

무성-연면 복합방전형 오존발생기의 오존생성 및 NO 가스 제거특성

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

송현직* · 이광식

(Hyun-Jig Song · Kwang-Sik Lee)

요 약

본 논문에서는 대기오염물질인 Nitrogen Oxides(NO) 가스를 제거하기 위하여 3개의 전극이 장착된 하나의 방전 공간에 무성방전과 연면방전을 동시에 발생가능한 복합방전형 오존발생기를 설계·제작하였다. 전압인가 방식에 따라 3가지 형태의 오존발생기로 구성가능한 복합방전형 오존발생기에 유입하는 산소원료가스의 유량, 방전전력 및 오존발생기의 종류에 따른 방전 및 오존생성특성을 연구·검토한 결과, 8334[ppm] 및 3249[mg/h]의 오존을 얻을 수 있었다. 또한 NO(1200[ppm])/N₂ 가스의 입력방식에 따른 NO 가스 제거특성을 방전전력 및 오존발생기의 종류에 따라 연구·검토한 결과, 최대 100[%]의 제거율을 얻을 수 있었다.

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])/N₂ 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.

Key Words : Silent-Surface Hybrid Discharge, NO Gas Removal Characteristics

* 주저자 : 영남대학교 전기공학과 전문위원
Tel : 053-810-4446, Fax : 053-810-4629
E-mail : song3288@yu.ac.kr
접수일자 : 2005년 6월 13일
1차심사 : 2005년 6월 24일
심사완료 : 2005년 7월 11일

1. 서 론

현재 세계적으로 산성비, 온실효과에 의한 지구온난화, 오존층 파괴 및 대기오염 등의 지구환경에 대

한 관심이 높아지고 있는 상황에서 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 방전 플라즈마의 에너지가 가스의 가열보다 높은 에너지를 가지는 전자의 생성에 보다 많은 에너지를 주입하게 된다. 그러므로 전자가 가지는 높은 에너지로 유해가스 중에 포함되어 있는 미립자나 유황산화물(SOx)과 질소산화물(NOx) 등의 성분을 제거하는데 사용할 수 있다는 점에서 유용한 방법이라 하겠다[3][4].

또한 농작물의 피해, 산성비 및 스모그 현상과 같은 대기오염의 주범은 자동차 배기가스 등에 포함되어 있는 SOx와 NOx 가스로 알려지고 있다. SOx가스의 농도는 자동차의 연료인 휘발유나 경유에 포함되어 있는 유황성분을 제조공정에서 감소 혹은 제거함으로써 점차적으로 조금씩 감소하고 있지만, NOx는 연료 중에 함유되어 있는 질소성분 및 대기 중에 포함되어 있는 질소가 고온에서 산화되어 발생되므로 NOx의 저감대책이 더욱더 절실히 요구되고 있는 실정이다.

이러한 관점에서 NOx 중 NO 가스를 제거하기 위하여 방전 플라즈마를 이용한 방법으로 유전체를 이용한 무성방전 혹은 첨가가스의 효과에 의한 오존발생기를 이용한 방식[5][6][7], 교류, 직류 및 펄스전압을 선대 원통전극간에 직접 인가하는 직접방전[8][9][10]이나 펄스 파워 기술을 이용한 비열 플라즈마 방식[4] 등이 있으나, NO 가스의 제거 농도가 그다지 높지 않아 현재까지도 고농도 NO 가스를 제거하기 위한 많은 연구가 시도되고 있다.

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 형식의 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. 실험장치 및 방법

그림 1은 본 연구에서 설계·제작된 HDO의 개략도이다. HDO는 중심전극, 내부전극 및 외부전극으로 구성되어 있다. 중심전극(central electrode, 이하 CE)은 오존발생시 내산화력에 의한 방전특성의 안정화를 목적으로 SUS 304재질로 직경 35[mm], 길이 300[mm]로 제작되었으며, 전극의 표면을 방전의 활성화를 위하여 피치 1[mm], 예각 60[°]로 나사산을 만들었다. 내부전극(internal electrode, 이하 IE)으로 사용된 전극은 내부전극과 동일한 SUS 304로 두께 1[mm]의 강선을 300[mm]로 감아서 외부유전체의 내부에 밀착되도록 장착하였다. 또한 외부전극(external electrode, 이하 EE)은 Cu를 외부유전체에 밀착하여 사용하였다.

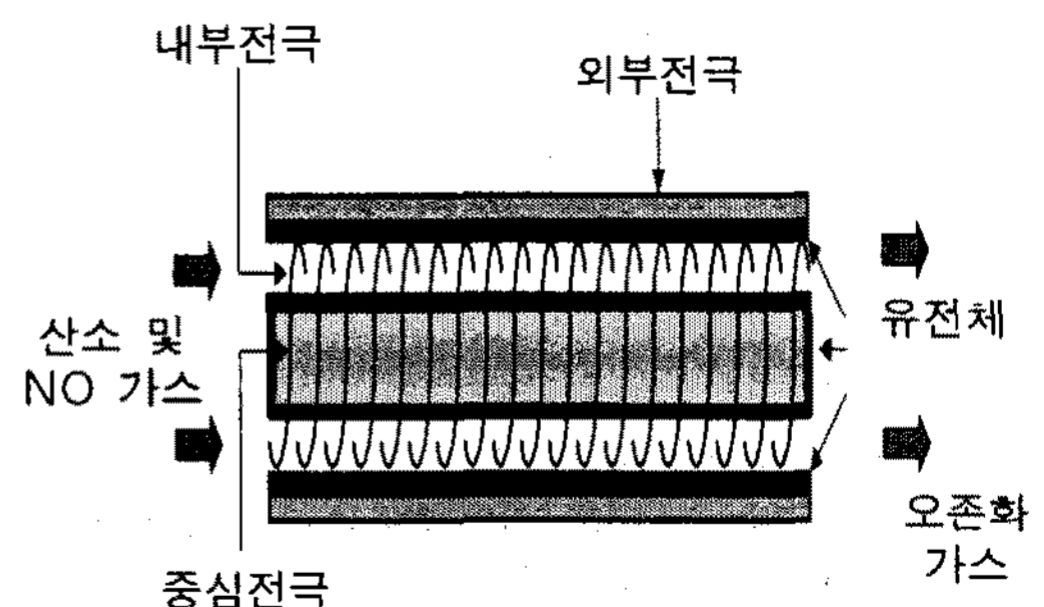


그림 1. 복합방전형 오존발생기의 개략도
Fig. 1. The schematic diagram of HDO

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 HDO로 분류되고, 각 HDO에 따른 오존생성특성과 NO 가스 제거특성에 대하여 연구하였다.

그림 2는 HDO, 원료가스 공급장치, NO 가스 공급장치, 전원장치 및 계측장치 등으로 구성되는 실험장치의 배치도이다. 오존생성특성을 연구하고자 상업용 산소(O₂) 챔버에서 유출되는 산소를 유량계(flowmeter)를 사용하여 유량(Q, 2 및 10[l/min])을 변화시켜 HDO로 유입하였다. 이때 기상용 오존 monitor(0~10,000[ppm])를 사용하여 생성된 오존화 가스를 0.3[l/min]씩 표본 추출하여 오존생성농도(O_{3con})를 측정하고, 오존발생량(O_{3g})를 계산하였다.

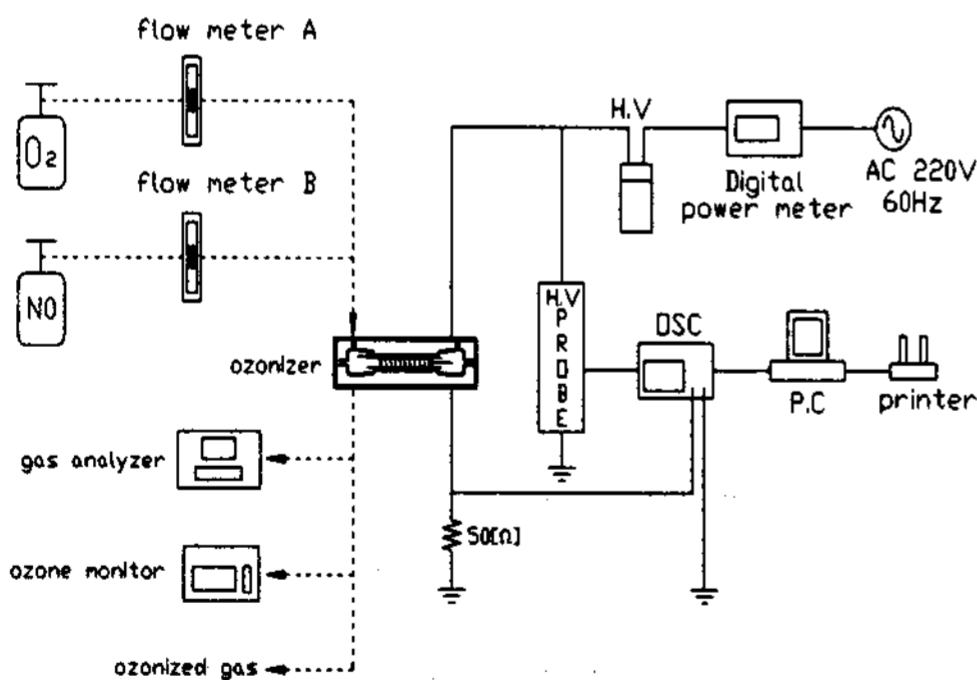


그림 2. HDO를 이용한 실험장치의 배치도
Fig. 2. The arrangement diagram of experimental apparatus using HDO

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[°]의 위상차를 가진 동일 크기의 역극성 교류고전압을 HDO의 형

태(CIHDO, CEHDO 및 IEHDO)에 따라 2개의 전극에 각각 인가하고 나머지 전극을 공통접지하였다.

NT는 2개의 출력단자에 동일한 크기의 교류고전압이 180[°]의 위상차를 두고 형성되므로 출력시에는 동일한 위상에서 正負의 peak 전압이 발생된다.

이때 각 HDO에서 Q 및 NT의 출력전압에 따른 방전전압(V_d) 및 방전전류(I_d)를 고전압 분압기(HV probe, 내압 50[kV], 분압비 = 2000 : 1)에 의하여 감쇄된 전압과 무유도 저항(50[Ω]±0.1[%])의 양단전압을 이용하여 digital storage oscilloscope (OSC, 500[MHz], 1[Gs/s])로 측정하였다.

방전전력(W_d)은 digital power meter(0~9999[W])를 이용하여 방전시의 전력, NT의 전력손실 및 선로손실 등을 포함한 NT 입력단에서 오존발생장치 전체회로에 소모되는 전력을 측정하였다.

또한 HDO에 대한 대기환경개선 분야로의 적용가능성을 연구하기 위하여 NO gas analyzer(NO : 0~2000[ppm])를 이용하여 NO(1200[ppm])/N₂ 가스를 유량계(0~10[l/min])로 조절하면서 SDO로부터 생성된 오존화 가스에 반응시켰을 때의 NO 제거율(NO_{RR})과 HDO의 입력단에서 NO(1200[ppm])/N₂ 가스를 유량계로 조절하면서 HDO로 유입시켰을 때의 NO 가스 제거율(NO_{FR})을 측정 및 분석하였다. 이때 NO 제거율은 초기 NO 농도(1200[ppm])에 대하여 NO gas analyzer를 이용하여 측정한 NO 농도의 비를 백분율로 나타내었다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 HDO의 방전 및오존생성특성

그림 3의 (a) 및 (b)는 Q가 각각 2 및 10[l/min]인 경우, 전압인가 방식에 따른 HDO의 형태(CIHDO, CEHDO 및 IEHDO)를 매개변수로 두었을 때, W_d-O_{3con}, O_{3g} 특성을 나타낸 것이다.

그림과 같이 동일한 HDO에 대하여 W_d가 증가할수록, Q가 낮을수록 O_{3con} 및 O_{3g}가 상승하는 것으로 나타났다.

Q가 낮아지고 W_d가 증가할수록 원료가스인 산소 분자의 HDO 방전공간에서의 체류시간이 증가하면

서 높은 방전전력에 의한 무성방전과 연면방전의 활성화에 의하여 생성된 전자와의 증가된 결과이다.

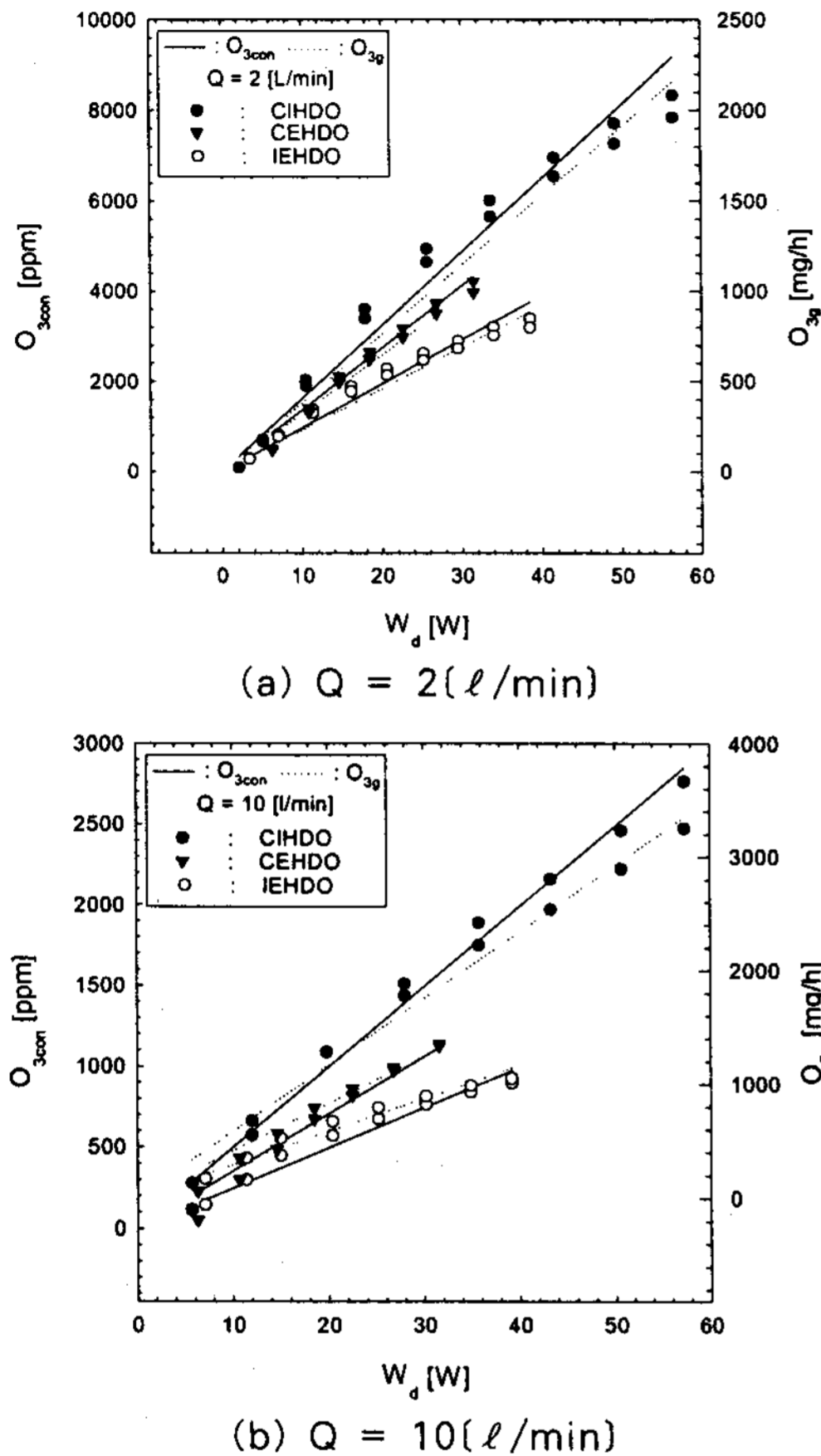


그림 3. HDO를 매개변수로 한 W_d - O_{3con} , O_{3g} 특성
 Fig. 3. The characteristics of W_d - O_{3con} , O_{3g} with variation of HDO

또한 Q 가 일정한 경우, O_{3con} 및 O_{3g} 는 CIHDO > CEHDO > IEHDO 순으로 나타났다.

그 결과 CIHDO의 경우 Q 가 2[l/min]일 때, 최대 8334[ppm]의 O_{3con} 과 Q 가 10[l/min]일때, 3249 [mg/h]의 최대 O_{3g} 를 얻을 수 있었다.

이것은 HDO의 방전개시전압이 낮도록 표면을 pitch 1[mm], 첨예도 60[°]로 하여 나사형으로 가공한 CE 효과와 HDO에 180[°]의 위상차를 가진 역극성의 교류 고전압을 인가에 의하여 동일한 방전공간내에서 형성되는 무성방전과 연면방전이 중첩되어 발

생하는 복합방전특성이 다음과 같이 HDO의 형식에 따라 다르기 때문이다.

첫째 CIHDO의 경우, CE-EE 사이의 무성방전과 IE-EE 사이의 연면방전이 중첩된 복합방전을 이용하면서 CE와 IE에 고전압을 인가하고 EE를 공통접지하기 때문에 무성방전의 발생이 가장 용이한 구조이다.

즉 그림 1과 같이 CE-EE 사이의 기하학적 거리 (6.3[mm])가 다른 HDO 형식보다 가장 크기 때문에 높은 인가전압에 의하여 방전전력이 높게 형성되면서 다른 형식의 HDO보다 복합방전이 가장 활성화되는 것이다.

이것은 Q 가 2[l/min]일 때, HDO의 복합방전시 방전발광을 촬영한 사진 1에서 명확하게 알 수 있었다. 사진 1의 (a)와 같이 동일한 V_d (13[kV])에서 CIHDO의 I_d 가 가장 높게 나타나면서 무성방전과 연면방전에 의한 복합방전의 방전발광이 가장 강하게 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

둘째 CEHDO의 경우, IE를 공통접지전극으로 사용함으로써 CE-IE 사이의 무성방전과 EE-IE 사이의 연면방전의 중첩을 이용한 HDO이다.

CEHDO는 CE와 EE에 역극성의 교류 고전압을 인가하지만 CE-IE 사이의 기하학적 거리가 3.8[mm]로 CE-EE 사이의 거리가 6.3[mm]인 CIHDO에 비하여 무성방전과 연면방전에 의한 복합방전의 활성화가 상대적으로 약하기 때문에 O_{3con} 및 O_{3g} 가 CIHDO보다 낮아지는 것이다.

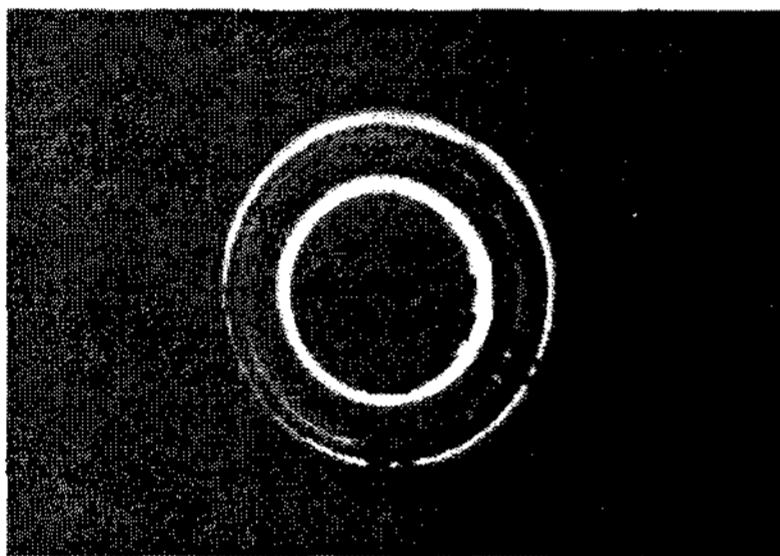
셋째 IEHDO의 경우, CE를 공통접지전극으로 사용함으로써 EE-CE 사이의 무성방전과 IE-CE 사이의 무성방전의 중첩을 이용한 HDO이다.

기하학적 거리는 CIHDO의 경우와 동일하지만 IEHDO에서 고전압전극으로 사용된 EE는 CIHDO에서 고전압 전극으로 사용된 CE보다 방전면적이 상대적으로 크고, IE-CE 사이의 무성방전도 공통접지전극으로 전극 CE를 사용하기 때문에 CE를 고전압 전극으로 사용한 CIHDO 및 CEHDO에 비하여 무성방전의 활성화가 어렵게 된다.

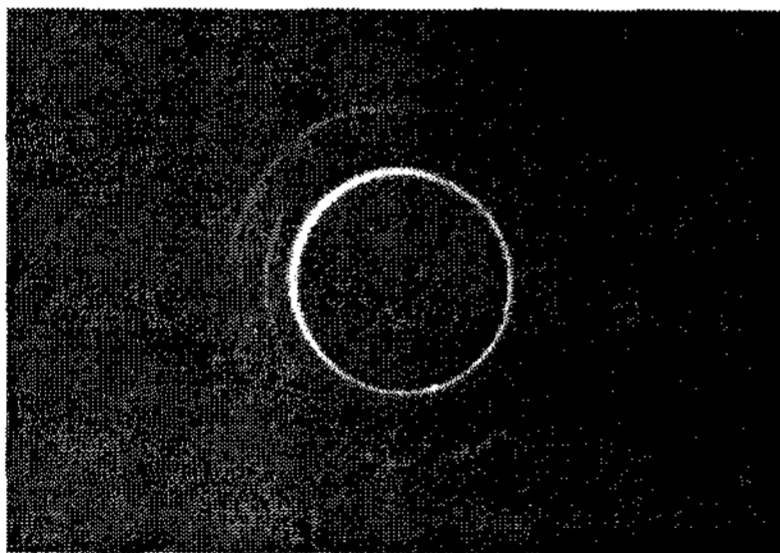
따라서 IEHDO의 중첩 무성방전은 CIHDO 및 CEHDO에 비하여 상대적으로 활성화 되기 어렵기 때문에 무성방전의 중첩에 의하여 가속된 전자와 원

료가스 중에 포함된 산소분자와의 충돌확률이 감소하게 되어 그림 3과 같이 오존생성특성이 가장 낮게 나타나는 것이다.

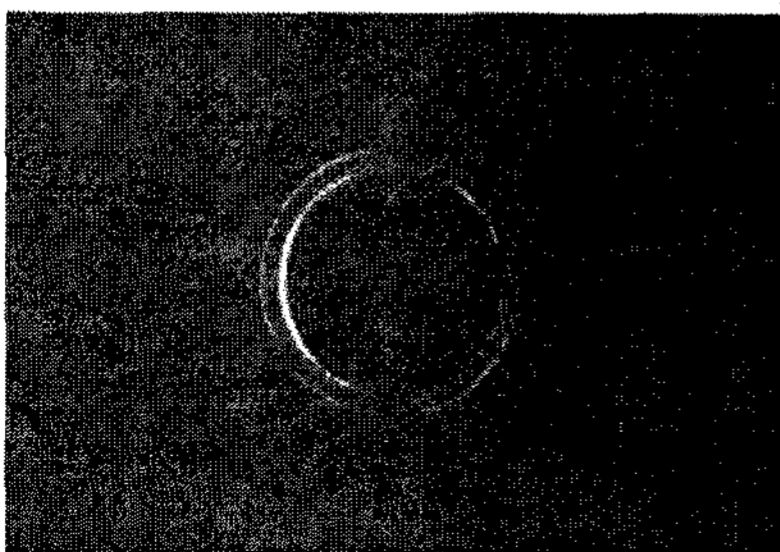
또한 그림 3에서 Q가 일정할 때, CIHDO의 W_d 가 가장 높은 것을 알 수 있었다. 즉 CIHDO에서 무성방전이 발생하는 CE-EE 사이와 연면방전이 발생하는 IE-EE 사이의 기하학적 거리가 HDO의 형식중 가장 크기 때문이며, 공통접지전극으로 사용된 EE의 면적 또한 가장 크기 때문에 공통접지전극으로 IE 및 CE를 사용한 CEHDO 및 IEHDO에 비하여 높은 V_d 가 인가에 의한 것이라고 사료된다.



(a) CIHDO ($V_d = 13$ (kV), $I_d = 8.6$ (mA))



(b) CEHDO ($V_d = 13$ (kV), $I_d = 4.9$ (mA))



(c) IEHDO ($V_d = 13$ (kV), $I_d = 5.8$ (mA))

사진 1. Q가 2(ℓ /min)인 경우, 각 HDO의 발광 사진
Photo 1. The photographs of light emission each HDO

3.2 HDO의 NO 가스 제거특성

본 연구에서 제작된 HDO의 대기환경개선분야로의 적용가능성을 검토하기 위하여 NO 가스의 제거특성을 연구하였다. 이때 NO 가스의 농도가 1200[ppm]인 NO(1200[ppm])/N₂ 가스의 제거특성을 조사하고자 다음과 같은 2가지 연구를 진행하였다.

첫째, 그림 4의 (a)와 같이 HDO에서 발생한 오존화 가스와 NO(1200[ppm])/N₂ 가스를 오존발생기 후단에서 혼합하는 방식(NO Rear Reaction, 이후 NORR)이다.

일반적으로 NO 가스의 제거특성은 NO가 오존과 반응할 때 N, O, N^{*} 및 N⁺ 등으로 분해되거나 NO₂, N₂O, N₂O₅ 로 산화되지만, 본 연구에서는 NO가 오존과 반응할 때, 가장 주된 반응인 NO가 NO₂ 로 산화되는 경우를 NO가 제거된 것으로 정의하였다[11].

이때 NO 가스의 제거농도는 각 HDO에서 무성방전과 연면방전의 복합방전으로 생성된 오존화가스 2[ℓ /min]와 NO 가스 10[ℓ /min]를 혼합하여 합성유량을 약 12[ℓ /min]로 유지하면서 SDO 출구측 150[mm] 지점에서 0.24[sec]동안 반응시켰을 때, W_d 의 변화에 따른 NO 가스 제거율(NO Removal Reaction, 이하 NO_{rr})을 gas analyzer를 사용하여 측정하였다.

NO 가스 제거율은 초기 NO 농도(1200[ppm])에 대하여 복합방전시 NO gas analyzer를 이용하여 측정한 NO 농도의 비를 백분율로 나타내었다.

둘째, 그림 4의 (b)와 같이 NO(1200[ppm])/N₂ 가스 12[ℓ /min]를 각 HDO에 원료가스로 유입시켜 gas analyzer를 사용하여 NO_{rr}을 측정하고, 이를 NO 가스 전처리(NO Front Reaction, 이하 NO_{FR})로 정의하였다.

그림 4의 (a)는 NO 가스를 후처리(NO_{RR})한 경우, 각 HDO를 매개변수로 하였을 때, W_d 변화에 따른 NO 농도의 변화와 제거율(NO_{rr})을 나타낸 것이다.

그림 4의 (a)와 같이 각 HDO에서 W_d 의 증가에 따라 NO 농도가 감소되면서 NO_{rr}이 상승하는 것으로 나타났다.

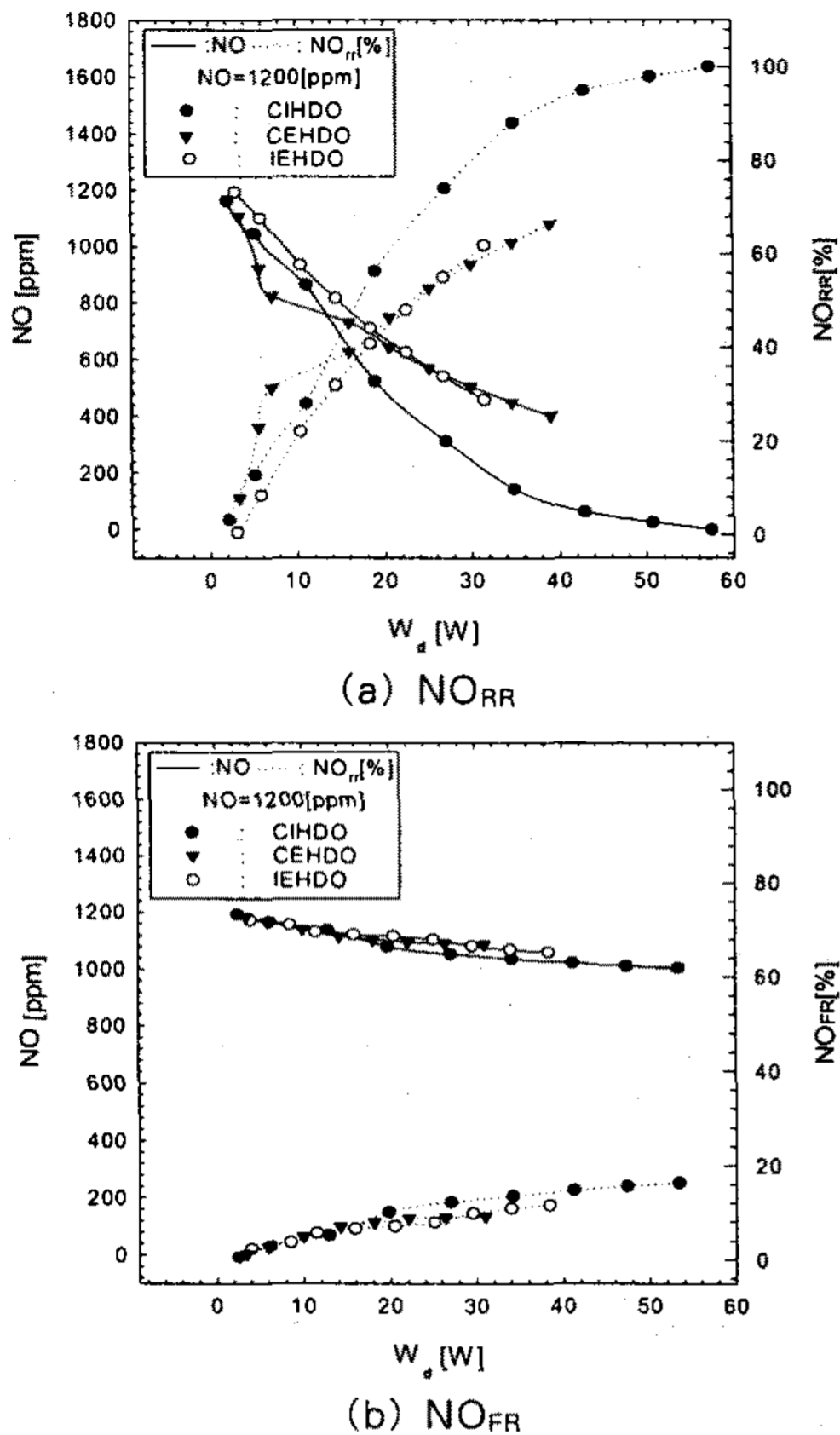
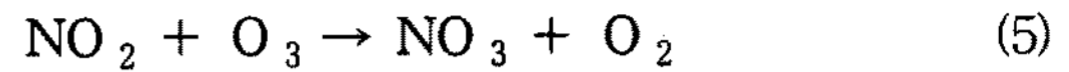
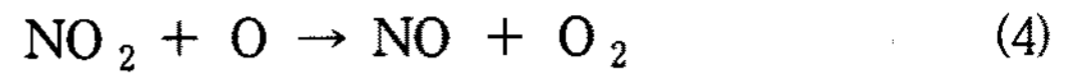
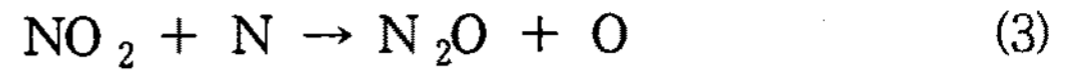


그림 4. HDO를 매개변수로 한 W_d - NO_{RR} , NO_{FR} 특성
 Fig. 4. The characteristics of W_d - NO_{RR} , NO_{FR} with variation of HDO

이는 식 (1) 및 (2)와 같이 오존발생기에서 생성된 오존화 가스 즉, 오존분자 및 산소원자가 NO 가스와 혼합되면서 산화반응을 일으켜 NO_2 로 산화되어 NO 농도를 저감시키는 것이다.



또한 식 (3), (4) 및 (5)는 NO가 NO_2 로 산화된 후 오존화 가스 중에 포함되어 있는 질소원자, 산소원자 및 오존분자와의 반응으로 NO로 다시 환원되거나 N_2O 혹은 NO_3 등의 질소화합물로 산화되는 반응을 나타내고 있다[12].



위와 같은 반응에 의하여 그림 4의 (a)에서 W_d 의 증가에 따라 NO_{rr} 은 계속 상승하여 CIHDO의 경우, W_d 가 58[W]이고 O_{3con} 이 8334[ppm]일 때 최대 100[%]의 NO_{rr} 을 얻을 수 있었다. 그리고 CEHDO의 경우, O_{3con} 이 4221[ppm]일 때, 66[%]의 최대 NO_{rr} 을 얻을 수 있었으며, IEHDO의 경우는 O_{3con} 이 3392[ppm]일 때, 62[%]의 최대 NO_{rr} 을 얻을 수 있었다.

이러한 결과를 바탕으로 NO_{RR} 에서의 NO_{rr} 은 $CISDO > CESDO > IESDO$ 의 순으로 나타난 결과, 최대 O_{3con} 에 비례하는 NO_{rr} 특성을 얻을 수 있었다.

그림 4의 (b)는 NO를 전처리(NO_{FR})하는 경우, 각 HDO를 매개변수로 하였을 때 W_d 변화에 따른 NO 농도 변화와 제거율(NO_{FR})을 나타낸 것이다.

그림과 같이 NO_{FR} 의 경우도 NO_{RR} 의 경우와 마찬가지로 W_d 가 상승함에 따라 NO 농도는 감소하면서 NO_{FR} 은 상승함을 알 수 있었다.

따라서 NO_{FR} 의 경우도 $NO(1200[ppm])/N_2$ 가스 12[l/min]를 HDO 유입시켰을 때, W_2 의 증가에 따라 NO_{FR} 은 계속 상승한 결과 CIHDO에서 16[%]의 최대 NO_{FR} 을 얻을 수 있었다. 그리고 CEHDO일 경우, 9[%]의 최대 NO_{FR} 을 얻었고, IEHDO의 경우는 12[%]의 최대 NO_{FR} 을 얻을 수 있었다.

그러나 NO_{FR} 의 경우는 NO_{RR} 에 비하여 1/6 정도의 NO_{FR} 을 얻을 수 있었다.

따라서 본 논문에서 설계·제작한 HDO의 경우는 NO 후처리가 전처리에 비하여 약 6배 정도의 NO 가스 제거율을 얻을 수 있었으므로, HDO를 이용하여 NO 가스 제거분야에 활용을 위해서는 무성방전과 연면방전에 의한 복합방전으로 오존을 발생시켜 NO 가스를 처리하는 후처리가 유용한 방법이라는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 무성방전과 연면방전이 동일한 방

전공간에서 발생가능하고, 전압인가 방식에 따라 방전특성이 다른 3가지 형식의 오존발생기를 구성가능한 복합방전형 오존발생기를 설계·제작하여 오존생성특성과 NO 가스 제거특성을 연구·검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (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) NO 가스 입력방식에 따른 NO 제거율 특성을 연구한 결과, NO 가스 후처리 제거방식이 우수한 것으로 나타났다.
- (4) 복합방전형 오존발생기에서 발생된 오존생성농도가 높을수록 NO 가스 제거율이 상승하였다.
- (5) NO 가스 제거방식이 후처리이고 외부전극을 공통접지한 복합방전형 오존발생기를 사용하였을 때, 8334[ppm]의 오존을 이용하여 1200[ppm]의 NO를 100[%] 제거하였다.

이러한 결론을 통하여 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.

References

- [1] MHigashi 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 O₂/N₂ in acoaxial 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] Tetsuji Oda et al, "Nitric oxide decomposition in air by using nonthermal plasma processing with additives and catalyst", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.2, pp.268~272, 1998.
- [5] Remy Bendahan et al, "Nitrogen oxides decomposition

- using a dielectric barrier discharge reactor", T. IEE, Vol.118-A, No.4, pp.380~386, 1998.
- [6] 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.
- [7] Fujiwara.K. et al, "The effect of carbonaceous deposit for NOx dissociation by barrier discharge", ICOPS, pp.20~24, 1999.
- [8] Keping Yan et al, "NOx removal from air streams by a superimposed AC/DC energized flow stabilized streamer corona", T. IEE, Vol.118-A, No.9, pp.948~953, 1998.
- [9] Kuniko Urashima et al, "Reduction of NOx from natural gas combustion flue gases by corona discharge radical injection techniques", IEEE Trans. on Industry Applications, Vol.34, No.5, pp.934~939, 1998.
- [10] Keping Yan et al, "Streamer-glow-spark transition in a corona radical shower system during NOx removal operation", T. IEE, Vol.119-A, No.7, pp.938~943, 1999.
- [11] E. M. van Veldhuizen, et.al. "Energy Efficiency of NO Removal by Pulsed Corona Discharges", Plasma Chemistry and Plasma Processing, Vol 16, No. 2, pp. 227~247, 1996.
- [12] S. Kanazawa, J. S. Chang, G. F. Round, G. Sheng, T. Nomoto and T. Adachi, "Removal of NOx from Flue Gas by Corona Discharge Activated Methane Radical Showers", Journal of Electrostatics 40&41, pp. 651~656, 1997.

◆ 저자소개 ◆

송현직 (宋炫直)

1968년 7월 30일생. 1991년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 1997년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 2001~2004년 구미1대학 컴퓨터응용전기전공 전임강사. 본 학회 평의원. 현재 영남대학교 전기공학과 전문위원.

이광식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대학교 전기공학과 졸업(학사). 1987년 동대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙교수. 대한전기학회 방전고전압연구회 간사장 역임. 당 학회 편수위원장, 부회장 역임. 현재 감사. 현재 영남대학교 전기공학과 교수.