

## 환경개선용 기체전기방전을 이용한 오존발생기술 개발

(Development of Ozone Generation Technology Using Gaseous Electrical Discharge for Environment Improvement)

이동현\* · 송현직\*\* · 구건효\*\*\*

(Dong-Heon Lee · Hyun-Jig Song · Geon-Hyo Koo)

### 요 약

본 논문에서는 방전관을 채용하여 전기적 기체방전의 중첩을 이용한 새로운 방전형식의 환경개선용 오존발생 기술을 개발하였다. 방전관형 오존발생기(DLO)는 설치된 3개의 전극중 접지전극인 중심전극으로 방전관을 사용하였으며, 나머지 2개의 메쉬형 내부전극과 나선형 외부전극에 180[°]의 위상차를 가진 2개의 교류고전압 전원을 인가함으로써 방전관과 내부전극, 방전관과 외부전극사이의 방전공간에서 각각 발생하는 무성방전의 중첩에 의하여 오존이 발생하는 구조이다. 이때, 원료가스의 유량, 방전전력 및 DLO의 사용 개수 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구검토하였으며, DLO로부터 생성된 오존을 대기오염물질인 NO 가스에 접촉시켰을 때 NO 제거특성이 우수하여 방전관형 오존발생기가 대기환경개선 설비로 적용가능함을 확인하였다.

### Abstract

In this paper, discharge lamp ozonizer(DLO) of a new discharge type using superposition of gaseous electrical discharge for environment improvement was designed and manufactured. DLO is equipped with 3 electrodes(central ground electrode of discharge lamp type, internal high voltage electrode of mesh type and external high voltage electrode of spiral type), and it is composed of double gap(gap between discharge lamp and internal electrode, gap between discharge lamp and external electrode). Internal and external electrodes are respectively applied AC high voltage which has 180[°] phase difference. Ozone is generated by overlapping of each silent discharge which is respectively came from two gaps. At the moment, discharge characteristics and ozone generation characteristics of DLO were investigated in accordance with quantity of supplied gas, discharge power and the number of DLO. When ozone generated by DLO was in contact with NO gas, removal characteristics was excellent, so it confirmed that DLO could be used as air environment improvement facility.

### 1. 서 론

에너지, 환경 및 식량문제는 21세기의 인류가 해

결해야 할 3대과제이다. 특히, 선진국은 물론이며 우리나라도 산업사회로 진입함에 따라서 대기오염, 수질악화 등 환경문제의 해결이 큰 과제로 대두되고 있다.

\* 정회원 : 구미1대학 전기과 부교수  
\*\* 정회원 : 구미1대학 전기과 전임강사

\*\*\* 정회원 : 구미1대학 환경원예과학과 조교수  
접수일자 : 2001년 1월 4일

이에 국내외적으로 강한 산화력을 지니고 있으면서 최종적으로는 자기분해되어 산소로 환원되므로서 유해한 2차오염의 우려가 없는 오존(O<sub>3</sub>)을 기체방전으로 발생시켜 살균, 탈취, 탈미, 정화, 실내 공기정화, 식품보존, 원예작물의 성장촉진, 오페수 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 개발된 이래 현재까지도 실용의 오존발생기로써 많이 이용되고 있다[4].

무성방전형 오존발생기는 제작이 간편하지만, 오존발생시 미소 간극에 따른 방전공간의 열손실 등으로 인하여 오존생성특성이 저하되기 때문에 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 현재까지도 무성방전형 오존발생기의 성능 향상을 위하여 많은 연구가 절실히 요구되고 있다[2][4][5][7][8][9].

이러한 관점에서 본 연구에서는 3전극-2gap 형식의 방전관형 오존발생기(discharge lamp type ozonizer, 이하 DLO)를 설계·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 향상을 추구하고 있다.

본 논문에서는 설계·제작한 DLO에 대한 방전특성과 오존생성농도, 오존발생량, 오존생성수율 및 NO 가스 제거 특성을 측정함으로써 환경개선용으로의 적용성을 연구검토하였다.

## 2. 방전기구 및 오존생성기구

### 2.1 방전기구

무성방전형 오존발생기는 1쌍의 평행판 전극 한쪽 혹은 양쪽면에 glass 나 ceramic 등의 유전체를 삽입한 후, 오존발생기 입구측에 원료가스로써 공기, 산소를 대기압하에서 공급하면서 미소(1~3[mm]) 방전공간의 양전극간에 교류고전압을 인가에 의한 방

전화학작용으로 원료가스의 일부가 오존으로 되어 오존발생기 출구측에는 오존화가스가 토출되는 구조이다.

무성방전형 오존발생기의 방전공간에서는 교류고전압에 의하여 전극간에 형성된 전계로부터 에너지를 얻은 전자가 streamer로 성장하여 전극간을 교락할 때, streamer 내에 존재하는 전하가 사용된 유전체의 표면에 축적되면서 형성된 전계로 인하여 인가전계는 약화되어 streamer가 소멸되는 일련의 과정이 반복되면서 다수의 미세한 pulse 방전이 형성된다[2][4].

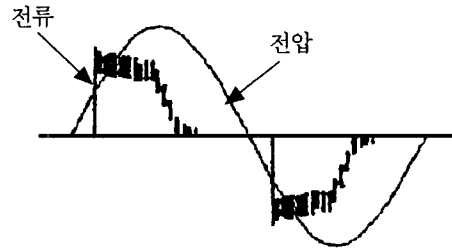


그림 1. 무성방전시의 전압·전류파형  
Fig. 1. The voltage · current waveforms of silent discharge

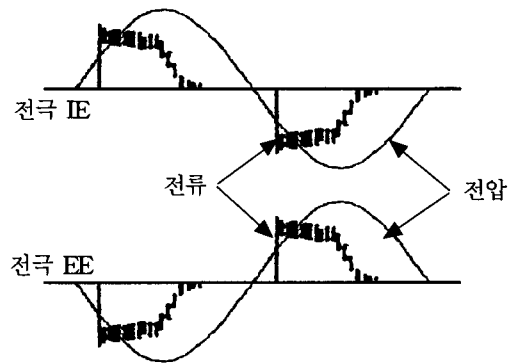


그림 2. DLO의 전압·전류파형  
Fig. 2. The voltage · current waveforms of DLO

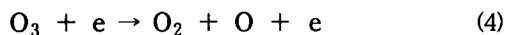
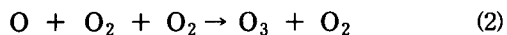
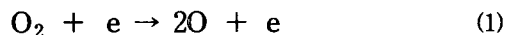
또한, 그림 1과 같이 무성방전시의 방전전류는 교류 正負전압이 최대점에 이를 때까지 형성되다가 전압이 正負의 최대점으로 부터 강하되면서 소멸된 결과 1주기에 방전구간과 비방전구간(방전휴지구간)이 각각 2회씩 존재하는 방전기구이다. 즉, 무성방전은

미세한 pulse 방전의 집합체로 전자가 전극면상의 다수점으로 부터 발생되므로 전자와 원료가스내 산소분자와의 충돌에 의해 발생하는 오존의 화학반응으로써 유용한 방전이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 설계·제작된 DLO 는 그림 2와 같이 전극 IE 와 EE 에 180°의 위상차를 가진 서로 다른 극성의 교류고전압을 방전공간에 동시에 인가하므로써 gap d<sub>1</sub> 과 d<sub>2</sub> 에서 각각 발생하는 무성방전이 중첩되면서 1주기내에 방전구간이 4회 존재하고 각 gap의 무성방전간의 상호작용에 의하여 비방전구간이 짧아지게 된다. 그 결과 DLO 의 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 형성될과 동시에 gap d<sub>1</sub> 과 d<sub>2</sub> 에서의 방전은 상호작용에 의하여 DLO 의 방전은 4.1의 방전특성에서 확인하는 바와 같이 그림 1보다 더욱더 활성화되고 방전휴지구간 또한 짧아지게 된다. 또한, 그림 2에서 DLO 3개의 전극중 중심전극(전극 CE)은 저압(10<sup>-1</sup>[torr])방전을 유지시키므로써 전리가스가 충만된 방전관으로 이루어져 DLO 의 방전을 활성화시키며, 2개의 방전 gap 에서 일어나는 방전의 상호작용으로 DLO 방전이 활성화되는 특성이 있다.

## 2.2 오존생성기구

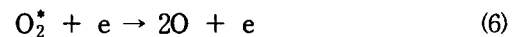
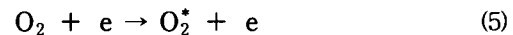
식 (1)~(4)는 산소원료가스를 사용한 경우, 무성방전에 의한 주된 오존생성 및 분해반응을 나타낸 것이다[4][9].



여기서 e : 전자, O : 산소원자, O<sub>2</sub> : 기저상태의 산소분자, O<sub>3</sub> : 오존

식 (1)~(4)와 같이 무성방전형 오존발생기의 오존생성기구는 ① 전자충돌에 의한 산소활성종의 생성, ② 오존생성반응 및 ③ 오존분해반응에 의하여 이루어

어지는 것이다. 그러나, 무성방전형 오존발생기는 생성된 오존의 농도가 높아질수록 오존의 분해반응도 활발하게 진행되기 때문에 고농도·고수율 오존생성을 저해하게 된다. 따라서 본 논문에서는 무성방전형 오존발생기의 특성을 개선할 목적으로 식 (5) 및 (6)과 같이 그림 1의 무성방전시 방전구간에 존재하는 勵起 산소분자(O<sub>2</sub><sup>\*</sup>)를 경유하는 오존생성기구의 유용성을 고려하였다[10].



여기서 O<sub>2</sub><sup>\*</sup> : 勵起 산소분자

즉, O<sub>2</sub><sup>\*</sup> 는 O<sub>2</sub> 보다도 낮은 에너지의 전자에 의하여 해리되므로 O<sub>2</sub><sup>\*</sup> 가 존재하면 식 (6)의 반응은 식 (1)의 반응보다 빠르고 더욱 활발하게 진행된다. 그러나, O<sub>2</sub><sup>\*</sup> 에 전자가 충돌하지 않으면 방전휴지구간에서 O<sub>2</sub><sup>\*</sup> 가 해리 또는 전리되지 않고 脫勵起하여 기저상태로 되돌아가게 된다. 따라서 DLO 는 3개의 전극과 2개의 gap 이 존재하는 방전공간에 180°의 위상차를 가진 서로 다른 역극성의 교류고전압을 각 gap 에 동시에 인가하므로써 2.1절에서 기술한 방전의 상호작용 즉 正負 교류고전압의 최대치에 이를 때까지 형성되는 방전구간을 1주기에 4회 존재시켜 기저상태로 되돌아갈 가능성이 있는 O<sub>2</sub><sup>\*</sup> 를 해리 또는 전리시키게 된다. 그 결과 생성된 산소원자와 분자가 결합하여 오존으로 생성되어 고농도·고수율을 얻을 수 있다고 판단된다.

## 3. 실험장치 및 방법

그림 3은 3개의 전극과 2개의 gap 및 유전체로 사용된 내측의 납유리관과 외측의 pyrex 유리관으로 구성된 동축 이중 원통구조인 DLO 의 개략도를 나타낸 것이다.

납유리관은 10<sup>-1</sup>[torr]로 진공배기하여 제작된 방전관으로써 그 내부에 원추형의 중심전극(CE)이 장착되어 있고, 납유리관의 표면과 0.4[mm]의 gap d<sub>1</sub> 을 두고 두께가 0.1[mm]인 원통형의 stainless mesh 내부전극(IE)을 장착하였다. 또한, 전극 IE 와 1.9[mm]의 gap d<sub>2</sub> 를 두고 장착한 pyrex 유리관의 외부표면에는 규석도금한 구리세선을 5[mm] 간격으로 나선형

으로 감아 외부전극(EE)으로 사용하였다.

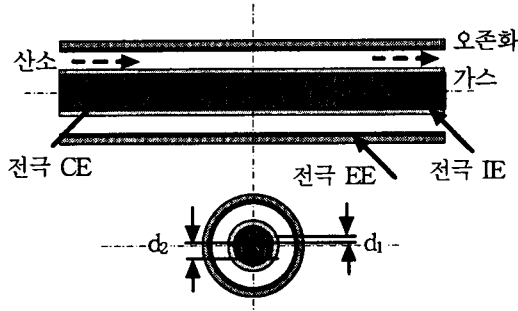


그림 3. DLO의 개략도  
Fig. 3. The schematic diagram of DLO

이들 3개의 전극중 전극 CE를 공통접지하고, 전극 IE와 EE에 180°의 위상차를 가진 교류고전압을 각각 인가하므로써 DLO는 전극 IE와 CE 사이에 발생하는 무성방전과 전극 EE와 CE 간에 발생하는 무성방전이 중첩되는 구조이다.

본 연구에 사용된 원료가스는 상업용 산소(순도 : 99.99[%])를 사용하였으며, regulator(0~250[kgf/cm<sup>2</sup>])와 유량계(0 ~ 25[l/min])로써 산소 원료가스의 유량(Q)이 2, 4, 8, 12 및 16[l/min]가 되도록 조정하면서 DLO에 유입시켜 방전 gap d1과 d2에서 각각 발생하는 무성방전의 중첩에 의하여 오존화가스를 생성시켰다. 이때, 기상용 오존모니터(0 ~ 100,000[ppm], Okitronics社)를 사용하여 생성된 오존화가스를 매시럽마다 0.3[l/min]로 표본추출하여 오존생성농도(O<sub>3con</sub>)를 측정후, 오존발생량(O<sub>3g</sub>) 및 오존생성수율(O<sub>3Y</sub>)을 계산하였다. 전원장치는 상용의 transformer(입력전압 : AC 220[V], 출력전압 : 0 ~ 15[kV], 이하 NT)를 사용하였으며, DLO의 개수(N)에 따라서 NT를 각각의 DLO에 독립적으로 공급하였다.

그리고 DLO로부터 출력되는 전압(V<sub>d</sub>)·전류치(I<sub>d</sub>) 및 파형은 각각 고전압분압기(분압비 2000 : 1)에 의하여 감쇄된 전압과 무유도저항[50[Ω]±0.1[%])의 양단전압을 digital oscilloscope(500 [MHz], 1[Gs/s], LeCroy), personal computer(CPU 80586) 및 printer를 사용하여 측정·출력하였다.

방전전력(W<sub>a</sub>)은 digital powermeter(0~9999[W], Light Star社)를 이용하여 DLO방전시의 전력, 전원장치의 전력손실 및 선로손실 등을 포함한 전원장

치 입력단에서의 DLO를 이용한 오존발생장치 전체 회로에서 소모되는 평균전력을 측정하여 채택하였다.

그리고 제작된 DLO의 방전특성을 연구하기 위하여 전원장치의 출력전압(V<sub>2</sub>) 및 Q의 변화에 따른 V<sub>d</sub>, I<sub>d</sub> 및 W<sub>d</sub>를 측정하였다. 이때, V<sub>d</sub>, I<sub>d</sub> 및 W<sub>d</sub>는 V<sub>2</sub>를 상승시킨 경우 오존이 생성될 때의 전압, 전류 및 전력치이고 각각 5회씩 측정하여 산술평균한 실험치이다.

또한 DLO의 오존생성특성을 연구하기 위하여 Q, W<sub>d</sub> 및 N의 변화에 따른 O<sub>3con</sub>, O<sub>3g</sub> 및 O<sub>3Y</sub>특성을 연구검토하였다. 여기서 O<sub>3con</sub>는 5분간 DLO의 방전을 지속시켰을 때 그 최대치를 각각 5회 측정하여 산술평균한 값을 채택하였으며, N이 2 및 3인 경우의 오존생성특성은 원료가스의 流路를 직렬연결하여 O<sub>3con</sub>, O<sub>3g</sub> 및 O<sub>3Y</sub>를 측정·계산하였다. 특히 N이 2인 경우는 설계·제작된 3개의 DLO를 2개씩 조합하여 O<sub>3con</sub>, O<sub>3g</sub> 및 O<sub>3Y</sub>를 측정·계산한 후 산술평균한 값을 채택하였다.

또한, 설계·제작된 DLO를 이용한 대기환경개선 분야로의 적용가능성을 검토하기 위하여 DLO의 출력구경 150[mm]의 지점에서 NO가스(NO/N<sub>2</sub>, 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<sub>3con</sub>과 내부전극 IE의 두께(t)의 변화에 따른 NO제거율(NOrr[%])을 식(7)을 이용하여 연구검토하였다.

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

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 방전특성

그림 4는 산소 원료가스의 유량(Q)을 매개변수로 하였을 때, DLO 전원장치의 출력측 전압(V<sub>2</sub>)에 대한 방전전압(V<sub>d</sub>) 및 방전전류(I<sub>d</sub>) 특성을 나타낸 것이다.

그림에서 V<sub>d</sub> 및 I<sub>d</sub>는 V<sub>2</sub>가 증가함에 따라서 상승하였다. 즉, V<sub>2</sub>가 증가됨에 따라서 DLO의 방전 gap d<sub>1</sub>, d<sub>2</sub>에서 무성방전의 중첩이 형성되는 방전영역이 확대되면서 방전면적이 크게 된 결과 V<sub>d</sub> 및 I<sub>d</sub>가 상승하는 것이다. 그리고 Q가 감소됨에 따라서

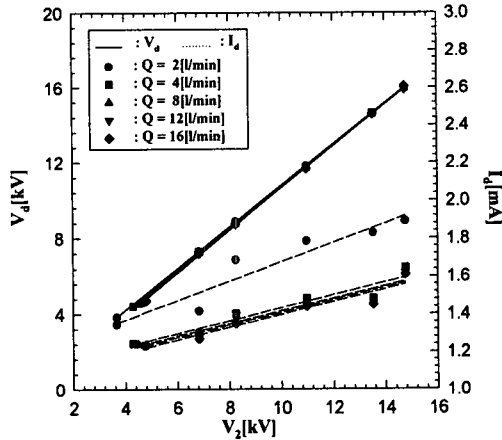
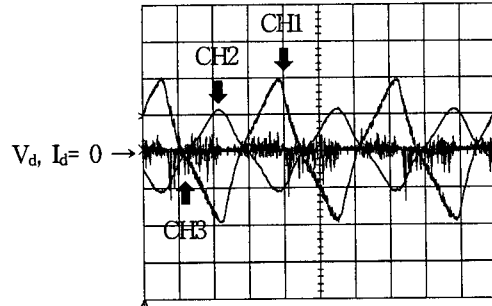


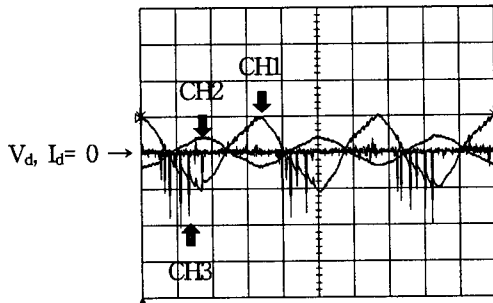
그림 4.  $V_2$  및  $Q$ 의 변화에 따른  $V_d$  및  $I_d$  특성  
Fig. 4. The characteristics of  $V_d$  and  $I_d$  with variation of  $V_2$  and  $Q$



CH1 : 2[kV/div], CH2 : 10[kV/div],  
CH3 : 40[mA/div]  
CH1, CH2, CH3 : 5[ms/div]

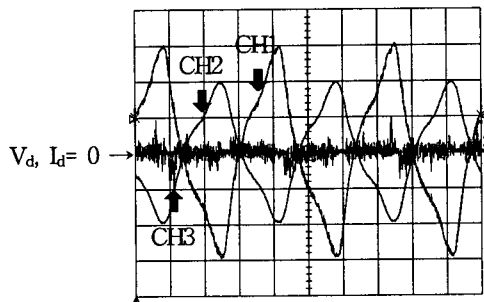
(c)  $V_d = 16.9$  [kV],  $I_d = 1.9$  [mA]

그림 5.  $Q = 2$  (l/min)인 경우,  $V_2$ 의 변화에 따른  $V_d$  및  $I_d$  파형  
Fig. 5. The waveforms of  $V_d$  and  $I_d$  with variation of  $V_2$  for  $Q = 2$  (l/min)



CH1 : 2[kV/div], CH2 : 10[kV/div],  
CH3 : 40[mA/div]  
CH1, CH2, CH3 : 5[ms/div]

(a)  $V_d = 3.8$  [kV],  $I_d = 1.4$  [mA]



CH1 : 2[kV/div], CH2 : 10[kV/div],  
CH3 : 40[mA/div]  
CH1, CH2, CH3 : 5[ms/div]

(b)  $V_d = 11.8$  [kV],  $I_d = 1.8$  [mA]

$V_d$ 는 저하되고,  $I_d$ 는 상승하는 것으로 나타났다. 이것은  $Q$ 가 감소될수록 산소원료가스중에 포함된 산소분자가 DLO의 방전공간에서 체류하는 시간이 길어지게 된다.

이때, 전극 IE-CE 간의 무성방전, 전극 EE-CE 간의 무성방전이 중첩되면서 발생한 전자와 산소분자의 접촉확률이 크게되어 낮은  $V_d$ 에서 오존이 생성되면서  $I_d$ 가 상승하게 된다.

그림 5의 (a), (b) 및 (c)는 그림 4에서  $Q$ 가 2 [l/min]일 때  $V_2$  증가에 따른  $V_d$  및  $I_d$ 의 파형을 각각 나타낸 것이다.

이때, (a)는 중첩무성방전이 개시될 때의  $V_d$  및  $I_d$  파형이고 각 파형에서 CH1 및 CH2는 IE 전극, EE 전극의 전압파형이며, CH3는 공통접지전극 CE의 전류파형이다.

그림과 같이 CH1과 CH2의  $V_d$  파형은 주파수 60 [Hz]와 180 [°]의 위상차를 가진 정현파임을 알 수 있었으며, CH2의  $V_d$ 가 CH1의  $V_d$ 보다 높게 나타났다. 이것은 전극 CE와 EE 사이의 gap( $d_1+d_2 = 1.9+0.4$  [mm])이 전극 IE와 EE 간의 gap( $d_2 = 1.9$  [mm])보다 크기 때문에 그에 따른 절연내력의 상승에 기인된 것이라고 생각된다.

그리고 CH3의  $I_d$  파형은 DLO의 유전체로 사용된 glass 및 방전 gap이 정전용량의 성분을 가지기 때문에 전압파형보다 진상으로 되면서 正負전류 pulse가

증첩되어 나타났다. 이러한 正負 전류 pulse 는 결국 중첩 무성방전이 발생됨을 의미하는 것이며, 전류 pulse 가 나타나는 시점은 전압파형이 正負의 최대치에 이를 때까지 주로 나타났다.

그림 5에서 正負전류 pulse 의 분포를 살펴보면, DLO 의 오존이 생성되는 초기에는 전극 CE-EE 간의 gap 보다 크기가 작은 gap 인 전극 IE-EE 간의 Vd 파형(CH1)에 준하여 전류 pulse 의 극성이 결정되었으며, Vd 및 Id 가 상승됨에 따라서 正負전류 pulse 의 peak 치가 증가되었다.

그리고 Vd 가 증가할수록 전극 IE-EE 간의 무성방전이 전극 CE-EE 간의 무성방전보다 더욱더 활성화되면서 전류파형도 CH1 전압파형의 극성에 준하여 형성되고, 正負 전류 pulse 數 및 peak 치가 증가되면서 전류 pulse 가 존재하지 않는 중첩 무성방전의 휴지기간이 짧아져서 Id 가 상승하는 것을 확인할 수 있었다.

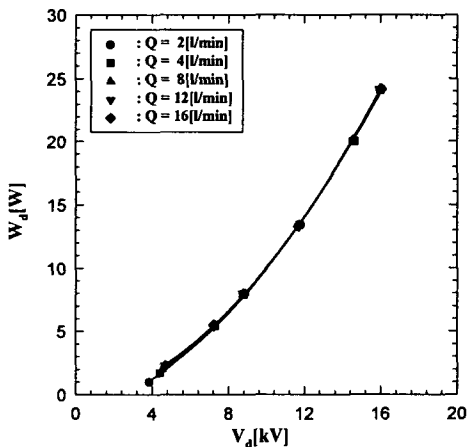


그림 6. Vd 및 Q 의 변화에 따른 Wd 특성  
Fig. 6. The characteristics of Wd with variation of Vd and Q

그림 6은 그림 4의 Vd, Id 특성과 연계하여 방전전력(Wd)에 따른 DLO 의 오존생성특성을 평가하기 위하여 Vd 및 Q 변화에 따라 Wd 을 측정 한 것이다.

그림과 같이 Wd 는 Vd 에 비례하여 상승되는 것을 알 수 있었다. 이것은 그림 4, 5와 같이 Vd 가 증가되면 gap d1 과 d2 에서의 중첩 무성방전이 촉진되어 방전휴지기간이 짧아지면서 Id 도 높게되어 Wd 가 상승되는 것이다. 또한 Vd 및 Id 가 증가됨에 따

라서 DLO 의 방전면적이 확대됨과 동시에 유전체로 사용된 glass 의 정전용량에 의한 축적에너지가 Vd 에 비례하므로 결국 Wd 도 이에 준하여 상승되는 것이다.

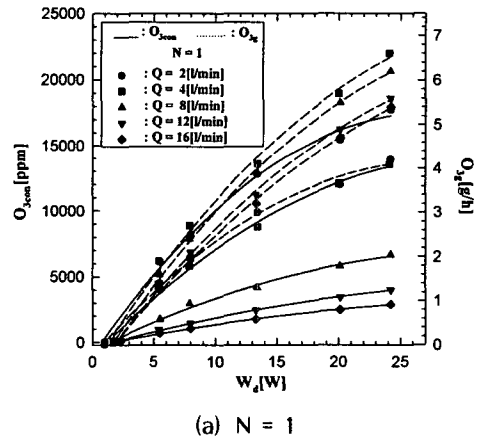
## 4.2 오존생성특성

### 4.2.1 방전전력-오존생성농도·발생량 특성

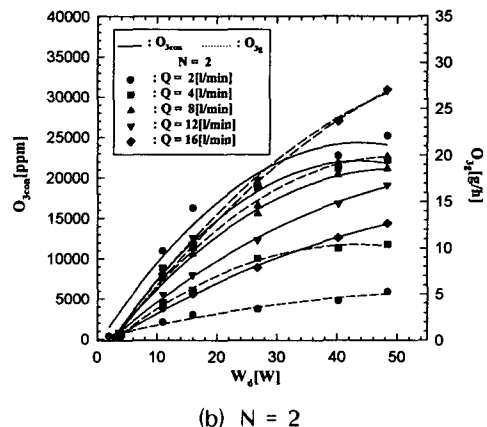
그림 7의 (a), (b) 및 (c)는 DLO 의 개수(N)가 각각 1, 2 및 3인 경우, Wd 및 Q 의 변화에 따른 오존생성농도(O3con) 및 오존발생량(O3g) 특성을 나타낸 것이다.

각 그림에서 O3con 은 Wd 가 증가됨에 따라서 직선적으로 상승하다가 그 상승율이 둔화되었으며, Q 가 감소될수록 상승하는 것으로 나타났다.

그 결과 Wd 가 각각 24.2, 48.4 및 72.6[W]일 때 17720, 25200 및 26680[ppm]의 최대 O3con을 얻었다.



(a) N = 1



(b) N = 2

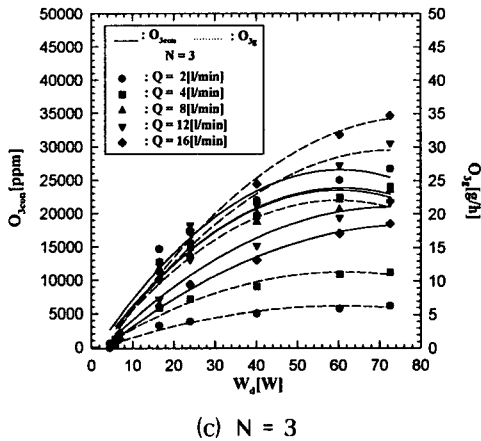


그림 7. N = 1, 2, 및 3인 경우, W<sub>d</sub> 및 Q의 변화에 따른 O<sub>3con</sub> 및 O<sub>3g</sub> 특성  
 Fig. 7. The characteristics of O<sub>3con</sub> and O<sub>3g</sub> with variation of W<sub>d</sub> and Q for N = 1, 2 and 3

표 1. Q의 변화에 따른 T<sub>1</sub> 및 T<sub>2</sub>  
 Table 1. T<sub>1</sub> and T<sub>2</sub> with variation of Q

Q [l/min]	T <sub>1</sub> [ms]	T <sub>2</sub> [ms]
2	448	18
4	224	9.0
8	112	4.5
12	75	3.0
16	56	2.3

또한, W<sub>d</sub>가 증가할수록 DLO의 방전공간에는 전극 CE-EE 간의 무성방전, 전극 CE-IE 간의 무성방전의 중첩이 활성화되면서 기저상태 산소분자(O<sub>2</sub>)의 해리에너지(≒ 5.1[eV])[1]를 가지는 전자뿐만 아니라 해리에너지 이하의 전자에 의한 여기 산소분자(O<sub>2</sub><sup>\*</sup>)를 해리작용을 일으키는 전자수가 많아지면서 식 (5) 및 (6)과 같은 반응이 촉진되면서 O<sub>3con</sub>이 상승되었다. 그러나, W<sub>d</sub>가 상승하여 DLO의 방전공간이 고농도 오존영역이 되면, 식 (3) 및 (4)와 같은 오존과 산소원자에 의한 오존분해작용도 활발해져서 O<sub>3con</sub>의 상승율이 둔화되는 것이다.

또한 Q가 감소될수록 O<sub>3con</sub>이 상승하는데, 이것은 Q가 감소될수록 산소원료가스중에 포함된 산소분자가 방전영역에서 체류하는 시간이 길어져서 DLO의 중첩 무성방전에 의하여 발생된 전자와의 충돌확률

이 증가되므로 오존생성반응이 촉진된 결과라고 생각된다.

즉, 표 1과 같이 산소 및 오존화 가스는 Q가 감소될수록 DLO의 방전공간(길이: 130[mm], 체적: 13,432[mm<sup>3</sup>])을 통과하는 시간 T<sub>1</sub>와 5[mm] 간격으로 나선형으로 감은 DLO 외부전극 EE의 나선간을 통과하는 시간 T<sub>2</sub>가 길어지므로 수 ms로 알려지고 있는 O<sub>2</sub><sup>\*</sup>의 수명[2]을 고려하였을 때, 식 (5) 및 (6)에 의한 오존생성반응이 활발해지면서 O<sub>3con</sub>이 상승되는 것으로 판단된다.

이와 같이 W<sub>d</sub>가 증가할수록 O<sub>3con</sub>은 상승되나, 높은 W<sub>d</sub>영역에서는 O<sub>3con</sub>의 상승율이 서서히 둔화되고, Q가 감소될수록 O<sub>3con</sub>이 상승한다는 것을 필자들은 많은 연구결과[9][10][11][12]를 통하여 확인한 바 오존발생기의 방전개시 이후, 즉 초기 O<sub>3con</sub>부터 10,000[ppm]의 O<sub>3con</sub> 범위에서는 N이 1, 2 및 3일 때 W<sub>d</sub>의 변화에 따른 O<sub>3con</sub> 특성은 식 (7)과 같이  $\sqrt{W_d}$  함수로 얻어지고, O<sub>3con</sub>의 상승율은 계수 b에 의하여 결정된다는 것을 알 수 있었다.

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

식 (7)에서 a, b는 상수, W<sub>d</sub>의 단위는 watt 및 O<sub>3con</sub>의 단위는 ppm이다.

결국, 방전을 이용한 오존발생기에 의한 오존발생시 초기 O<sub>3con</sub>을 높게 하는 것이 고농도·고수율 오존발생기 개발을 위한 중요한 결정요인 되는 것이다.

그리고 그림 7의 (a), (b) 및 (c)에서 O<sub>3g</sub> 특성은 W<sub>d</sub>가 증가될수록 상승하였으나, Q의 변화에 따라서는 각각 Q가 4, 12 및 16[l/min]에서 최대 O<sub>3g</sub>가 나타났다. 그 결과 그림 7의 (a)에서는 Q가 4[l/min]이고 W<sub>d</sub>가 24.2[W]일 때 6.7[g/h]의 최대 O<sub>3g</sub>를 얻을 수 있었으며, 그림 7의 (b) 및 (c)에서는 Q가 12, 16[l/min]이고 W<sub>d</sub>가 48.4, 72.6[W]일 때 각각 27.2 및 34.7[g/h]의 최대 O<sub>3g</sub>를 얻을 수 있었다.

즉, W<sub>d</sub>가 증가할수록 DLO의 중첩 무성방전에 의하여 생성된 전자수가 많아지면서 식 (1), (2), (5) 및 (6)과 같이 기저상태의 산소분자 및 여기상태의 산소분자의 충돌해리작용이 촉진된 결과 O<sub>3g</sub>가 상승하는 것이다.

또한, Q의 변화에 따른 O<sub>3con</sub>과 오존으로 생성되

는 산소원료가스의 공급량 특성으로 결정되는  $O_{3g}$  는  $Q$  가 낮을수록 전술한 바와 같이  $O_{3con}$  은 상승하지만, 원료가스 공급량은  $Q$  가 증가할수록 많아지므로  $O_{3con}$  과는  $Q$  의 변화에 따라서 서로 역의 관계라 할 수 있다. 그러므로  $O_{3g}$  는  $Q$  가 증가에 따른  $O_{3con}$  의 감소분과 원료가스 공급량 증대에 따른  $O_{3g}$  의 상승분이 서로 같게되는 유량영역에서 최대  $O_{3g}$  가 주어지게 되는 것이다.

이때, 최대  $O_{3g}$  가 나타나는  $Q$  는  $W_d$  및  $O_{3con}$  이 클수록 더욱더 높은 유량영역에서 나타나고,  $W_d$  및  $O_{3con}$  이 작은 경우에는 낮은 유량영역에서 주어진다 는 것을 필자들은 확인한 바 있다[10].

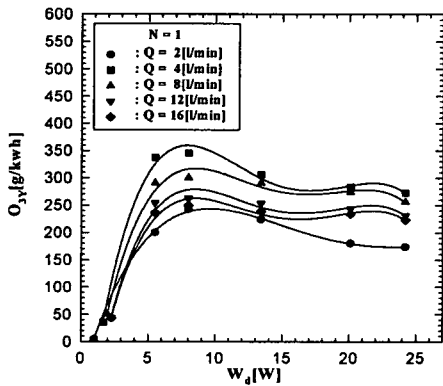
따라서 그림 7의 (a)와 같이  $O_{3con}$  이 낮은 경우는 식 (3) 및 (4)와 같은 오존의 분해반응이 전자에 의한 기저상태 산소분자 및 여기상태 산소분자의 충돌 해리에 따른 오존의 생성반응보다 작아진 결과 최대  $O_{3g}$  가 나타나는  $Q$  는  $4[l/min]$ 인 것이다.

그러나, 그림 7의 (b) 및 (c)와 같이  $O_{3con}$  이 높은 경우는 방전영역에 존재하는 오존의 공간밀도가 상승하여 그에 따른 오존분해반응도 그림 7의 (a)와 같은 저농도영역보다 활발하게 형성되므로서  $Q$  가 12 및  $16[l/min]$ 에서 최대  $O_{3g}$  가 나타나는 것이다.

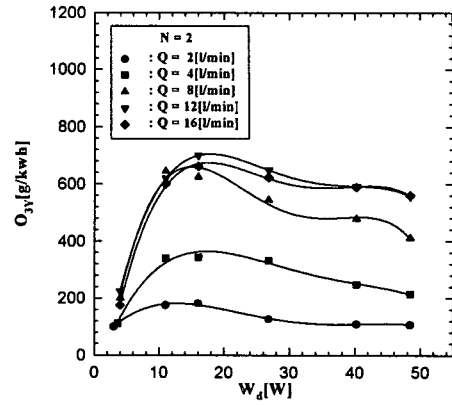
#### 4.2.2 방전전력-오존생성수율 특성

그림 8의 (a), (b) 및 (c)는  $N$  이 각각 1, 2 및 3인 경우,  $W_d$  및  $Q$  의 변화에 따른 오존생성수율( $O_{3Y}$ ) 특성을 나타낸 것이다.

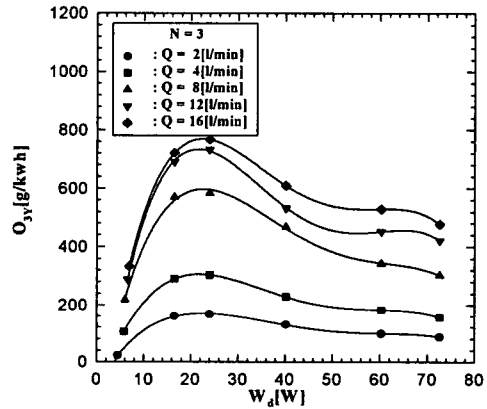
각 그림에서  $O_{3Y}$  는  $W_d$  가 증가할수록 극대점이 존재하는 것으로 나타났으며,  $N$  변화에 따라서는 각각  $Q$  가 4, 12 및  $16[l/min]$ 에서 최대  $O_{3Y}$  가 나타났다.



(a)  $N = 1$



(b)  $N = 2$



(c)  $N = 3$

그림 8.  $N = 1, 2,$  및  $3$ 인 경우,  $W_d$  및  $Q$  의 변화에 따른  $O_{3Y}$  특성

Fig. 8. The characteristics of  $O_{3Y}$  with variation of  $W_d$  and  $Q$  for  $N = 1, 2$  and  $3$

그 결과 그림 8의 (a)에서는  $W_d$ 가  $8.0[W]$ 이고  $Q$  가  $4[l/min]$ 일 때 최대  $345.5[g/kwh]$ , (b)의 경우는  $W_d$ 가  $15.8[W]$ 이고  $Q$ 가  $12[l/min]$ 일 때 최대  $700.0[g/kwh]$ , (c)에서는  $W_d$ 가  $24.0[W]$ 이고  $Q$ 가  $16[l/min]$ 일 때 최대  $783.0[g/kwh]$ 을 얻었다.

$O_{3Y}$  는 방전형태와 방전영역에서의 온도효과에 의해서 결정되는데,  $W_d$ 가  $O_{3Y}$ 의 극대점까지는 DLO의 중첩 무성방전에 따른 오존생성반응이 활성화되지만, 그 이상의  $W_d$  에서는 오존의 공간밀도가 상승됨과 동시에 전력밀도 또한 높아져서 DLO 방전공간의 온도가 상승하게 된다. 그 결과, 오존의 분해반응이 촉진되면서  $O_{3Y}$  가 저하되는 것이라고 생각된다.



또한, Q 의 변화에 따라서는  $1/W_d$ 와  $O_{3g}$ 의 積으로 주어지는  $O_{3Y}$ 는 전술한  $O_{3g}$ 특성과 같이 최대  $O_{3Y}$ 가 나타나는 Q 는  $O_{3con}$ 이 클수록 더욱더 높은 유량 영역에서 나타나므로 그림 8의 (a)와 같이 저농도 영역에서는 Q 가 4[l/min]에서 최대  $O_{3Y}$ 가 나타나지만, 고농도 영역으로 갈수록 최대  $O_{3Y}$ 가 나타나는 Q 가 높아지는 것이다.

#### 4.2.3 NO가스의 제거 특성

그림 9는 설계 · 제작한 DLO 에 대한 대기환경개선분야로의 적용가능성을 연구하고자  $O_{3con}$  및 DLO의 메쉬형 내부전극의 두께(t) 변화에 따른 NO 가스( $NO/N_2$  : 1630[ppm])의 제거율( $NO_{rr}$ [%])을 식 (7)을 이용하여 검토하였다.

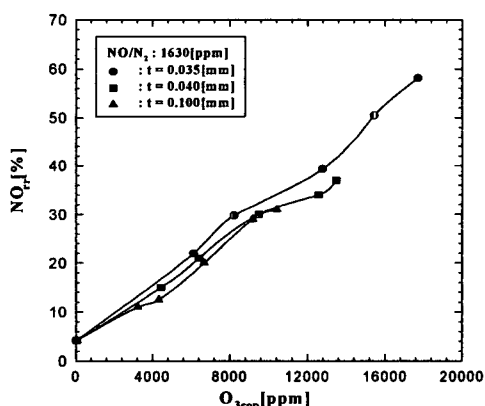
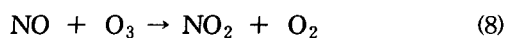


그림 9.  $O_{3con}$  및 t 의 변화에 따른  $NO_{rr}$  특성  
Fig. 9. The characteristics of  $NO_{rr}$  with variation of  $O_{3con}$  and t

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 t가 감소할수록 DLO의 방전공간에서 무성방전의 중첩이 더욱더 활발하게 형성되어  $O_{3con}$ 이 증가하면서  $NO_{rr}$ 이 상승하는 것이다[13][14].



## 5. 결 론

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 연구검토한 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, 이들 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.

환경개선용 기체전기방전을 이용한 오존발생기술 개발

- [2] Jen Shih Chang, "Corona discharge processes", IEEE Trans. Plasma Science, Vol.19, No.8, 1991.
- [3] Bruno Langlais David A, "Ozone in water treatment ; application and engineering". American Water Works Association Research Foundation, 1991.
- [4] Rice Aharan Netzer, "Handbook of ozone technology and applications volume II", An Ann Arbor Science Book, 1984.
- [5] 山部長兵衛, "オゾンの發生技術", 電學論, 114卷4號, 1993.
- [6] B.Eliasson & U.Kogelschatz et al, "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharges", J.Phys.D, Appl.Phys., 20, pp.1421 ~ 1437, 1987.
- [7] B.Eliasson & U.Kogelschatz, "Modeling & applications of silent discharge plasma", IEEE translation on plasma science, Vol.19, No.2, pp.309 ~ 323, 1991.
- [8] 井關 昇, "オゾンナイザにおけるオゾン生成機構と今後の課題", 静電氣學會誌, Vol.7, No.3, pp.142 ~ 149, 1993
- [9] 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 and High Voltage Engineering, pp.93~97, 1996.
- [10] 송 현직, 중점방전형 오존발생기의 특성과 환경개선에 관한 연구, 박사학위논문, 1997.
- [11] 송 현직, 이 광식, 이 동인, "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.
- [12] 송 현직, 이 광식, 이 동인, "네온방전형 오존발생기의 방전특성 및 오존생성특성에 관한 연구", 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1857 ~ 1860, 1996.
- [13] 東學, "放電プラズマによるディーゼル排氣ガス中のすすおよびNOx同時處理", 電學論A, 115卷5號, 平成3年.

- [14] C.Yamabe, "Fundamental studies on NOx treatment with a pulsive atmospheric glow discharge", HAKONE IV Bratislava, pp.75 ~ 79, 1993.

이 논문은 1999년도 구미1대학의 연구비에 의하여 연구되었음.

◇ 저자소개 ◇

이 동 현 (李東憲)

1953년 7월 21일생. 1977년 경북대 물리학과 대학 물리학과 졸업. 1995년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 구미1대학 전기과 부교수, 한국조명·전기설비학회 대구·경북지회 이사.

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 구미1대학 전기과 전임강사.

구건호 (具健孝)

1958년 1월 30일생. 1981년 동아대 농학과 졸업. 1986년 경북대 대학원 농공학과 졸업(석사). 1994년 동 대학원 농공학과 졸업(박사). 현재 구미1대학 환경원에 과학과 조교수.