

## 내부전극의 진공도 변화형 오존발생기의 특성

( Characteristics of Vacuum Variation Type Ozonizer of Internal Electrode )

이창호●\*, 전병준▲, 김영재▼, 이광식●

(Chang-Ho Lee, Byung-Joon Chun, Sang-Keun Lee, Hyen-Gig Song, Kwang-Sik Lee)

영남대학교●, SFA 연구원▲, 대구광역시청▼

(Yeungnam Univ●, SFA Institute▲, Daegu City Hall▼)

### Abstract

In this paper, a double cylindrical type superposed silent discharge type ozonizer which internal electrode can be produced a vacuum has been designed and manufactured. Discharge and ozone generation characteristics have been investigated in accordance with output voltage of power supply, flow-rate, discharge power and vacuum of internal electrode.

### 1. 서론

오존은 1785년 Van Marum이 전기방전실험에서 특이한 냄새를 감지한 이후, 1840년 C. F. Schonbein에 의하여 그리스어 「ozein」 으로부터 「ozone」 이라命名하였고, 1845년에는 산소로부터 오존을 만드는 실험을 행하여 오존이 산소원자로 구성된 것을 증명하였다.

오존을 발생시키는 방법으로서는 무성방전법, 광화학법, 전해법, 고주파전계법, 방사선조사법 및 자외선조사법 등 물리적·화학적 방법이 사용되고 있지만, 그 중에서도 Siemens가 개발한 무성방전형 오존발생기가 안정성, 조작성 및 제어의 간편성 등에서 가장 널리 사용되고 있다.

무성방전형 오존발생기의 방전 및 오존생성에 영향을 미치는 원료가스의 종류, 온도, 습도, 인가전압, 전류 및 소비전력 등의 제인자에 관한 연구를 통한 오존생성수율의 향상이 필연적이라 할 수 있다.

이러한 관점에서 본 논문에서는 2개의 유전체와 3개의 전극을 사용한 중첩방전형 오존발생기를 설계·제작한 후 내부유전체 내부의 진공도에 따른 오존생성특성 및 방전특성을 연구하였다.

### 2. 본론

#### 2.1. 실험장치

그림1은 오존 발생기, 원료가스 공급장치, 전원장치, 계측장치 및 내부유전체를 배기시킬 수 있는

진공펌프 등으로 오존 발생장치를 구성하여 오존 발생기의 방전 특성 및 오존 생성특성을 연구하기 위한 실험 장치의 배치도이다.

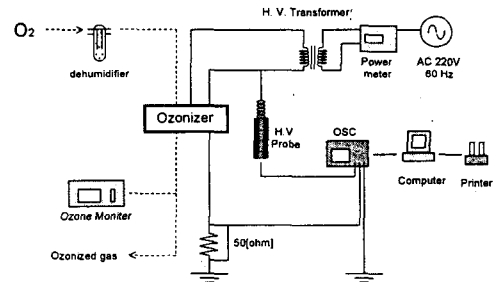


그림 1. 중첩방전형 오존발생기장치의 배치도  
Fig. 1. Arrangement diagram of the Ozonizer System

그림2는 본 논문에서 설계·제작된 2개의 유전체와 3개의 전극으로 구성된 방전관은 외부유전체로 사용된 원통형의 pyrex glass( 두께 : 1.1[mm], 외경 : 12.9[mm] ) 내부에 중심전극( 재질 : Tungsten(W), 두께 : 1.0[mm], 길이 : 250[mm] )을 장착하였다. 이때 내부유전체인 pyrex glass관 외부에 감긴 내부전극은 두께가 0.5[mm]인 Tungsten을 5[mm]간격으로 감아 사용하였다. 또한, 외부유전체로는 pyrex glass관( 외경 : 18.0[mm], 두께 : 1.82[mm], 길이 : 250[mm] )을 사용하였으며, 외부유전체의 외부에 접지측인 외부전극( 재질 : Cu tape )을 장착하여 오존 발생기를 구성하였다. 본 논문에서 설계·제작된 오존발생기는 로타리 진공펌프를 사용하여 내부유전체 내부를 진공배기할

수 있도록 제작되었다. 이에 본 논문에서는 내부유전체의 진공도에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구·검토하였다.

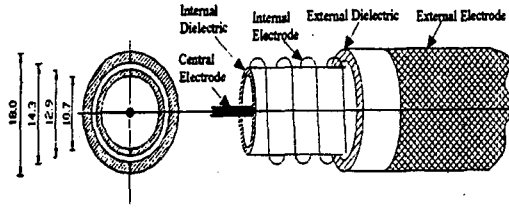


그림 2. 방전관의 개략도

Fig. 2. Schematic diagram of discharge tube

## 2.2. 실험방법

무성방전을 이용한 중첩방전형 오존발생장치의 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하기 위하여 먼저 전원장치(NT)의 입력전압을 변화시키면서 무부하시 NT의 출력전압을 측정하였다.

오존발생기의 방전특성을 연구·검토하기 위하여 원료가스의 유량, NT의 출력전압 및 방전갭의 변화에 따른 오존발생기의 방전전압 및 방전파형을 digital storage oscilloscope와 컴퓨터 및 프린터를 이용하여 출력하였다.

여기서 방전전압은 중심전극-외부전극 사이에 인가된 전압과 내부전극-외부전극 사이에 인가된 전압을 더한 값, 즉 오실로스코프의 CH1과 CH2에서 측정된 방전전압 값을 더한 값이다.

오존생성농도( $O_{3con}$ )를 측정하기 위하여 오존발생기 내에서 발생한 오존화가스를 매 실험마다  $0.3[\ell/min]$ 로 sampling 하여 자외선 흡수방식의 기상용 오존 monitor로 측정하여, 유량 및 방전전력의 변화에 따른 오존생성농도( $O_{3con}$ ), 오존발생량( $O_{3g}$ ) 및 오존생성수율( $O_{3Y}$ ) 등을 측정 및 계산하였다.

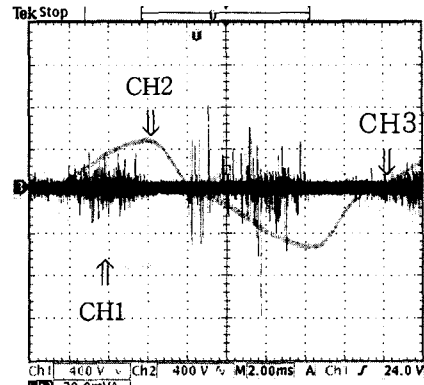
내부유전체의 진공도 변화에 따른 오존생성특성을 연구하기 위하여 진공펌프로 내부유전체 내부를 강제 배기시키면서 피라니 진공계지로 진공도를 조절하였다. 본 연구에서는 진공도를  $0.1[Torr](=13.3[Pa])$ ,  $1[Torr](=133[Pa])$  및  $760[Torr](=101,300[Pa]=1[atm])$ 의 3단계로 조절한 후, 각각의 진공도에 대한 방전특성 및 오존생성특성을 연구하였다.

## 2.3. 실험결과

### 2.3.1 중첩방전형 오존발생기의 방전특성

그림 3의 (a)~(b)는 유량이  $2[\ell/min]$ , 진공도가  $760[Torr]$ 인 경우,  $V_d$  및  $I_d$ 의 파형을 측정된 것이

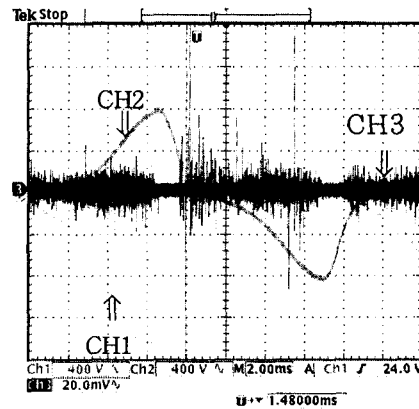
다. 여기서, CH1은 중심전극인 Tungsten에 인가된 전압파형이며, CH2는 내부전극인 나선형 Tungsten전극에 인가된 전압파형이고, CH3는 공통접지전극인 외부전극의 전류파형이다



CH1, CH2 : 4[kV/div], CH3 : 20[mV/div]

CH1, CH2, CH3 : 2[ms/div]

( a )  $V_d = 7.54[kV]$ ,  $I_d = 0.25[ mA ]$



CH1, CH2 : 4[kV/div], CH3 : 20[mV/div]

CH1, CH2, CH3 : 2[ms/div]

( b )  $V_d = 12.06[kV]$ ,  $I_d = 0.32[ mA ]$

그림 3. 방전전압, 전류파형(유량 =  $2[\ell/min]$ ,  $760[Torr]$ )

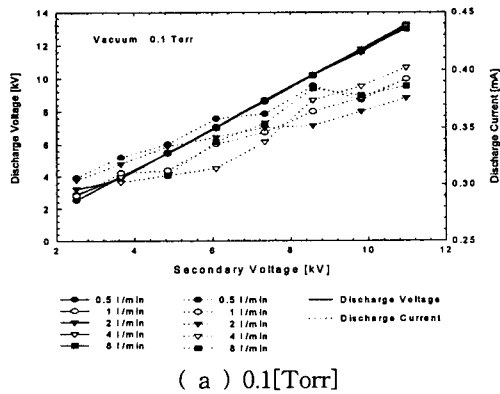
Fig. 3. The waveform of discharge voltage and current

각 그림에서 CH1의  $V_d$ 가 CH2의  $V_d$  보다 높은 것은 중심전극과 내부전극 사이의 갭에 비하여 중심전극과 외부전극 사이의 갭이 상대적으로 크기 때문에 절연내력이 상승한 결과이며,  $I_d$ 의 파형은 방전을 중첩시킴으로 인해 正負의 전류가 중첩되어 正負의 최대치에 도달할 때까지 펄스로 나타나 구간에서 무성방전이 발생한다.

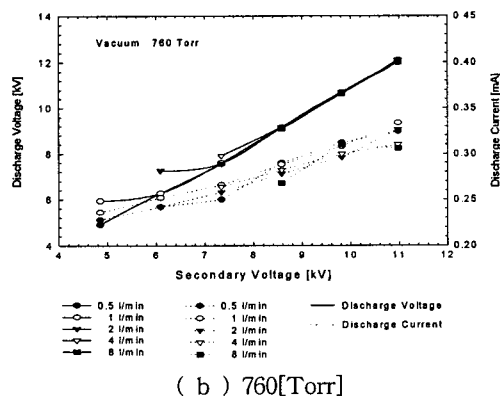
또한, 正負의 최대치 이후 절연물 표면에 축적되어 있는 전하에 순간적으로 역 전계가 걸리므로 방전이 일시에 정지되어 펄스 형태의 전류파형이 나타나고, 방전휴지구간이 형성된다.

하지만 인가전압이 180[°]의 위상차를 가지고 있기 때문에 방전이 중첩되어 단독 무성방전형인 경우보다 방전휴지구간이 짧아짐을 알 수 있었으며, 방전 gap의 capacitance 성분에 의하여 방전전류가 방전전압에 비하여 진상이 됨을 볼 수가 있었다.

그림 4의 (a)-(b)는 중첩방전형 오존발생기의 중심전극 및 외부전극에 역극성의 교류고전압을 인가하여 방전갭에서 중첩무성방전을 발생시킬 때, 각각의 진공도에서 유량을 변화시킬 경우, 전원장치 입력전압(NT)의 2차 전압변화에 따른 방전전압 및 방전전류를 측정된 것이다.



( a ) 0.1[Torr]



( b ) 760[Torr]

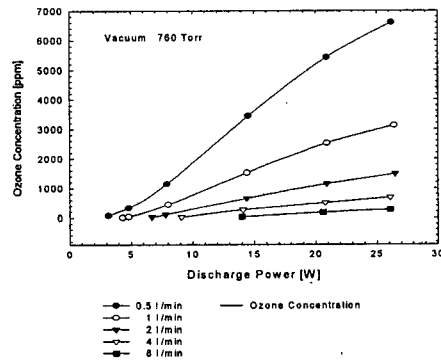
그림 4. 진공도에 따른 방전전압, 방전전류 특성  
Fig. 4. The characteristics of discharge voltage and current with variation of vacuum

그림에서 NT의 2차 전압이 높아질수록 방전전압 및 방전전류는 증가하였고, 방전전압은 유량의

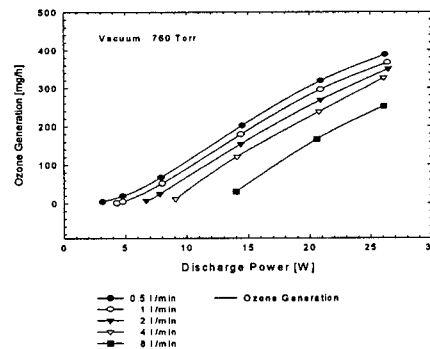
변화에 따라 큰 차이가 없었으나, 방전전류는 유량에 따라 미소한 변화가 있는 것으로 나타났다. 그리고 내부유전체의 진공도가 낮을수록 방전전류는 미소하게 감소하는 것을 알 수 있었다.

### 2.3.2 방전전력-오존생성농도 및 오존 발생량 특성

그림 5의 (a)-(b)는 진공도가 760[Torr]일 때, 유량을 매개변수로 한 경우 방전전력(  $W_d$  )의 변화에 따른  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 의 특성을 나타낸 것이다.



( a ) 오존농도



( b ) 오존발생량

그림 5. 760[Torr]일 때 오존농도 및 발생량특성  
Fig. 5. The characteristics of ozone concentration and generation at 760[Torr]

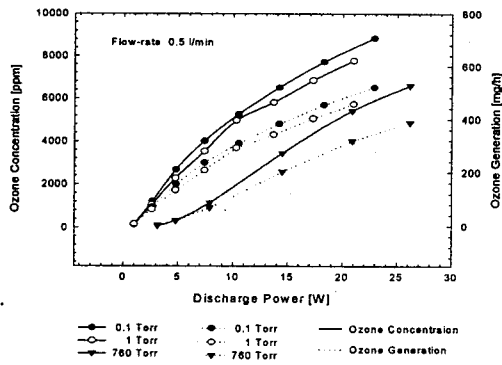
그림에서 보는 것과 같이 각각의 유량에서  $W_d$ 가 증가할수록  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 상승하였다.

이것은 오존발생기에 가해지는 입력에너지가 상승함에 따라서 중심전극-외부전극 및 내부전극-외부전극 사이에서 중첩된 무성방전이 동일한 방전공간에서 발생된 결과 방전이 증대되어 산소분자의 해리를 촉진시킨 결과이다.

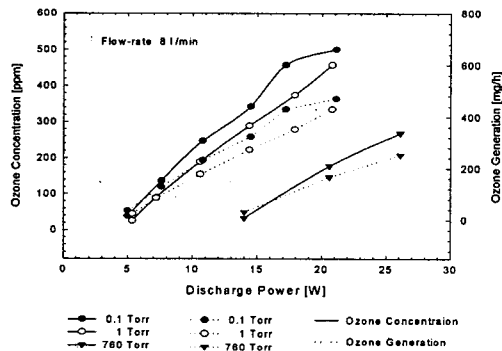
진공도가 낮을 수록 내부유전체 내부에 하전입자나 유동공기입자가 많기 때문에 중심전극에서

발생된 전자의 평균자유행정이 그 만큼 짧아지게 된다. 따라서 방전공간 내에서의 전리확률이 감소하게 되므로, 상대적으로 전극간의 거리가 먼 중심전극-외부전극 사이의 전압이 더 많이 걸리게 된다. 이는 무성방전의 활성화가 내부유전체 내의 진공도가 높은 경우에 비하여 약하게 되므로 전체적인 오존농도의 저하를 유발하게 된다.

그림 6의 (a)-(b)는 유량이 각각 0.5 및 8[ℓ/min]인 경우, 진공도의 변화에 따른 방전전력-오존농도, 오존발생량 특성을 나타내었다.



( a ) 유량 0.5[ℓ/min]



( b ) 유량 8[ℓ/min]

그림 6. 유량이 0.5 및 8[ℓ/min]일 때, 오존농도, 발생량 특성

Fig. 6. The characteristics of ozone concentration and generation at flow-rate 0.5 and 8[ℓ/min]

그림과 같이 동일한 유량에 대해서 방전전력이 상승할수록  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 진공도가 높을 수록  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 증가하는 것을 볼 수 있다. 진공도가 높을 수록 내부유전체 내부의 하전입자나 유동공기입자가 적기

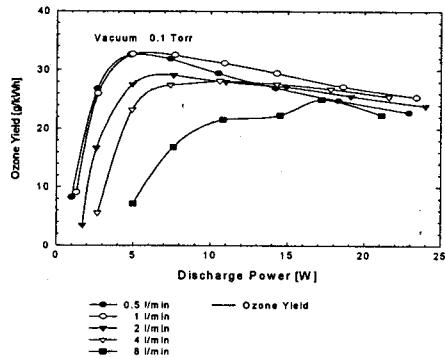
때문에 중심전극에서 발생된 전자의 평균자유행정이 그 만큼 길어지게 되므로 방전공간 내에서의 전리확률이 상승하게 되어 오존농도가 상승하게 된다.

오존발생량의 경우는 오존생성농도와 유량에 의하여 계산이 되므로 오존생성농도에 큰 의존성을 가지고 있으며, 오존생성농도와 거의 비슷한 경향을 가지고 있음을 알 수 있다.

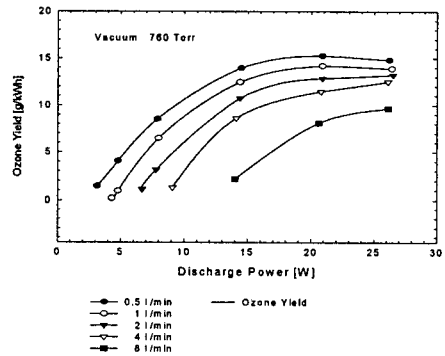
### 2.3.3 방전전력-오존생성수율 특성

그림 7의 (a)-(b)는 진공도에 따른 오존생성수율 특성을 나타내었다.

각 그림에서 방전전력이 증가함에 따라  $O_{3Y}$ 가 최대값을 가진 후 입력전력이 오존생성반응보다 오존분해반응에 더욱 기여하므로 그 값이 포화됨을 볼 수 있다.



( a ) 진공도 0.1[Torr]



( b ) 진공도 760[Torr]

그림 7. 진공도에 따른 오존수율특성

Fig. 7. The characteristics of ozone yield with variation of vacuum

그림 (a)에서 동일한 유량에 대하여 유량이 낮을 때에는 방전전류가 증가함에 따라 오존생성수율이 상승하다가 최대값 이후 포화하는 것으로 나

타났고, 유량이 높을 때에는 방전전류가 증가함에 따라 점차 상승률이 둔화되는 것으로 나타났다.

또한 Q가 낮을수록 유속이 저하됨에 따라 산소 분자가 방전공간 내에 체류하는 시간이 길어져 오존의 농도가 쉽게 포화되므로  $O_{3Y}$  역시 빠르게 포화되는 경향을 보인다.

그림 (b)의 경우, 내부유전체 내부가 대기압이므로 앞서 언급한 바와 같이 중심전극에서 방출된 전자의 평균자유행정이 짧아지게 되어 내부유전체가 고진공일 때보다 상대적으로 약하게 전리된다. 이에 방전공간 내부의 무성방전이 고진공의 경우에 비하여 활성화가 약화되므로 오존생성농도가 저하 된다.

### 3. 결론

본 논문에서는 무성방전의 증첩을 이용하여 설계·제작된 증첩방전형 오존발생기의 내부유전체 내부진공도 변화에 따른 방전특성과 오존생성특성에 대하여 연구·검토하였다.

(1) 방전전압, 방전전류는 전원장치의 출력전압의 증가에 따라 함께 증가하였으며, 일정유량에 대해서 내부진공도가 낮아질수록 방전전류는 미소하게 감소하였다.

(2) 오존생성농도는 각각의 유량에서 방전전력에 비례하였고, 진공도가 높을 수록 오존생성농도는 증가하였다. 내부유전체의 진공도가 일정한 경우에는 유량이 감소할 수록 오존생성농도는 증가하였다.

(3) 오존발생량은 유량이 일정한 경우, 오존생성농도와 동일하게 일정한 방전전력에 대해서 진공도가 높을 때 가장 높았고, 내부유전체의 진공도가 일정한 경우에는 유량이 감소할 수록 오존발생량은 증가하였다.

(4) 오존생성수율은 동일한 유량에 대하여 유량이 낮을 때에는 방전전력이 증가함에 따라 오존생성수율이 상승하다가 최대값 이후 낮아지거나 포화하는 것으로 나타났고, 유량이 높을 때에는 방전전류가 증가함에 따라 점차 상승률이 둔화되는 것으로 나타났다.

(5) 진공도가 일정한 경우, 유량이 감소하고 방전전력이 증가할수록 수율이 최대값을 가진 후 포화하였으며, 유량이 일정한 경우, 방전전력변화에 따라서 오존생성수율의 최대점이 존재함을 알 수 있었다.

### 참 고 문 헌

- [1] 杉光英後 “오존의基礎と應用”, 光琳, 1996年
- [2] 米内伸一, “新版오존利用의新技術”, 三琇書房, pp.3 ~ 50, pp.152 ~ 153, 平成5年
- [3] 石井啓夫, “오존利用의新技術”, 三琇書房, pp.152 ~ 153, 昭和61年
- [4] 出口富雄, “오존を中心とした高度淨水處理技術”, 三琇書房, pp.32 ~ 43, pp.87 ~ 99, 1990
- [5] 宗宮功, “오존利用水處理技術”, 公害對策技術同友會, pp.27 ~ 31, pp.83 ~ 95, 昭和63年
- [6] 이경식, “高度淨水處理工程에 關한 研究”, 韓國水資源公私, 1991
- [7] 中山繁樹, “오존의 應用”, 電學論D, 114卷 4號, pp.362 ~ 369, 平成6年
- [8] 増田 閃, “오존で魚を育てる”, 114卷 10號, pp.649 ~ 653, 1994年
- [9] 全 炳俊, “環境改善을 위한 新 오존발생기에 關한 연구”, 碩士學位論文, 1999
- [10] Sang-Keun Lee, Hyun-Jig Song, Byung-Joon Chun, “The Characteristics of Ozone Generation in Superposed Discharge type Ozonizer”. Proceedings of 1998 Korea-Japan joint symposium on ED andHVE, pp.99 ~ 102, 1998
- [11] H.J.Song, K.S.Lee, D.I.Lee, “A study on the high voltage nozzle type ozonizer”. Proceedings of the 11th International Conference on Gas Discharges and Their Applications, Vol.2, pp.320~ 323, 1995