

2중 원통형 오존발생기의 온도의존특성

전병준*, 이상근, 송현직, 이광식, 이동인
 영남대학교 전기전자공학부

Temperature Dependence Characteristics of Double Cylindrical Type Ozonezer

Byung-Joon Chun*, Sang-Keun Lee, Hyun-Jik Song, Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee
 School of Electrical and Electronic Engineering, Yeungnam University

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

1. 서 론

오늘날 산업사회의 발달로 인한 환경오염이 큰 사회적 문제로 대두되고 있는 가운데 이러한 환경오염의 원인이 되는 오염물질의 제거나 발생저감을 위한 대책의 하나로 기체방전에 의하여 발생하는 오존화 가스를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다.⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

오존을 발생시키는 방법으로써는 무성방전법, 광화학법, 전해법, 고주파전계법, 방사선조사법 및 자외선조사법 등 물리적·화학적 방법이 사용되고 있지만, 그 중에서도 1857년 Werner Von Siemens가 개발한 무성방전형 오존발생기가 에너지 효율면, 안정성, 조작성 및 제어의 간편성 등에서 가장 널리 사용되고 있다. 그러나, 무성방전형 오존발생기의 이론적 오존생성수율은 1.200[g/kWh] 정도이지만, 실제로는 산소가 원료가스인 경우 220[g/kWh], 공기가 원료가스인 경우는 90[g/kWh]로 이론치에 비하여 대단히 낮은 것으로 알려져 있다. 이는 오존발생장치에서 소모되는 에너지의 약 70[%]가 오존발생기의 방전영역에서 열 손실 등에 의하여 대부분이 소모되기 때문이다.⁽¹⁾⁽⁵⁾

따라서 본 논문에서는 오존생성특성을 향상시킬 목적으로 기존의 중첩 무성방전형 오존발생기를 개선하여 오존발생기의 외부전극을 냉각할 수 있는 세 개의 전극과 두 개의 간극으로 구성된 2중 원통형 구조의 오존발생기(2중 원통형 오존발생기)를 설계·제작하여 원료가스(산소)의 유량, cooling gas의 온도(T_{cg}) 및 인가전압(V₂)의 변화에 따른 방전특성 및 오존생성특성을 연구·검토하였다.

2. 관련 이론

기존에 사용되고 있는 무성방전식의 오존발생기의 경우 1주기 내에 방전기간과 비방전기간(방전휴지기간)이 각각 2회씩 존재하기 때문에 본 논문에서는 종래의 단독방전방식에 비해 수율의 향상을 기하고자 동일한 방전공간에서 무성방전을 중첩시킨 3전극 2간극형 오존발생기를 고안·제작하였다.

무성방전의 중첩을 이용한 오존발생기는 3개의 전극과 2개의 Gap이 존재하는 구조로 내부전극(IE)과 중심전극(CE)사이에서 발생한 무성방전과 외부전극(EE)과 중심전극(CE)사이에서 발생한 무성방전이

중첩되어, 그림 1과 같이 180[°]의 위상차를 가진 正負의 교류고전압을 동시에 인가할 경우, 正負의 전류가 한 주기 내에 중첩되어 흐르게 되므로 방전의 효율을 높임과 동시에, 방전구간 내에 잔류전리가스와 잔류전하가 존재함으로써 방전휴지구간을 단축시키는 효과를 얻을 수 있다.⁽⁶⁾

원료가스가 산소인 경우, 오존발생기의 주된 오존생성 및 분해반응은 다음과 같다.⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

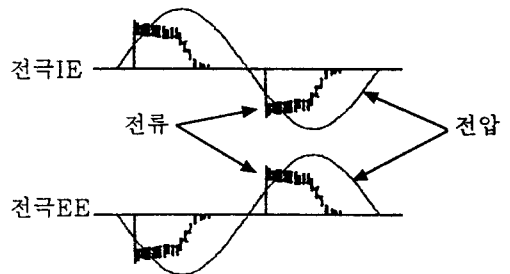
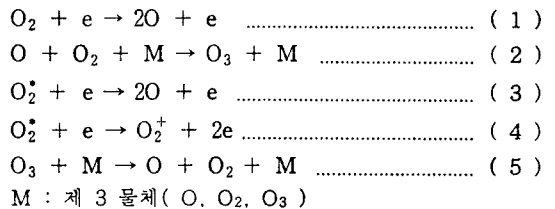


그림 1. 중첩방전시의 전압·전류파형

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

본 연구에서 설계·제작된 2중 원통형 오존발생기(이하 DCO)는 3개의 전극(CE, IE 및 EE)과 2개의 gap(CE-IE간의 gap 및 CE-EE간의 gap)이 존재하는 방전공간에 180[°]의 위상차를 가진 교류고전압을 각 gap 에 동시에 인가함으로써, 무성방전이 중첩함과 동시에 오존의 분해반응을 제어하기 위해 EE의 온도를 제어하여 오존생성수율을 향상시킬 수 있는 구조이다.

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 이중 원통 내부로 유입되는 cooling gas의 흐름도이다.

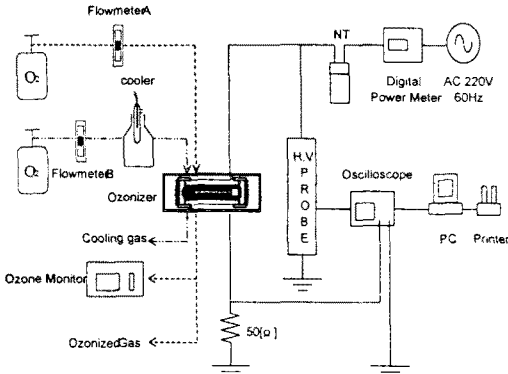


그림 2. 오존발생장치의 배치도

3.2 실험방법

DCO의 방전특성을 연구 검토하기 위해 원료가스의 유량 ($Q=2, 4, 8, 12, 16$ [l/min]), 오존발생기의 입력전압 (V_2) 및 cooling gas의 온도 (T_{cg})의 변화에 따른 방전전압 (V_d), 방전전류 (I_d)를 측정하였고, 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 함침된 액체질소 (LN_2) chamber로 유통시켜 T_{cg} 가 23, -10 및 -30[°C]가 되도록 조절하였다.

4. 실험결과 및 검토

4.1 오존발생기의 방전특성

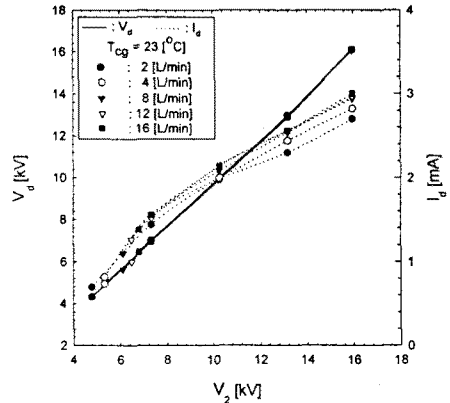
그림 3의 (a) 및 (b)는 DCO의 IE, EE에 각각 역극성의 교류고전압을 인가하여 CE-IE 사이에 무성방전, CE-EE 사이에서 무성방전이 발생되었을 때, T_{cg} 가 23 및 -30[°C]이고, Q 가 각각 2, 4, 8, 12, 16 [l/min]인 경우, V_2 의 변화에 따른 방전전압 (V_d) 및 방전전류 (I_d)를 측정하는 것이다.

그림에서 V_2 가 높아질수록 V_d 및 I_d 는 증가하였고, T_{cg} 가 낮아질수록 V_d 는 미소하게 증가하고, I_d 는 감소하는 것으로 나타났다.

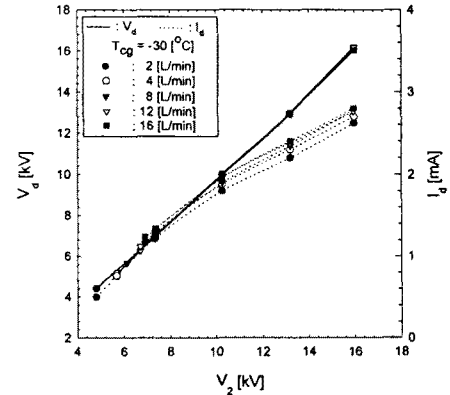
이것은 T_{cg} 가 낮아짐에 따라 방전공간 내의 소호능력이 증대되어 V_d 는 상승하게 된다. 따라서 I_d 는 T_{cg} 가 낮아질수록 방전공간내 pulse의 감소와 함께 저하하게 된다. 따라서 I_d 의 감소에 의해 방전공간 내에서 산소분자와 중첩무성방전에 의해 생성된 전자와의 충돌에 의한 전리확률은 낮아지게 되어 V_d 는 상승하게 된다.

그림 4는 T_{cg} 가 -30[°C]인 경우, V_d 및 I_d 의 파형을 측정하는 것이다. 그림에서 CH1의 V_d 가 CH2의 V_d 보다 높은 것은 CE-EE의 gap이 CE-IE의 gap보다 클에 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 최대치이후 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. 따라서 식 (1), (2) 뿐만 아니라 식 (3), (4)도 오존생성에 관여한다.

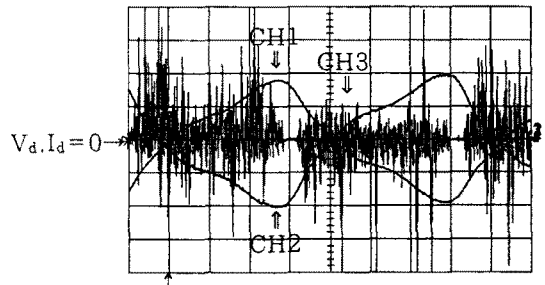


(a) $T_{cg} = 23$ [°C]



(b) $T_{cg} = -30$ [°C]

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]

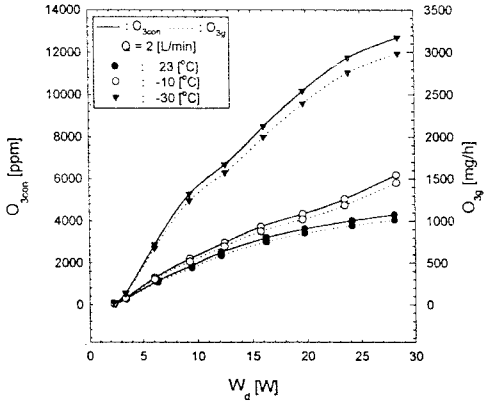
그림 4. $T_{cg} = -30$ [°C]일 때, V_d (16.10[kV]) 및 I_d (2.62[mA]) 측정파형

4.2 오존발생기의 오존생성특성

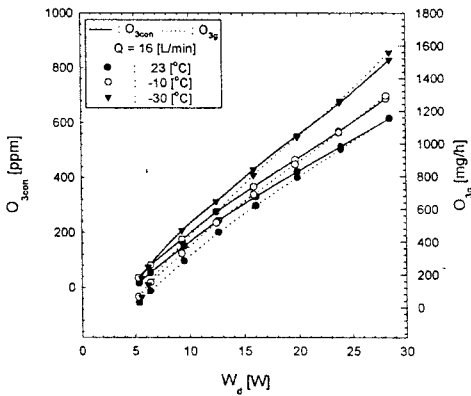
4.2.1 방전전력-오존생성농도 및 오존발생량 특성

그림 5의 (a) 및 (b)는 Q 가 각각 2 및 16 [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 O_{3con} 및 O_{3g} 가 증가하는 것으로 나타났다. 또한 동일한 Q 에서 T_{cg} 가 낮아질수록 O_{3con} 및 O_{3g} 가 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 동일한 W_d 에서 T_{cg} 가 $-30[^\circ\text{C}]$ 인 경우가 23 및 $-10[^\circ\text{C}]$ 인 경우 보다 EE의 온도가 하강함에 따라 방전전류가 낮아짐과 동시에 방전공간 내의 온도도 동시에 낮아지므로 온도의 감소에 비례하여 오존의 열분해반응이 급격히 감소하게 되어 O_{3con} 및 O_{3g} 가 상승하게 된다.



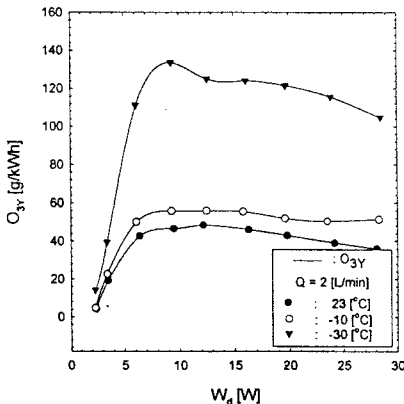
(a) $Q = 2[\text{l/min}]$



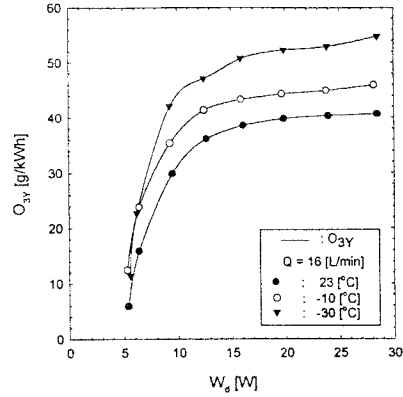
(b) $Q = 16[\text{l/min}]$

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

4.2.1 방전전력-오존생성수율 특성



(a) $Q = 2[\text{l/min}]$



(b) $Q = 16[\text{l/min}]$

그림 6. T_{cg} 를 매개변수로 한 $W_d - O_{3Y}$ 특성

그림 6의 (a) 및 (b)는 Q 가 각각 2 및 16[l/min]인 경우, T_{cg} 를 매개변수로 한 $W_d - O_{3Y}$ 의 특성을 나타내었다. O_{3Y} 역시 T_{cg} 의 온도가 감소할수록 방전공간내의 열분해반응이 급격히 감소함에 따라 O_{3Y} 가 높게 나타난다.

5. 결 론

무성방전의 중첩을 이용하여 설계·제작된 2중 원동형 오존발생기에 대해 원료가스(O_2)의 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 (O_{3con}) 및 오존발생량 (O_{3g})은 방전전력에 비례하고, 유량이 일정한 경우 동일한 방전전력에 대해서는 cooling gas의 온도가 낮아질수록 증가하였다. 그 결과 최대 오존생성농도 및 오존생성량은 cooling gas의 온도가 $-30[^\circ\text{C}]$, Q 가 2[l/min]일 때 각각 12702[ppm] 및 2988[mg/h]를 얻을 수 있었다.
- (3) 오존생성수율 (O_{3Y})은 유량이 일정한 경우, 동일한 방전전력에 대해서 원료가스의 온도가 낮아질수록 증가하였으며, 원료가스의 온도가 일정한 경우 오존생성수율은 유량의 감소에 따라서 증가하다가 최대값 이후 포화되는 경향을 보였다. 그 결과 최대 오존생성수율은 cooling gas의 온도가 $-30[^\circ\text{C}]$, Q 가 2[l/min]일 때, 133.63[g/kWh]의 최대 오존생성수율을 얻을 수 있었다.

[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) 李 相根, "중첩방전형 오존발생기의 온도의존특성", 碩士學位論文, 1998
- (3) Ann C. Gentile, "Microstreamer dynamics during plasma remediation of NO using atmospheric pressure dielectric barrier discharge", J.Appl.Phys.79(8), 1996
- (4) B. Eliasson, M Hirth and U Kogelschatz, "Ozone synthesis from oxygen by dielectric barrier discharge", J. Phys. D: Appl. Phys. 20, pp1421~ 1437, 1987.
- (5) B. Eliasson, "Modeling and application of silent discharge", IEEE Transactions on plasma science, Vol.19, No.2, 1991
- (6) 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