

나선형 내부전극을 사용한 2중 원통형 오존발생기의 온도의존특성

전병준\*○, 이상근○, Md. Fayzur Rahman○, 이동현◎, 박원주○, 이광식○  
 영남대학교 전기전자공학부○, 구미 1대학 전기과◎

Temperature Dependence Characteristics of Double Cylindrical Type Ozonizer Using Spiral Type Internal Electrode

Byung-Joon Chun\*○, Sang-Keun Lee○, Md. Fayzur Rahman○, Dong-Heon Lee◎, Won-Zoo Park○, Kwang-Sik Lee○

**Abstract** - In this paper, double cylindrical type ozonizer has been designed and manufactured to improve ozone yield by cooling external electrode. The ozonizer equipped with three electrodes ( central, internal and external electrodes ). Discharge and ozone characteristics are described in this paper by varying the flow rate( Q ) of oxygen supplied gas, temperature of cooling gas and supplied voltage.

상을 기하고자 동일한 방전공간 내에서 무성방전을 중첩시킨 3전극형 2중 원통형 오존발생기를 고안·제작하였다.

무성방전의 중첩을 이용한 오존발생기는 EE와 IE에 180[°]의 위상차를 가진 正負의 교류고전압을 동시에 인가할 경우, IE와 CE 사이에서 발생된 무성방전과 EE와 CE 사이에서 발생된 무성방전이 중첩되어, 正負의 전류가 한 주기 내에 중첩되어 흐르게 되므로 방전의 효율을 높임과 동시에, 방전구간 내에 잔류전리가스와 잔류전하가 존재하므로써 방전휴지구간을 단축시키는 효과를 얻을 수 있다.

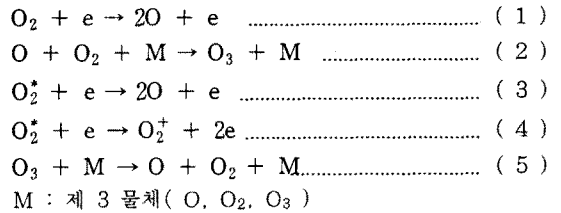
1. 서 론

또한, 방전공간 내부로 주입된 에너지가 과다할 경우, 이 에너지가 생성된 오존분자의 해리작용에 관여하여 전체적인 오존생성농도의 저하를 유발하기 때문에 EE의 냉각이 생성된 오존분자의 열분해반응을 억제시켜 오존생성농도의 향상을 꾀하였다.

오늘날 산업사회의 발달로 인한 환경오염이 큰 사회적 문제로 대두되고 있는 가운데 환경오염의 원인이 되는 오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 하나로 기체 방전에 의하여 발생되는 오존화 가스를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.<sup>(1)(2)(3)(4)</sup>

여기에서 원료가스가 산소인 경우, 오존발생기의 주된 오존생성 및 분해반응은 다음과 같다.<sup>(3)(4)(5)</sup>

이러한 오존을 발생시키는 방법으로써는 무성방전법, 전해법, 고주파전계법 및 자외선조사법 등의 물리·화학적 방법이 사용되고 있지만, 그 중에서도 Siemens가 개발한 무성방전형 오존발생기가 안정성, 조작성 및 제어의 용이성 등에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, 실제 사용되는 무성방전형 오존발생기의 오존생성수율은 산소를 원료가스인 경우 220[g/kWh], 공기가 원료가스인 경우는 90[g/kWh]로 이론치에 비하여 대단히 낮은 것으로 알려지고 있다. 이는 오존발생기에서 소모되는 에너지의 약 70[%]가 오존발생기의 방전영역에서 열 손실 등에 의하여 대부분 소모되기 때문이다.<sup>(1)(5)</sup>



3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

따라서 본 논문에서는 오존생성특성을 향상시킬 목적으로 기존의 중첩 무성방전형 오존발생기를 개선하여 세 개의 전극( 중첩전극( CE ), 내부전극( IE ) 및 외부전극( EE ))을 구성하고, CE를 공통접지한 후 EE 와 IE에 180[°]의 위상차를 가지는 역극성의 고전압을 인가하여 동일한 방전공간 내에 두 개의 무성방전을 중첩시켜 오존생성특성을 향상시키고 동시에 cooling gas 로 EE를 냉각시키므로 인하여 열분해에 의한 오존해리반응을 억제시켜 오존생성특성을 향상시킬 수 있는 구조이다. 이와 같은 구조로 설계·제작된 2중 원통형 오존발생기 ( Double Cylindrical type Ozonizer, 이하 DCO )의 방전특성 및 오존생성특성을 원료가스( 산소 )의 유량, cooling gas의 온도( T<sub>cg</sub> ) 및 인가전압( V<sub>2</sub> )의 변화에 따라 연구·검토하였다.

본 연구에서 설계·제작된 DCO는 무성방전을 중첩함과 동시에 EE의 온도를 제어하여 오존의 분해반응을 억제시켜 오존생성특성을 향상시킬 수 있는 구조이다.

그림 1은 본 연구에서 설계·제작된 DCO의 개략도를 보여주고 있다. SUS 304 재질의 CE와 두께 0.5 [mm]의 규석도금 구리세선을 2[mm]의 피치로 나선형으로 감아서 제작된 IE사이에 pyrex 재질의 유전체를 삽입하였고, EE 역시 SUS 304 재질로서 2중 원통형 구조로 제작하였다. 2중 원통사이에 EE를 냉각시키기 위하여 cooling gas를 유통시켜 열분해에 의한 오존분자의 해리작용을 억제시키고자 하였다.

2. 관련 이론

그림 2는 냉각장치를 장착한 오존발생장치에서의 방전특성 및 오존생성특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도를 나타낸 것이다. 그림에서 실선은 방전특성을 조사하기 위한 전원장치와 계측장치들을 연결한 회로이며, 점선은 오존생성특성을 연구하기 위한 가스 흐름선도로써 원료가스 공급장치 및 계측장치들을 통과하는 오존화 가스의 흐름을 나타낸 것이며, 이점쇄선은 DCO의 EE를 냉각시키기 위하여 오존발생기의 2중 원통 내부로 유입되는 cooling gas의 흐름도이다.

기존에 사용되고 있는 무성방전 방식의 오존발생기의 경우 1주기 내에 방전기간과 비방전기간( 방전휴지기간 )이 각각 2회씩 존재하기 때문에 방전휴지기간에서의 오존해리반응이 전체적인 오존생성농도의 저하에 큰 영향을 미쳤다. 따라서 본 논문에서는 종래의 단독방전방식보다 방전휴지기간을 단축시킴으로써 오존생성농도의 향

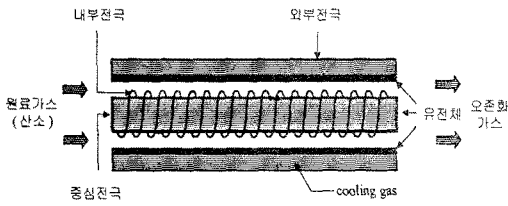


그림 1. DCO의 개략도

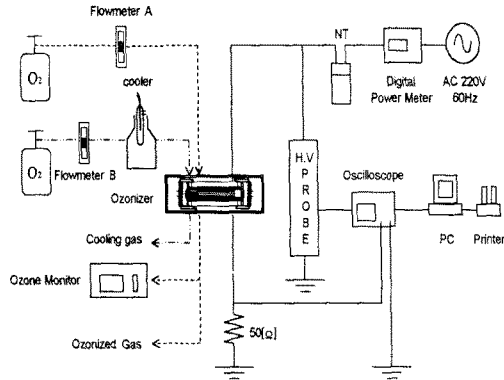


그림 2. 오존발생장치의 배치도

### 3.2 실험방법

DCO의 방전특성을 연구 검토하기 위해 원료가스의 유량 ( $Q=2, 4, 8, 12$  및  $16$  [l/min]), 오존발생기의 입력전압 ( $V_2$ ) 및 cooling gas의 온도 ( $T_{cg}$ )의 변화에 따른 방전전압 ( $V_d$ ), 방전전류 ( $I_d$ )를 측정하였다.  $V_d$ 에 대한 방전전력 ( $W_d$ )은 digital power meter를 이용하여 측정하였다. 또한  $Q$ ,  $T_{cg}$  및  $W_d$ 의 변화에 따른 오존생성농도 ( $O_{3con}$ ), 오존발생량 ( $O_{3g}$ ) 및 오존생성수율 ( $O_{3Y}$ )을 측정 및 계산하였다.  $T_{cg}$ 를 변화시키기 위하여 산소가스를 냉각용 트랩이 합쳐진 액체질소(LN<sub>2</sub>) chamber로 유통시켜  $T_{cg}$ 가 23, -10 및 -30[°C]가 되도록 조절하였다.

## 4. 실험결과 및 검토

### 4.1 오존발생기의 방전특성

그림 3은 DCO의 IE, EE에 각각 역극성의 교류고전압을 인가하여 CE-IE 및 CE-EE 사이에서 무성방전이 각각 발생되었을 때,  $T_{cg} = 23$  [°C]이고,  $Q$ 가 2, 4, 8, 12 및 16[l/min]인 경우의  $V_2$  변화에 따른 방전전압 ( $V_d$ ) 및 방전전류 ( $I_d$ )를 측정된 것이다.

그림에서  $V_2$ 가 높아질수록 방전공간 내부로 유입되는 에너지가 증가함에 따라  $V_d$  및  $I_d$ 는 증가하였고,  $T_{cg}$ 가 낮아질수록  $V_d$ 는 미소하게 증가하고,  $I_d$ 는 감소하는 것으로 나타났다.

이것은  $T_{cg}$ 가 낮아짐에 따라 방전공간 내의 소효능력이 증대되어 방전개시전압을 높이기 됨에 따라  $I_d$ 는  $T_{cg}$ 가 낮아질수록 방전공간내의 pulse 수의 감소와 함께 저하하게 된다. 따라서  $I_d$ 의 감소에 의해 방전공간 내에서 산소분자와 중첩무성방전에 의해 생성된 전자와의 충돌에 의한 전리확률은 낮아지게 되어  $V_d$ 는 상승하게 된다.

그림 4는  $T_{cg}$ 가 -30[°C]인 경우,  $V_d$  및  $I_d$ 의 파형을 측정된 것이다. 그림에서 CH1의  $V_d$ 가 CH2의  $V_d$ 보다 높은 것은 CE-EE의 gap이 CE-IE의 gap 보다 큼에

따라서 상대적으로 절연내력이 상승한 결과이며,  $I_d$ 의 파형은 방전을 중첩시킴으로 인해 正負의 전류가 중첩되어 正負의 최대치에 도달할 때까지 펄스로 나타나 이 구간에서 무성방전이 발생한다. 또한, 正負의 최대치 이후 절연물 표면에 축적되어 있는 전하에 순간적으로 역전계가 걸리므로 방전이 일시에 정지되어 pulse 형태의 전류파형이 나타나고, 방전휴지구간이 형성된다. 하지만 인가전압이 180[°]의 위상차를 가지고 있기 때문에 방전이 중첩되어 단독 무성방전형인 경우보다 방전휴지구간이 짧아짐을 알 수 있었다.

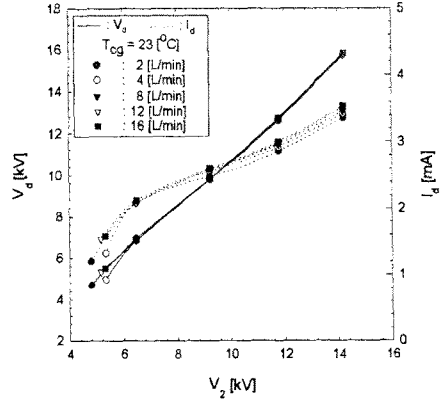
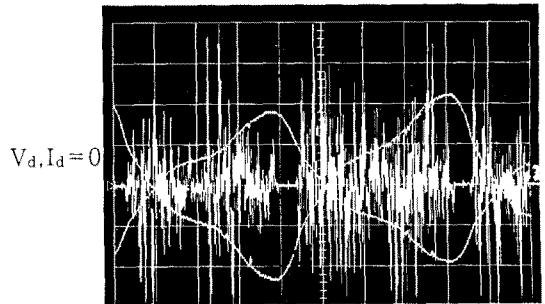


그림 3.  $Q$ 를 매개변수로 한  $V_2 - V_d, I_d$  특성



CH1:10[kV/div], CH2:4[kV/div], CH3:20[mA/div]  
CH1, CH2, CH3 : 2[ms/div]  
그림 4.  $T_{cg} = -30$  [°C]일 때,  $V_d$  (15.8[kV]) 및  $I_d$  (3.0[mA]) 측정파형

### 4.2 오존발생기의 오존생성특성

#### 4.2.1 방전전력-오존생성농도 및 오존발생량 특성

그림 5는  $Q$ 가 2[l/min]인 경우,  $T_{cg}$ 를 매개변수로 두었을 때,  $W_d - O_{3con}, O_{3g}$  특성을 나타내었다. 그림과 같이 동일한  $T_{cg}$ 에 대해서  $W_d$ 가 상승할수록 입력에너지가 증가함에 따라  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동일한  $Q$ 에서  $T_{cg}$ 를 낮추면  $T_{cg} = -10$  [°C]일 때에  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 최대값을 가진 후  $T_{cg}$ 가 더욱 낮아지면  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 동일한  $W_d$ 에서  $T_{cg}$ 가 낮을수록 EE의 온도가 하강함에 따라 방전전류가 낮아짐과 동시에 방전공간 내의 온도도 낮아지므로 온도의 감소에 비례하여 오존의 열분해반응이 급격히 감소하게 되어  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 상승하게 된다. 그러나, 그림 6에서 보듯이  $T_{cg}$ 가 어느 온도이므로 하강하게 되면  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$ 가 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 이것은  $T_{cg}$ 가 낮아짐에 따라 pulse 수가 감소하므로 방전밀도가 낮기 때문이고,  $Q$ 가 낮을수록  $T_{cg}$ 의 영향이 큰 것은  $Q$ 가 낮을수록 원료가스가 방전공간 내를 횡단하는 시간이

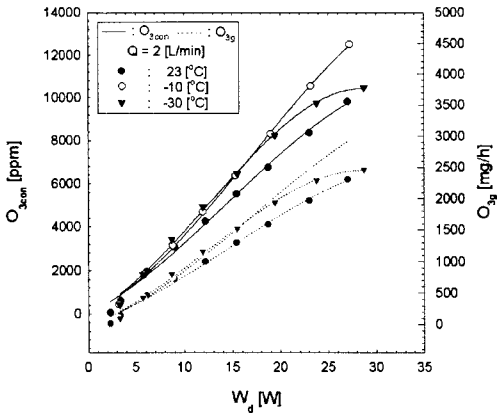


그림 5.  $T_{cg}$ 를 매개변수로 한  $W_d - O_{3con}$ ,  $O_{3g}$  특성

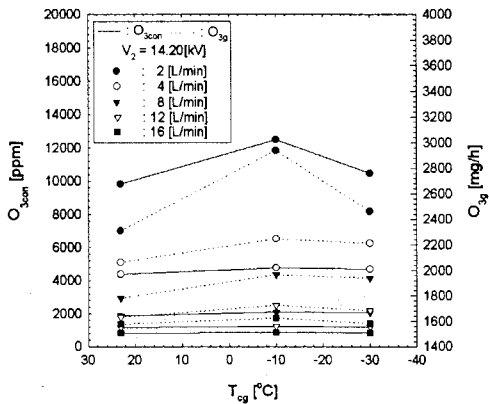


그림 6.  $Q$ 를 매개변수로 한  $T_{cg} - O_{3con}$ ,  $O_{3g}$  특성

길어지므로  $Q$ 가 높을 때에 비하여  $T_{cg}$ 의 영향을 많이 받기 때문이라고 사료된다.

#### 4.2.2 방전전력-오존생성수율 특성

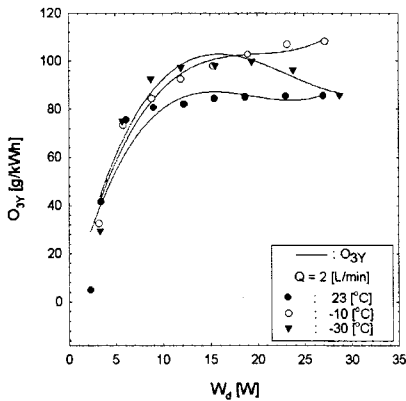


그림 7.  $T_{cg}$ 를 매개변수로 한  $W_d - O_{3Y}$  특성

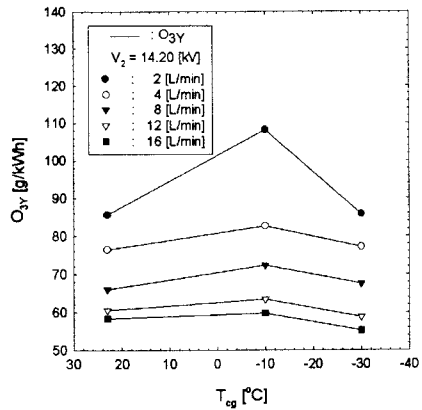


그림 8.  $Q$ 를 매개변수로 한  $T_{cg} - O_{3Y}$  특성

그림 7은  $Q$ 가 2( $\ell$ /min)인 경우,  $T_{cg}$ 를 매개변수로 한  $W_d - O_{3Y}$ 의 특성을 나타내었다. 그림 8에서와 같이  $O_{3Y}$  역시  $T_{cg}$ 가  $-10[^\circ\text{C}]$ 일 때에 최대값을 가짐을 알 수 있다.

이는 온도가 감소할수록 방전공간내의 열분해반응이 급격히 감소함에 따라  $O_{3Y}$ 가 높게 나타나지만  $T_{cg}$ 가 어느 값 이하가 되면 오히려 식 (1)~(4)와 같은 오존생성반응을 억제시키기 때문에  $O_{3g}$ 에 의하여 결정되는  $O_{3Y}$ 도  $T_{cg}$ 가  $-30[^\circ\text{C}]$ 인 경우에는  $T_{cg}$ 가  $-10[^\circ\text{C}]$ 인 경우에 비하여 오히려 감소하게 된다.

### 5. 결 론

본 연구에서 설계·제작된 2중 원통형 오존발생기에 대해 cooling gas 온도변화에 따른 방전특성과 오존생성특성을 연구·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 방전전압, 방전전류는 전원장치의 출력전압의 증가에 따라 함께 증가하였으며, 일정유량에 대해서 cooling gas의 온도가 낮아질수록 방전전압은 상승하고, 방전전류는 감소하였다.
- (2) 오존생성농도 및 오존발생량은 유량이 일정한 경우 동일한 방전전력에 대해서는 cooling gas의 온도가  $-10[^\circ\text{C}]$ 일 때의 오존생성농도가 가장 높았고 cooling gas의 온도가 더욱 낮아지면 오히려 감소하였다. 그 결과 최대 오존생성농도 12501(ppm) 및 최대 오존발생량 2940(mg/h)를 얻을 수 있었다.
- (3) 오존생성수율은 cooling gas의 온도가 일정한 경우 입력전력의 증가에 따라 증가하다가 최대값 이후 약간 감소함을 보였다.

그 결과 최대 오존생성수율은 108.1(g/kWh)의 최대  $O_{3Y}$ 를 얻을 수 있었다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] 全 炳俊, "環境改善을 위한 新 오존발생기에 관한 연구", 碩士學位論文, 1999
- [2] 全 炳俊, 李 相根, 宋 炫直, 李 廣植, 李 東仁 "2중 원통형 오존발생기의 온도의존특성", 大韓電氣學會 秋季學術大會 論文集, pp. 953~955, 1998
- [3] B. Eliasson, M Hirth and U Kogelschatz, "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharge", J. Phys. D: Appl. Phys. 20, pp1421~1437, 1987.
- [4] B. Eliasson, "Modeling and application of silent discharge", IEEE Transactions on plasma science, Vol.19, No.2, 1991
- [5] 岸田治夫, "三相交流電壓によるオゾン生成システム", 電學論A117卷 6号, pp 565~570, 平成9年