

Characteristics of Fluorescent Discharge Lamp Type Ozonizer for Environment Improvement

朴容權* · 李相根** · 全炳俊* · 宋炫直*** · 李廣植§ · 夏長鎬§§

(Yong-Kwun Park · Sang-Keun Lee · Byung-Joon Chun · Hyun-Jig Song · Kwang-Sik Lee · Jang-Ho Ha)

Abstract - In this paper, fluorescent discharge type ozonizer has been designed and manufactured. Ozone discharge and generation characteristics have been investigated in accordance with a sort of internal electrodes, output voltage of power supply, air flow rate and discharge power. Air has been used as the supplied gas of the ozonizer. In this paper, when disuse fluorescent lamp was used as an internal electrode. Air flow rate was varied from 2[l/min] to 10[l/min]. The maximum ozone concentration and yield were 3495[ppm] and 23.4[g/kWh] respectively at 2[l/min] air flow rate and 35.2[W] input power. Illumination was appeared as 5[lx] within 15[cm] from external electrode. When fluorescent discharge type ozonizer was used, air flow rate was also varied from 2[l/min] to 10[l/min]. At this moment, the maximum ozone concentration and yield were 2824[ppm] and 21.7[g/kWh] respectively at 2[l/min] air flow rate and 30.5[W] input power. Illumination was also appeared as 5[lx] within 15[cm] from external electrode like used fluorescent lamp.

Key Words : Ozone, Fluorescent discharge lamp type ozonizer, Ozone concentration

1. 서 론

우리나라에서 연간 생산, 사용되는 형광등은 약 1억3천만 개에 이르고 있으며, 이중 4천만개는 일반가정에서, 나머지는 대형건물이나 사업장에서 사용되고 있으며, 사용 후 버려지는 폐형광등과 폐건전지 등으로 인해 수은의 대기오염 방출 및 토양 산성화에 심각한 영향을 주고 있는 실정이다.

이에 서울시의 경우 폐형광등에 대해 분리수거가 전면적으로 실시될 예정에 있는 등, 각 지자체와 정부에서는 생활 유험폐기물에 대해 분리수거와 재활용 방안의 마련을 시급히 서두르고 있다.

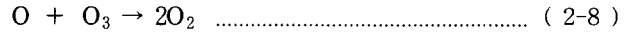
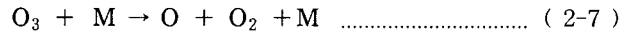
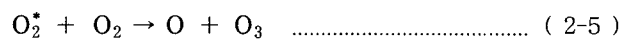
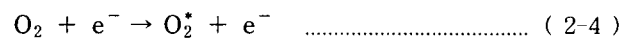
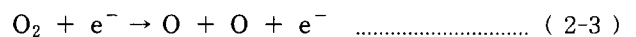
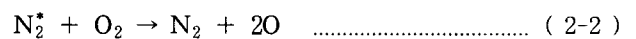
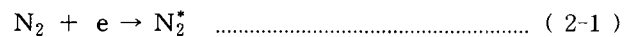
이러한 시점에서 분리수거된 폐형광등을 오존발생용 전극으로 이용한 오존발생기를 사용할 경우, 1) 공기 중에서 오존이 단시간에 산화분해되므로 대기오염물질과 악취유발물질, 먼지 등의 처리속도가 빠르며, 2) 오염물 저감에 의해 건물 신설시 FAN용량 및 DUCT의 설비비를 절감시킬 수 있고, 3) 오존은 분해하여 산소로 완전 환원하므로 2차 오염(검댕, 먼지 등)을 유발하지 않는 장점을 가지고 있으며, 4) 기기의 자동화로 관리가 용이하며 유지비가 낮다는 장점이 있다.

따라서 본 연구에서는 형광등을 이용한 오존발생기의 제작과 오존생성 특성을 연구하였으며, 이를 통해 폐형광등의 재활용 가능성과 생성된 오존을 이용한 사업장에서의 악취제거 등 환경분야로의 응용을 검토하였다. 그리고, 오존발생기의 조도를 측정하여 비상용 조명으로서의 적용 가능성도 함께 검토하였다.

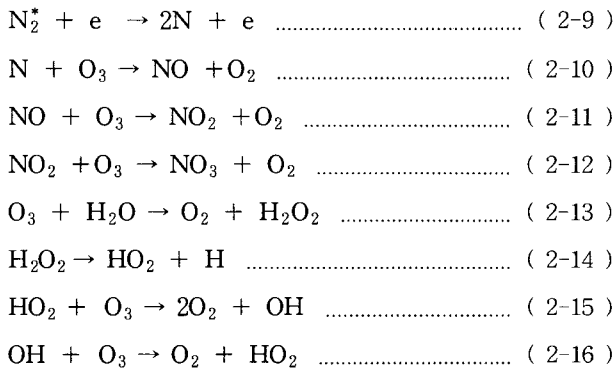
2. 관련이론 및 조도기준

2.1 공기를 원료로 한 경우의 주요반응식

오존발생기의 원료가스가 공기인 경우, 전자충돌에 의한 산소분자가 산소원자로 분해될 뿐만 아니라 공존하는 질소가 오존생성에 많은 역할을 하게 된다. 그 결과 주된 오존생성 및 분해반응은 다음과 같다.



* 正會員 : 嶺南大學校 大學院 電氣工學科 博士科程
 ** 正會員 : 嶺南大學校 大學院 電氣工學科 博士
 *** 正會員 : 龜尾1大學 電氣科 教授 · 工博
 § 正會員 : 嶺南大學校 電子情報工學部 教授 · 工博
 §§ 正會員 : 三陟大學校 制御計測工學科 兼任教授
 接受日字 : 2002年 6月 10日
 最終完了 : 2002年 8月 28日



M : 제3의 물질(O, O₂ 및 N₂)

식 (2-1)의 반응에서 전자의 충돌에 의해 질소분자(N₂)가 여기상태로 되고, 여기된 질소분자(N₂^{*})에 의해 식 (2-2)와 같이 산소분자(O₂)가 해리 되거나, 식 (2-3)과 같이 전자의 충돌에 의하여 해리 된 후, 해리된 산소원자와 식 (2-4)에서의 여기된 산소분자(O₂^{*})가 다른 산소분자와 반응하여 식 (2-5) ~ 식 (2-6)와 같은 반응으로 오존생성에 기여하게 된다. 또한 방전공간에는 이상과 같은 생성반응과 함께 분해반응도 동시에 존재한다.

오존생성의 주된 반응식인 식 (2-6)에서 M은 제3의 물질로 O, O₂ 및 N₂ 등을 나타내고 있으며, 식 (2-6)의 반응을 전후로 105[kJ]의 열을 발생하는 발열반응이다. 그러므로 원료가스의 온도가 낮아질수록 반응이 촉진되게 된다.

방전시 방전공간 내에서 존재하는 오존의 분해반응은 대부분 식 (2-7) 및 (2-8)로 고려되고 있으며, 식 (2-7)에서는 식 (2-5)의 역반응으로 흡열반응을 하므로 원료가스의 온도가 높아짐에 따라서 오존의 분해반응이 촉진되어 원료가스의 온도상승과 함께 분해가 촉진되게 된다.

또한 식 (2-9)의 반응에서 여기 질소분자(N₂^{*})가 질소원자(N)로 해리 되어 식 (2-10), 식 (2-11) 및 식 (2-12)와 같이 오존과 반응하여 고차의 NO_x 로 되면서 오존을 파괴한다.

결국, 원료가스 중에 포함된 N 또는 N₂^{*}가 오존의 분해반응에 많은 영향을 미치므로 원료가스로 공기를 사용하는 경우가 원료가스가 산소인 경우보다 오존생성효율이 낮음을 알 수 있다.

또한 식 (2-13) ~ 식 (2-16)과 같이 원료가스 중에 포함된 수분(H₂O) 역시 OH 및 HO₂ 와 같은 활성 종을 생성하여 오존을 분해시키게 되어 오존생성에 악영향을 주게 된다.

2.2 조도기준

KS 조도기준에 따른 조도단계는 아래 표. 1과 같으며, 이 조도는 주로 작업면(일반적으로는 책상 85cm, 앉아서 하는 경우는 결상 40cm, 복도, 옥외 등은 작업면 또는 지면)에 의한 수평조도를 나타내지만, 작업내용에 따라서는 연직면 또는 경사면의 조도를 표시하는 것도 있다.

표 1 조도기준
Table 1 Illumination Criteria

조도	장소
10,000 ~ 5,000	수술실
1500 ~ 750	사무실, 연구실
750 ~ 500	사무실, 회의실
500 ~ 200	응접실, 현관홀
200 ~ 150	욕실, 복도계단, 화장실
150 ~ 75	휴게실, 창고
75 ~ 30	비상계단
30 ~ 10	옥외통로, 구내경비용
10 ~ 5	옥외통로, 야간구내통로
6 ~ 3	비상용 조명
2 ~ 1	심야복도, 방법등

3. 실험장치 및 방법

그림 1은 내부방전등을 점등시킨 형광방전등형 오존발생기의 단면도를 나타낸 것으로 형광등(10[W])외부와 유전체(Pyrex관, ϕ=36[mm], t=2.0[mm]) 외부에 전극Mesh(SUS 304, t=1[mm])를 밀착시킨 후, 형광등을 유전체 내부에 삽입하여 형광등외부 mesh를 중심전극으로, 유전체 외부의 mesh를 외부전극으로 사용하여 두 전극사이에 상용 neon transformer(입력전압 :220V, 입력전력 : AC 150[VA])에서 발생하는 교류전원을 사용하여 전원을 인가하였다. 이때 양 출력단자에서는 동일 크기의 교류전압이 180°]의 위상차를 형성하게 된다.

또한, 내부형광등에는 정격전압(AC 220V)을 인가하여 조명용을 위한 광원으로 사용하였다.

원료가스로는 대기공기를 이용하였으며, 유량의 변화에 따른 방전특성(전압, 전류, 전력)과 오존생성특성(오존농도, 생성량 및 오존수율)을 측정하여 이때 발생하는 오존으로 환경개선으로의 가능성을 검토하였다.

유량의 변화에 따른 방전전압과 방전전류는 고전압 분압기(분압비 = 2000 : 1), 분류기(분류비 = 10 : 1) 및 Oscilloscope(Tektronix TDS 3014)로 측정하였다. 방전전력은 Digital power meter(0-500[V], 0-20[A], 0-9999[W], accuracy : ±0.2 [%])를 이용하여 전력을 측정하였다.

그림 2는 폐형광등을 이용한 폐형광등형 오존발생기의 단면도를 나타낸 것으로 유전체 Pyrex(Pyrex관, ϕ=36[mm], t=2.0[mm]) 외부에 전극Mesh(SUS 304, t=1[mm])를 밀착시킨 후, 형광등을 유전체 내부에 삽입하여 형광등을 중심전극으로, 유전체 외부의 mesh를 외부전극으로 사용하여 두 전극사이에 상용 neon transformer(입력전압 : 220V, 입력전력 : AC 150[VA])에서 발생하는 교류전원을 사용하여 전원을 인가하여 이때 발생하는 오존의 발생특성을 살펴보았다.

생성된 오존농도는 오존발생기에서 생성된 오존을 매 실험마다 0.3[ℓ/min]로 샘플링하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존모니터(0~100,000[ppm], Sampling time=30[sec], Okitronics LTD, Japan)를 이용하여 측정하였으며, 오존생성량과 수율은 전력, 유량 및 오존생성농도로 계산하였다.

또한, 오존발생기의 비상용 조명으로의 사용가능성을 살펴 보기 위한 오존발생기의 조도측정은 외부전극에서 수직거리 15[cm] 지점에서 조도계를 사용하여 측정하였다.

그리고, 이때 발생하는 오존 역시 대기환경개선으로의 적용가능성을 검토하였다.

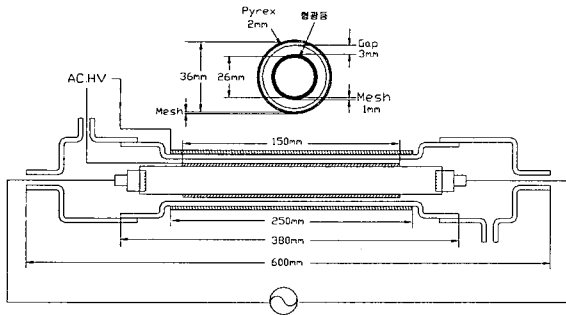


그림 1 형광방전등형 오존발생기의 단면도
Fig. 1 Schematic diagram of fluorescent discharge type lamp ozonizer

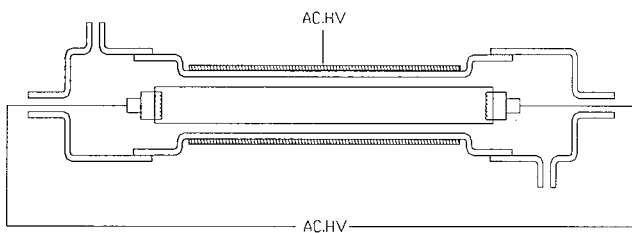


그림 2 폐형광등형 오존발생기의 단면도
Fig. 2 Schematic diagram of a used fluorescent discharge type lamp ozonizer

그림 3은 오존발생장치의 배치도를 나타낸 것으로 그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름도이다.

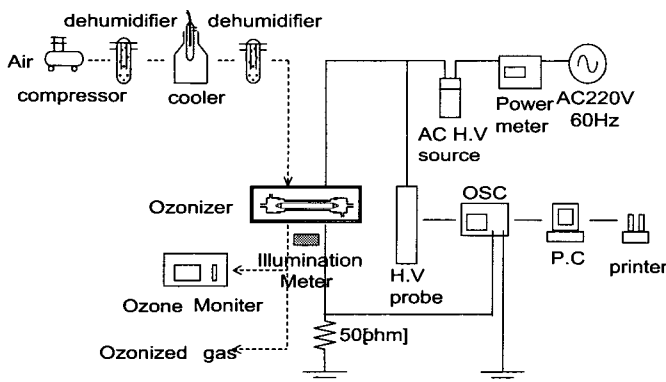


그림 3 오존발생장치의 배치도
Fig. 3 Arrangement diagram of Ozonizer System

4. 실험결과 및 고찰

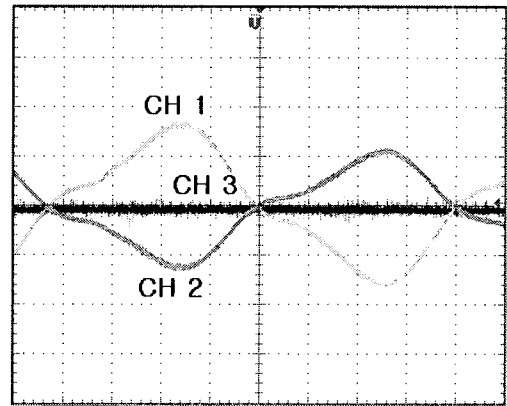
4.1 방전특성

그림 4는 유량이 2[l/min]일 때, 그림 5는 유량이 10[l/min]일 때, 입력전압을 100, 220[V]로 증가시켰을 때의 폐형광등형 오존발생기의 방전전압, 방전전류의 파형을 오실로스코프(Tektronix TDS 3014)와 CT를 이용하여 측정된 것이다.

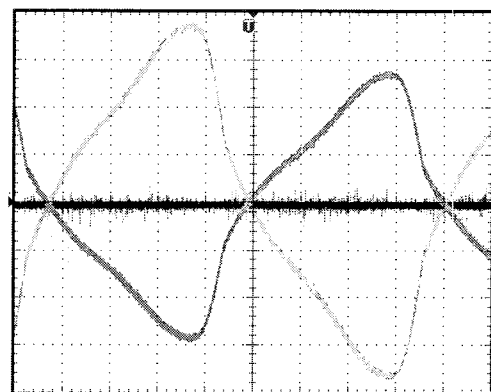
여기에서, CH1은 그림 1의 내부전극의 전압파형이며, CH2는 외부 전극의 전압 파형이며, CH3은 내부전극의 전류 파형이다.

입력전압이 상승함에 따라서 방전전압과 방전전류는 상승하였고, 유량이 증가함에 따라서 방전전압은 큰 차이가 없었으나 방전전류는 감소하는 것을 알 수 있다.

이는 유량이 증가할수록 유속이 빨라짐에 따라 산소분자가 방전공간 내를 통과하는 시간이 짧아지기 때문이다



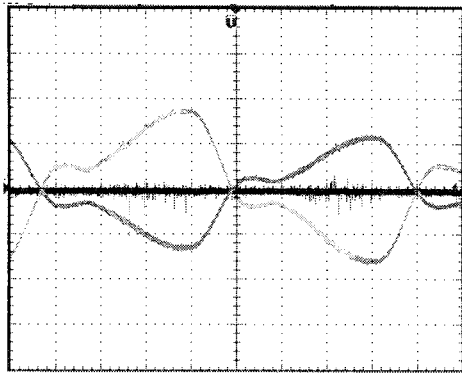
a) $V_d = 6.42[kV]$ $I_d = 0.8[mA]$



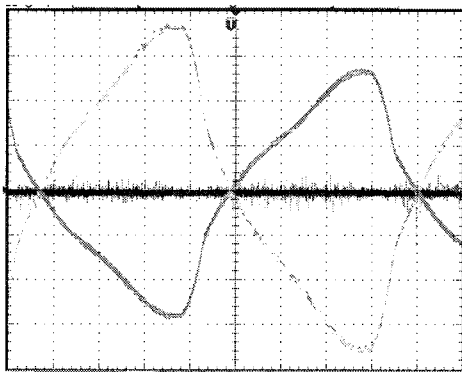
b) $V_d = 15.29[kV]$ $I_d = 1.2[mA]$

그림 4 유량 2[l/min], 입력전압 100, 220[V]일 때, 방전전압 및 방전전류 특성

Fig. 4 The waveforms of V_d, I_d ($Q=2$ [l/min])



a) $V_d = 6.87[kV]$ $I_d = 0.89[mA]$



b) $V_d = 15.25[kV]$ $I_d = 0.98[mA]$

그림 5 유량 10 [l/min], 입력전압 100, 220[V]일 때, 방전전압 및 방전전류 특성

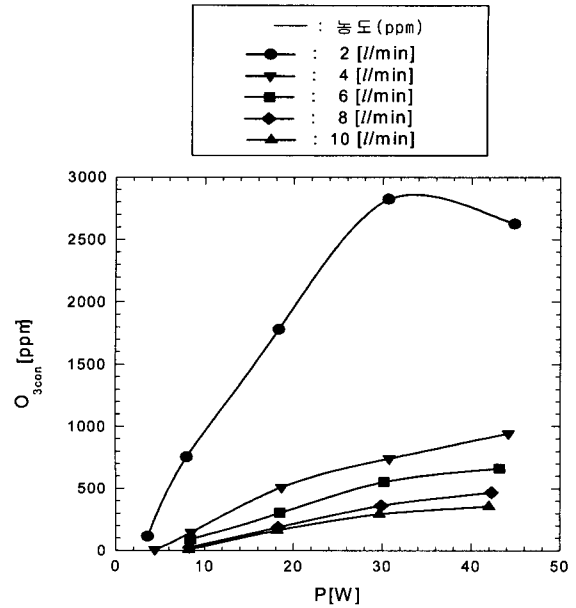
Fig. 5 The waveforms of V_d, I_d ($Q=10$ [l/min])

4.2 오존생성특성

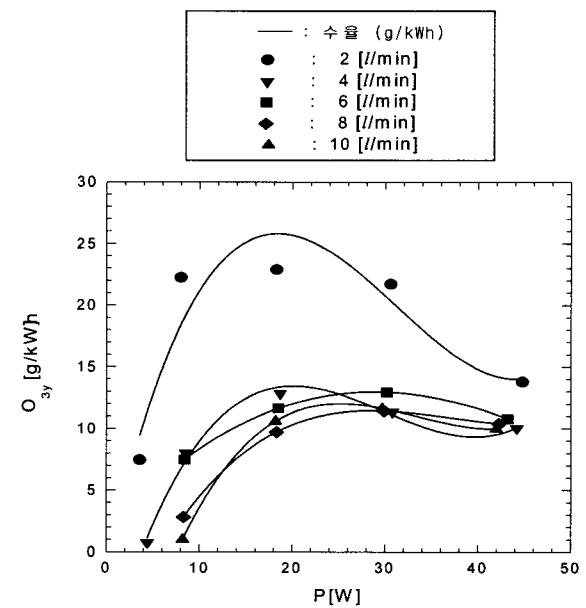
그림 6, 그림 7 및 그림 8의 a)는 원료가스로 대기공기를 사용한 경우, 각각의 유량(2, 4, 6, 8, 10 [l/min])에서 전력변화에 따른 오존농도특성을 나타낸 것이고, b)는 전력변화에 따른 오존수율특성을 나타낸 것이다.

그림 6에서는 그림 1의 내부 방전등을 점등시킨 형광방전 등형 오존발생기를 사용한 경우로 전력이 증가함에 따라서 오존 농도는 증가하는 경향을 보이는데 반해, 유량이 증가함에 따라 오존농도는 감소하는 경향을 보이고 있고, 2 [l/min]에서는 오존농도가 증가하다가 방전전력 30[W] 이상에서는 다시 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 전력이 증가함에 따라서 오존발생기에 가해지는 입력에너지의 증가에 의해 두 전극사이에서의 무성방전이 증가되어 산소분자의 전리를 촉진시킨 결과이다. 그러나 30[W] 이상에서는 공기의 절연내력 저하에 의한 열손실로 오존생성반응보다 오존분해반응이 촉진된 결과 오존농도의 감소현상이 나타났다.

그 결과, 형광방전등을 내부전극으로 사용한 오존발생기에서 유량(2, 4, 6, 8, 10 [l/min])과 갭(Gap=3[mm])에 따른 최대 오존생성농도는 유량 2 [l/min]에서 오존농도 및 수율이 각각 2824[ppm], 21.7[g/kWh]를 얻을 수 있었으며, 조도측정 결과 5[lx]이상으로 공공장소 등의 비상용 조명(KS조도기준)으로 충분히 사용 가능함을 알 수 있었다.



a) 전력-농도특성

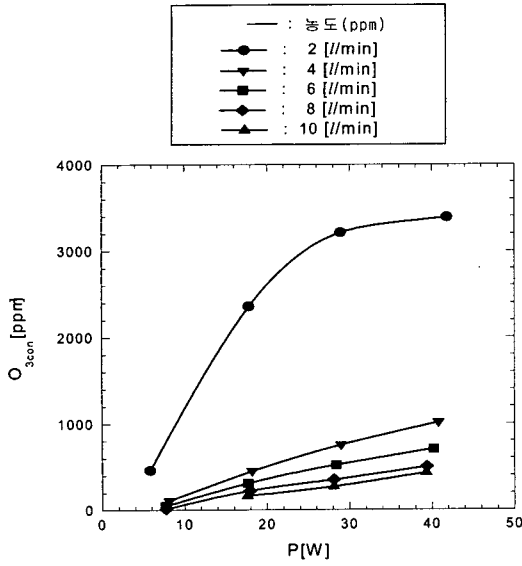


b) 전력-수율특성

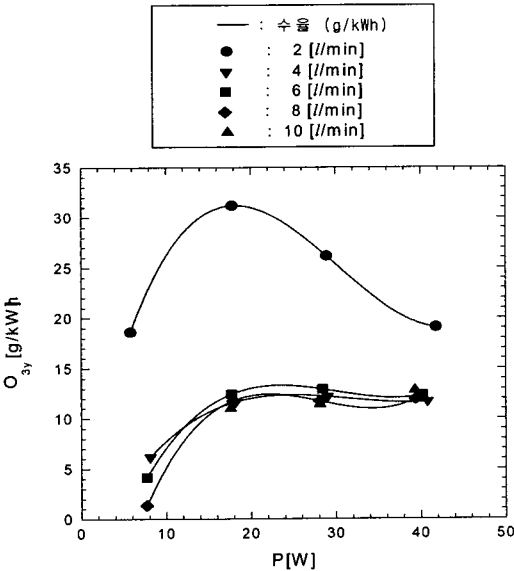
그림 6 조명용 형광방전등형 오존발생기의 전력 및 유량에 따른 오존농도와 수율특성

Fig. 6 The characteristics of P-O3con, P-O3Y with variation of air flow rate of fluorescent discharge lamp type ozonizer

그림 7은 그림 2에서 나타낸 폐형광등을 이용한 형광방전 등형 오존발생기를 사용한 경우의 오존생성특성을 나타낸 그래프이다. 그림 6과 동일한 경향의 특성을 나타내고 있으나 그림 6에 비해 오존농도와 오존수율은 증가된 특성을 보이고 있다. 이는 그림 2의 구조에서는 형광등에서 방출되는 열과 빛에 의해 오존분해가 감소된 결과로 사료된다.



a) 전력-농도특성



b) 전력-수율특성

그림 7 폐형광등형 오존발생기의 전력 및 유량에 따른 오존 농도와 수율특성

Fig. 7 The characteristics of P-O3con, P-O3Y with variation of air flow rate of used fluorescent discharge lamp type ozonizer

그 결과, 폐형광등을 내부전극으로 사용한 오존발생기에서 유량 (2, 4, 6, 8, 10 [l/min])에 따른 최대 오존생성농도는 유량 2 [l], 입력 35.2[W]에서 최대 오존생성농도와 수율이 각각 3495[ppm], 23.4g/kWh를 얻을 수 있었으며 조도는 측정 결과 5[lx]를 나타내어 공공장소의 비상용 조명으로 충분히 사용 가능함을 알 수 있었다.

그림 8은 유량이 10 [l/min]일 때, 전극을 mesh (t=0.04,

0.1[mm])와 copper(t=0.1[mm], 순도 97[%])를 사용하였을 때, 전력에 따른 오존생성특성을 측정 한 것이다. 여기에서 알 수 있듯이 각각의 전극에서 최적의 방전조건이 존재하며, 높은 전력에서는 전극으로 사용한 mesh가 조밀할수록, 낮은 전력에서는 전극으로 사용한 mesh가 조밀하지 않을수록 높은 오존 농도와 수율을 얻을 수 있었다. 이는 전극이 없는 부분에서도 연면방전에 의한 오존생성의 상승효과 때문으로 사료된다.

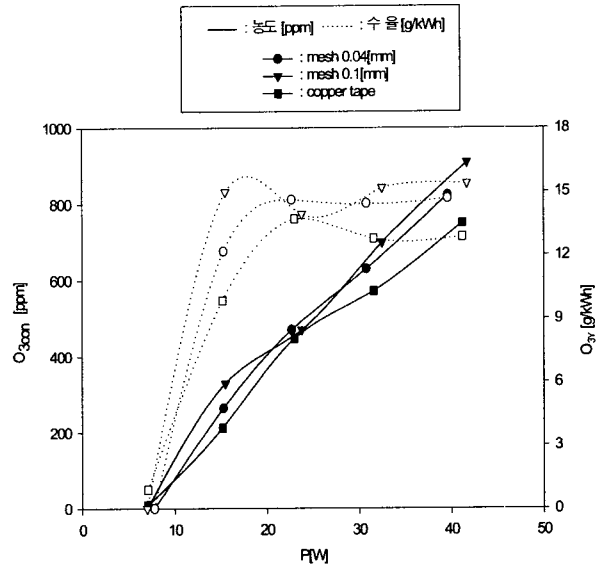


그림 8 폐형광등형 오존발생기의 전극의 종류 및 전력에 따른 오존농도와 수율특성

Fig. 8 The characteristics of P-O3con, P-O3Y with variation of electrode materials of used fluorescent discharge lamp type ozonizer

이상의 결과와 같이 형광방전등형 오존발생기와 폐형광등을 이용한 오존발생기에서 발생되는 오존은 10[l/min]이상의 고 유량에서도 수백 ppm이상의 높은 오존농도를 얻을 수 있으므로, 각 사업장에서 환경개선을 위해 충분히 적용 가능함을 알 수 있다. 또한 두 형태 모두 비상용조명으로 이용 가능한 5[lx]이상의 조도를 얻을 수 있으므로 비상용 조명을 겸비한 오존발생기의 제작이 가능함을 알 수 있었다.

추후, 환경개선을 위한 오존발생기의 적용을 위해, 오염정도와 작업환경에 따라 최적 오존농도의 설정과 적용을 위한 연구가 뒤따라야 하리라 생각된다.

5. 결 론

폐형광등을 재활용하여 공공장소의 비상용조명, 악취제거, 실내공기살균 등에 적용가능한 형광방전등형 오존발생기를 제작하여 실내공기 및 조명환경개선을 위한 가능성을 확인하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

- 1) 조명용 형광방전등형 오존발생기를 사용한 경우, 유량 2 [l/min]에서 오존농도 및 수율이 각각 2824[ppm] 및

21.7[g/kWh]를 얻을 수 있었으며, 실내공기정화 및 악취 제거를 위해 충분한 오존농도를 제공 가능함을 알 수 있었다.

- 2) 폐형광등을 이용한 형광방전등형 오존발생기는 입력전력 35.2[W]에서 최대 오존생성농도와 수율이 각각 3495 [ppm], 23.4[g/kWh]를 얻을 수 있었으며, 폐형광등을 재활용하여 환경개선에 적용가능한 오존발생기를 제작 가능함을 확인하였다.
- 3) 두 가지 타입의 오존발생기에서 발생하는 조도는 측정결과 모두 5[lx]이상으로, 공공장소의 비상용 조명의 조도이상으로 확인되었다.

참 고 문 헌

- [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] 中山繁樹, “オゾンの 應用”, 電學論D, 114卷 4號, pp.362 ~ 369, 平成6年
- [3] Victor Puchkarev and Martin Gundersen, “Energy efficient plasma processing of gaseous emission using a short pulse discharge”, Appl. Phys. Lett. Vol 71, No. 23, pp. 3364 ~ 3366, 1997
- [4] 山本克治, “オゾンによる殺菌, 滅菌”, 靜電氣學會誌, 第22卷, 第4号, pp.180~183, 1998
- [5] W. Egli, B Eliasson, Asea Brown Boveri, “Numerical Calculation of Electrical Breakdown in Oxygen in a Dielectric-Barrier Discharge”, Helvetica Physica Acta, Vol 62, pp.302 ~ 305, 1989

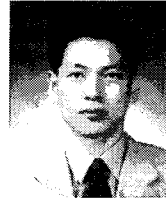
이 논문은 2002학년도 영남대학교 학술연구조성비에 의한 것임

저 자 소 개



박 용 권 (朴 容 權)

1953년 3월 22일생. 1996년 영남대 환경대학원 환경설계학과 졸업. 현재, 영남대 대학원 전기공학과 박사과정, 대구광역시청 상수도본부 근무.
Tel : 053-810-1517



이 상 근 (李 相 根)

1971년 1월 19일생. 1996년 계명대 물리학과 졸업. 1998년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사)
Tel : 053-810-1517
E-mail : skeun2@yahoo.co.kr



전 병 준 (全 炳 俊)

1970년 10월 5일생. 1996년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1999년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정
Tel : 053-810-3953
E-mail : bjchun@yu.ac.kr



송 현 직 (宋 炫 直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 구미1대학 전기과 교수
Tel : 054-440-1206
E-mail : hjsong@kumi.ac.kr



이 광 식 (李 廣 植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1998~1999 당학회 방전고전압 연구회 간사장 역임. 현재 영남대 전기전자공학부 교수
Tel : 053-810-2486
E-mail : kslee@yu.ac.kr



하 장 호 (夏 長 鎬)

1961년 3월 17일생. 1988년 경일대 전기공학과 졸업. 1995년 경일대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2000년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사)
Tel : 053-810-1517