

오존농도 측정 시스템에 관한 연구

조국희, 조문수, 박찬원, 박상우, 신광철, 박보현
한국전기연구원, 세왕씨이텍(주), (주)수로텍, (주)태양엔지니어링, (주)오쓰리테크

A study of Ozone Concentration Measuring System

Kook-Hee Cho, Moon-Soo Cho, Chan-Won Park, Sang-Woo Park, Kwang-Chul Shin, Bo-Hyung Park
KERI, Sewang-CET, Suro Tech, Tae Yang Engineering, O₃Tech

Abstract

본 논문에서는 LabVIEW program을 사용하여 크기가 다른 파이렉스 글라스 방전관의 오존 농도를 연속적으로 측정하여 특성을 분석하였다. 또한 Flux-2D program을 사용하여 파이렉스 방전관의 전계를 분석하였다. 실험 결과에 따르면 1[l/min]에서 가장 오존 농도가 높았으며, 파이렉스 글라스 방전관 I에서는 약 62[g/m³], 파이렉스 글라스 방전관 II에서는 약 48[g/m³]으로 나타났다. 또한 고압 펄스 전원에 따른 오존농도 변화를 3D분석을 통해 확인 할 수 있었다. 확인된 분석을 통해 오존농도를 요구하는 만큼 생성한다면, 에너지 손실을 감소시키고 전극 수명을 최대화 할 수 있다.

Key Words : ozone, pyrex glass discharge tube, High-voltage pulse power, LabVIEW

1. 서 론

선진국에서 오존은 강력한 산화제로서 탈색, 탈취, 산화, 소독 등의 여러 방면에 활용하고 있으며 특히, 환경보호산업에 널리 사용되고 있다. 그러나, 기존의 오존발생기는 설비가 크고 에너지 소모가 많으며 고농도 오존발생 또한 문제점이 많다.

따라서 본 연구에서는 기존의 오존 발생 시스템과 차별화하기 위해 연속적으로 특성을 분석하여 오존농도를 실시간으로 제어가 가능하도록 하였다.

제어방법은 LabVIEW program을 사용하여 펄스 전원장치 내부의 트랜스 1차측 전압 및 전류를 DC 전압(0~10[V])으로 각각 제어하여 오존농도를 발생하게 하였다. 또한 실시간별로 오존농도, 주파수, 출력전압을 측정하여 오존 발생 특성을 확인하였고, 확인된 각각의 오존농도, 주파수, 출력전압에 대해 data base를 저장하여 비교, 분석이 용이하도록 하였다.

2. 실험

2.1 실험 장치

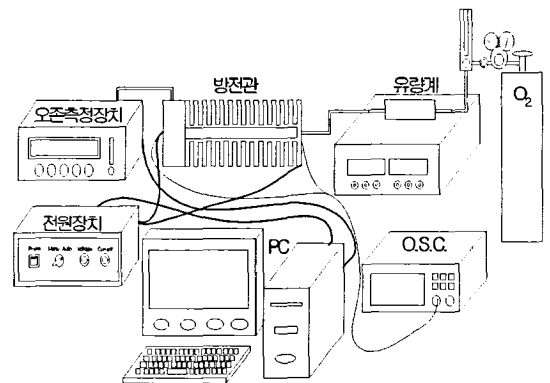


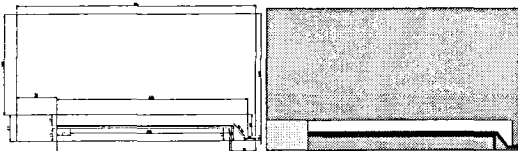
그림 1. 실험 장치의 개략도

그림 1은 파이렉스 글라스 방전관의 오존 농도를 측정하기 위한 실험 장치 개략도를 나타낸 것이다. 공급 가스는 산소를 사용하였으며 유량계(MFC)는 AERA FC-261E (10[l/min], AERA Japan LTD)이며, 오존 측정용 모니터는 HI-X(IN USA)이다. 오실로스코프는 TDS 3014(Tektronix)이고, 고압 Probe P6015A(Tektronix)로 고압 펄스를 분석하였다.

2.2 실험 방법

2.2.1 Flux-2D 전계 해석

그림 2 (a)는 전체 방전관 도면을 2D 해석 모델로 변환시킨 도면이다. 도면에서 보면 세라믹 방전관의 전체 크기는 300×54[mm]이며, 실제 크기와 같다. 이는 Flux-2D의 해석 결과 값이 실제 방전관에서의 정확성을 높이기 위해서이다. 그림 2 (b)는 해석 모델의 각 부분의 명칭을 설명한다. 전극부분을 빨간색으로 나타내었다. 접지축 전극부분은 SUS 316 부분이며 고압축 부분은 파이렉스 내부에 구리로 구성 되어있다.



(a)해석모델 도면 (b) 각 부분의 명칭

명칭	부분
AIR	Turquoise(청록색)
PYREX	Blue(푸른색)
MC-NYLON	Yellow(노란색)
ELEC.	Red(빨간색)

그림 2 파이렉스 글라스 방전관의 해석모델

비유전율(Relative permittivity, ϵ_r)은 MC-NYLON part는 3.7 그리고 PYREX part는 4.82로 하였다. 해석을 위한 Modeling 과정에 있어서 유한요소로 세분화 하는데 어려움은 실제 형상과 조건을 동일하게 하기 위해서 해석 영역은 크지만 미세한 부분의 곡선화 및 양전극 사이의 미세부분을 분할하는 것이었으며, Modeling은 실제 제작형상에 가깝도록 하였다. 경계조건으로는 고압축 도체 전극부분에 1000[V], 접지축 도체 전극부분에 0[V]의 고정경계조건(Dirichlet Boundary Condition)으로 주었으며, MC-NYLON의 양단은 자연경계조건($d\phi/dn=0$, Neumann Boundary Condition)을 주어서 해석을 하였다.

2.2.2 PC 기반에서 파이렉스 방전관 실험

오존농도를 PC에서 실시간으로 제어 및 측정하기 위해 LabVIEW program을 사용하였다. 그림 3은 LabVIEW program을 이용한 오존농도 측정 제

어부로서 Front Panel이다. Front Panel에서 보는 바와 같이 고압 펄스파워 전원을 전압 및 전류로 각각 Start값, Resolution값 및 Finish값으로 제어한다. 또한 오존농도, 주파수, 출력전압 및 오실로스코프의 파형을 그래프로 실시간으로 측정 및 저장한다.

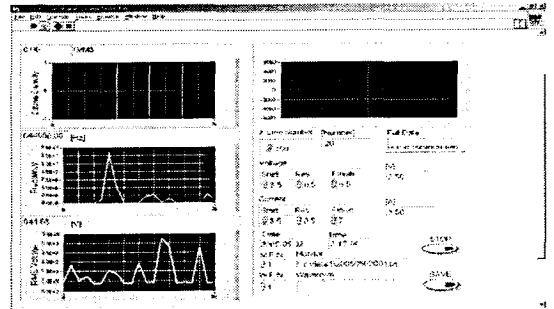
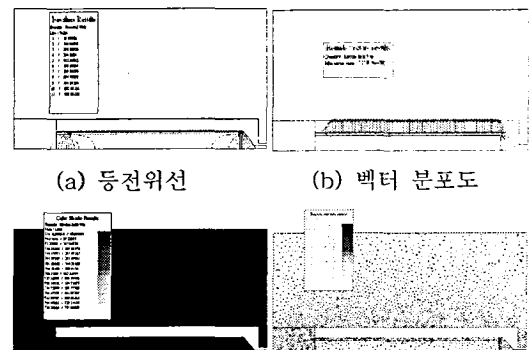


그림 3 Front Panel

파이렉스 글라스 방전관 I, II 2개를 실험 하였다. 파이렉스 글라스 방전관 I의 파이렉스 글라스는 외부 지름 30[Ø], 길이 250[mm], 두께 2[mm]이다. 방전관의 갭 간격은 1[mm]이고 외부 지름은 54[Ø], 길이는 300[mm]이다. 파이렉스 글라스 방전관 II의 파이렉스 글라스는 외부 지름 50[Ø], 길이 200[mm], 두께 2[mm]이다. 방전관의 갭 간격은 1[mm]이고 외부 지름은 100[Ø], 길이는 240[mm]이다.

3. 결과 및 고찰



(a) 등전위선 (b) 벡터 분포도 (c) 전계 분포도 (d) 전위 분포도

그림 4 Flux-2D의 해석 결과

그림 4에서 제작된 파이렉스 글라스 방전관에 대해 Flux-2D에 의한 전계해석을 하여 전계특성을

살펴보았다. (a)파이렉스 글라스 방전관의 등전위선을 보여주고 있다. 1번 선은 약 10[V]이고 2번 선부터는 약 100[V]씩 증가한다. 방전관 1[mm] 갭 사이로 전계가 밀집되어 있음을 알 수 있다. (b)파이렉스 글라스 방전관 해석 model의 벡터 분포를 나타낸 것으로서, 화살표의 길이와 개수가 많은 곳일수록 전하량 Q가 많이 분포함을 나타낸다. 또한, 최고 전계 강도는 파란색으로 나타난다. 1000[V]를 인가했을 경우 최고 전계강도는 778[V/m]로 나타났다. 이 최고값을 낮추는 것이 최적 설계의 목표이며, 고압측 극간 거리 및 고압측 전극의 크기를 변화시키면서 전계강도를 완화시켜 최적 형상을 찾을 수 있다. (c)파이렉스 글라스 방전관 해석 model의 전계(Electric Field)를 색깔로서 구분한 것이다. 밝은 미색에서부터 어두운 청색까지의 난색, 한색 대비로 구분되어 진다. 전계영역을 살펴보면 어두운 청색은 33.43~48.61[V/m], 붉은색은 340.3~388.9 [V/m], 밝은 미색은 729.2~777.8[V/m]를 나타낸다. (d)파이렉스 글라스 방전관 해석 model의 전위분포와 방향을 색깔 및 삼각형으로 구분한 것으로 난색일수록 Potential이 높고, 한색일수록 Potential이 낮다. 밝은 미색에서부터 어두운 청색까지의 난색, 한색 대비로 구분되어 진다.

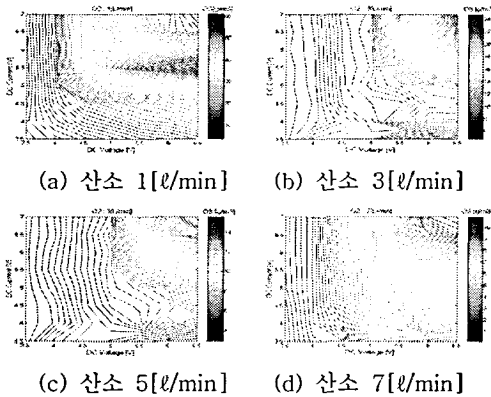


그림 5 펄스 전원에 따른 오존농도

그림 5는 파이렉스 글라스 방전관 I에서 전압측, 전류측 DC 제어 전압을 변화 시킬 때 같은 오존농도의 위치를 등고선으로 나타낸 것이다. 그림 (b),(c),(d)산소 유량 3, 5, 7[l/min]는 전압측 DC 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류측 DC 제어 전압이 7[V]일 때 오존 농도가 각각 약 26[g/m³], 약 15[g/m³], 약 11[g/m³]로 높은 경향을 보이나, (a)산

소 유량 1[l/min]에서는 전압측 DC 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류측 DC 제어 전압이 5.5[V]일 때 약 62[g/m³]로 오존 농도가 더 높은 경향을 보인다. 그러나 산소 유량 1[l/min]에서 오존의 농도는 전압측 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류측 제어 전압이 5.5 [V]일 때 가장 높게 나타났다. 그 이유는 전압측 DC 제어 전압 5.5~6.5[V]이고 전류측 DC 제어 전압 6~7[V]일 때는 생성된 오존이 열로 인해 파괴되기 때문으로 사료된다. 또한 산소 유량 3, 5, 7[l/min]에서 산소 유량 1[l/min]보다 오존 농도가 낮은 이유는 방전관에서 체류시간이 짧기 때문에 오존의 생성이 낮게 되는 것으로 사료된다.

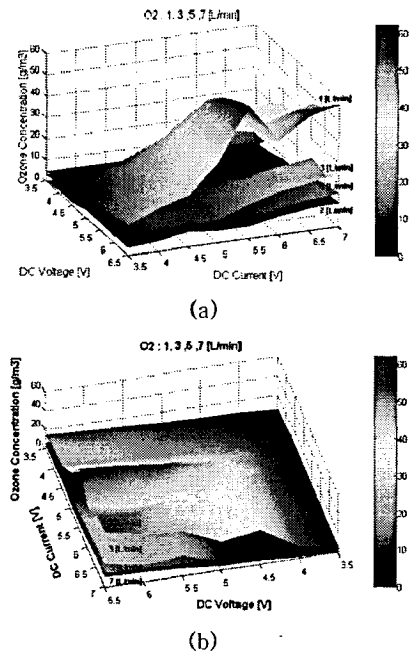


그림 6 펄스 전원에 따른 오존농도 변화 3D 분석

그림 6은 파이렉스 글라스 방전관 I에서 전압측, 전류측 DC 제어 전압을 변화 시킬 때 오존농도를 3D 입체로 나타낸 것이다. 그림 6 (a),(b)를 살펴보면 산소 유량 1[l/min]에서 가장 높은 부분은 전압측 DC 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류측 DC 제어 전압이 5.5[V]일 때임을 뚜렷하게 알 수 있다. 또한 산소 유량 3, 5, 7[l/min]은 전압측 DC 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류측 DC 제어 전압이 7[V]일 때 오존 농도가 높은 부분이다.

그림 7은 파이렉스 글라스 방전관 II에서 전압측, 전류측 DC 제어 전압을 변화 시킬 때 같은 오

존농도의 위치를 등고선으로 나타낸 것이다. 그림 7을 살펴보면 (a) 약 48[g/m³]로 가장 오존 농도가 높았다. (b) 약 19[g/m³], (c) 약 11[g/m³]이었으며, (d) 약 7[g/m³]로 가장 낮음을 알 수 있다. 그림 5와는 달리 (a) 산소유량 1[l/min]에서도 (b),(c), (d)산소 유량 3, 5, 7[l/min]과 같이 전압축 DC 제어 전압이 5.5~6.5[V]이고 전류축 DC 제어 전압이 7[V]일 때 오존 농도가 최대치로 나타났다. 그 이유는 파이렉스 글라스 방전관Ⅱ가 파이렉스 글라스 방전관Ⅰ보다 길이가 50[mm] 짧아 체적이 작기 때문에 산소유량 1[l/min]에서는 열의 영향을 덜 받기 때문에 사료된다. 또한 산소 유량 3, 5, 7[l/min]에서 산소 유량 1[l/min]보다 오존 농도가 낮은 이유는 방전관에서 체류시간이 짧기 때문에 오존의 생성이 낮게 되는 것으로 사료된다.

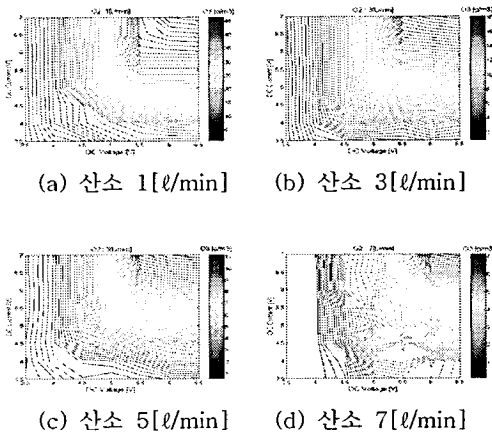
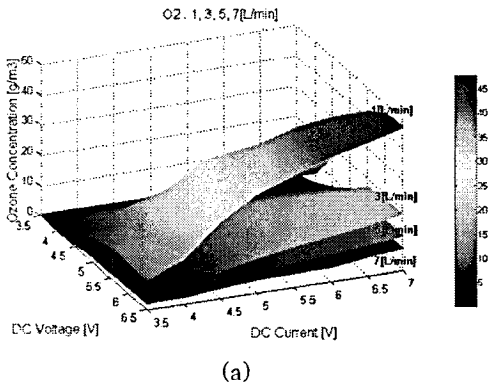
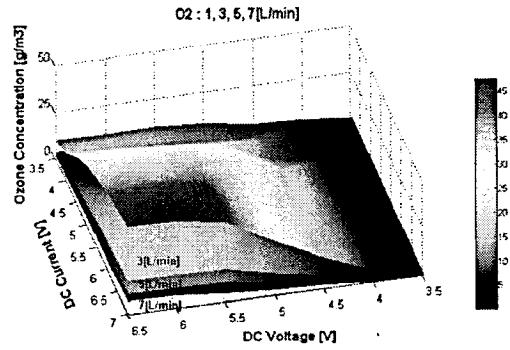


그림 7 펄스 전원에 따른 오존농도



(a)



(b)

그림 8 펄스 전원에 따른 오존농도 변화 3D 분석

산소 유량 1, 3, 5, 7[l/min]에 대해 전류축, 전압축 DC 제어 전압 변화를 주었을 때 오존농도의 변화를 그림 8에 나타내었다. 그림 (a), (b)에서 보면 유량이 증가하면 오존농도가 감소하는 경향을 보이며, 각 유량에 대해 전압축 DC 제어 전압과 전류축 DC 제어 전압이 4.5[V]이상일 때 오존이 많이 발생됨을 알 수 있다. 그 이유는 유전체에 축적된 에너지가 활발하게 산소를 분해 시켜 오존으로 생성되기 때문으로 사료된다.

4. 결론

파이렉스 오존 방전관의 구조현상을 이해하기 위하여 Flux-2D를 통하여 전계분포 분석을 하였다.

- 방전관 1[mm] 갭사이로 전계가 밀집
 - 1000[V] 인가했을 때 최고전계강도는 778[V/m]
- LabVIEW program을 사용하여 연속적인 오존농도 제어가 가능하였으며, 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 측정 범위 및 증가분을 입력하여 정확한 제어 및 결과를 얻을 수 있었다.
- 오존농도, 주파수, 출력전원 및 출력전원 파형을 그래프화 및 DB 구축을 할 수 있었다.

따라서 오존 농도 제어 기술을 활용한다면 다양한 형태의 방전관에 사용할 수 있으며, 오존농도를 요구하는 만큼 생성하여 에너지 손실을 감소시키고, 전극 수명을 최대화 시킬 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 지원으로 산·학·연 컨소시엄사업으로 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] Moo Been Chang, "Experimental Study on Ozone Synthesis via Dielectric Barrier Discharges", Ozone Science and Engineering, Vol. 19, pp. 241~254, 1997.
- [2] S. Masuda et al. "A Ceramic-Based Ozonizer Using High Frequency Surface Discharge." IEEE trans. IA-24, pp.223~231(1998)
- [3] H. Sugimitsu, "Measurement of the Rate of Formation in an Ozonizer", Journal de Chemie physique, Vol. 79, No. 9, pp. 655~660, 1982.
- [4] Kook-Hee Cho et al., "Improvement of Ozone Generation Performance in Ceramic Discharge Tube", ICEE 2001, Proceedings of International Conference on Electrical Engineering, pp. 1842 - 1845, July, 2000.