

# 복합방전형 오존발생기의 오존생성 및 NO 가스 제거특성

(Ozone Generation and NO Gas Removal Characteristics  
a Hybrid Discharge Type Ozonizer)

송현직\* · 이상석 · 신용철 · 김민희 · 박천규 · 이광식 · 임창호  
(Hyun-Jig Song · Sang-Seock Lee · Yong-Chul Shin · Min-Huei Kim · Chan-Gyu Park ·  
Kwang-Sik Lee · Chang-Ho Im)

## Abstract

A hybrid discharge type ozonizer, which is superposed silent and surface discharges, has been designed and manufactured to apply for Nitrogen Oxides(NO) gas removal. The ozonizer consists of three electrodes, and is classified three types of ozonizer by changing applied voltage. Investigation was carried out variance with the flow rate of supplied oxygen gas, discharge power and the sorts of superposed discharge type ozonizer. Moreover, NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub> gas removal investigation was also conducted to apply for environment improvement field. Two kinds of NO gas removal investigations were conducted. It distinguishes the investigations into NO gas reaction method. According to these studies, maximum removal rate of 100[%] in NO gas was obtained, and 8334[ppm] and 3249[mg/h] of maximum ozone concentration and generation were also obtained respectively.

## 1. 서 론

세계적으로 산성비, 온실효과에 의한 지구온난화, 오존층 파괴 및 대기오염 등 지구환경 오염에 대한 환경대책 기술의 발전이 요구되고 있다.

이러한 관점에서 플라즈마 방전을 이용한 환경대책기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1][2].

플라즈마 방전에 의한 화학반응은 전자의 평균 에너지가 이온과 중성기체의 평균 에너지에 비하여 대단히 높기 때문에 전자의 높은 에너지로 유해가스 중에 포함되어 있는 유황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx) 등의 성분을 제거하는데 플라즈마 방전은 유용한 방법이라 하겠다[3][4][5].

따라서 본 논문에서는 무성방전형 오존발생기의 구조를 개선하여 고농도 오존과 방전 플라즈마 활성화 작용을 이용하여 1000[ppm] 이상의 고농도 NO 가스를 제거할 목적으로 3개의 전극을 설치하여 2개의 전극에는 교류고전압을 각각 인가하고 나머지 1개의 전극은 공통접지함으로써 무성방전(silent discharge)과 연면방전(surface discharge)을 동시에 발생가능한 구조인 복합방전식 오존발생기(Hybrid Discharge type Ozonizer, 이하 HDO)를 설계·제작하였다.

HDO는 교류고전압 인가전극과 공통접지전극의 변화에 따라 방전 및 오존생성특성이 각기 다른 3가지 형

식의 오존발생기가 구성가능하다.

이때, 각 HDO에 유입하는 산소 원료가스의 유량 및 방전전력의 변화에 따른 오존생성특성(오존생성농도 및 오존발생량)과 1200[ppm]의 NO 가스의 입력방식 변화에 따른 제거특성을 연구·검토하였다.

## 2. 본 론

### 2.1. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구에서 설계·제작된 HDO의 개략도이다. HDO는 중심전극(CE), 내부전극(IE) 및 외부전극(EE)으로 구성되어 있다.

HDO는 장착된 3개의 전극중 2개의 전극에는 교류고전압을 각각 인가하고 나머지 1개의 전극은 공통접지하는 방식에 따라

① 전극 EE를 공통접지한 경우의 CIHDO :

CE-EE 사이에서 발생하는 무성방전과 IE-EE 사이에서 발생하는 연면방전이 중첩

② 전극 IE를 공통접지한 경우의 CEHDO :

CE-IE 사이에서 발생하는 무성방전과 EE-IE 사이에서 발생하는 연면방전이 중첩

③ 전극 CE를 공통접지한 경우의 IEHDO :

EE-CE 사이에서 발생하는 무성방전과 IE-CE 사이에서 발생하는 무성방전이 중첩

되어 발생하는 3가지 형태의 HDO 로 분류되고, 각 HDO 에 따른 오존생성특성과 NO 가스 제거특성에 대하여 연구하였다.

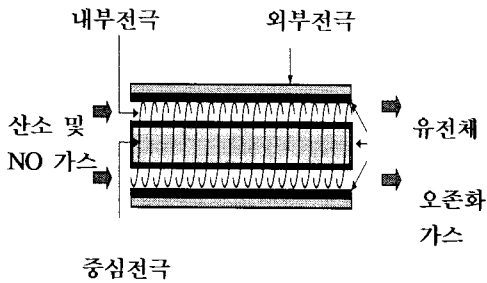


그림 1. 복합방전형 오존발생기의 개략도  
Fig. 1. The schematic diagram of HDO

그림 2는 HDO, 원료가스 공급장치, NO 가스 공급장치, 전원장치 및 계측장치 등으로 구성되는 실험장치의 배치도이다. 오존생성특성을 연구하고자 상업용 산소 ( $O_2$ ) 챔버에서 유출되는 산소를 유량계(flowmeter)를 사용하여 유량(Q, 2 및 10[ $\ell$ /min])을 변화시켜 HDO 로 유입하였다. 이때, 기상용 오존 monitor(0~10,000[ppm])를 사용하여 생성된 오존화 가스의 오존생성농도( $O_{3con}$ )를 측정하고, 오존발생량( $O_{3g}$ )를 계산하였다.

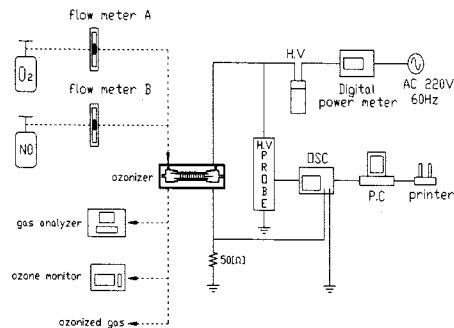


그림 2. HDO 를 이용한 실험장치의 배치도  
Fig. 2. The arrangement diagram of experimental apparatus using HDO

전원장치(HV source)는 상용의 Neon Transformer(이하 NT, 출력전압 : 15[kV], 출력전류 20[mA])를 이용하여 발생하는 교류고전압을 사용하였다. 이때 NT 양 출력단자에서  $180^\circ$ 의 위상차를 가진 동일 크기의 역극성 교류고전압을 HDO 의 형태(CIHDO, CEHDO 및 IEHDO)에 따라 2개의 전극에 각각 인가하고 나머지 전극을 공통접지하였다.

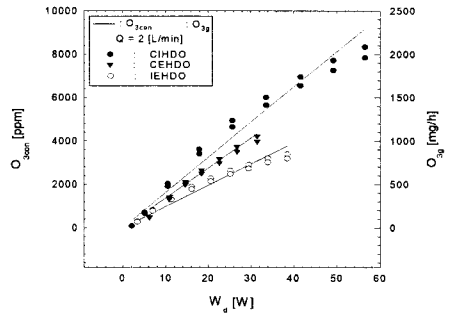
또한, HDO 에 대한 대기환경개선 분야로의 적용가능성을 연구하기 위하여 NO gas analyzer (NO : 0~

2000[ppm])를 이용하여 NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub> 가스를 유량계(0~10[ $\ell$ /min])로 조절하면서 SDO 로부터 생성된 오존화 가스에 반응시켰을 때의 NO 제거율( $NO_{RR}$ )과 HDO 의 입력단에서 NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub> 가스를 유량계로 조절하면서 HDO로 유입시켰을 때의 NO 가스 제거율( $NO_{RR}$ )을 측정 및 분석하였다. 이때, NO 제거율은 초기 NO 농도(1200[ppm])에 대하여 NO gas analyzer 를 이용하여 측정한 NO 농도의 비를 백분율로 나타내었다.

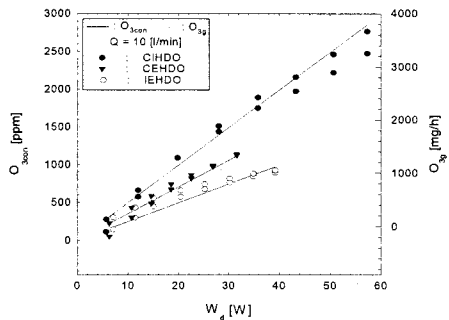
## 2.2. 실험결과 및 고찰

### 2.2.1 HDO의 방전 및 오존생성특성

그림 3의 (a) 및 (b)는 Q 가 각각 2 및 10[ $\ell$ /min]인 경우, 전압인가 방식에 따른 HDO 의 형태(CIHDO, CEHDO 및 IEHDO)를 매개변수로 하였을 때,  $W_d$ - $O_{3con}$ ,  $O_{3g}$  특성을 나타낸 것이다.



(a) Q = 2[ $\ell$ /min]



(b) Q = 10[ $\ell$ /min]

그림 3. HDO 를 매개변수로 한  $W_d$ - $O_{3con}$ ,  $O_{3g}$  특성  
Fig. 3. The characteristics of  $W_d$ - $O_{3con}$ ,  $O_{3g}$  with variation of HDO

그림과 같이 동일한 HDO 에 대하여  $W_d$  가 증가할수록, Q 가 낮을수록  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$  가 상승하는 것으로 나타났다. 또한 Q 가 일정한 경우,  $O_{3con}$  및  $O_{3g}$  는 CIHDO > CEHDO > IEHDO 순으로 나타났다.

그 결과, CIHDO 의 경우 Q 가 2[ $\ell$ /min]일 때, 최대 8334[ppm]의  $O_{3con}$  과 Q 가 10[ $\ell$ /min]일때,

3249[mg/h]의 최대  $O_{3g}$  를 얻을 수 있었다.

### 2.2.2 HDO의 NO 가스 제거특성

본 연구에서 제작된 HDO의 대기환경개선분야로의 적용가능성을 검토하기 위하여 NO가스의 제거특성을 연구하였다. 이때, NO가스의 농도가 1200[ppm]인 NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub>가스의 제거특성을 조사하고자 다음과 같은 2가지 연구를 진행하였다.

첫째, 그림 4의 (a)와 같이 HDO에서 발생된 오존화가스와 NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub>가스를 오존발생기 후단에서 혼합하는 방식(NO Rear Reaction, 이후 NO<sub>RR</sub>)이다.

둘째, 그림 4의 (b)와 같이 NO(1200[ppm])/N<sub>2</sub>가스 12[l/min]를 각 HDO에 원료가스로 유입시키는 NO가스 전처리(NO Front Reaction, 이하 NO<sub>FR</sub>)이다.

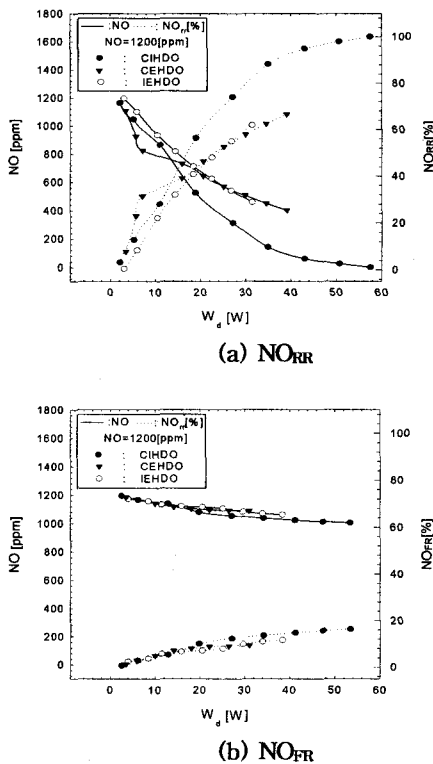


그림 4. HDO를 매개변수로 한  $W_d$ -NO<sub>RR</sub>, NO<sub>FR</sub> 특성  
Fig. 4. The characteristics of  $W_d$ -NO<sub>RR</sub>, NO<sub>FR</sub> with variation of HDO

이러한 결과로부터 NO<sub>RR</sub>의 NO가스 제거특성은 CIHDO > CEHDO > IEHDO의 순으로 나타난 결과, 최대  $O_{3con}$ 에 비례하는 제거 특성을 얻을 수 있었다.

또한, NO<sub>FR</sub>에서의 NO가스 제거특성은 CIHDO > IEHDO > CEHDO의 순으로 나타난 결과, 최대  $O_{3con}$ 에 비례하는 제거 특성을 얻을 수 있었다. 그러나, NO 제거특성이 NO<sub>RR</sub>에 비하여 1/6 정도에 지나지 않았다.

따라서 본 논문에서 설계·제작한 HDO의 경우는

NO 후처리가 전처리에 비하여 약 6배 정도의 NO가스 제거율을 얻을 수 있었으므로, HDO를 이용하여 NO가스 제거분야에 활용을 위해서는 무성방전과 연면방전에 의한 복합방전으로 오존을 발생시켜 NO가스를 처리하는 후처리가 유용한 방법이라는 것을 알 수 있었다.

### 3. 결론

본 연구에서는 무성방전과 연면방전이 동일한 방전공간에서 발생가능하고, 전압인가 방식에 따라 방전특성이 다른 3가지 형식의 오존발생기를 구성가능한 복합방전형 오존발생기를 설계·제작하여 오존생성특성과 NO가스 제거특성을 연구·검토하였다.

(1) 오존생성농도는 방전전력에 비례하고, 원료가스의 유량이 낮을수록 높게 나타났다.

(2) 외부전극을 공통접지한 복합방전형 오존발생기의 오존생성특성이 가장 우수하였으며, 최대 8334[ppm] 및 3249[mg/h]의 오존을 얻을 수 있었다.

(3) NO가스 입력방식에 따른 NO제거율 특성을 연구한 결과, NO가스 후처리 제거방식이 우수하였다.

(4) 복합방전형 오존발생기에서 발생된 오존생성농도가 높을수록 NO가스 제거율이 상승하였다.

(5) 후처리 NO가스 제거방식으로 외부전극을 접지한 복합방전형 오존발생기를 사용한 경우, 8334[ppm]의 오존으로 1200[ppm]의 NO를 100[%] 제거하였다.

이상과 같이 설계·제작한 복합방전형 오존발생기의 특성을 이용하여 대기환경개선 분야에 충분히 활용가능할 것으로 판단되며, 대기오염물질의 처리를 위해서는 복합방전에 의하여 발생된 오존을 이용하여 후처리하는 것이 효과적인 방법이 될 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] M.Higashi et al, "Soot elimination and NOx and SOx reduction in diesel engine exhaust by a combination of discharge plasma and oil dynamics", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol.20, pp.1~12, 1992
- [2] W.J.M.Samaranayake et al, "Pulsed power production of ozone in O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub> in coaxial reactor without dielectric layer", IEEE Trans. on Dielectric and Electrical Insulation, Vol.8, No.5, pp.826~831, 2001
- [3] K.S.Lee, H.J.Song et al, "Fundamental Engineering of Energy", Bookshill Publishing Company, 2004
- [4] Yukimura.K., "Correction of energy of NO removal by intermittent DBD radical injection method", IEEE Trans. on Plasma Science, Vol.33, Issue 2, pp.763~770, 2005
- [5] Fujiwara.K. et al, "The effect of carbonaceous deposit for NOx dissociation by barrier discharge", ICOPS, pp.20~24, 1999