

유전체장벽 방전에 의한 세라믹 방전관의 오존 특성

(Ozone Characteristics of Ceramic Discharge Tube using Dielectric Barrier Discharge)

이창호 · 이상호 · 김종현 · 송현직* · 이상근** · 이광식

(Chang-Ho Lee · Sang-Ho Lee · Jong-Hyun Kim · Hyun-Jig Song · Sang-keun Lee · Kwang-Sik Lee)

Abstract

본 논문에서는 탈색, 탈취 및 상·하수 정수처리에 많이 이용되고 있는 오존의 효과적인 발생을 위하여 세라믹을 이용하여 유전체 장벽 방전에 의한 오존생성특성을 연구하였다. 세라믹과 전극으로 구성된 전극 수와 오존생성을 위한 반응가스인 Air와 Oxygen의 투입량 변화에 따른 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율 특성을 분석하였다. 그 결과, 세라믹과 전극으로 구성된 전극 수가 많을수록 오존생성특성은 증가하였고, 원료가스를 Air와 Oxygen으로 사용한 경우, Oxygen을 원료가스로 사용했을 때 전극 수 5 및 10개에서 모두 오존생성특성이 우수하게 나타났으며, 그 결과 전극 수가 5개인 경우, 오존생성농도는 약 4.2배, 오존발생량은 2.5배, 오존생성수율은 2.5배 증가하였으며, 전극 수가 10개인 경우, 오존생성농도는 약 5.1배, 오존발생량은 3.8배, 오존생성수율은 3.4배 증가하였다.

1. 서 론

대기 및 수질오염의 원인이 되는 오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 하나로 전기적 방전현상으로 발생하는 오존의 강력한 산화력과 최종적으로는 산소로 환원되어 2차적인 환경오염을 발생시키지 않고 잔류물질이 남지 않는 오존의 활용이 제시되고 있다.

무성방전형 오존발생기의 방전 및 오존생성에 영향을 미치는 원료가스의 종류, 온도, 습도, 인가전압, 전류 및 소비전력 등의 제 인자에 관한 연구를 통한 오존생성수율의 향상이 필연적이라 할 수 있다. 고농도의 오존발생을 얻기 위해서는 낮은 전압에서 효율적인 유전체장벽 방전의 발생 및 유지가 가능해야 하며, 이를 위해서는 유전체장벽 방전 특성에 미치는 유전체의 영향을 고찰한 후, 가장 효율적인 유전체 선정 및 방전관을 제작해야 한다.

또한 제작된 방전관의 최적 운용을 위하여 방전관의 유전체장벽 방전특성 및 오존생성특성을 세밀히 고찰해야 된다. 이에 본 논문에서는 glass와 ceramic 유전체를 이용하여 오존발생기를 제작하여 무성방전에 영향을 미치는 인자 중 원료가스의 유량 및 방전전력의 변화에 따른 오존생성농도, 오존생성량 및 오존생성수율을 연구·검토 하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

그림1은 무성방전의 기본구조를 기초로 한 평판형 오

존발생기의 기본 전극배치도이다.

그림과 같이 1개 이상의 glass나 ceramic 등의 유전체를 삽입한 전극을 대향시켜 1~3[mm] 정도의 간극을 갖도록 설치한 후, 교류고전압을 인가하면서 산소를 포함하고 있는 기체를 공급하면 기체방전에 의하여 원료가스 중에 포함된 산소의 일부가 방전에 의한 화학작용으로 오존을 생성하게 된다.

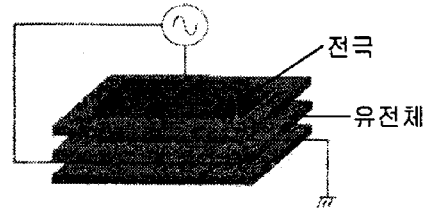


그림 1. 평판형 오존발생기 전극배치도

그림2는 본 연구에서 설계·제작한 세라믹 유전체를 이용한 오존발생기를 개략도이다. 세라믹 (50×130[mm])에 전극(SUS304 0.80× 120[mm])을 삽입하여 유전체와 전극의 간극을 0.5[mm]로 하였으며, 전극을 5 및 10개를 적층시킬 수 있도록 한 구조이다. 방전관에서 원료가스의 투입과 생성된 오존의 배출은 한 쪽 끝에서 원료가스가 투입되고 다른 쪽에서 생성된 오존이 배출되도록 오존발생기를 제작하였다.

그림3은 오존 발생기, 원료가스(산소 및 공기) 공급 장치, 전원장치, 제촉장치 등으로 오존 발생장치를 구성하여 오존 발생기의 방전 특성 및 오존 생성특성을 연구하기 위한 오존발생시스템치의 개략도이다.

원료가스인 산소 및 공기를 MPC(Mass Flow

Controller)를 통하여 일정 유량이 방전관으로 공급되고, 고주파 펄스 전원장치(3[kW], 15~30[kHz])로부터 방전관에 공급되는 전압에 따른 방전 특성은 오실로스코프를 사용하여 측정하였다.

유전체장벽 방전을 이용한 세라믹 방전관의 오존생성 특성을 연구·검토하기 위하여 전극수를 5 및 10개를 방전 간극을 0.5[mm]로 구성하고, 방전전력(0.5 ~ 1.1[kW]) 및 원료가스인 공기 및 산소 유량(30, 40, 50, 60 및 70[l/min]) 변화에 따른 오존발생기의 오존생성농도(Ozone Concentration : O_{3con})를 측정하기 위하여 오존발생기 내에서 발생한 오존화가스를 0.3[l/min]로 sampling 하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존monitor(0 ~ 100,000[ppm], Okitronics 社, Japan)로 측정하여, 오존발생량(Ozone Generation : O_{3g}), 및 오존생성수율(Ozone Yield : O_{3Y})을 계산하였다.

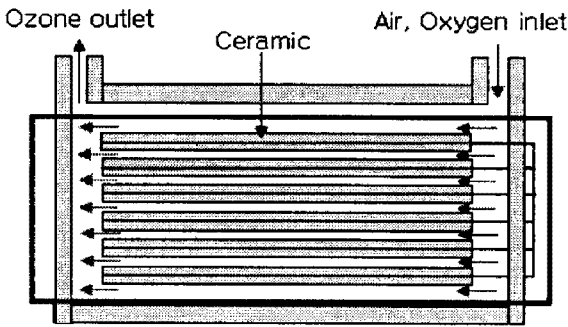


그림 2 오존발생기의 개략도

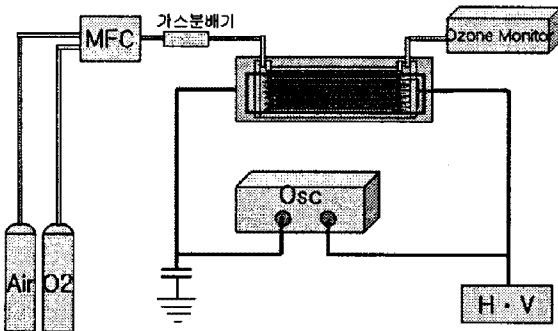


그림 3. 오존발생시스템의 개략도

2.2. 실험결과 및 고찰

그림4와 그림5는 전극 수가 5 및 10개이고 원료가스가 Air 및 Oxygen일 때, 유량(30, 40, 50, 60 및 70[l/min]) 및 방전 전력(0.5 ~ 1.1[kW])의 변화에 따른 오존생성특성을 나타낸 것이다.

원료가스가 Air일 때, 전극 수가 5개 인 경우, 오존생성농도는 유량 40[l/min]에서 6.8[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 26.7[g/h], 24.0[g/kWh]를 나타냈으며, 전극 수가 10개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 10.3[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 32.1[g/h], 32.5[g/kWh]를 나타내었다. 그 결

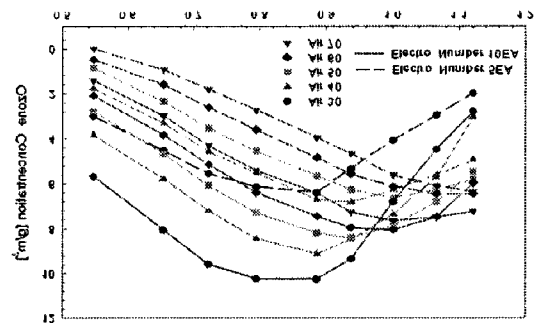
과 전극 수가 증가할수록 오존생성농도는 약 1.5배, 오존발생량은 1.2배, 오존생성수율은 1.4배 증가하였다.

원료가스가 Oxygen일 때, 전극 수가 5개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 28.4[g/m³], 오존발생량은 유량 60[l/min]에서 67.7[g/h], 오존생성수율은 60.40[g/kWh]를 나타냈으며, 전극 수가 10개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 51.8[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 120.5[g/h], 109.4[g/kWh]를 나타내었다. 그 결과 전극 수가 증가할수록 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율 모두 1.8배 증가하였다.

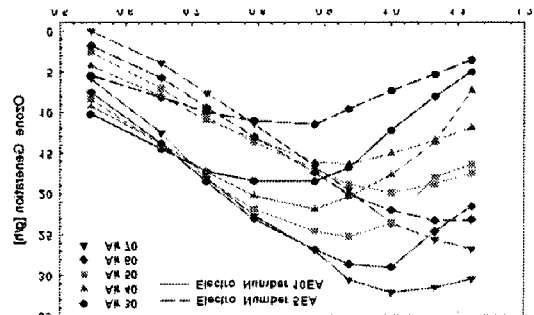
그림과 같이 전극 수가 증가할수록 오존생성특성이 우수하게 나타났다. 이는 전극 수가 증가함에 따라 방전길이가 길어져 방전공간에서 여기된 전자와 원료가스의 반응을 일으키는 영역이 길어지게 되어, 원료가스의 방전영역에 체류하는 시간이 길어지게 된다. 이 결과로 고전압에 의해서 발생된 전자와 원료가스의 충돌확률이 증가하여 여기도니 분자를 만들 확률이 많아지므로 오존생성특성이 증가하게 된다.

방전전력이 증가함에 따라서 오존생성특성이 증가하다 최대값을 가진 후 포화되어 감소함을 알 수 있고, 원료가스의 유량이 적을수록 빨리 포화되었다.

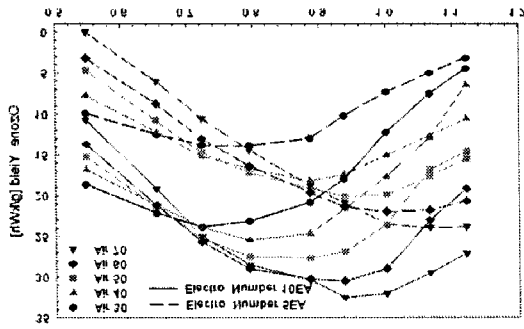
이는 입력전력이 전원장치의 손실과 오존발생부에서 열을 발생시켜 오존의 해리작용을 활성화 시키고 입력전력의 상승에 따른 방전부내의 온도 상승으로 오존생성속도 저하에 따른 해리속도가 증가하는 것으로 사료된다.



가. 오존생성농도

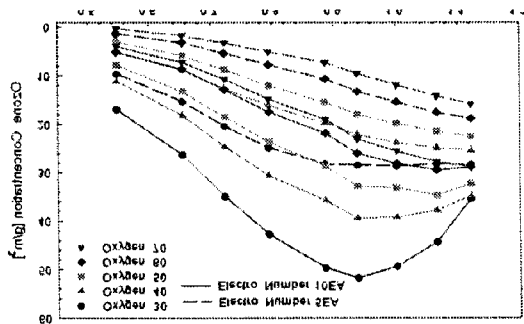


나. 오존발생량

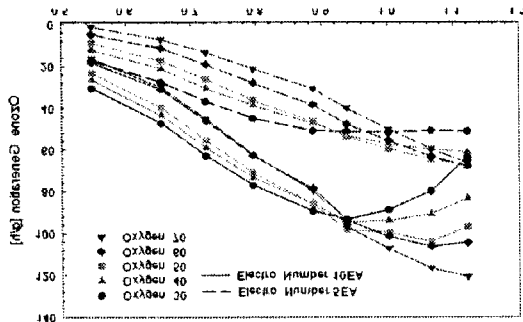


다. 오존생성수율

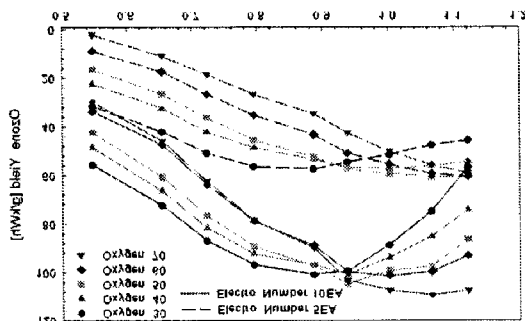
그림 4 반응가스 Air일 때, 전극 수에 따른 오존생성특성



가. 오존생성농도



나. 오존발생량



다. 오존생성수율

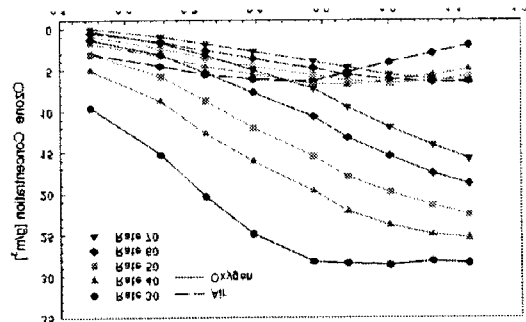
그림 5 반응가스 Oxygen일 때, 전극 수에 따른 오존생성특성

그림6과 그림7은 동일한 전극 수(5 및 10개)에서 원료가스(Air 및 Oxygen) 다를 때, 유량(30, 40, 50, 60 및 70[l/min]) 및 방전 전력(0.5 ~ 1.1[kW])의 변화에 따른 오존생성특성을 나타낸 것이다.

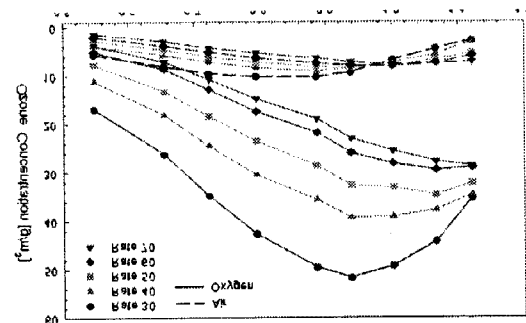
그림에서 보는 바와 같이 원료가스를 Air와 Oxygen으로 사용한 경우, Oxygen을 원료가스로 사용했을 때 전극 수 5 및 10개에서 모두 오존생성특성이 우수하게 나타났으며, 그 결과 전극 수가 5개인 경우, 오존생성농도는 약 4.2배, 오존발생량은 2.5배, 오존생성수율은 2.5배 증가하였으며, 전극 수가 10개인 경우, 오존생성농도는 약 5.1배, 오존발생량은 3.8배, 오존생성수율은 3.4배 증가하였다.

원료가스의 종류에 따른 오존생성특성에서 Oxygen이 Air 보다 우수하게 나타난 것은 Oxygen을 공급할 때 오존생성에 반응할 수 있는 Oxygen의 비율이 Air보다 높고, Air는 방전에 전자의 여기가 오존생성에 이용이 되지만 질소와 산소의 반응으로부터 생성되는 NOx가 반응하여 오존의 해리 속도를 증가시키기 때문이다. 이는 기체의 전리 포텐셜 에너지가 산소는 12.2[eV]이고, 질소는 15.58[eV]로 산소가 질소에 비하여 더 낮기 때문에 산소가 보다 활발한 전리 작용에 의하여 오존으로 전환되는 확률이 증가하였기 때문이다.

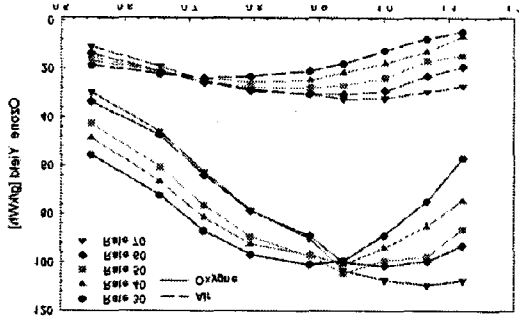
그림에서 전극 수가 많고, 유량이 적고, 방전전력이 증가할수록 오존생성특성이 급격히 증가한 후 빨리 포화되는 것으로 나타났다. 유량이 감소함에 따라 원료가스가 방전 공간 내에 체류하는 시간이 길어지면서 무성방전에 의해 가속된 전자와 원료가스인 산소분자와의 충돌횟수가 증가함으로 오존을 생성하는 확률이 증대되어 오존생성농도가 증가하게 된다.



가. 오존생성농도

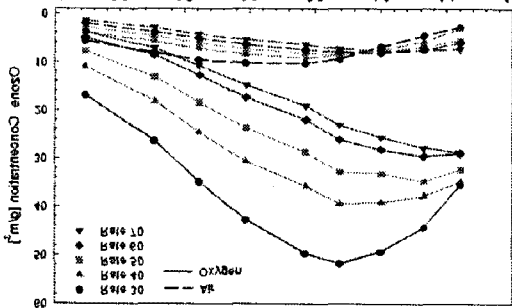


나. 오존발생량

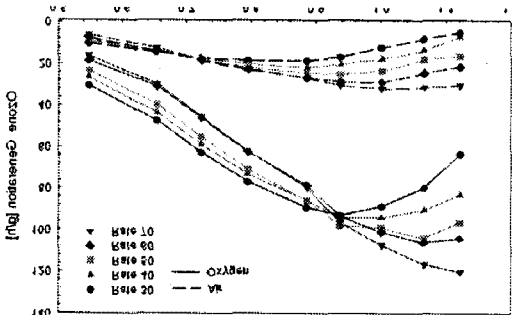


다. 오존생성수율

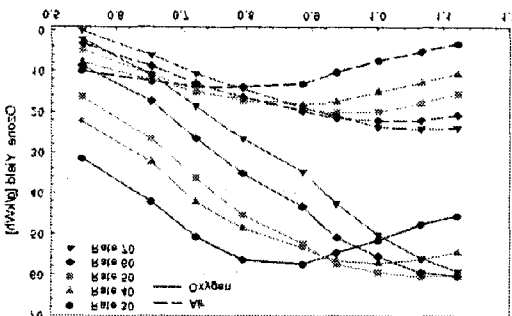
그림 6. 전극 수가 5개 일 때, 반응가스 Air 및 Oxygen에 따른 오존생성특성



가. 오존생성농도



나. 오존발생량



다. 오존생성수율

그림 7. 전극 수가 10개 일 때, 반응가스 Air 및 Oxygen에 따른 오존생성특성

그러나 방전관에 투입되는 원료가스의 유량이 적을수록 유속이 느리게 되어 방전 공간 내부의 냉각효과 저하로 인하여 방전전력이 증가할수록 유전체에 의한 유전손실이 방전부에서 열에너지로 변환되어 온도가 증가

하여 오존생성보다 해리반응이 촉진되어 오존생성농도의 급격한 저하를 가져오게 된다. 전극 수가 많아질수록 세라믹 방전관에서 발생된 높은 열에 의해서 방전전력이 증가할수록 방전관내에 생성된 오존의 분해반응이 생성반응 보다 더 활발히 이루어져 오존생성특성이 억제되어 빨리 포화되는 경향을 보인다.

3. 결론

본 논문에서는 유전체장벽 방전을 이용한 세라믹 방전관의 전극 수, 원료가스 종류, 유량 및 방전전력 변화에 따른 오존생성특성을 연구·검토하기 하였다.

원료가스가 Air일 때, 전극 수가 5개 인 경우, 오존생성농도는 유량 40[l/min]에서 6.8[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 26.7[g/h], 24.0[g/kWh]를 나타냈으며, 전극 수가 10개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 10.3[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 32.1[g/h], 32.5[g/kWh]를 나타내었다. 그 결과 전극 수가 증가할수록 오존생성농도는 약 1.5배, 오존발생량은 1.2배, 오존생성수율은 1.4배 증가하였다. 원료가스가 Oxygen일 때, 전극 수가 5개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 28.4[g/m³], 오존발생량은 유량 60[l/min]에서 67.7[g/h], 오존생성수율은 60.40[g/kWh]를 나타냈으며, 전극 수가 10개 인 경우, 오존생성농도는 유량 30[l/min]에서 51.8[g/m³], 오존발생량 및 오존생성수율은 유량 70[l/min]에서 120.5[g/h], 109.4[g/kWh]를 나타내었다.

참고문헌

- [1] 李 廣植, 李 東仁, “氣體放電에 의한 오존생성과 그 應用”, 大韓電氣學會 放電·高電壓(研), 學術發表會 論文集, pp.32 ~ 35, 1992
- [2] 전병준, 이상근, 송현직, 김영훈, 박원주, 이광식, “3상 전압인가형 중첩방전형 오존발생기의 오존생성 상승효과”, 대한전기학회 논문지, Vol. 49C, No.8, pp.486~476, 2000.
- [3] 이상근, 전병준, 박용권, 박원주, 이광식, 권혁한, 송현직, 박중협, “고주파 전압인가에 의한 무성방전형 오존발생기의 원료가스 온도특성에 관한 연구”, 한국조명전기설비학회 논문지, Vol.15, No5, pp46~54, 2001
- [4] 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.
- [5] Sang-Keun Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, “The Characteristics of Ozone Generation in Superposed Discharge type Ozonizer”, Proceedings of 1998 Korea-Japan joint symposium on ED andHVE, pp.99 ~ 102, 1998
- [6] C. Gottschalk, J. A. Libra and A. Saupe, “Ozonation of Water and Waste Water”, pp. 145-170, WILEY-VCH, 200