

NO 가스 제거용 방전관형 오존발생기의 특성

송현직*O, 이동현*, 오진훈*, 이광식**

*: 구미1대학 전기과, **: 영남대학교 전기공학과

Characteristics of Discharge Lamp Type Ozonizer for NO Gas Removal

Hyun-Jig Song*O, Dong-Heon Lee*, Jin-Hun Oh*, Kwang-Sik Lee**

*: Electricity of Kumi 1 College, **: Electrical Department of Yeungnam University

Abstract - 대기환경오염물질인 NO가스의 제거를 위하여 방전관을 채용한 3전극-2갭 방식의 새로운 형태의 오존발생기를 설계·제작하였다. 본 논문에서는 원료가스의 유량, 방전전력 및 오존발생기의 사용 개수 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구검토하였으며, 오존발생기로부터 생성된 오존을 NO가스에 접촉시켰을 때 NO 제거특성이 우수하여 방전관형 오존발생기가 대기환경개선 설비로 적용가능함을 확인하였다.

1. 서 론

에너지, 환경 및 식량문제는 21세기의 인류가 해결해야 할 3대과제이다. 특히, 선진국은 물론이며 우리나라도 산업사회로 진입함에 따라서 대기오염, 수질악화 등 환경문제의 해결이 큰 과제로 대두되고 있다.

이에 국내외적으로 강한 산화력을 지니고 있으면서 최종적으로는 자기분해되어 산소로 환원되므로 유해한 2차오염의 우려가 없는 오존(O₃)을 기체방전으로 발생시켜 살균, 탈취, 탈미, 정화, 실내 공기정화, 식품보존, 원예작물의 성장촉진, 오폐수 정수처리 및 의료분야 등 광범위한 분야로의 활용에 관한 연구가 진행되고 있다(1)(2)(3).

이러한 관점에서 본 연구에서는 3전극-2gap 형식의 방전관형 오존발생기(discharge lamp type ozonizer, 이하 DLO)를 제작하여 2개의 gap에서 각각 발생하는 무성방전을 중첩시킴으로써, 기존 2전극-1gap 형식의 무성방전형 오존발생기와 동일한 전력 사용시 방전에 의한 열의 분산과 각 gap에서 발생하는 무성방전의 상호작용에 의한 오존생성특성의 향상과 대기오염물질인 NO 가스 제거설비의 적용가능성을 검토하였다.

2. 방전기구 및 오존생성기구

2.1 방전기구

설계·제작된 DLO는 그림 1 및 2와 같이 전극 IE와 EE에 180(°)의 위상차를 가진 서로 다른 극성의 교류고전압을 방전공간에 동시에 인가하므로써 gap d₁과 d₂에서 각각 발생하는 무성방전이 중첩되면서 1주기내에 방전구간이 4회 존재하고 각 gap의 무성방전간의 상호작용에 의하여 비방전구간이 짧아지게 된다.

그 결과 DLO의 방전공간에는 단일 gap 무성방전시보다 미세한 pulse 방전이 활성화되면서 전극면상의 무수히 많은 점으로부터 발생하는 전자와 산소분자의 충돌에 의한 오존생성반응이 활발하게 형성된다. 본 연구의 DLO 방전은 180(°)의 위상차를 가진 전원이 인가되므로 전원의 1주기내에 4회의 방전이 형성됨과 동시에 gap d₁과 d₂에서의 방전은 상호작용에 의하여 DLO의 방전은 4.1의 방전특성에서 확인하는 바와 같이 무성방전보다 더욱더 활성화되고 방전휴지구간 또한 짧아지게 된다. 또한, 그림 1에서 DLO 3개의 전극중 중심전극(전극 CE)은 저압(10⁻¹[torr])방전을 유지시키므로서 전리가스가 충전된 방전관으로 이루어져 DLO의 방전을 활성화시키며, 2개의 방전 gap에서 일어나는 방전의 상호작용으로 DLO 방전이 활성화되는 특성이 있다.

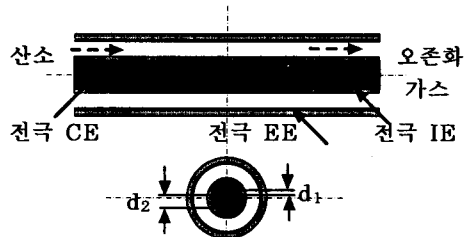


그림 1. DLO의 개략도

Fig. 1. The schematic diagram of DLO

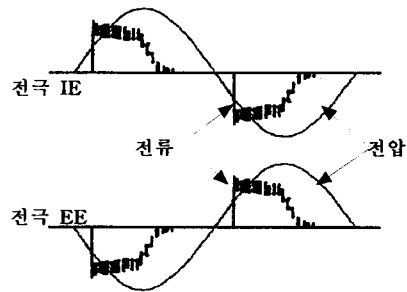
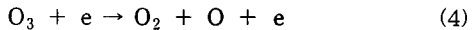
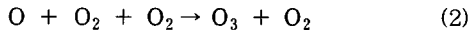


그림 2. DLO의 전압·전류파형

Fig. 2. The voltage·current waveforms of DLO

2.2 오존생성기구

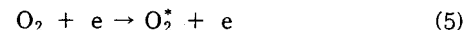
식 (1) ~ (4)는 산소원료가스를 사용한 경우, 무성방전에 의한 주된 오존생성 및 분해반응을 나타낸 것이다(4).



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.

또한, 설계·제작된 DLO는 식 (5) 및 (6)과 같이 그림 1의 무성방전시 방전구간에 존재하는 勵起 산소분자(O₂^{*})를 경유하는 오존생성기구의 유용성을 고려한 것이다(4).



여기서 O₂^{*} : 勵起 산소분자

3. 실험장치 및 방법

그림 1과 같이 DLO는 3개의 전극과 2개의 gap 및 유전체

로 사용된 내측의 납유리관과 외측의 pyrex 유리관으로 구성된 동축 이중 원통구조이다. 납유리관은 10^{-1} (torr)로 진공배기하여 제작된 방전관으로써 그 내부에 원추형의 중심전극(CE)이 장착되어 있고, 납유리관의 표면과 0.4(mm)의 gap d_1 을 두고 두께가 0.1(mm)인 원통형의 stainless mesh 내부전극(IE)을 장착하였다. 또한, 전극 IE 와 1.9(mm)의 gap d_2 를 두고 장착한 pyrex 유리관의 외부표면에는 규석도금한 구리세선을 5(mm) 간격으로 나선형으로 감아 외부전극(EE)으로 사용하였다. 이들 3개의 전극중 전극 CE를 공통접지하고, 전극 IE와 EE에 $180(^{\circ})$ 의 위상차를 가진 교류고전압을 각각 인가하므로써 DLO는 전극 IE와 CE 사이에 발생하는 무성방전과 전극 EE와 CE 간에 발생하는 무성방전이 중첩되는 구조이다.

이때, 원료가스는 상업용 산소(순도 : 99.99%)를 사용하였으며, 유량(Q)이 2, 4, 8, 12 및 16(ℓ /min)가 되도록 조정하면서 DLO에 유입시켜 방전 gap d_1 과 d_2 에서 각각 발생하는 무성방전의 중첩에 의하여 오존화가스를 생성시켰다. 이때, 기상용 오존모니터(0 ~ 100,000(ppm), Okitronics社)를 사용하여 오존생성농도(O_{3con})를 측정한다. 오존발생량(O_{3g}) 및 오존생성수율(O_{3y})을 계산하였다. 전원장치를 교류 변압기(이하 NT)를 사용하였으며, DLO의 개수(N)에 따라서 NT를 각각의 DLO에 독립적으로 공급하였다.

그리고 DLO로부터 출력되는 전압(V_d)·전류치(I_d) 및 파형은 각각 고전압분압기(분압비 2000 : 1)와 digital oscilloscope(500 [MHz], 1[Gs/s], LeCroy), PC 및 printer를 사용하여 측정·출력하였다.

방전전력(W_d)은 digital powermeter(0 ~ 9999[W], Light Star社)를 이용하여 DLO를 이용한 오존발생장치 전체회로에서 소모되는 평균전력을 측정하여 채택하였다.

V_d , I_d 및 W_d 는 V_d 를 상승시킨 경우 오존이 생성될 때의 전압, 전류 및 전력치이고 각각 5회씩 측정하여 산술평균한 실측치이다. Q, W_d 및 N의 변화에 따른 O_{3con} , O_{3g} 및 O_{3y} 특성을 연구검토하였다.

또한, 설계·제작된 DLO를 이용한 대기환경개선분야로의 적용가능성을 검토하기 위하여 DLO의 출구측 150(mm)의 지점에서 NO가스(NO/N_2 , $NO : 1630$ (ppm)) 2(ℓ /min)에 오존화 가스 2(ℓ /min)을 혼합하여 합성유량이 4(ℓ /min)가 되도록 유지시키면서 0.24(sec)동안 접촉시켰을 때, O_{3con} 과 내부전극 IE의 두께(t)의 변화에 따른 NO제거율(NO_n (%))을 식(7)을 이용하여 연구검토하였다.

$$NO_n[\%] = \frac{\text{제거전 NO 농도} - \text{제거후 NO 농도}}{\text{제거전 NO 농도}} \quad (7)$$

4. 실험결과 및 고찰

4.1 방전특성

그림 3은 산소 원료가스의 유량(Q)을 매개변수로 하였을 때, DLO 전원장치의 출력측 전압(V_2)에 대한 방전전압(V_d) 및 방전전류(I_d) 특성을 나타낸 것이다. 그림 4는 그림 3에서 $V_d = 16.9$ (kV), $I_d = 1.9$ (mA)일 때의 파형을 나타낸 것이다.

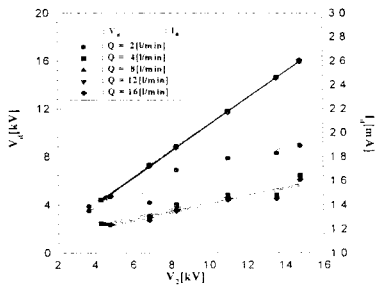
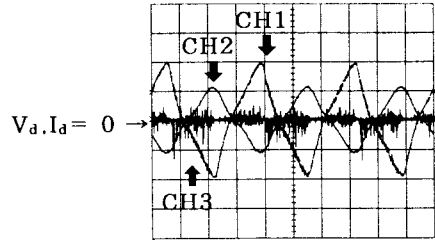


그림 3. V_2 및 Q의 변화에 따른 V_d 및 I_d 특성
Fig. 3. The characteristics of V_d and I_d with variation of V_2 and Q



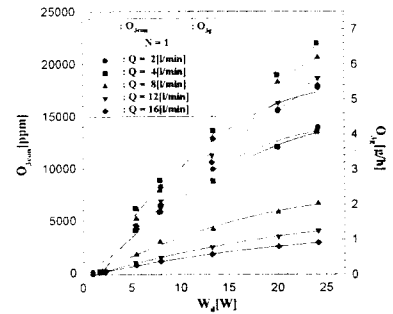
CH1 : 2(kV/div), CH2 : 10(kV/div),
CH3 : 40(mA/div)
CH1, CH2, CH3 : 5(ms/div)

그림 4. $Q=2$ (ℓ /min)인 경우, $V_d = 16.9$ (kV),
 $I_d = 1.9$ (mA)일 때의 파형

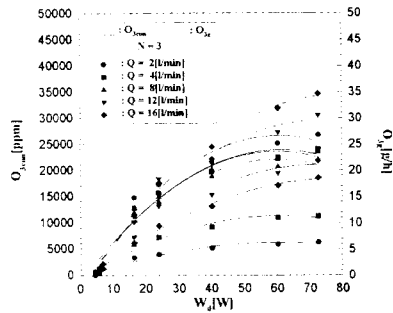
Fig. 4. The waveforms of $V_d = 16.9$ (kV),
 $I_d = 1.9$ (mA) for $Q = 2$ (ℓ /min)

4.2 오존생성특성

그림 5의 (a) 및 (b)는 DLO의 개수(N)가 각각 1, 3인 경우, W_d 및 Q의 변화에 따른 오존생성농도(O_{3con}) 및 오존발생량(O_{3g}) 특성을 나타낸 것이다.



(a) N = 1



(b) N = 3

그림 5. N = 1 및 3인 경우, W_d 및 Q의 변화에
따른 O_{3con} 및 O_{3g} 특성

Fig. 5. The characteristics of O_{3con} and O_{3g}
with variation of W_d and Q
for N = 1 and 3

이와 같이 W_d 가 증가할수록 O_{3con} 은 상승되나, 높은 W_d 영역에서는 O_{3con} 의 상승율이 서서히 둔화되고, Q가 감소될수록 O_{3con} 이 상승한다는 것을 필자들은 많은 연구결과 [4][5][6]을 통하여 확인한 바 오존발생기의 방전개시 이후, 즉 초기 O_{3con} 부터 10,000(ppm)의 O_{3con} 범위에서는 N이 1, 2 및 3일 때 W_d 의 변화에 따른 O_{3con} 특성은 식(7)과 같이 $\sqrt{W_d}$ 함수로 얻어지고, O_{3con} 의 상승율은 계수 b에 의하여 결정된다는 것을 알 수 있었다.

$$O_{3con} = a + b\sqrt{W_d} \quad (7)$$

식 (7)에서 a, b 는 상수, W_d 의 단위는 watt 및 O_{3con} 의 단위는 ppm 이다.

그림 6의 (a) 및 (b)는 N 이 각각 1, 3인 경우 W_d 및 Q 의 변화에 따른 오존생성수율(O_{3Y}) 특성을 나타낸 것이다.

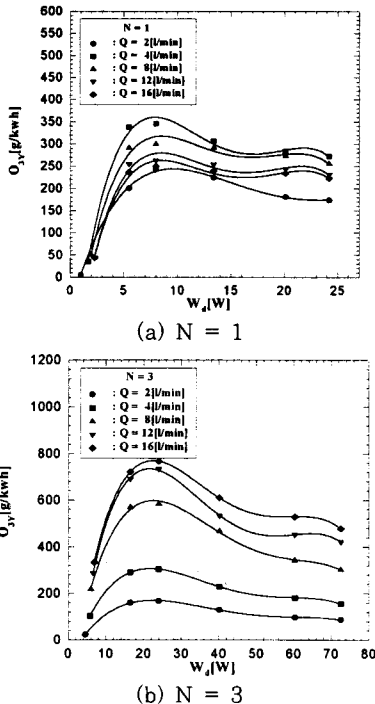


그림 6. N = 1 및 3인 경우, W_d 및 Q 의 변화에 따른 O_{3Y} 특성

Fig. 6. The characteristics of O_{3Y} with variation of W_d and Q for N = 1 and 3

그림 7은 설계·제작한 DLO 에 대한 대기환경개선분야로의 적용가능성을 연구하고자 O_{3con} 및 DLO 의 내부전극 두께 (t) 변화에 따른 NO 가스(NO/N_2 : 1630(ppm))의 제거율(NO_{rr} [%])을 식 (7)을 이용하여 검토하였다. 그림과 같이 O_{3con} 이 증가할수록, t 각 감소할수록 NO_{rr} 이 상승하였다. 그 결과, t 가 0.035(mm)이고 O_{3con} 이 17720 (ppm)일 때 최대 58.1[%]의 NO_{rr} 을 얻을 수 있었다. 이것은 식 (8)과 같이 NO 는 t 가 감소할수록 DLO의 방전공간에서 무성방전의 충적이 더욱더 활발하게 형성되어 O_{3con} 이 증가하면서 NO_{rr} 이 상승하는 것이다[5][6].

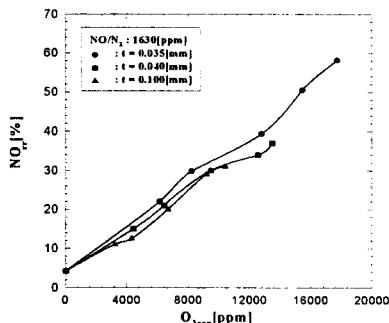
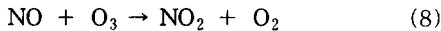


그림 7. O_{3con} 및 t 의 변화에 따른 NO_{rr} 특성
 Fig. 7. The characteristics of NO_{rr} with variation of O_{3con} and t

5. 결론

본 연구에서는 3전극(중심전극, 내부전극 및 외부전극), 2 gap 을 장착되어 있고, 중심전극으로 방전관을 채용한 새로운 형식의 오존발생기술을 이용한 방전관형 오존발생기(DLO)를 설계·제작하여 방전특성과 오존생성특성을 연구 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 방전관형 오존발생기는 중심전극과 내부전극에 180(°)의 위상차가 있는 교류고전압을 인가하므로써 방전휴지구간을 단일 gap 형보다 1/2로 줄일 수 있었다. 또한, 이를 역극성의 전압에 의하여 발생된 방전은 상호작용에 의하여 방전이 활성화되므로 방전휴지시간을 더욱더 단축시켰다.
2. 1의 결과에 따라 최대 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율로 각각 26680(ppm), 34.7(g/h) 및 780(g/kwh)을 얻었다.
3. 방전관형 오존발생기의 방전전력 변화에 따른 오존생성농도 특성은 다음 식으로 표현가능하였다.

$$O_{3con} = a + b\sqrt{\text{방전전력}(W_d)}$$

여기서 a, b 는 상수이며 방전관형 오존발생기의 농도-방전전력 특성을 평가에 공학적으로 유용히 쓸 수 있을 것으로 판단된다.

4. 오존발생기의 고농도·고수율화를 목적으로 방전관형 오존발생기를 多數 사용시 원료가스의 流路를 직렬로 구성하므로써 각각에 독립적으로 원료가스를 공급하여 오존을 생성시키는 것보다 오존생성수율을 향상시킬 수 있다는 것을 확인하였다.

5. 방전관형 오존발생기의 오존생성농도가 17720 (ppm)일 때 최대 58.1[%]의 NO_{rr} 을 얻을 수 있었다.

이상의 결과로부터 설계·제작된 다중방전형 오존발생기는 26680(ppm)의 고농도와 기존에 산소원료가스를 사용한 오존발생기의 수율 120(g/kwh)보다 우수한 780(g/kwh)의 고수율을 얻음으로써 대기 및 수질 환경개선분야로의 적용가능할 것으로 판단된다.

[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) Jen Shih Chang, "Corona discharge processes", IEEE Trans. Plasma Science, Vol.19, No.8, 1991
- (3) Rice Aharan Netzer, "Handbook of ozone technology and applications volume II", An Ann Arbor Science Book, 1984
- (4) 송 현직, 중첩방전형 오존발생기의 특성과 환경개선에 관한 연구, 박사학위논문, 1997
- (5) 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 and High Voltage Engineering, pp.93 ~ 97, 1996
- (6) 송 현직, 이 광식, 이 동인, "내온방전형 오존발생기 방전특성 및 오존생성특성에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회는논문집, pp.1857 ~ 1860, 1996