

수질환경개선용 고농도·고수율 다중방전형 오존발생기의 특성

(The Characteristics of a High Ozone Concentration · Yield
Multi-discharge Type Ozonizer for Water Environment Improvement)

송현직* · 라만** · 김영훈*** · 김금영*** · 박원주**** · 이광식****

(Hyun-Jig Song · M. F. Rahman · Yeong-Hun Kim · Geum-Young Kim · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문에서는 무성방전의 중첩을 이용한 새로운 방전형식의 고농도·고수율 다중방전형 오존발생기를 설계·제작하였다. 다중방전형 오존발생기(MDO)는 설치된 3개의 전극과 길이가 다른 2개의 방전간극에 180°의 위상차를 가진 2개의 교류고전압 전원의 인가에 따라서 무성방전의 중첩에 의하여 오존생성특성이 각기 다른 3가지 형태의 중첩방전형 오존발생기(SDO)를 구성할 수 있는 설비이다. 이때, 원료가스의 유량, 각 SDO의 사용개수 및 SDO의 형태변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구한 결과, 최대 17185[ppm] 및 783[g/kwh]의 오존생성특성을 얻을 수 있었으며, 17185[ppm]의 오존을 염색폐수에 접촉시켰을 때, 탈색특성이 우수하여 다중방전형 오존발생기가 수질환경개선 설비로 적용가능함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, high concentration · yield multi-discharge type ozonizer(MDO) of new discharge type using superposed silent discharge was designed and manufactured. MDO can be consisted with 3 kind of superposed silent discharge type ozonizer(SDO) in accordance with power supply method that supplying power, which has 180° phase difference, to 3 electrodes and double gap. At the moment, discharge characteristics and ozone generation characteristics of each SDO were investigated in accordance with quantity of supplied gas, the number of SDO, and the shapes of each SDO. In result, ozone generation characteristics of 17185[ppm] and 783[g/kWh] were obtained, and when ozone of 17185[ppm] was in contact with dyeing water waste, decolorization characteristics was excellent, so it confirmed that MDO could be used as water environment improvement facility.

1. 서론

세계적으로 급속히 진전되어온 산업화와 도시화에

따라 자연환경과 생활환경이 심각하게 악화되었다. 이에 선진국에서는 오래전부터 산학연을 중심으로 환경보존과 개선을 위한 과학기술을 연구개발함과 동시에 개발되는 모든 과학기술은 그 실용에 앞서 환경영향을 평가하고 그로 인한 피해를 최소화하는 노력을 아끼지 않고 있다. 국내에서도 1970년대 중반 이후 “몬트리올 의정서 협약”, “리우환경선언”과 같이 세계 각국과의 국제환경협약을 지속적으로 진행

- *정회원 : 영남대학교 공업기술연구소 연구원
**정회원 : 영남대학교 전기전자공학부 박사과정
***정회원 : 포항1대학 전기과 교수
****정회원 : 영남대학교 전기전자공학부 교수
접수일자 : 1999년 2월 5일

하면서 대기, 수질, 상하수도, 폐기물 분야에 “환경비전 21” 등의 정책을 수립하여 쾌적한 환경에서 국민이 건강한 삶을 누릴 수 있는 권리를 도모하고 있다.

이러한 관점에서 대기 및 수질환경오염을 사전에 근원적으로 예방하면서 이미 발생된 오염물질을 적절하게 정화하는 방안으로써 강력한 산화력을 지닌 오존(O_3)을 활용한 연구가 진행되고 있다.

오존은 오염물질과 반응하면서 최종적으로는 자기 분해되면서 산소로 환원되어 유해한 2차오염의 우려가 없기 때문에 살균, 탈취, 탈미, 정화, 실내 공기정화, 식품보존, 오폐수 정수처리 및 의료분야 등의 광범위한 분야에 사용되고 있다.[1][2]

오존을 발생시키는 방법은 자외선 조사법, 방사선 조사법, 전기분해법, 방전을 이용한 오존발생기(ozonizer) 등이 있지만, 오염도에 따라 오존발생량의 제어가 용이하고 부수적인 불순물의 발생율이 작은 오존발생기가 실용으로써 많이 채용되고 있다.

1857년 독일의 Werner Von Siemens 에 의하여 최초로 개발된 2전극 및 1방전 gap 이 장착된 무성방전(silent discharge)형 오존발생기가 현재까지 주를 이루고 있지만, 오존을 발생시키는 원료가스가 산소 및 공기인 경우 오존생성수율이 각각 220 및 90[g/kWh]정도으로써 열화학반응식을 이용한 이론적 오존생성수율 1,200[g/kWh]보다 대단히 낮으므로 오존생성수율의 향상이 강력하게 요구되고 있다.[3][4]

이러한 측면에서 본 논문은 외환관리 체제하의 국내현실에 발맞추어 수질환경오염의 대표적 주범인 염색폐수에 대한 고효율 정화를 위한 에너지 절전형 고농도·고수율 오존발생기의 개발을 위한 기초적 연구으로써, 다중방전형 오존발생기(이하 MDO)를 설계·제작하였다. MDO 는 방전공간에 3개의 전극과 2개의 방전 gap 이 장착되어 있기 때문에 각 전극의 전압인가 방법(3전극중 2전극은 180°의 위상차를 가진 교류고전압인가·나머지 1전극은 공통접지)을 변화시키면 2개의 방전 gap 에서 각각 발생하는 무성방전이 중첩되면서 방전특성과 오존생성특성이 다른 3가지 형태의 중첩방전형 오존발생기(이하 SDO)가 구성가능하므로 1개의 오존발생기으로써 3가지 방전특성 및 오존생성특성을 가진 오존발생기를 제작할 수 있는 것이다.

이때, 각 SDO 의 방전특성 및 오존생성특성을 연구한 후, 발생된 오존을 염색공단에서 배출되는 염색폐수에 접촉시켰을 때 탈색특성을 연구하여 MDO 의 수질환경개선 설비로써의 가능성을 검토하였다.

2. 다중방전형 오존발생기의 방전기구 및 오존생성기구

2.1 방전기구

1개의 gap 과 2개의 전극을 사용한 기존의 무성방전형 오존발생기는 1쌍의 평행평판 전극의 한쪽 혹은 양쪽면에 유전체(glass 나 ceramic 등)를 삽입한 후, 오존발생기 입구측에 공기 혹은 산소를 대기압하에서 공급하면서 미소 방전공간의 양전극간에 교류고전압을 인가할 때, 방전화학작용으로 원료가스의 일부가 오존을 되어 오존발생기 출구측에는 오존화가스가 유출되는 구조이다. 무성방전형 오존발생기의 방전기구는 교류 正負고전압이 최대점에 이를 때까지 방전전류가 형성되다가 전압이 正負의 최대점으로 부터 강하되면서 소멸된 결과, 교류 1주기에 방전구간과 방전휴지구간이 각각 2회씩 존재하게 된다.

이때, 방전구간에서는 미세한 pulse 방전의 집합체로 전자가 전극면상의 다수점에서 발생되어 전자와 원료가스내 산소분자의 충돌에 의해 발생하는 오존의 화학반응으로 유용한 방전으로 활용되고 있다.[2]

이러한 관점에서 설계·제작된 MDO 는 장착된 3개의 전극과 2개의 유전체에 의하여 2개의 방전 gap 이 설치되어 있기 때문에 그림 1과 같이 3개의 전극중 2개의 전극에는 180°의 위상차를 가진 역극성의 교류고전압을 발생시킬 수 있는 전원의 출력전압이 방전공간에 동시에 인가되고, 나머지 1개의 전극은 공통접지하므로써 2개의 방전 gap 에서 각각 발생하는 무성방전이 중첩되면서 1주기에 방전구간이 4회 존재하게 되면서 MDO 2개의 방전 gap 에서 방전의 상호작용에 의하여 그림 4와 같이 방전휴지구간이 짧아지게 된다.

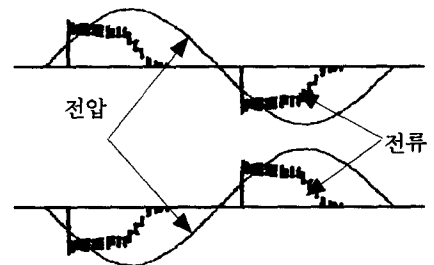


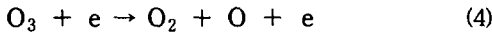
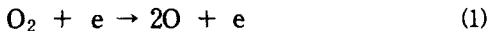
그림 1. MDO 의 전압·전류파형
Fig. 1. The voltage·current waveforms of MDO

또한, 그림 2에서 MDO 3개의 전극중 중심전극(전극 CE)은 저압(10⁻¹[torr])방전을 유지시키므로서 전리가스가 충전된 방전관으로 이루어져 MDO의 방전을 활성화시키며, 2개의 방전 gap에서 일어나는 방전의 상호작용으로 MDO 방전이 활성화되는 특성이 있다.

그 결과 MDO의 방전공간에는 단일 gap의 무성방전시보다 미세한 pulse 방전이 활성화되면서 전극면상의 무수히 많은 점으로부터 발생하는 전자와 원료가스내 산소분자의 충돌에 의한 오존생성반응이 더욱더 활발하게 형성되어 오존생성특성이 향상되는 구조이다. 이러한 관계는 다음 4.1절 MDO의 방전특성 결과로부터 확인할 수 있었다.

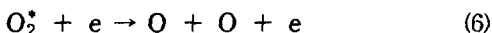
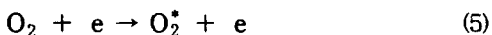
2.2 오존생성기구

식 (1) ~ (4)는 산소원료가스를 사용한 경우, 무성방전에 의한 주된 오존생성·분해반응이다.[4][5]



여기서 e : 전자, O : 산소원자, O₂ : 기저상태의 산소분자, O₃ : 오존

식 (1) ~ (4)와 같이 무성방전형 오존발생기의 오존생성기구는 ① 전자충돌에 의한 산소활성종의 생성, ② 오존생성반응 및 ③ 오존분해반응에 의하여 이루어지는 것이다. 그러나, 무성방전형 오존발생기는 생성된 오존의 농도가 높아질수록 오존의 분해반응도 활발하게 진행되기 때문에 고농도·고수율 오존생성을 저해하게 된다. 따라서 본 논문에서는 무성방전형 오존발생기의 특성을 개선하여 새로운 방전기술을 이용한 수질환경개선용 고농도·고수율 오존발생기를 개발할 목적으로 식 (5) 및 (6)과 같이 무성방전시 방전공간에 존재하는 勵起 산소분자(O₂^{*})를 경유하는 오존생성기구의 유용성을 고려하였다.[5]



여기서 O₂^{*} : 여기상태의 산소분자

즉, O₂^{*}는 O₂보다도 낮은 에너지의 전자에 의하여 해리되므로 O₂^{*}가 존재하면 식 (6)의 반응은 식 (1)의 반응보다 빠르고 더욱 활발하게 진행된다. 그러나, O₂^{*}에 전자가 충돌하지 않으면 방전후지공간에서 O₂^{*}가 해리 또는 전리되지 않고 脫勵起하여 기저상태로 되돌아가게 된다. MDO는 3개의 전극과 2개의 방전 gap이 존재하는 방전공간에 180°의 위상차를 가진 역극성의 교류고전압을 각 gap에 동시에 인가하므로서 2.1절에서 기술한 방전의 상호작용 즉 正負 교류고전압의 최대치에 이를 때까지 형성되는 방전구간이 1주기에 4회 존재하여 기저상태로 되돌아갈 가능성이 있는 O₂^{*}를 해리·전리하게 된다.

그 결과 생성된 산소원자와 분자가 결합하여 오존으로 생성되고 또한 그림 4와 같이 방전후지시간이 짧아진 결과 고농도·고수율을 얻을 수 있게 된다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

그림 2는 3개의 전극(중심전극, 내부전극, 외부전극)과 2개의 방전 gap 및 유전체는 내측에 납유리관과 외측에는 pyrex 유리관으로 구성시켜 각 gap에서 발생하는 무성방전을 중첩시키기 위한 동축 이중 원통구조인 MDO의 개략도이다.

이때, 3개의 전극은 다음과 같이 구성되었다.

(1) 중심전극(이하 CE) : 두께 1[mm], 외경 12[mm]의 원통형 납유리관 내부에 원추형 산화철 전극을 장착한 방전관을 중심전극으로 사용하였다.

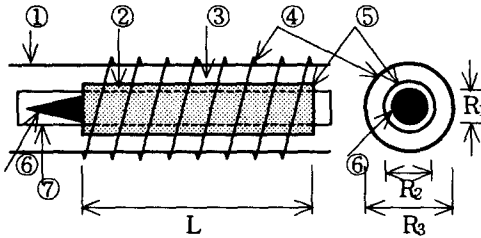
(2) 내부전극(이하 IE) : 두께 0.035[mm], 길이 130[mm]의 원통형 스테인레스 mesh를 중심전극이 장착된 내측의 납유리관과 방전 gap d₁을 0.4[mm]로 유지하면서 납유리관 주위를 둘러 내부전극으로 사용하였다.

(3) 외부전극(이하 EE) : 두께 1[mm]의 구리에 규석도금한 세선을 내부전극과 방전 gap d₂가 1.9[mm]로 유지되면서 장착된 두께 1.2[mm], 외경 19[mm]인 원통형의 pyrex 유리관 외측 표면에 길이가 130[mm]되도록 5[mm]간격의 나선형으로 감아 외부전극으로 사용하였다.

이들 3개의 전극중 1개는 공통접지 하고, 나머지 2전극에 180°의 위상차를 가진 역극성 교류고전압을

수질환경개선용 고농도·고수율 다중방전형 오존발생기의 특성

각각 인가하면 다음과 같은 3가지 형식의 SDO 가 구성되며, 각 SDO 의 방전 gap d_1 과 d_2 에서는 무성방전이 발생된다. 즉,



① pyrex 유리 ② 방전 gap d_1 ③ 방전 gap d_2
 ④ 전극 EE ⑤ 전극 IE ⑥ 전극 CE ⑦ 납유리
 R_1 : 외경 12[mm], R_2 : 외경 12.8[mm]
 R_3 : 외경 19[mm], L : 길이 130[mm]

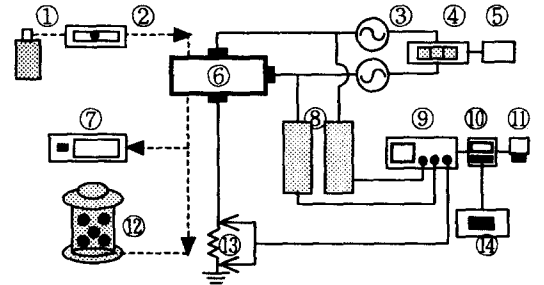
그림 2. MDO 의 개략도
 Fig. 2. The schematic diagram of MDO

- (1) 전극 CE 를 공통접지한 경우의 IESDO :
 IE - CE 간의 무성방전, EE - CE 간의 무성방전
- (2) 전극 IE 를 공통접지한 경우의 CESDO :
 CE - IE 간의 무성방전, EE - IE 간의 무성방전
- (3) 전극 EE 를 공통접지한 경우의 CISDO :
 CE - EE 간의 무성방전, IE - EE 간의 무성방전

이 발생되어, 각 SDO 의 방전 gap d_1 과 d_2 에서 발생하는 무성방전이 중첩되어 오존이 생성되는 구조이다. 그림 3은 본 연구에 사용된 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 그림 3과 같이 각 SDO 에 AC HV 전원으로 부터 출력되는 고전압을 인가하고 원료가스인 상업용 산소를 유량계로 조정하면서 SDO 의 입구측에 유입시키면 무성방전의 중첩에 의하여 오존화가스가 생성된다. 이때, 오존모니터를 사용하여 오존화가스의 오존생성농도(이하 O_{3con})를 측정 한 후, 오존생성수율(이하 O_{3Y})를 계산하였다.

그리고 MDO 의 방전특성을 연구하고자 각 SDO 로 부터 출력되는 전압·전류치 및 파형은 각각 고전압분압기와 무유도저항(50[Ω])을 사용하여 측정·출력하였고, 방전전력(이하 W_d)은 digital 전력계를 이용하여 측정하였다. 또한, SDO 로 부터 발생된 오존을 이용한 수질환경개선분야로의 적용가능성을 검토하고자 염색공단에서 배출되는 폐수(NaOH, 계면활성제, ethyleneglycol, polyvinyl alcohol,

sodium terephthalate, 염착염료 및 기타 보조약품으로 혼합) 1[l]에 오존화가스를 접촉시켰을 때, 탈색특성을 UV-Vis. 분광광도계로 측정하였다.



① 산소원료가스 ② 유량계 ③ AC HV 전원
 ④ digital 전력계 ⑤ 상용전원(AC 220[V])
 ⑥ MDO ⑦ 오존농도계 ⑧ 고전압 분압기
 ⑨ 측정형 오실로스코프 ⑩ P.C ⑪ printer
 ⑫ 반응조 ⑬ 무유도 저항(50[Ω])
 ⑭ U.V-Vis. 분광광도계

실선 : 전원장치와 방전계측장치를 연결한 회로
 점선 : 오존계측장치를 흐르는 산소 및 오존의 흐름을 나타내는 가스 흐름선

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

3.2 실험방법

MDO 로 구성되는 3가지 형식의 SDO, 즉 IESDO, CESDO 및 CISDO 의 방전특성을 연구하고자 산소 원료가스의 유량(이하 Q)이 2[l/min]이고 각 SDO 의 W_d 가 8[W]일 때, 방전전압(이하 V_d) 및 방전전류(이하 I_d)파형을 측정하였다. 그리고 오존 생성특성을 연구하기 위하여 IESDO, CESDO 및 CISDO 의 갯수(N)가 1인 경우는 각 SDO 의 W_d 가 8[W], 3인 경우는 각 SDO 의 W_d 가 24[W]일 때, Q 의 변화(2, 4, 8, 12 및 16[l/min])에 따른 O_{3con} 및 O_{3Y} 를 측정·계산하였다.

이때 IESDO, CESDO 및 CISDO 의 N 은 각각 N_1 , N_2 및 N_3 로 표기하였고, 각각의 N 이 3일 때의 오존생성특성은 원료가스의 流路를 직렬 연결하여 측정·계산하였다. 그리고 SDO 의 형태변화에 따른 O_{3Y} 특성을 비교검토하고자 전술한 것과 동일한 방법으로 O_{3Y} 를 측정 한 후 식 (7)을 이용하여 오존생성수율비(η)를 계산하였다. 식 (7)에서 SDO 각각의 N 이 1, 3일 때의 η 를 η_1, η_3 로 표기하였다.

$$\eta = \frac{\text{IESDO 혹은 CESDO의 } O_{3Y}}{\text{CISDO의 } O_{3Y}} \quad (7)$$

또한, SDO 로 부터 발생된 17185[ppm]의 오존화 가스를 염색폐수에 접촉시켰을 때, 접촉시간(τ)의 변화에 따라 UV-Vis. 분광광도계를 이용하여 가시광 영역의 파장(λ , 400 ~ 700[nm])에서의 흡광도(ABS)를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

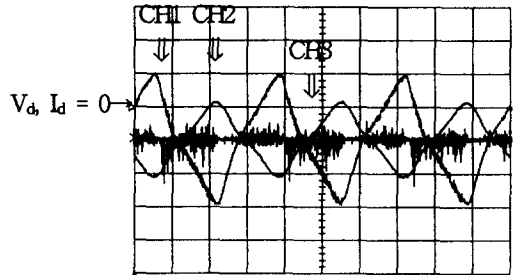
4.1 방전특성

그림 4는 IESDO, CESDO 및 CISDO 의 W_d 가 8[W]이고 Q 가 2[l/min]일 때, $V_d \cdot I_d$ 파형을 측정 한 것이다. 각 그림에서 CH1 과 CH2 의 V_d 파형은 주파수 60[Hz]와 180[°]의 위상차를 가진 정현파이고, CH2 의 방전 gap d_2 가 CH1 의 d_1 보다 크기 때문에 CH2 가 CH1 보다 높게 나타났다.

또한, I_d 의 전류 pulse 는 CH1 및 CH2 전압파형 이 正負의 최대점에 이를 때까지 나타난 결과, 2.1에서 서술한 바와 같이 180[°]의 위상차를 가진 역극성 교류고전압 인가에 따라 방전 gap d_1 과 d_2 에서 발생된 正負 전류 pulse 가 1주기 동안 각각 2회씩 형성되어 방전구간이 4회 존재하여 각 방전 gap 에서 발생하는 무성방전의 중첩이 활발하게 형성됨을 확인할 수 있으며, 단일 무성방전방법보다 正負의 방전이 거의 2배로 이루어지면서 방전 gap d_1 과 d_2 사이에도 상호작용이 발생되면서 MDO 방전은 더욱 활성화되어 방전휴지구간을 최대한 짧게할 수 있었다.

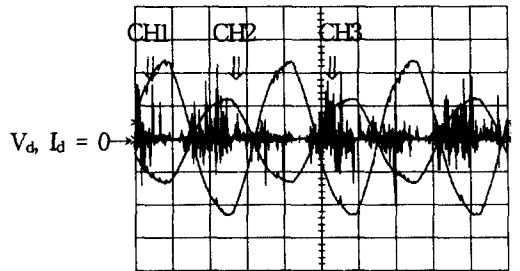
사진 1의 (a), (b) 및 (c)는 그림 4의 외관을 각각 촬영한 것으로써 0.4[mm]의 방전 gap d_1 의 발광은 CISDO, 1.9[mm]의 방전 gap d_2 의 발광은 IESDO 가 가장 강하게 나타난 결과, CISDO 는 방전 gap d_1 의 무성방전, IESDO 는 방전 gap d_2 의 무성방전이 오존생성에 크게 기여하는 것으로 판단된다.

또한, 사진 1과 같이 각 SDO 의 방전기구는 2개의 방전 gap 에서 발생하는 무성방전에 의한 전류 pulse 의 중첩이 형성됨과 동시에 각 무성방전이 상호작용에 의한 방전 carrier 역할을 수행하면서 무성방전의 중첩이 활발하게 진행되었다고 생각된다.



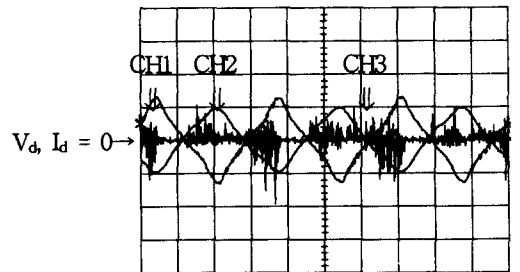
CH1(전극 IE):2[kV/div], CH2(전극 EE):10[kV/div], CH3(전극 CE):40[mA/div], 5[ms/div]

(a) IESDO



CH1(전극 CE):4[kV/div], CH2(전극 EE):10[kV/div], CH3(전극 IE):40[mA/div], 5[ms/div]

(b) CESDO



CH1(전극 CE):4[kV/div], CH2(전극 IE):10[kV/div], CH3(전극 EE):10[mA/div], 5[ms/div]

(c) CISDO

그림 4. Q = 2 [l/min], W_d = 8 [W] 일 III, 각 SDO 의 $V_d \cdot I_d$ 파형
Fig. 4. Waveforms of $V_d \cdot I_d$ each SDO for Q = 2 [l/min], W_d = 8 [W]

4.2 오존생성특성

4.2.1 각 SDO 의 오존생성능도

수율 특성

그림 5의 (a), (b) 및 (c)는 IESDO, CESDO 및 CISDO 의 각 N 이 1 및 3인 경우, Q 의 변화에 따른 O_{3con} 및 O_{3y} 특성을 나타낸 것이다. 그림에서 IESDO, CESDO, CISDO 의 N 은 각각 N_1, N_2, N_3 로 표기하였다. 각 그림에서 Q 가 감소될수록 N 이 증가될수록 O_{3con} 이 상승하는 것으로 나타났다. 그 결과 그림 5의 (a), (b) 및 (c)에서 각 N 이 3이고 Q 가 2 [l/min]일 때 17185, 8606 및 5407[ppm]의 최대 O_{3con} 을 얻을 수 있었다. Q 가 감소될수록 산소 원료가스중에 포함된 산소분자가 방전영역에서 체류하는 시간이 길어져서 각 SDO 의 방전 gap d_1 과 d_2 에서 발생된 무성방전의 중첩에 의하여 생성된 전자와의 충돌확률이 증가되면서 오존생성반응이 촉진된 결과라고 생각된다.

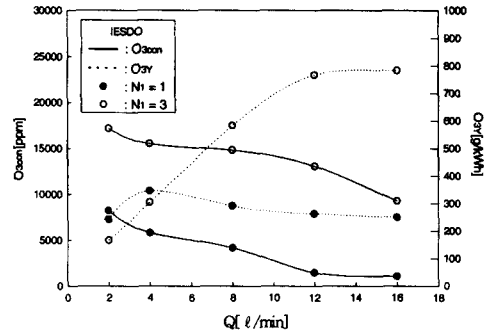
표 1. Q 의 변화에 따른 T 및 t
Table 1. T and t with variation of Q

Q [l/min]	T[ms]	t[ms]
2	448	18
4	224	9.0
8	112	4.5
12	75	3.0
16	56	2.3

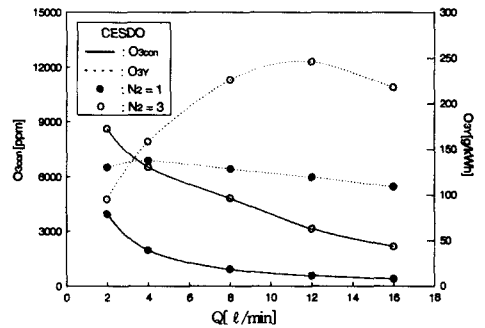
즉, 표 1과 같이 산소 및 오존화 가스는 Q 가 감소될수록 각 SDO 의 방전공간(길이 : 130[mm], 체적 : 13,432[mm^3])을 통과하는 시간 T 와 5[mm] 간격으로 나선형으로 감은 외부전극 EE 의 나선간을 통과하는 시간 t 가 길어지므로 기저상태의 산소분자에 의한 식 (1) 및 (2)의 반응뿐만 아니라, 여기산소분자 O_2^* 도 기저상태로 돌아가기전 식 (5) 및 (6)에 의한 오존생성반응이 활발해지면서 O_{3con} 이 상승되는 것으로 판단된다.

또한, 그림 5의 (a), (b) 및 (c)에서 N 이 1인 경우는 Q 가 4 [l/min]에서 O_{3y} 의 최대점이 나타났고, 3인 경우는 각각 16, 12 및 8 [l/min]에서 최대 O_{3y} 가 나타났다. 그리고 각 그림에서 Q 가 약 4 [l/min] 이하에서는 N 이 1, 그 이상의 Q 에서는 N 이 3일 때의 O_{3y} 가 높게 나타났다.

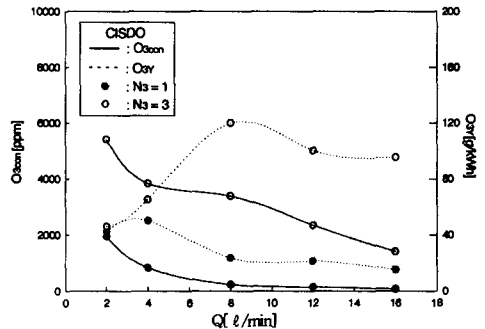
그 결과 그림 5의 (a), (b) 및 (c)에서 N_1, N_2, N_3



(a) IESDO



(b) CESDO



(c) CISDO

그림 5. N 을 매개변수로 한 Q- O_{3con} , O_{3y} 특성
Fig. 5. The characteristics of Q- O_{3con} , O_{3y} with parameter of N

가 3이고 Q 가 각각 16, 12 및 8 [l/min]일 때, 783, 246, 120[g/kWh]의 최대 O_{3y} 를 얻을 수 있었다.

$1/W_d$ 와 O_{3g} 의 積으로 주어지는 O_{3y} 는 본 연구와 같이 W_d 가 일정할 때, O_{3g} 특성에 의하여 결정된다. 이때, Q 의 변화에 따른 O_{3con} 과 오존으로 생성되는 산소 원료가스의 공급량으로 결정되는 O_{3g} 는 Q 가 낮을수록 전술한 바와 같이 O_{3con} 은 상승

하지만, 원료가스 공급량은 Q 가 증가할수록 많아지므로 O_{3con} 과는 Q 의 증가에 따라서 서로 역의 관계라 할 수 있다.

그러므로 O_{3g} 는 Q 의 증가에 따른 O_{3con} 의 감소분과 산소 원료가스 공급량 증대에 따른 O_{3g} 의 상승분이 서로 같게되는 유량영역에서 최대 O_{3g} 즉 O_{3Y} 가 나타나는 것이다. 이러한 관점에서 필자들은 여러 연구결과를 통하여 O_{3con} 이 상승할수록 Q 의 증가에 따른 감소분이 작아져서 최대 O_{3Y} 가 나타나는 Q 가 높아진다는 것을 확인할 수 있었다.[6][7][8]

따라서 그림 5의 (a), (b) 및 (c)에서 N 이 1인 경우는 O_{3con} 이 낮기 때문에 각각 Q 가 4[l/min]에서 최대 O_{3Y} 가 나타나지만, N 이 3인 경우와 같이 무성방전의 중첩이 강력하게 형성될 때는 O_{3con} 이 더 높으므로 최대 O_{3Y} 가 나타나는 Q 가 증가하여 O_{3con} 이 가장 높은 IESDO 에서는 Q 가 16[l/min]에서 최대 O_{3Y} 가 나타나는 것이다. 그리고 Q 가 4[l/min]이하에서 O_{3con} 이 높은 N 이 3인 경우가 1일 때보다 O_{3Y} 가 낮아지는 것은 Q 가 4[l/min]이하와 같이 낮은 유량영역에서는 SDO 의 N 증가에 의한 원료가스의 처리능력이 증대에 따른 오존의 고농도화 및 오존의 공간밀도 증가와 표 1과 같이 T 와 t 가 길어지면서 식 (3) 및 (4)에 의한 오존의 분해반응이 높은 유량영역보다 상대적으로 촉진되었기 때문이다.

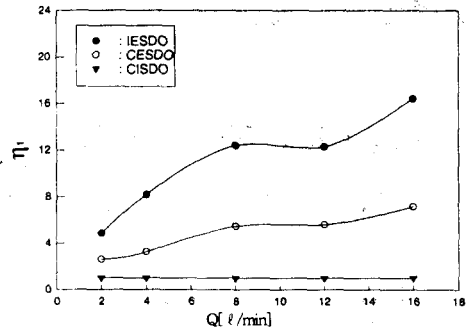
4.2.2 SDO 형태변화에 따른 오존생성수율비 특성

그림 6의 (a), (b)는 각 SDO 의 N 이 1 및 3인 경우, SDO 의 형태를 매개변수로 하였을 때 Q 의 변화에 따른 오존생성수율비(η)를 나타낸 것이다.

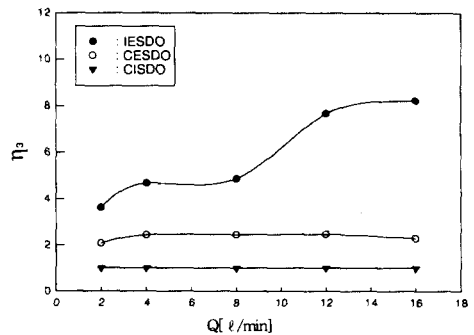
이때, η 는 식 (7)로 계산한 것이며, 각 SDO 의 N 이 1 및 3일 때, η 를 각각 η_1, η_3 로 표기하였다. 그림 5와 같이 전 유량범위에서 O_{3con} 및 η 는 IESDO > CESDO > CISDO 로 나타났다.

이것은 그림 4 및 사진 1에서 나타났듯이 IESDO 의 경우는 전극 CE 를 공통접지, 전극 IE 와 전극 EE 에 역극성의 교류 고전압이 각각 인가되어 방전 gap d_1 (0.4[mm]) 의 무성방전보다 방전거리가 긴 방전 gap d_2 (1.9[mm]) 의 무성방전이 오존생성에 큰 기여를 하므로 전극 EE 를 공통접지, 전극 CE 와 전극 IE 에 역극성의 교류 고전압의 각각 인가에 의하여 크기가 작은 방전 gap d_1 의 무성방전에 의

해 오존이 주로 생성되는 CISDO 보다 η 가 높게 나타나는 것으로 생각된다.



(a) $N = 1$



(b) $N = 3$

그림 6. SDO 의 형태를 매개변수로 한 Q- η 특성
Fig. 6. The characteristics of Q- η with parameter of type for SDO

결국, 설계·제작된 다중방전형 오존발생기의 오존생성특성을 향상시키기 위해서는 방전거리가 긴 방전 gap d_2 의 무성방전이 활성화되는 IESDO 가 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다.

4.3 염색폐수의 탈색 특성

그림 7은 MDO 의 수질환경개선 적용가능성을 연구하고자 IESDO 로 부터 발생된 17185[ppm]의 오존화가스를 염색공단에서 채취한 염색폐수 1[l]에 접촉시켰을 때, 접촉시간(τ)의 변화에 따라 UV-Vis. 분광광도계를 이용하여 가시광 영역의 파장(λ , 400 ~ 700[nm])에서의 흡광도(ABS)를 측정하는 것이다. 사진 2의 (a) 및 (b)는 τ 가 1 및 30[min]일 때의 외관을 촬영한 것이다.



(a) IESDO



(b) CESDO



(c) CISDO

사 진 1. $Q = 2 [l/min]$, $W_d = 8 [W]$ 일 때, 각 SDO 외관

Photo. 1. Photographs of each SDO for $Q = 2 [l/min]$, $W_d = 8 [W]$

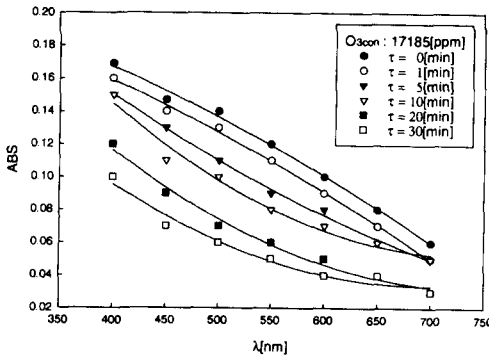
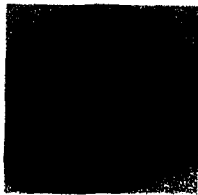


그림 7. τ 의 변화에 따른 염색폐수의 탈색특성
Fig. 7. The decolorant characteristics of dyeing waste water with variation of τ



(a) $\tau = 1 [min]$



(b) $\tau = 30 [min]$

사 진 2. $\tau = 1, 30 [min]$ 에서 염색폐수의 외관
Photo. 2. Photographs of dyeing waste water for $\tau = 1, 30 [min]$

그림 7 및 사진 2와 같이 τ 가 길어질수록 ABS 는 저하되고, 오존을 접촉하기전 황갈색이던 염색폐수가 30[min] 접촉시에는 백색에 가깝게 나타났다.

오존이 염색폐수의 착색유기물과 반응하면 이중결합과 삼중결합을 가진 착색유기물이 알데하이드 및 유기산 등의 저분자로 분해되어 공명구조로 되므로 UV-Vis. 光을 흡수하는 ABS 가 저하되면서 탈색되는 것이다. 따라서 τ 가 길어질수록 수용성 염료의 불포화 결합에 대한 산화반응이 촉진되어 ABS 는 더욱더 낮아지게 되고, 염색폐수는 백색에 가까운 탈색특성을 얻음으로써 MDO 는 水中 유기물의 산화반응을 이용한 수질환경개선분야의 제거설비로서 적용가능함을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

본 연구에서는 3개의 전극(중심전극, 내부전극 및 외부전극), 2개의 방전 gap 이 장착된 새로운 방전 기술을 이용한 다중방전형 오존발생기를 설계·제작 한 후, 각 전극의 전압 인가방법(2개의 전극은 역극성 교류 고전압 인가, 나머지 1개의 전극은 공통접지 전극)에 따라 구성되는 3가지 형태의 중첩방전형 오존발생기의 방전특성과 오존생성특성을 연구검토하고 염색폐수의 탈색특성을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 다중방전형 오존발생기는 2개의 전극에 180°의 위상차가 있는 교류고전압을 인가하므로써 방전 휴지구간을 기존의 무성방전형 보다 1/2로 단축시킬 수 있었고, 이들 역극성의 전압에 의하여 발생된 방전상호간의 작용에 의하여 방전휴지구간을 더욱더 단축시킬 수 있었다.

2. 산소 원료가스의 유량이 감소될수록, 오존발생기의 사용 갯수가 증가할수록 오존생성농도는 상승하였고, 오존생성수율은 유량 및 사용 갯수가 증가할수록 상승하였다.

3. 다중방전형 오존발생기로 구성되는 3가지 형태의 중첩방전형 오존발생기중 내부-외부전극에 각각 교류고전압을 인가하고 중심전극을 공통접지한 오존발생기의 오존생성특성이 가장 우수하였다.

4. 이러한 결과에 따라 최대 오존생성농도 및 오존생성수율로 17185[ppm] 및 783[g/kWh]을 얻었다.

5. 다중방전형 오존발생기로 발생된 17185[ppm]의

오존화 가스를 염색폐수에 접촉시켰을 때, 접촉시간 30분만에 염색폐수가 백색에 가깝게 탈색되었다.

이상의 결과로부터 설계·제작된 다중방전형 오존 발생기는 기존에 산소원료가스를 사용한 오존발생기의 수율 120[g/kWh]보다 우수한 783[g/kWh]의 고수율을 얻음으로써 수질 환경개선분야로의 적용가능할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 이광식, 이동인, “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] 杉光英俊, “オゾン基礎と應用”, 光琳, 1996
- [3] B.Eliasson and U.Kogejshatz et al, “Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges”, J.Phys.D, Appl.Phys. Phys. 20, pp.1421 ~ 1437, 1987
- [4] B.Eliasson and U.Kogejshatz et al, “Modeling and applications of silent discharge plasma”, IEEE translation on plasma science, Vol.19, No.2, pp.309 ~ 323, 1991
- [5] 송현직, “중점방전형 오존발생기의 특성과 환경개선에 관한 연구”, 박사학위논문, 1997
- [6] 송현직, 이광식의, “高電壓 Nozzle 형 오존발생기에 관한 연구”, 大韓電氣學會 論文誌, Vol.44, No.1, pp.97 ~ 103, 1995
- [7] 송현직, 이광식의 “네온방전형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성에 관한 연구”, 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1857 ~ 1860, 1996
- [8] H.J.Song, K.S.Lee, D.J.Lee, “A study on the trial manufacture and characteristics of lamp type ozonizer”, Proceedings of Korea-Japan Symposium on Electrical Discharge-High Voltage Engineering, pp.93 ~ 97, 1996

이 논문은 1997년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음

◇ 저자소개 ◇

송현직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1993년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1997년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 영남대 공업기술연구소 연구원.

김영훈 (金榮勳)

1963년 4월 12일생. 1991년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 포항1대학 전기과 부교수.

김금영 (金金永) 4 敗

1947년 2월 1일생. 1974년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1995년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 포항1대학 전기과 교수. 당학회 대구·경북지회 이사.

박원주 (朴元柱)

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈우대학교 대학원 졸업(박사). 현재 영남대 공대 전기전자공학부 부교수. 당학회 대구·경북지회 연구조사 이사.

이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 1995~1998년 당학회 대구·경북지회장. 현재 당학회 부회장. 대한전기학회 방전·고전압 연구회 간사장. 영남대 공대 전기전자공학부 교수.

라만 (M. F. Rahman)

1960년 9월 12일생. 1984년 BIT Rajshahi 전기·전자공학과 졸업. 1992년 Mysore University 전기공학과 졸업(석사). 현재 BIT Rajshahi 전기·전자공학과 조교수, 영남대 대학원 전기공학과 박사수료.