Journal of the Korean Institute of Illuminating and Electrical Installation Engineers Vol. 19, No.5, pp. 87~93 July 2005

논문 19-5-13

내부전극 조밀도 변화에 따른 중첩방전형 오존발생기의 특성

(The Characteristics of a Superposed Discharge Type Ozonizer with Variation of Mesh in Internal Electrode)

송현직*

(Hyun-Jig Song)

요 약

본 논문에서는 고농도·고수율 오존발생기를 개발할 목적으로 망사형 내부전극과 무성방전의 중첩을 이용한 중첩방전형 오존발생기를 설계·제작하였다. 중첩방전형 오존발생기는 방전공간에 3개의 전극(중심전극, 내부전극 및 외부전극)과 2개의 gap(중심전극과 내부전극 사이의 gap과 내부전극과 외부전극 사이의 gap)으로 구성되어있다. 중첩방전형 오존발생기의 중심전극을 공통접지하고 내부전극과 외부전극에 180[°]의 위상차를 가진 역극성의 교류고전압을 각각 인가하면 각각의 방전 gap에서 발생하는 무성방전이 중첩되면서 오존이 발생된다. 이때, 내부전극의 조밀도가 증가할수록 방전전극의 면적이 확대되고 방전공간의 전력밀도가 억제되어 오존생성특성이 상승하였다. 그 결과 최대 17,720[ppm], 5.4[g/h] 및 250[g/kwh]의 오존을 얻을 수 있었다.

Abstract

In order to develope high concentration · yield ozonizer, superposed discharge type ozonizer using overlap of silent discharge and internal electrode of mesh type has been designed and manufactured. It consists of three electrodes(central electrode, internal electrode, and external electrode) and double gaps(gap between central electrode and internal electrode, gap between internal electrode and external electrode). Therefore, ozone is generated by overlapping silent discharges generated between the gaps respectively for which the AC high voltages applied to the internal electrode and the external electrode has a 180[°] phase difference and for which the central electrode is a ground. Ozone generation characteristics proportional to mesh of internal electrode by increasing of discharge electrode and controlling of discharge power density. As a result, the maximum ozone concentration, generation, and yield can be obtained 17,720[ppm], 5.4[g/h], and 250[g/kwh] respectively.

Key Words : Internal electrode of mesh type, Ozonizer

1. 서 론

국내외적으로 강한 산화력을 지니고 있으면서 최종적으로는 자기분해되어 산소로 환원되므로서 유해한 2차오염의 우려가 없는 오존(Ozone, O_3)을 기

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 전문위원
Tel : 053-810-4446, Fax : 053-810-4629
E-mail : song3288@yu.ac.kr
접수일자 : 2005년 4월 13일
1차심사 : 2005년 4월 20일
심사완료 : 2005년 5월 4일

체방전으로 발생시켜 살균, 탈취, 탈미, 정화, 실내 공기정화, 식품보존, 오폐수 정수처리 및 의료분야 등 광범위한 분야로의 활용에 관한 연구가 진행되고 있다[1][2][3].

기체방전을 이용한 오존을 발생시키는 오존발생기(ozonizer)는 1857년 독일의 Werner Von Siemens에 의하여 최초로 무성방전(silent discharge)형 오존발생기가 최초로 개발된 이래 현재까지도 실용의 오존발생기로써 많이 이용되고 있다[4].

그러나 실용의 무성방전형 오존발생기는 원료가스가 산소 및 공기인 경우, 오존생성수율이 각각 220 및 90[g/kwh]정도로써 열화학반응식을 이용한 이론적인 오존생성수율 1,200[g/kwh]보다 대단히 낮기 때문에 오존생성수율의 향상이 필요한 실정이다[2][5].

이에 미국과 일본을 비롯한 선진국을 중심으로 오존생성수율을 향상시키기 위하여 혼합 원료가스를 사용한 무성방전형 오존발생기, 무성방전과 연면방전을 중첩한 복합방전형 오존발생기 등 소형이면서 고농도·고수율을 얻을 수 있는 오존발생기에 관한 연구를 진행하고 있다[6][7][8].

특히 오존발생기의 전극형상·재료, 전극간 거리, 인가전압의 특성 등 방전형식에 영향을 미치는 인자들에 대한 연구[9]가 오존발생기의 성능 향상을 위하여 절실한 것으로 알려지고 있다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 방전전극의 면적을 극대화하면서 방전공간의 전력밀도를 억제하여 소형·고농도·고수율의 오존발생기의 개발할 목적으로 망사형의 내부전극을 장착한 중첩방전형 오존발생기(이하 SDO)를 설계·제작하였다.

SDO의 방전공간에는 3개의 전극{중심전극(이하 CE), 내부전극(이하 IE) 및 외부전극(이하 EE)}과 2개의 gap(전극 CE 와 IE 사이의 gap d_1과 전극 IE와 EE 사이의 gap d_2)이 장착되어있다.

이때 전극 IE와 EE에 각각 180[°]의 위상차를 가진 역극성의 교류고전압을 인가하고, 전극 CE를 공통접지하였을 때, 내부전극의 조밀도(mesh, m) 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구검토한 결과, 17,720[ppm]의 고농도와 250[g/kwh]의 고수율을 얻음으로써 설계·제작한 오존발생기가 광범위한 환경개선분야로 적용가능함을 확인할 수 있었다.

2. 중첩방전형 오존발생기의 방전기구 및 오존생성기구

2.1 방전기구

1쌍의 평행평판 전극 한쪽 혹은 양쪽면에 Glass 등의 유전체를 삽입한 후 미소(1~3[mm]) 방전공간에 원료가스로써 공기, 산소를 대기압하에서 공급하면서 양전극간에 교류고전압을 인가하면 무성방전에 의한 화학작용으로 원료가스의 일부가 오존으로 되어 오존발생기 출구측에 오존화가스가 생성된다.

무성방전은 미세한 pulse 방전의 집합체[5]로 전자가 전극면상의 다수점으로 부터 발생되므로 전자와 산소분자와의 충돌에 의해 발생되는 오존의 화학반응으로써 유용한 방전이라 할 수 있다.

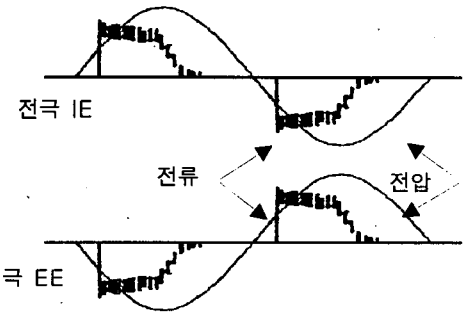


그림 1. SDO 의 전압·전류파형
Fig. 1. The voltage·current waveforms of SDO

이러한 관점에서 설계·제작된 중첩방전형 오존발생기는 그림 1과 같이 전극 IE와 EE에 180[°]의 위상차를 가진 서로 다른 극성의 교류고전압을 방전공간에 동시에 인가하므로서 전극 CE와 IE 사이의 gap d_1과 전극 IE와 EE 사이의 d_2에서 각각 발생되는 무성방전이 중첩되면서 1주기내에 방전구간이 4회 존재하면서 방전휴지구간이 짧아지게 된다.

그 결과 SDO의 방전공간에는 단일 gap 무성방전시보다 미세한 pulse 방전이 활성화되면서 전극면상의 무수히 많은 점으로부터 발생되는 전자와 산소분자의 충돌에 의한 오존생성반응이 활발하게 형성된

다. 본 연구의 SDO 방전은 180[°]의 위상차를 가진 전원이 인가되므로 전원의 1주기내에 4회의 방전이 형성됨과 동시에 gap d_1과 d_2에서의 방전은 상호작용에 의하여 4.1의 방전특성에서 확인하는 바와 같이 방전휴지구간 또한 짧아지게 된다.

2.2 오존생성기구

식 (1)~(4)는 산소원료가스인 경우, 무성방전에 의한 주된 오존생성 및 분해반응이다[2].

$$O_2 + e \rightarrow 2O + e \quad (1)$$

$$O + O_2 + O_2 \rightarrow O_3 + O_2 \quad (2)$$

$$O + O_3 \rightarrow 2O_2 \quad (3)$$

$$O_3 + e \rightarrow O_2 + O + e \quad (4)$$

여기서 e : 전자, O : 산소원자, O_2 : 기저상태의 산소분자, O_3 : 오존이다.

즉 무성방전형 오존발생기의 오존생성기구는 ① 전자충돌에 의한 산소활성종의 생성, ② 오존생성반응 및 ③ 오존분해반응으로 이루어진다. 그러나 무성방전형 오존발생기는 방전전극의 면적이 증가할수록 생성된 오존의 농도가 상승하지만, 방전공간의 높은 전력밀도에 의하여 오존의 분해반응도 활발하게 진행되기 때문에 고수율의 오존생성이 곤란하다.

따라서 본 논문에서 고농도·고수율의 오존발생기를 개발할 목적으로 방전전극 면적을 극대화하면서 방전공간의 전력밀도에 의한 오존의 분해반응을 억제하기 위하여 망사형의 내부전극을 장착한 SDO를 설계·제작하였다.

또한 식 (5) 및 (6)과 같이 SDO 의 무성방전 중첩에 의하여 방전전류파형 형성시 방전구간에서 존재하는 勵起 산소분자(O_2^*)를 경유하는 오존생성기구의 유용성도 고려가능하다.

$$O_2 + e \rightarrow O_2^* + e \quad (5)$$

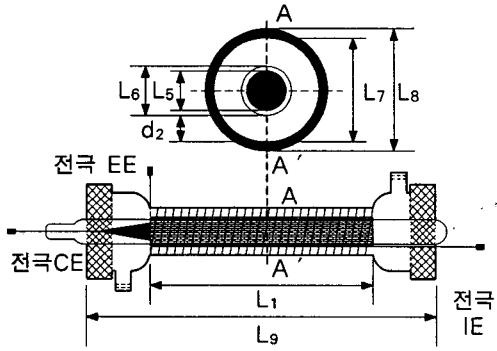
$$O_2^* + e \rightarrow 2O + e \quad (6)$$

여기서 O_2^* : 여기상태의 산소분자이다.

즉 O_2^*는 O_2보다도 낮은 에너지의 전자에 의하여 해리되므로 O_2^*가 존재하면 식 (6)의 반응은 식 (1)의 반응보다 빠르게 발생하여 O_2를 기저상태로부터 전리하는 것 보다 쉽게 발생된다. 그러나 O_2^*에 전자가 충돌하지 않으면 방전휴지구간에서 O_2^*가 해리 또는 전리되지 않고 脫勵起하여 기저상태로 되돌아가게 된다. 따라서 2 gap에 3개의 전극이 장착된 SDO는 전극 IE와 EE에 180[°]의 위상차를 가진 역극성의 교류고전압이 동시에 인가되므로서 正負 교류고전압의 최대치에 이를 때까지 형성되는 방전구간이 무성방전형 오존발생기보다 길어져서 식 (5) 및 (6)에 의하여 오존생성특성을 향상시킬 수 있는 구조이다.

3. 실험장치 및 방법

그림 2는 3개의 전극과 2개의 gap 및 유전체로 사용된 내측의 납유리관과(비유전율 6.0) 외측의 pyrex 유리관(비유전율 4.5)으로 구성된 동축 이중원통구조인 SDO의 개략도를 나타낸 것이다.



L_1 : 130(mm), L_5 : 12(mm), L_6 : 12.8(mm)
L_7 : 40(mm), L_8 : 50(mm), L_9 : 235(mm)

그림 2. SDO 의 개략도
Fig. 2. The schematic diagram of SDO

납유리관은 01.[Torr]로 진공배기하여 제작된 방전관으로써 그 내부에 원추형의 중심전극(전극 CE)이 장착되어 있고, 납유리관의 표면과 0.4[mm]의 gap d_1을 두고 두께가 0.1[mm]인 원통형의 stainless 망사형 내부전극(전극 IE)을 장착하였다. 또한 전극

IE와 1.9[mm]의 gap d_2를 두고 장착한 pyrex 유리관의 외부표면에는 규석도금한 구리세선을 5[mm] 간격으로 나선형으로 감아 외부전극(전극 EE)으로 사용하였다.

이들 3개의 전극중 전극 CE 를 공통접지하고, 전극 IE와 EE에 180[°]의 위상차를 가진 교류고전압을 각각 인가하므로서 SDO는 전극 CE와 EE 사이에 발생되는 무성방전과 전극 CE와 IE 간에 발생되는 무성방전이 중첩되는 구조이다.

그림 3은 본 연구에 사용된 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 이때 실선은 방전특성을 연구하기 위한 교류고전압 전원장치와 계측장치를 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 산소 및 오존화가스의 흐름선도이다.

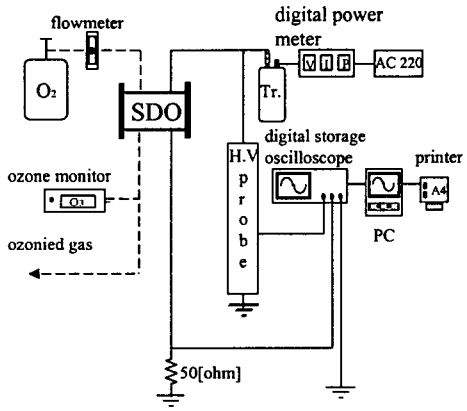


그림 3. SDO 를 이용한 실험장치의 배치도
Fig. 3. The arrangement diagram of experimental apparatus using SDO

본 연구에 사용된 원료가스는 상업용 산소(순도 : 99.99[%])를 사용하였으며, regulator(0~250[kgf/㎠])와 유량계(0~25[ℓ/min])로써 산소 원료가스의 유량(Q)이 2, 4, 8, 12 및 16[ℓ/min]가 되도록 조정하면서 SDO에 유입시켜 방전 gap d_1과 d_2에서 각각 발생되는 무성방전의 중첩에 의하여 오존화가스를 생성시켰다. 이때 기상 오존모니터(0~100,000[ppm], Okitronics 社)를 사용하여 생성된 오존화가스를 매 실험마다 0.3[ℓ/min]로 표본추출하여 오존생성농도(O_{3con})를 측정한 후, 오존발생량(O_{3g}) 및 오존생성수율(O_{3Y})을 계산하였다. 전원장치는 상용의 교류 고전압발생장치(입력전압 : AC 220[V], 출력전압 : 0~15[kV])를 사용하였다.

그리고 SDO로부터 출력되는 전압(Vd) · 전류치(Id) 및 파형은 각각 고전압분압기(분압비 2000:1, Pulse 電子)에 의하여 감쇄된 전압과 무유도저항(50[Ω]±0.1[%])의 양단전압을 디지털 오실로스코프(500[MHz], 1[Gs/s], LeCroy), personal computer 및 printer를 사용하여 측정 · 출력하였다.

방전전력(W_d)은 디지털 전력계(0~9999[W], Light Star 社)를 이용하여 SDO 방전시의 전력, 전원장치의 전력손실 및 선로손실 등을 포함한 전원장치 입력단에서의 SDO 를 이용한 오존발생장치 전체회로에서 소모되는 평균전력을 측정하여 채택하였다.

그리고 제작된 SDO의 방전특성을 연구하기 위하여 망사형 전극 IE의 1인치안 눈금의 수(mesh, m)와 전원장치의 출력전압(V_2) 및 Q의 변화에 따른 V_d, I_d 및 W_d를 측정하였다.

여기서 V_d, I_d 및 W_d는 V_2를 상승시킨 경우 오존이 생성될 때의 전압, 전류 및 전력치이고 각각 5회씩 측정하여 산술평균한 실효치이다.

그리고 Q가 2[ℓ/min]일 때, 전극 IE의 m이 350, 250 및 100[mesh]인 경우의 V_d와 I_d 파형을 측정하였다.

또한 SDO의 오존생성특성을 연구하기 위하여 Q가 2 및 16[ℓ/min]일 때, m의 변화에 따른 O_{3con}, O_{3g} 및 O_{3Y} 특성을 연구검토하였다. 여기서 O_{3con}는 5분간 SDO의 방전을 지속시켰을 때 그 최대치를 각각 5회 측정하여 산술평균한 값을 채택하였다.

4. 실험결과 및 고찰

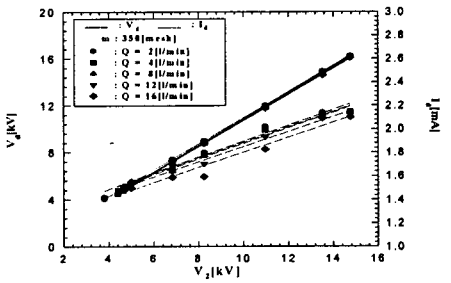
4.1 방전특성

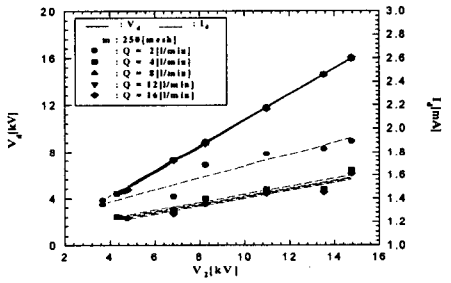
그림 4의 (a), (b) 및 (c)는 m이 각각 350, 250 및 100[mesh]인 경우, V_2 및 Q의 변화에 따른 V_d 및 I_d 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 V_d와 I_d는 V_2가 증가됨에 따라서 직선적으로 상승되었다. 이것은 V_2가 증가됨에 따라서 d_1 및 d_2에서는 방전이 발생되는 공간이 확대되어 방전면적이 증가되면서 V_d 및 I_d가 상승되는 것으로 생각

된다.

그러나 동일한 V_2에서 V_d에 대한 Q의 영향은 크게 나타나지 않았으나, m이 증가할수록 Q가 낮을수록 I_d가 상승되는 것으로 나타났다.





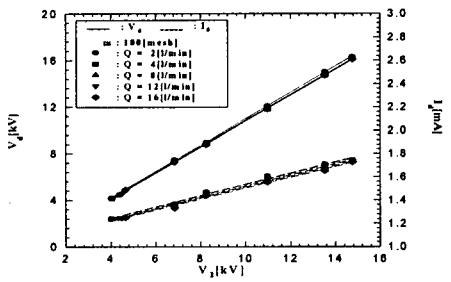
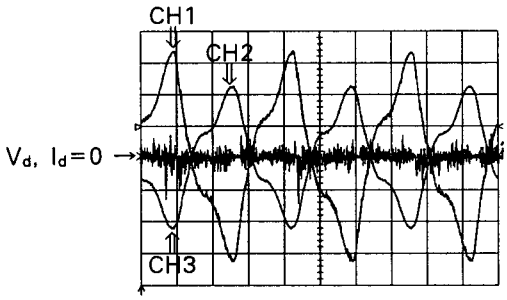


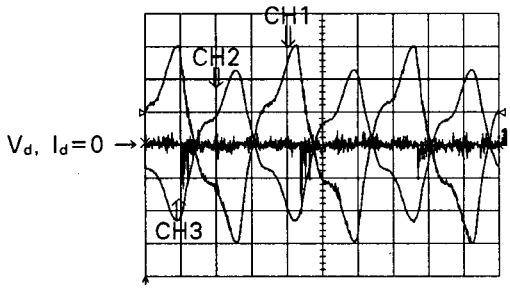
그림 4. 조밀도에 따른 방전전압 · 방전전류 특성
Fig. 4. The characteristics of discharge voltage · current with variation of mesh

즉 m의 증가에 따른 방전면적의 증대 효과와 Q의 저하에 따라 산소분자의 SDO 방전공간 체류시간의 증가효과에 의하여 전극 CE-IE 및 전극 CE-EE 사이에서 발생되는 무성방전의 중첩에 의하여 생성된 전자와 산소분자의 접촉확률이 증가된 결과, I_d가 상승되는 것이라고 사료된다.

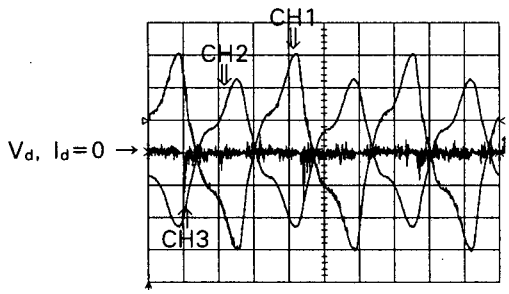
그림 5의 (a), (b) 및 (c)는 Q가 2[ℓ/min]일 때, m이 350, 250 및 100[mesh]인 경우의 V_d 및 I_d 파형을 나타낸 것이다. 여기서 CH1과 CH2는 각각 전극 IE와 EE의 방전전압파형이며, CH3는 공통접지전극인 전극 CE의 방전전류파형이다.



CH1:2(kV/div), CH2:10(kV/div), CH3:40(mV/div), 5(ms/div), Vd=16.5(kV), Id=1.9(mA)
(a) m=350(mesh)



CH1:2(kV/div), CH2:10(kV/div), CH3:40(mV/div), 5(ms/div), Vd=16.1(kV), Id=1.7(mA)
(b) m=250(mesh)



CH1:2(kV/div), CH2:10(kV/div), CH3:40(mV/div), 5(ms/div), Vd=15.7(kV), Id=1.5(mA)
(c) m=100(mesh)

그림 5. Q=2[ℓ/min]인 경우, 조밀도에 따른 방전전압 · 방전전류 파형
Fig. 5. The waveforms of discharge voltage · current with variation of mesh for Q=2[ℓ/min]

그림에서 CH2의 방전전압이 CH1의 방전전압보다 높은 것은 전극 IE-EE 간의 방전 gap(1.9[mm])이 전극 CE-IE 간의 방전 gap(0.4[mm])보다 상대적으로 크기 때문에 절연내력이 상승한 결과이다.

이때 전류 pulse는 CH1 및 CH2의 방전전압파형이 正負의 최대점에 이를 때까지 나타났으며, 2.1에서 서술한 바와 같이 180[°]의 위상차를 가진 역극성 교류고전압 인가에 따라 방전간극에서 발생된 正負 전류 pulse 가 1주기 동안 각각 2회씩 형성되어 방전구간이 4회 존재함으로써 무성방전의 중첩이 활발하게 형성됨을 확인할 수 있었다.

또한 전극 IE-EE 간에 발생하는 무성방전은 trigger 방전과 같이 전극 CE-EE 간의 무성방전을 일으키게 된다.

그 결과 각각 발생되는 무성방전이 하나의 방전공간에서 상호적으로 방전의 carrier 역할을 수행하면서 SDO의 중첩 무성방전이 활성화되는 것이다.

4.2 오존생성특성

4.2.1 방전전력-오존생성농도 · 발생량 특성

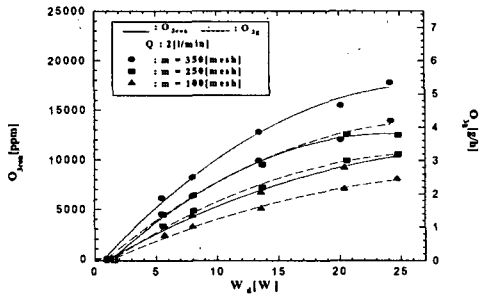
그림 6의 (a) 및 (b)는 Q가 각각 2 및 16[ℓ/min]일 때, m 및 W_d의 변화에 따른 O_{3con} 및 O_{3g} 특성을 나타낸 것이다.

각 그림에서 W_d 및 m이 증가될수록 O_{3con} 및 O_{3g}가 상승되는 것으로 나타났다.

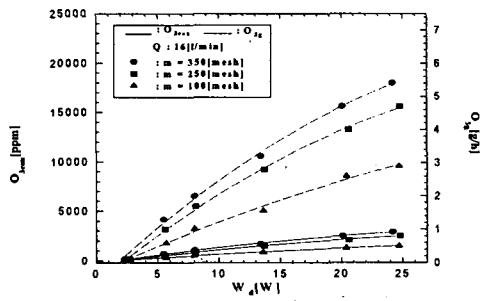
그 결과 Q=2[ℓ/min], W_d=24.2[W] 및 m=350[mesh]일 때 17720[ppm]의 최대 O_{3con}을 얻을 수 있었으며, O_{3g}는 Q=16[ℓ/min], W_d=24.2[W] 및 m=350[mesh]일 때 최대 5.4[g/h]을 얻었다.

즉 W_d가 증가할수록 SDO의 방전간극에는 CE-EE 간의 무성방전, IE-EE 간의 무성방전의 중첩이 활성화되면서 O_{3con}과 O_{3g}가 상승하는 것이다.

또한 m이 증가할수록 방전전극의 면적이 증가되면서 SDO의 방전면적이 상대적으로 확대 된 결과 식 (1), (2)와 같은 기저상태 산소분자(O_2)의 해리에너지(≒ 5.1[eV])[1]를 가지는 전자에 의한 오존생성반응뿐만 아니라 해리에너지 이하의 전자에 의한 여기 산소분자(O_2^*)의 해리작용을 일으키는 전자수가 많아지면서 식 (5), (6)과 같은 오존생성반응이 촉진되어 O_{3con}과 O_{3g}가 상승하는 것이다.



(a) Q=2[ℓ/min]



(b) Q=16[ℓ/min]

그림 6. 조밀도에 따른 방전전력-오존생성농도 · 발생량 특성

Fig. 6. The characteristics of discharge power-ozone concentration · generation with variation of mesh

4.2.2 방전전력-오존생성수율 특성

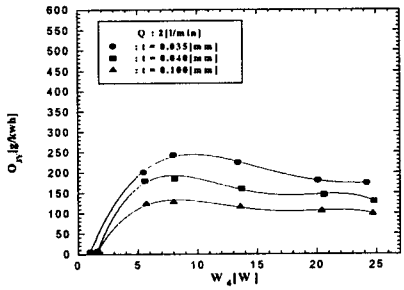
그림 7의 (a) 및 (b)는 Q가 각각 2 및 16[ℓ/min]일 때, m 및 W_d의 변화에 따른 O_{3Y} 특성을 나타낸 것이다. 각 그림에서 W_d가 증가될수록 O_{3Y}의 극대점이 나타났으며, m이 증가될수록 O_{3Y}가 상승되는 것으로 나타났다.

그 결과 Q=2 및 16[ℓ/min]일 때, W_d=8.0[W] 이고 m=350[mesh]인 경우 각각 248 및 250[g/kwh]의 최대 O_{3Y}를 얻을 수 있었다.

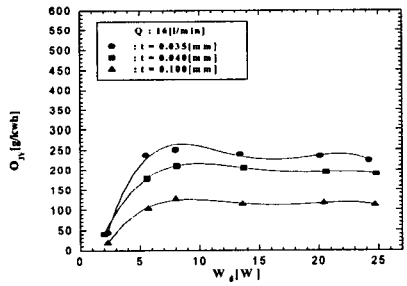
W_d가 증가될수록 O_{3Y}의 극대점이 나타나는 것은 O_{3g}와 W_d의 積으로 주어지는 O_{3Y}는 방전형태와 방전영역에서의 온도에 의하여 결정되는데, W_d가 낮은 경우는 SDO 의 무성방전 중첩에 의한 영향으로 W_d가 증가하는 비율보다 O_{3g}가 상승하는 비율이 높게 나타나면서 O_{3Y}가 상승하지만 W_d가 높아질수록

식 (3), (4)와 같은 오존분해반응이 활발해지면서 오히려 O_{3Y}가 저하되기 때문이다.

그리고 m이 증가할수록 전극 IE 의 방전면적이 확대되면서 전력밀도에 의한 오존의 분해반응이 둔화된 결과, SDO의 gap d_1과 d_2에서 발생하는 각각의 무성방전이 활발하게 형성되면서 O_{3Y}가 상승되는 것이다.



(a) Q=2[ℓ/min]



(b) Q=16[ℓ/min]

그림 7. 조밀도에 따른 방전전력-오존생성수율 특성
Fig. 7. The characteristics of discharge power-ozone yield with variation of mesh

5. 결 론

본 논문에서는 망사형 내부전극을 장착하여 소형·고농도·고수율 오존발생기의 개발을 목적으로 3개의 전극과 2개의 gap이 장착된 중첩방전형 오존발생기를 설계 제작하였다. 이때 내부전극의 조밀도, 방전전력 및 산소원료가스의 유량 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 위상차를 지닌 2개의 교류고전압이 출력가능한 교류 고전압 발생장치를 이용하여 중첩방전형 오존발생기에 적용한 결과, 최대 17,720[ppm], 5.4[g/h] 및 250[g/kWh]의 오존생성특성을 얻을 수 있었다.

2) 망사형 내부전극의 조밀도를 증가할수록 방전면적의 증대 효과와 방전공간의 전력밀도를 억제하여 오존생성특성이 우수하였다.

3) 3개의 전극중 2개의 전극에 180[°]의 위상차를 지닌 역극성 교류고전압 인가하고 나머지 1개의 전극을 공통접지한 중첩방전형 오존발생기는 방전지속구간을 기존의 무성방전형 오존발생기보다 증가시킨 결과 오존생성특성의 향상이 가능하였다.

4) 방전전력이 증가할수록, 산소 원료가스의 유량이 감소될수록 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율이 상승하였다.

망사형 내부전극을 채용하여 제작된 중첩방전형 오존발생기는 수질 환경개선 분야와 같이 고농도·고수율 오존응용분야에 활용가능할 것으로 기대된다.

References

[1] 岡崎辛子, "オゾン利用の新技術", 三銹書房, pp.119~130, 昭和61年.
[2] 杉光英俊, "オゾンの基礎と應用", 光琳, 1996.
[3] 이광식외 4인, "에너지공학의 기초", pp.288~387, 2004.
[4] 井關 昇, "オゾナイザにおけるオゾン生成機構と今後の課題", 靜電氣學會誌, Vol.7, No.3, pp.142~149, 1993.
[5] 山部長兵衛, "オゾン利用の發生技術", 電學論D, 114卷4號, 平成6年.
[6] Thomas j. Manning et al, "Gas Mixtures and Ozone Production in an Electrical Discharge", Ozone Science & Engineering, Vol.23, pp.95~103, 2001.
[7] Yukihara nomoto et al, "improvement of Ozone Yield by a Silent-Surface hybrid Discharge Ozonizer", IEEE trans. on IA, Vol.31, No.6, pp.1458~1462, 1995.
[8] B.Eliasson, "Ozone science and engineering", vol.13, pp.365~373, 1991.
[9] 김진규, "유전체구 충전형 전극계의 코로나방전과 강전해수 발생특성", 한국조명·전기설비학회 논문지, 제16권, 4호, pp.46-54, 2002.

◇ 저자소개 ◇

송현직 (宋炫直)
1968년 7월 30일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 일반대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2004년 구미1대학 컴퓨터응용전기전공 전임강사. 본 학회 평의원. 현재 영남대학교 전기공학과 전문위원.