

**염색폐수 처리용 고농도·고수율 다중방전형 오존발생기의 특성**

이동현<sup>○</sup>, 송현직<sup>○</sup>, 이상근<sup>○</sup>, 이동욱<sup>○</sup>, 박원주<sup>○</sup>, 이광식<sup>○</sup>, 전영주<sup>○</sup>, 김상구<sup>○</sup>  
 구미1대학<sup>◎</sup>, 영남대학교<sup>○</sup>, 영진전문대학<sup>◇</sup>, 기술표준원<sup>□</sup>

**Characteristics of high concentration · yield multi discharge type ozonizer for dyeing water treatment**

Dong-Heon Lee, Hyun-Jig Song, Sang-Geun Lee, Dong-Wook Lee, Won-Zoo Park, Kwang-Sik Lee, Young-Ju Jeon, Sang-Ku Kim

**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 multi discharge type ozonizer( MDO ) 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 MDO were investigated in accordance with quantity of supplied gas, the number of MDO, and the shapes of each MDO. 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. 서 론**

세계적으로 급속히 진전되어온 산업화와 도시화에 따라 자연환경과 생활환경이 심각하게 악화되었다. 이러한 관점에서 대기 및 수질환경오염을 사전에 근원적으로 예방하면서 이미 발생된 오염물질을 적절하게 정화하는 방안으로써 강력한 산화력을 지닌 오존(O<sub>3</sub>)을 활용한 연구가 진행되고 있다.

오존은 오염물질과 반응하면서 최종적으로는 자기분해되면서 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]

이러한 측면에서 본 논문은 외환관리 체제하의 국내현실에 발맞추어 수질환경오염의 대표적 주범인 염색폐수에 대한 고효율 정화를 위한 에너지 절전형 고농도·고수율 오존발생기의 개발을 위한 기초적 연구로써, 다중방전형 오존발생기(이하 MDO)를 설계·제작하였다. MDO는 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 다중방전형 오존발생기(이하 MDO)가 구성가능하므로 1개의 오존발생기로서 3가지 방전특성 및 오존생성특성을 가진 오존발생기를 제작할 수 있는 것이다.[3][4]

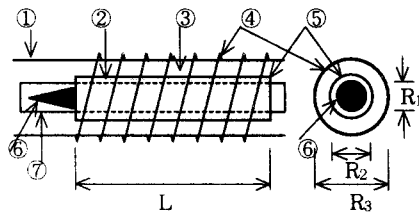
이때, 각 MDO의 방전특성 및 오존생성특성을 연구한 후, 발생된 오존을 염색공단에서 배출되는 염색폐수에 접촉시켰을 때 탈색특성을 연구하여 MDO의 수질환경개선 설비로서의 가능성을 검토하였다.

**2. 실험장치 및 방법**

그림 1은 3개의 전극(중심전극, 내부전극, 외부전극

)과 2개의 방전 gap 및 유전체는 내측에 납유리관과 외측에는 pyrex 유리관으로 구성시켜 각 gap 에서 발생하는 무성방전을 중첩시키기 위한 동축 이중 원통구조인 MDO의 개략도이다.

이들 3개의 전극중 1개는 공통접지 하고, 나머지 2전극에 180(°)의 위상차를 가진 역극성 교류고전압을 각각 인가하면 다음과 같은 3가지 형식의 MDO가 구성되며, 각 MDO의 방전 gap d<sub>1</sub> 과 d<sub>2</sub> 에서는 무성방전이 발생된다. 즉,



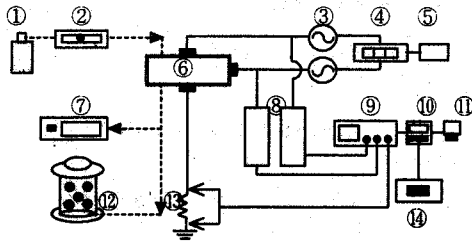
① pyrex 유리 ② 방전 gap d<sub>1</sub> ③ 방전 gap d<sub>2</sub>  
 ④ 전극 EE ⑤ 전극 IE ⑥ 전극 CE ⑦ 납유리  
 R<sub>1</sub> : 외경 12(mm), R<sub>2</sub> : 외경 12.8(mm)  
 R<sub>3</sub> : 외경 19(mm), L : 길이 130(mm)  
 그림 1. MDO의 개략도

Fig. 1. The schematic diagram of MDO

- ( 1 ) 전극 CE 를 공통접지한 경우의 IEMDO :  
 IE - CE 간의 무성방전, EE - CE 간의 무성방전
- ( 2 ) 전극 IE 를 공통접지한 경우의 CEMDO :  
 CE - IE 간의 무성방전, EE - IE 간의 무성방전
- ( 3 ) 전극 EE 를 공통접지한 경우의 CIMDO :  
 CE - EE 간의 무성방전, IE - EE 간의 무성방전

이 발생되어, 각 MDO의 방전 gap d<sub>1</sub> 과 d<sub>2</sub>에서 발생하는 무성방전이 중첩되어 오존이 생성되는 구조이다. 그림 2는 본 연구에 사용된 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 그림 2와 같이 각 MDO에 A.C H.V 전원으로 부터 출력되는 고전압을 인가하고 원료가스인 상업용 산소를 유량계로 조정하면서 MDO의 입구측에 유입시키면 무성방전의 중첩에 의하여 오존화가스가 생성된다. 이때, 오존모니터를 사용하여 오존화가스의 오존생성농도(이하 O<sub>3con</sub>)를 측정후, 오존생성수율(이하 O<sub>3y</sub>)를 계산하였다.

그리고 MDO의 방전특성을 연구하고자 각 MDO로 부터 출력되는 전압·전류치 및 파형은 각각 고전압분압기와 무유도저항(50[Ω])을 사용하여 측정형 오실로스코프, P.C 및 프런터를 사용하여 측정·출력하였고, 방전전력(이하 W<sub>d</sub>)은 digital 전력계를 이용하여 측정하였다. 또한, MDO로 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 A.C H.V 전원
- ④ digital 전력계 ⑤ 상용전원 (A.C 220(V))
- ⑥ MDO ⑦ 오존농도계 ⑧ 고전압 분압기
- ⑨ 축적형 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 2. MDO 를 이용한 실험장치의 배치도  
 Fig. 2. The arrangement diagram of experimental apparatus using MDO

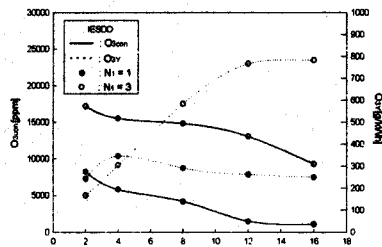
### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 오존생성특성

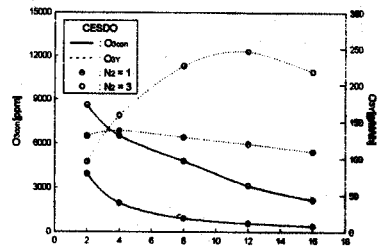
그림 3의 (a), (b) 및 (c)는 IEMDO, CEMDO 및 CIMDO 의 각 N 이 1 및 3인 경우, Q 의 변화에 따른  $O_{3con}$  및  $O_{3Y}$  특성을 나타낸 것이다. 그림에서 IEMDO, CEMDO, CIMDO 의 N 은 각각  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  로 표기하였다. 각 그림에서 Q 가 감소될수록 N 이 증가될수록  $O_{3con}$  이 상승하는 것으로 나타났다. 그 결과 그림 3의 (a), (b) 및 (c)에서 각 N 이 3이고 Q 가 2( $l/min$ )일 때 17185, 8606 및 5407(ppm)의 최대  $O_{3con}$  을 얻을 수 있었다. Q 가 감소될수록 산소원료가스중에 포함된 산소분자가 방전영역에서 체류하는 시간이 길어져서 각 MDO 의 방전 gap  $d_1$  과  $d_2$  에서 발생된 무성방전의 중첩에 의하여 생성된 전자와의 충돌 확률이 증가되면서 오존생성반응이 촉진된 결과라고 생각된다. [5][6]

또한, 그림 3의 (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.

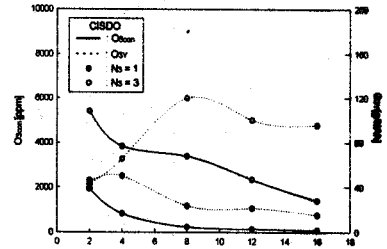
그 결과 그림 3의 (a), (b) 및 (c)에서  $N_1$ ,  $N_2$ ,  $N_3$  가 3이고 Q 가 각각 16, 12 및 8( $l/min$ )일 때, 783, 246, 120( $g/kWh$ )의 최대  $O_{3Y}$  를 얻을 수 있었다.



(a) CIMDO



(b) IEMDO

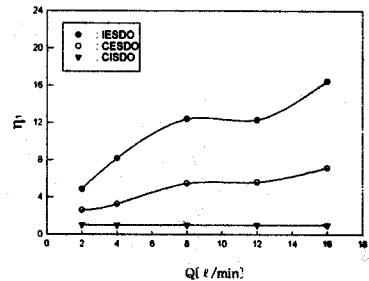


(c) CEMDO

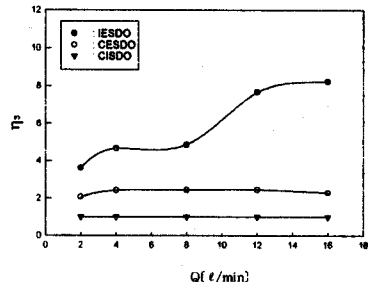
그림 3. N 을 매개변수로 한  $Q-O_{3con}$ ,  $O_{3Y}$  특성  
 Fig. 3. The characteristics of  $Q-O_{3con}$ ,  $O_{3Y}$  with parameter of N

#### 3.2 MDO 형태변화에 따른 오존생성수율비 특성

그림 4의 (a), (b)는 각 MDO 의 N 이 1 및 3인 경우, MDO 의 형태를 매개변수로 하였을 때 Q 의 변화에 따른 오존생성수율비( $\eta$ )를 나타낸 것이다.



(a) N = 1



(b) N = 3

그림 4. MDO 의 형태를 매개변수로 한  $Q-\eta$  특성  
 Fig. 4. The characteristics of  $Q-\eta$  with parameter of type for MDO

이때,  $\eta$  는 식 (1)로 계산한 것이며, 각 MDO 의 N 이 1 및 3일 때,  $\eta$  를 각각  $\eta_1$ ,  $\eta_3$  로 표기하였다. 그림 3과

같이 쉰 유량범위에서  $O_{3con}$  및  $\eta$  는 IEMDO > CEMDO > CIMDO 로 나타났다.

$$\eta = \frac{IESDO \text{ 혹은 } CESDO \text{ 의 } O_{3y}}{CISDO \text{ 의 } O_{3y}} \quad (1)$$

이것은 IEMDO 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 의해 오존이 주로 생성되는 CIMDO 보다  $\eta$  가 높게 나타나는 것으로 생각된다.

결국, 설계·제작된 다중방전형 오존발생기의 오존생성특성을 향상시키기 위해서는 방전거리가 긴 방전 gap  $d_2$  의 무성방전이 활성화되는 IEMDO 가 효과적이라는 것을 확인할 수 있었다. [7] (8)

### 3.3 염색폐수의 탈색특성

그림 5는 MDO 의 수질환경개선 적용가능성을 연구하고자 IEMDO 로 부터 발생된 17185(ppm)의 오존화가스를 염색 공단에서 채취한 염색폐수 1[ℓ]에 접촉시켰을 때, 접촉시간(  $\tau$  )의 변화에 따라 UV-Vis. 분광광도계를 이용하여 가시광 영역의 파장(  $\lambda$ , 400 ~ 700[nm] )에서의 흡광도( ABS )를 측정 한 것이다. 사진 2의 (a) 및 (b)는  $\tau$  가 1 및 30[min]일 때의 외관을 촬영한 것이다.

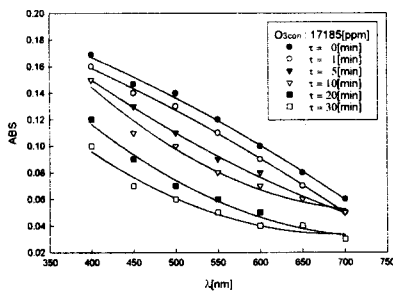


그림 5.  $\tau$  의 변화에 따른 염색폐수의 탈색특성  
Fig. 5. The decolorant characteristics of dyeing waste water with variation of  $\tau$

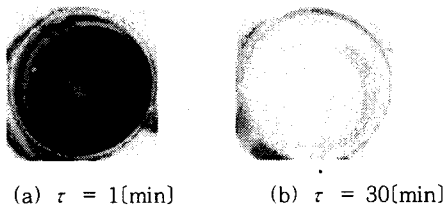


사진 1.  $\tau = 1, 30$ [min]에서 염색폐수의 외관  
Photo. 1. Photographs of dyeing waste water for  $\tau = 1, 30$ [min]

그림 5 및 사진 1과 같이  $\tau$  가 길어질수록 ABS 는 저하 되고, 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. 광을 흡수하는 ABS 가 저하되면서 탈색되는 것이다. 따라서  $\tau$  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.

### 3. 결 론

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

1. 다중방전형 오존발생기는 2개의 전극에 180(°)의 위상차가 있는 교류고전압을 인가하므로서 방전휴지구간을 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 사용갯수가 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 오존발생기는 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, "オゾンノ基礎と應用", 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, "중첩방전형 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) 송 현 직, 이 광 식의 "네온방전관형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성에 관한 연구", 대한전기학회 하계 학술대회 논문집, pp.1857 ~ 1860, 1996
- (8) H.J.Song, K.S.Lee, D.I.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