produce ozone concentration(50 g/m³ for oxygen) and power efficiency(240 g/kWh for oxygen) without using a special enrichment means.

1. 서 론

오존(O₃)은 강한 산화제로 오염된 수질과 공기의 처리 그리고 탈색, 살균 및 화학 합성 등에 사용되고 있다. 현재 연구 경향은 고효율, 소형화 또는 대용량 오존나이지의 개발 및 오존 발생 기구의 개발에 있으며, 그 중에서 오존나이지의 성능 및 효율 향상은 방전 공간에서 내부 가스의 온도 상승을 억제하는 것이 핵심 연구 과제로 냉각 성능의 향상에 주력하고 있다. 또한 인가 에너지와 오존 생성과의 상관 상수를 데이터화하여 추세 경향을 예측하는 연구가 진행 중에 있는 실정이다[2][3]. 본 연구에서 세라믹 방전관은 일반적인 유리관보다 높은 유전율을 가지는 세라믹을 사용함으로써 오존 발생 및 수율을 안정적으로 얻는데 실험의 목적이 있다[4][5]. 이러한 소형 세라믹 방전관의 파라미터에 따른 오존 생성 농도와 오존 생성 수율과의 관계에 대해서 조사하고, 실험 결과의 상호 비교를 통해 세라믹 방전관의 특성을 조사하였다[6][7].

2. 본 론

2.1 실험 장치

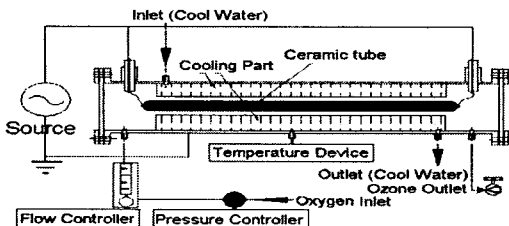


그림 1. 실험 장치의 개략도.
Fig. 1. The schematic diagram of experimental apparatus.

그림 1은 세라믹 방전관의 오존 발생 특성을 조사하기 위한 실험 장치의 개략도이다. 원료 가스는 산소를 사용

하였고, 방전 공간은 원료 가스가 균일하게 공급되도록 구성하였으며, 방전은 무성 방전의 형태이다. 유량, 방전 전력, 가스 압력 및 온도가 세라믹 방전관의 오존 생성에 미치는 영향을 실험적으로 조사하였다.

2.2 세라믹 분석

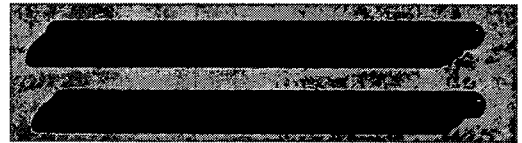


그림 2. 실제 제작한 세라믹 방전관
Fig. 2. Ceramic Tube of real construction

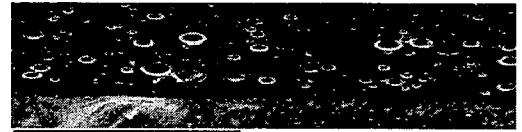


그림 3. 세라믹 방전관과 방전관 표면의 SEM 사진.
Fig. 3. Picture of Ceramic and Ceramic surface.

그림 2는 실제 제작된 세라믹 방전관의 사진이고, 그림 3은 세라믹 방전관 표면을 SEM으로 분석한 결과이다. 세라믹은 내부 전극의 상부에 위치한다. 물질의 주성분은 Si와 Al로 유리질($\epsilon_r=5$) 방전관보다 유전 및 절연 특성이 우수하다. 또한 방전시 유전체 표면의 열적 소모는 700 μm 정도의 얇은 세라믹을 사용함으로써 유전체 표면에서 방전 에너지의 열적 소모를 줄일 수 있고, 그 결과 오존 생성 효율은 증가된다. 이러한 원리에 의해 세라믹 방전관을 제작하였고, 실험을 행하였다.

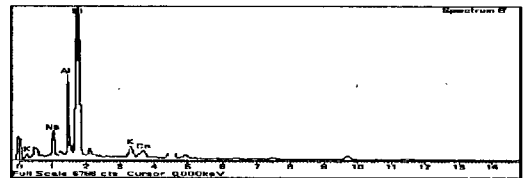
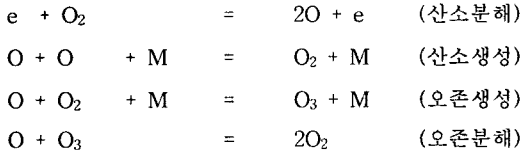


그림 4. XRD를 이용한 세라믹 촉매의 물질 분석.
Fig. 4. Mass analysis of ceramic catalyst using XRD.

그림 4는 세라믹 성분을 XRD를 사용하여 그 구성 성분을 분석한 것이다. Si, Al 등이 주성분이며, 그래프에 나타난 Na와 Ca 성분은 유리나 Al₂O₃에 포함되어 있는 미량의 성분에 의해 나타난 것으로 사료된다.

3. 결과 및 고찰

● 다음은 산소의 전기, 화학적 반응 메커니즘을 간단히 나타낸 것이다.



일반적으로 오존 형성 과정은 크게 3 단계로 나누어 볼 수 있다. 첫째로, 산소 분해 단계로 이 영역에서는 전극간의 강한 전계 에너지를 가지는 전자에 의해 유입 산소(O₂)의 파괴가 주로 일어난다. 둘째로, 나머지 파형의 하강 구간인 즉, 에너지가 감소하는 구간에서는 산소와 오존의 생성이 주로 일어나고, 셋째로, 전원의 휴지 기간 즉, 산소(O₂) 분자를 충분히 여기 혹은 전리를 시키지 못하는 방전 암류 구간과 가스 배기 이후의 저에너지 구간의 경우는 오존의 파괴 즉, 산소의 환원이 일어난다.

3. 결과 및 고찰

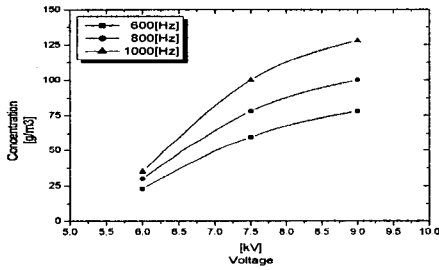


그림 5. 전압에 따른 오존 농도 측정, 2 l/min.
Fig. 5. Ozone concentration measurement to voltage at 2 l/min.

그림 5는 20 °C, 1.6 atm, 2 l/min, 600~1000 Hz에서 전압 증가에 따른 오존 생성 농도를 나타낸 그래프이다. 전압이 증가함에 따라 오존 생성 농도가 증가하였고, 그 증가 곡선의 기울기는 포화 곡선의 경향을 보였다. 주파수에 따른 오존 생성 농도는 단위 면적당 인가 소비 전력이 높은 1000 Hz의 경우가 오존 생성 농도가 더욱 증가하였다.

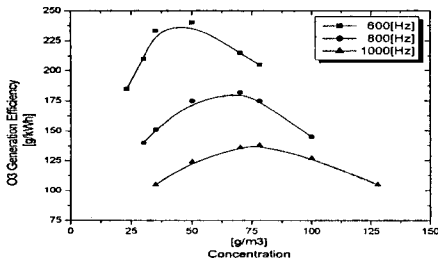


그림 6. 오존 생성 농도와 오존 생성 수율의 관계, 2 l/min.
Fig. 6. Ozone generation efficiency to ozone concentration at 2 l/min.

그림 6은 그림 5의 조건에서 오존 생성 농도와 발생 수율과의 관계를 나타낸 그래프이다. 주파수가 1000 Hz

인 경우 오존 생성 농도는 높지만, 에너지 효율 측면에서 보면, 역으로 주파수가 낮은 600 Hz가 더욱 우수한 결과가 나왔다. 최대 수율이 240 g/kWh로 통상 50~200 g/kWh 전후의 반응기 수율보다 우수하게 나타났다.

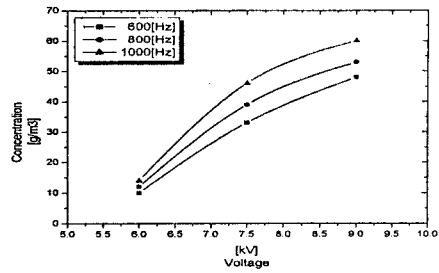


그림 7. 전압에 따른 오존 농도 측정, 4 l/min.
Fig. 7. Ozone concentration measurement to voltage at 4 l/min.

그림 7은 20 °C, 1.6 atm, 4 l/min, 600~1000 Hz에서 인가 전압의 증가에 따른 오존 생성 농도를 나타낸 그래프이다. 그림 5의 그래프와 같은 경향을 나타내고 있다.

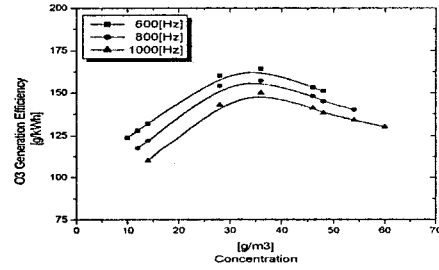


그림 8. 오존 생성 농도와 오존 생성 수율의 관계, 4 l/min.
Fig. 8. Ozone generation efficiency to Ozone concentration at 4 l/min.

그림 8은 그림 7의 조건에서 오존 생성 농도와 발생 수율과의 관계를 나타낸 그래프이다. 주파수가 1000 Hz인 경우 오존의 생성 농도는 높지만, 상대적인 에너지 효율 측면에서 보면, 역으로 주파수가 낮은 600 Hz가 더욱 우수한 결과가 나왔다. 그러나, 앞의 실험 6의 결과보다는 확연히 에너지 효율이 줄어드는 경향을 가짐을 보이고 있다. 단위 에너지당 오존의 생성 농도를 살펴보면, 방전관 유입 가스 유량에 비례적이지 않으므로 어떠한 최적 조건이 존재할 것이라고 사료된다.

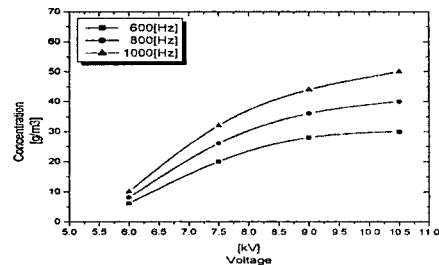


그림 9. 전압에 따른 오존 농도 측정, 6 l/min.
Fig. 9. Ozone concentration measurement to voltage at 6 l/min.

그림 9는 20 °C, 1.6 atm, 6 l/min, 600~1000 Hz에서 인가 전압의 증가에 따른 오존 생성 농도를 나타낸 그래프이다. 그림 5와 그림 7과 같은 경향을 나타내었으며, 유량이 증가하면서 인가 전압에 따른 오존 생성 농도는 상대적으로 줄어드는 경향을 보이고 있으며, 인가 전압을 계속 증가하면 오존 생성 농도는 포화 곡선의 경향을 보였다.

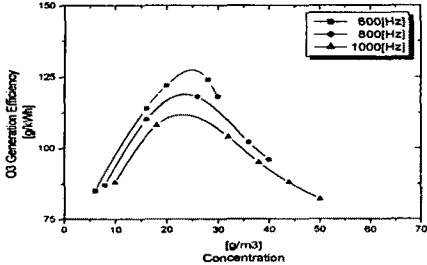


그림 10. 오존 생성 농도와 오존 생성 수율의 관계, 6 l/min.
Fig. 10. Ozone generation efficiency to Ozone generation concentration at 6 l/min.

그림 10은 그림 9 조건에서 오존 생성 농도와 오존 발생 수율과의 관계를 나타낸 그래프이다. 유량이 앞의 그림 5와 그림 7의 조건보다 증가하면서 확연히 에너지 효율이 줄어드는 경향을 가짐을 보이고 있으며, 오존 발생 수율이 유입 유량에 비례적이지 않음을 확인할 수 있다.

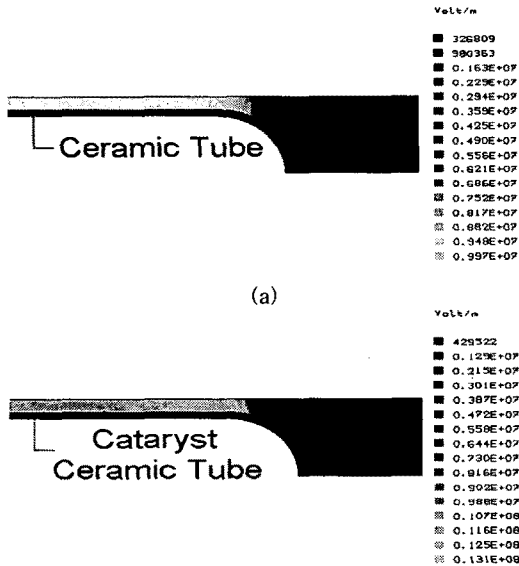


그림 11. 전압에 따른 전계 시뮬레이션.
(a) 유리질(Si) 방전관의 전계 해석.
(b) Ti-Si-Al형 방전관의 전계 해석.
Fig.11. Electric field simulation to voltage.
(a) Electric field simulation of quartz reactor.
(b) Electric field simulation of Ti-Si-Al reactor.

그림 11의 (a), (b)는 극간에 10 kV의 전압을 인가했을 때, 방전관 내부의 방전 공간의 전계를 해석한 것이다. 그림 11 (a)는 유리질 형태의 유전체가 전극 표면에 부착된 경우 방전관 내부의 전극간 전계를 해석한 것이며, 그림 11 (b)는 세라믹이 전극면에 부착된 경우 방전

관 내부의 전계를 해석한 것이다.

그림 11 (b)의 최대 전계(0.131E+08 V/m)가 그림 11 (a)의 최대 전계(0.997E+07 V/m)보다 높게 나타나고 있어, 방전 개시 전압이 다소 낮아짐 예견할 수 있다. 즉, 유리질의 유전율보다 높은 세라믹 방전관 형태가 오존 발생 및 오존 생성 수율의 상승에 도움이 될 것으로 판단할 수 있고 통상의 유리질 형태의 오존나이저보다 우수한 방전 기구라 판단된다.

4. 결 론

본 세라믹 방전관의 오존 발생 특성 연구 결과 주파수가 1000 Hz인 경우 오존 농도는 높았지만 오존 수율에서는 역으로 주파수가 낮은 600 Hz가 더욱 우수한 결과가 나왔다. 600 Hz의 조건에서 유량이 2 l/min, 1.6 atm 일 때, 최대 오존 생성 수율이 나타났고, 또한, 20 °C, 1.6 atm, 2 l/min의 압력에서 세라믹 방전관의 최대 오존 생성 수율은 유리질 방전관보다 약 56 g/kWh 높게 측정되었다. 즉, 유리질의 유전율보다 20 배 정도 높은 세라믹 방전관을 사용함으로써 오존 생성 수율의 상승을 가져올 수 있었다. 이는 유전체를 이용하는 방전관의 방전에서 얇으면서도 고유전율을 가지는 재료를 무성 방전의 방전관으로 사용함으로써 유전체 표면에서 소모되는 방전 에너지의 열적 소모를 줄일 수 있기 때문이며, 실제 실험 결과 오존 생성 수율이 증가되는 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과들에 의해 세라믹 방전관은 고효율 오존 발생기로 사용이 가능하다고 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 조국희, 김영배, 이형호, "전력 밀도 변화에 따른 오존 발생 특성", 대한전기학회 춘계학술발표회 논문집, p. 196, 2001.
- [2] 조국희, "오존 발생 시스템 설계와 그 응용", 한국청정기술학회 춘계학술발표회 논문 초록집, A-14, p. 79, 1999.
- [3] 岸田 治夫, "放電重疊法によるオゾン生成の高收率化", T.IEE Japan, Vol. 117-A, No. 11, p. 1103, 1997.
- [4] 井 關昇, "オゾンナイザにおけるオゾン生成機構と今後の課題", 静電気學會誌, Vol. 7, pp. 142 ~ 149, 1993.
- [5] M. B. Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol. 19, 1997.
- [6] H. K. Joo, M. S. Jeon, and T. K. Lee, "photocatalysts : Theory and Its Application", J. of Korean Soc. of Environmental. Eng., Vol. 21, No. 6, p. 1231, 1999.