

3상전압을 이용한 중첩방전형 오존발생기의 특성

김영훈\*, 전병준\*, 송현직\*, 윤영대\*, 이광식\*  
 \*포항1대학, \*영남대학교

The Characteristics of Superposed Ozonizer using Three-Phase Voltage

Yeong-Hun Kim\*, Byung-Joon Chun\*, Hyun-Jig Song\*, Young-Dae Youn\*, Kwang-Sik Lee\*  
 \*Pohang College, \*Yeungnam University

**Abstract** - In this paper, an ozonizer, which can generate individual and superposed silent discharge, using three-phase voltage has been designed and manufactured.

The ozonizer consists of 3 electrodes( Central Electrode, Internal Electrode and External Electrode ) and 2 gaps( gap between Central Electrode and Internal Electrode, gap between Internal Electrode and External Electrode ). Ozone is generated according to voltage supplying method to each electrode by individual silent discharge and three-phase superposed discharge.

The characteristics of ozone generation were investigated with variation of discharge power and the quantity of supplied gas( O<sub>2</sub> ). In case of individual silent discharge, the maximum values of ozone concentration, ozone generation and ozone yield were obtained between internal electrode and external electrode, and its values were 2300[ppm], 570[mg/h] and 745[g/kWh] respectively.

Each maximum value was 5039[ppm], 1773[mg/h] and 851[g/kWh] respectively, when three-phase superposed silent discharge was employed.

Therefore, characteristics of ozone generation with three-phase voltage are improved compared with single-phase voltage because silent discharge is generated continuously.

1. 서 론

최근 세계적으로 대기오염 및 수질오염이 심각한 사회 문제로 대두되고 있으며, 이러한 환경오염물질을 제거하기 위하여 기계방전시 생성되는 오존(O<sub>3</sub>)을 활용하는 방안에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 오존은 자연계에서 불소 다음으로 강한 산화력을 가지고 있는 것으로 알려져 있다.[1] 따라서 이러한 오존은 살균작용, 탈색, 탈취 및 탈미작용, 유기산화작용 및 NO<sub>x</sub> 나 SO<sub>x</sub> 의 제거 등 여러분야에 널리 응용되고 있으며,[2,3] 최종적으로는 산소로 환원되므로 2차 공해를 일으키지 않는 장점을 가지고 있다.

이러한 장점을 가진 오존을 발생시키는 방법으로는 1857년 Werner Von Siemens가 최초로 고안한 무성방전형 오존발생기가 가장 광범위하게 이용되고 있다. 그러나 지금까지 연구되고 있는 무성방전형 오존발생기는 이론적 오존 수율이 1200[g/kwh] 정도로 알려져 있지만, 방전부의 열손실 등으로 인하여 실용화 되고 있는 오존 발생기에서는 원료가스가 산소인 경우 220[g/kwh], 공기인 경우 90[g/kwh] 정도로 대단히 저하되는 것으로 알려져 있다.[4]

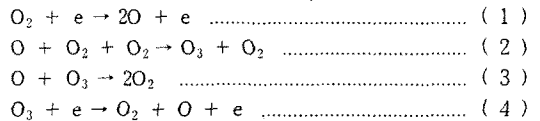
따라서 본 연구에서는 저전력, 고농도, 고수율의 오존발생기의 개발을 목적으로 3개의 전극을 장착한 무성방전형 오존발생기( 3PSDO )를 제작하였으며, 이들 전

극은 중심전극( CE ), 내부전극( IE ) 및 외부전극( EE )으로 구성하였으며, 이들 각각의 전극에 120[°]의 위상차를 가진 3상전압을 인가하여 방전공간에서 무성방전이 중첩 또는 연속적으로 발생할 수 있도록 하였다. 이들 연속된 무성방전이 발생할 경우의 방전특성 및 오존생성 특성( 오존생성농도, 오존발생량 및 오존생성수율)에 관하여 연구검토 하였다.

2. 오존발생기의 방전기구 및 오존생성기구

무성방전형 오존발생기는 1~3[mm] 정도의 좁은 겹에 glass나 ceramic과 같은 유전체를 삽입하여 원료가스로서 공기 혹은 산소를 대기압하에서 공급하면서 전극간에 교류고전압을 인가하면 무성방전에 의한 화학작용으로 원료가스중의 일부가 오존으로 된다. 이때 무성방전형 오존발생기의 방전공간에는 미세한 펄스방전이 형성되고 방전전류는 교류 정부전압이 최대점에 이를때까지 형성되며 전압이 정부 최대점으로 부터 소멸하여 1주기에서는 방전구간과 방전휴지구간이 각각 2회씩 존재하게 된다. 따라서 본연구에서 제작된 오존발생기에는 120[°]의 위상차를 가진 3상전압을 세전극( CE, IE, EE )에 동시에 인가함으로써 방전휴지구간이 존재하지 않게 된다. 따라서 단독 무성방전시보다 원료가스가 방전시 발생하는 전자와 충돌할 확률이 높아지게 되므로 오존의 생성에 유용한 방전이라고 볼 수 있다.

오존발생기의 원료가스가 산소인 경우 무성방전에 의한 오존의 생성 및 분해는 아래 식 (1)~(4)로 간단하게 표시할수 있다. 오존의 생성은 전자충돌에 의하여 해리된 산소원자가 다른 산소분자와 결합하여 오존이 생성되게 된다. 이러한 오존은 산소원자나 전자와 충돌하여 오존의 분해반응이 일어나게 된다.[5,6]



즉, 무성방전형 오존발생기의 오존생성기구는 ①전자충돌에 의한 산소 활성화종의 생성 ②오존생성반응 ③오존분해반응으로 이루어지며, 생성된 오존의 농도가 높아 질수록 오존의 분해 반응도 활발하게 진행되기 때문에 고수율의 오존 생성에 어려움이 있다. 또한 교류고전압을 인가하는 경우 방전은 반주기마다 일으나므로 방전구간과 방전휴지구간이 존재하게 됨을 알 수 있다. 이때 방전휴지구간에서는 여기산소분자가 해리 또는 전리하지 않고 탈여기하여 기저상태로 되돌아 갈 가능성이 높아지므로 오존생성 수율을 저하시키게 되므로 방전휴지구간을 짧게하거나 존재하지 않게 함으로서 오존 생성수율을 향상시킬 수 있는 것으로 알려져 있다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

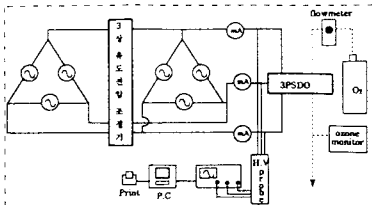


Fig. 1. Arrangement diagram of ozonizer system using three-phase voltage

Fig.1.는 본 연구에서 설계·제작한 오존발생기(3PSDO)를 사용하여 방전특성 및 오존생성 특성을 연구하기 위한 실험장치의 배치도이다.

3상교류고전압의 전원으로로서 3개의 승압용 neon trans.를  $\Delta$ 결선하여 이용하였으며, 오존발생기의 각 전극에 각상의 전압을 인가하여 2개의 방전공간에서 무성방전이 발생하도록 하였다. 이때 3개의 전극에 동시에 3상전압을 인가한 경우(3PSDO) 전극간에 전위차와 방전범위가 그림2와 같다. 그림에서와 같이 각상에서의 무성방전이 연속 또는 중첩되므로 방전휴지공간이 존재하지 않게 되어 여기산소분자가 기저상태로 천이하기전에 후속 방전에 의하여 해리 또는 전리하게 되므로 오존의수율을 향상시킬 수-있을 것으로 사료된다.

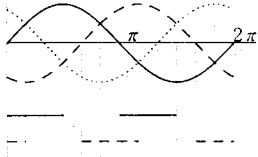


Fig.2. The potential difference between each electrode and discharge period applying to three-phase high voltage

### 3.2 실험방법

오존발생기의 원료가스는 상업용 산소를 사용하였으며, 가스의 유량(Q)은 flowmeter로 2~16[l/min]로 변화시켰다. 발생된 오존은 자외선 흡수방식의 오존모니터를 사용하여 매실험마다 0.3[l/min]로 표본추출하여 오존생성농도( $O_{3con}$ ), 오존발생량( $O_{3g}$ ) 및 오존생성수율( $O_{3Y}$ )을 측정 계산하였다. 한편 3상전압 인가시의 방전전력은 중첩무성방전이 불평형상태이므로 전력을 직접 측정하는 것이 불가능하므로 본 논문에서는 3상무성방전시 각상에 흐르는 전류를 측정하여 단독무성방전시에(전압-방전전하의 Lissajous 도형) 구한 방전전류-방전전력특성을 이용하여 이들의 합으로부터 방전전력을 산출하였다.

## 4. 실험결과 및 고찰

### 4.1 3PSDO의 오존생성특성

그림3는 3상교류 고전압을 인가할 때 3PSDO의  $O_{3con}$  특성을 나타낸 것이다.  $W_{d3}$ 가 증가할수록 방전공간에서는 미소방전이 활발하게 형성되므로 방전공간을 통과하는 산소분자가 전자와 충돌할 확률이 높아져 산소원자의 수가 많아지게 되며 이렇게 생성된 많은수의 산소 원자가 다른 산소원자, 산소분자 및 여기산소분자와의 충돌 확률 또한 높게되어  $O_{3con}$ 이 상승되는 것으로 사료된다.

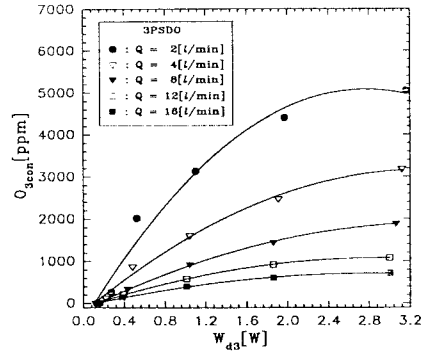


Fig. 3. The characteristics of  $O_{3con}$  with variation of  $W_{d3}$  and Q

그림4는  $W_{d3}$  및 Q의 변화에 따른 3PSDO의  $O_{3g}$ 를 측정 한 것이다. 그림에서와 같이 각 Q에서  $W_{d3}$ 가 증가됨에 따라서 거의 비례적으로  $O_{3g}$ 가 상승되었으며,  $W_{d3}$ 가 일정할 때 Q가 상승되다가 감소되었는데 즉, Q가 8[l/min]인 경우 최대  $O_{3g}$ 가 나타나다 그 이상의 Q에서는 감소되는 것으로 나타났다.

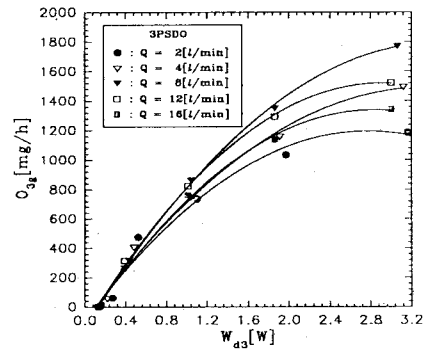


Fig.4. The Characteristics of  $O_{3g}$  with variation of  $W_{d3}$  and Q

$W_{d3}$  및 Q의 변화에 따른  $O_{3Y}$ 를 측정 한 결과 그림5와 같이 나타났다. 그림에서와 같이 동일한Q에서  $W_{d3}$ 가 증가됨에 따라서  $O_{3Y}$ 가 상승되다가  $W_{d3}$ 가 약 0.6[W]이상이 되면 서서히 저하되는 것으로 나타났다. 그리고  $W_{d3}$ 가 일정할 때 Q가 8[l/min]에서  $O_{3Y}$ 가 최대가 되었다가 그이상의 Q가 되면 다시 저하되는 것으로 나타났다.

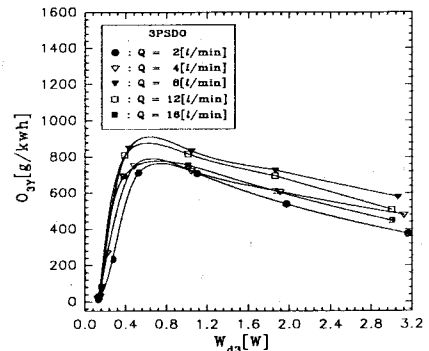
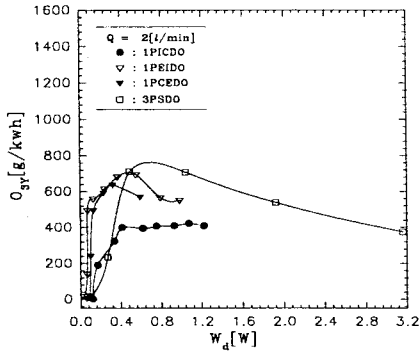


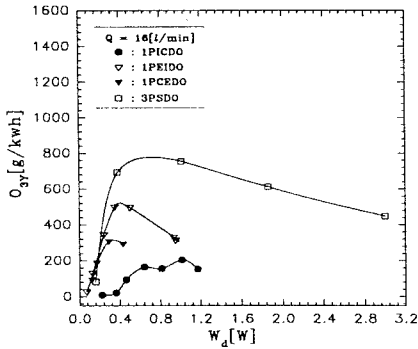
Fig. 5. The Characteristics of  $O_{3Y}$  with variation of  $W_{d3}$  and Q

## 4.2 오존수율의 상승효과

그림6은 단독무성방전(1PDO) 및 3PSDO의 오존생성수율 특성을 비교검토하기 위하여 Q가 2 및 16 [ℓ/min] 일 때 전압인가방식에 따라 구분되는 오존발생기의 형태와 각 오존발생기 방전전력의 변화에 따른  $O_{3Y}$ 를 측정하는 것이다. 이 경우도 방전전력이 약 0.4[W] 이하에서는 1PDO인 1PICDO가 가장높게 나타나며, 그 이상의 전력에서는 3PSDO의 발생량이 가장높게 나타났다. 따라서 단독무성방전에 비하여 3상중첩방전의 경우 방전전력의 증대가 가능하여 방전공간의 이용율이 높아져 높은 수율을 얻을 수 있었으며, 오존발생기의 소형화,대용량화의 가능성을 확인할 수 있었다.



(a) Q = 2 [ℓ/min]



(b) Q = 16 [ℓ/min]

Fig.6. The Characteristics of  $O_{3Y}$  with variation of ozonizer type and  $W_d$  for  $Q=2,16$  [ℓ/min]

## 4.3 1PDO 전류펄스의 주파수스펙트럼 특성

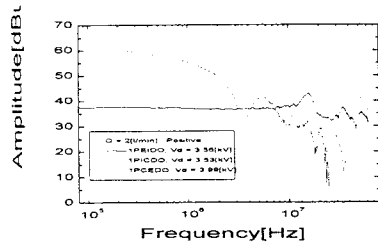
그림 7의 (a)와 (b)는 Q가 2[ℓ/min]일 때 전술한 세가지 형태의 DO 즉, 1PICDO, 1PEIDO 및 1PCEDO에서 측정된  $I_a$  펄스를 FFT를 이용하여 구한 spectrum의 주파수특성을 나타낸 것이다. 그림 4-50의 (a)는 정규성의 경우이며, (b)는 부정규성의 경우이다.

정규성에서는 이들 세가지 형태의 DO에 의한 주파수스펙트럼의 분포는 3~5[MHz]이하에서는 레벨의 크기는 1PICDO가 가장 크게 나타나며, 그 다음으로 크게 나타나는 것이 1PCEDO이며, 1PEIDO가 가장 작게 나타났다.

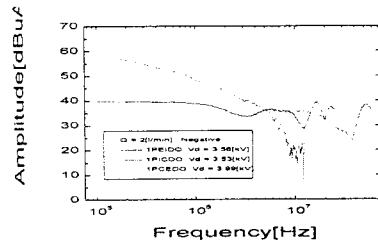
부정규성의 경우에는 주파수가 5[MHz]이하에서는 1PICDO가 레벨이 가장 높으며, 그 다음으로 1PEIDO, 1PCEDO 순으로 나타났다.

따라서, 방전시 방사되는 전자파의 주파수 특성을 결정지워주는 것은 각 주파수 대역별로 다르다. 즉, 저주파 영역에서는 주로 1PICDO에 의한 주파수스펙트럼의 레

벨이 높게 나타나며, 고주파 영역으로 갈수록 1PEIDO와 1PCEDO의 주파수스펙트럼이 높게 나타나며, 방사 전자파는 주로 1PEIDO와 1PCEDO 성분이 주를 이루는 것으로 추정할 수 있다.



(a) Positive



(b) Negative

Fig.7. Spectrums of  $I_a$  pulse with variation of 1PDO's type ( Q = 2 [ℓ/min] )

## 5. 결론

본 논문에서 3상 중첩무성방전형 오존발생기를 제작한 후 상업용 산소를 원료가스로 사용하여 오존생성 특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 3PSDO에서 무성방전이 중첩 혹은 연속되면서 1cycle내에서 방전휴지구간이 존재하지 않게되며, 낮은 인가전압으로 방전전력의 증대가 가능하였다.
- (2) 3PSDO의 경우 오존발생기의 전 방전구간에서 발광이 가장 강하게 형성되면서 1PDO보다 오존생성특성의 상승효과를 확인할 수 있었다.
- (3) 오존생성농도, 발생량 및 수율의 최대치는 다음과 같다. 3PSDO : 5039[ppm], 1773[mg/h] 및 851[g/kWh] 따라서 3상중첩 무성방전을 이용함으로써 동일한 방전공간내에서 높은 오존생성특성을 얻을 수 있으므로 단위용적당의 오존발생에 관한 이용율을 향상시킬수 있어 오존발생기의 설계제작시 소형화 대용량화에 대한 가능성을 확인할 수 있었다.

## (참 고 문 헌)

1. A. Vosmaer, "Ozone", D.Van Nostrand Company, 1916
2. Nobuyoshi KAIGA, "Improvement in the ozone generation for water treatment plants" Study of water pollution, Vol.13, No.10, pp.647-653, 1990
3. Kwang-Sik Lee, Dong-In Lee, "Ozone generation by gas discharge and its application", KIEE, DH-92-9, pp.32-35, 1992
4. 山部長兵衛, "オゾン の 發生技術" 電學論D, 114卷4號, 平成6年
5. B.Eliasson, M.Hirth and U.Kogischatz, "Ozone synthesis from oxygen in dielectric barrier discharge", J.Phys.D, Appl.Phys, pp.1421-1437, 1987
6. B.Eliasson, U.Kogischatz, "Modeling and application of silent discharge plasma", IEEE translation on plasma science, Vol.19, No.11, pp.474-480, 1991