

# ICCD Camera를 이용한 NO입자의 Image관측

(Image Observation of NO Particles Using ICCD camera)

전용우\* , 최준영<sup>o</sup>, 최성태<sup>oo</sup>, 박원주<sup>o</sup>, 이광식<sup>o</sup>, 신용철<sup>ooo</sup>

Yong-Woo Jun\* · Joon-Young Choe<sup>o</sup> · Sang-Tae Choi<sup>oo</sup> · Won-Zoo Park<sup>o</sup> · Kwang-Sik Lee<sup>o</sup> · Yong-Chul Shin<sup>ooo</sup>

(\* , o : 영남대학교 대학원 전기공학과 , oo : 경주대학교 컴퓨터전자공학부, ooo : 영남이공대학 전기전자계열)

## Abstract

In this paper, the removal rate of NO in a reactor is measured first using nonthermal plasma generated from a wire-cylinder type reactor, then the spatial density distribution of NO particles is investigated using ICCD(Intensified Charged Coupled Device) camera. This research uses nonthermal plasma from electrical discharge to analyze the NO characteristics, and the measurements of NO discharge image and Distribution are performed using the ICCD camera to examine the NO characteristics more closely. Furthermore, the method of Laser Induced Fluorescence (LIF) is used to analyze the particular behavior of NO particles more specifically, to suggest a method of reducing exhaust gas, a serious environmental problem.

## 1. 서론

최근, 화석연료 등의 연소에 의해 생기는 탄소산화물(COx), 유황산화물(SOx) 및 질소산화물(NOx)에 의한 대기오염이 매우 큰 문제가 되고 있어, 근래에 방전을 이용하여 이들 대기오염물질을 분해·무해화하려는 시도가 행해지고 있다. 대기오염의 요인 중 NOx는 최근 급속히 증가하고 있는 차량의 배기가스의 대부분을 차지하고 있다. NOx를 줄이기 위한 대책으로, (1) 엔진본체에서 생성되는 NOx를 제어하기 위해 에멀전(emulsion) 연료를 사용하거나, (2) 엔진 내에서의 연료의 분사시기를 늦춘다든지, (3) 배기되어진 NOx를 암모니아 탈소법에 의해 처리하거나, (4) 전기방전에 의해 생성되는 비열플라즈마를 이용한 처리법 등의 방법이 있다

이 중 비열플라즈마인 코로나방전을 이용한 NOx의 분해기술은 低에너지, 低비용, 공간을 적게 차지하는 등의 이점을 가지고 있어 화학적인 처리법에 비해 상당히 효과적이라고 알려져 있다<sup>[1],[2]</sup>

이러한 비열플라즈마의 방전 메커니즘을 파악하기 위해서 본 연구에서는 선대 원통형 전극구조에서 발생하는 비열플라즈마를 이용하여 교류전원인가시의 NO의 제거율을 측정하고, 리액터 내에서의 방전시의 Image와 NO의 공간적인 밀도분포를 ICCD Camera<sup>[4],[5][6]</sup>를 사용하여 개측하였다. 측

정된 데이터는 차후 레이저 유기형광법(LIF)<sup>[7][8]</sup>을 사용하여 검증을 행하여 차후 NOx 제거용 리액터 제작 및 분해 프로세스에 관한 연구에 체계적인 정보를 제공하리라 생각된다.

## 2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

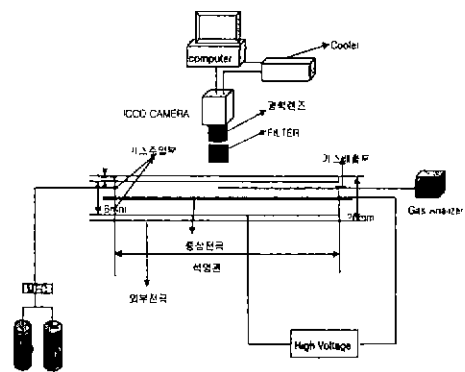


그림1. 실험장치의 개략도  
Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

실험장치는 크게 3부분으로 구성된다. 첫 번째로,

방전리액터부분으로 리액터는 두께 2[mm], 내경 16[mm]의 석영관을 사용하였고 전극은 두께 4[mm]의 스테인레스 재질을 사용하였으며 가스공급부와 가스배출부를 고려하여 설계하였다. 두 번째로 측정부로서 NO입자들을 측정하기 위해서 ICCD Camera를 사용하였다 ICCD카메라의 렌즈는 UV대역까지 측정할수 있는 석영재질의 광학렌즈를 사용하였으며 NO입자만을 측정하기 위해서 렌즈앞에 필터를 삽입하였다 ICCD Camera로 측정된 신호는 PC로 전해져 데이터 처리를 하게된다. 세 번째로, 가스탱크와 Flowmeter로 구성된 가스공급부이다. 실험에 사용된 모의가스는 flowmeter를 통해서 일정하게 공급된다. 모의가스의 농도는 초기값이 1820=20[ppm]이고 유량은 1 [l/min]으로 하였다. 농도조절은 N<sub>2</sub>가스를 사용하여 적절히 조절하였으며 NO의 농도 측정은 가스분석기를 사용하여 측정을 행하였다.

그림 2는 본 연구에서 사용될 방전리액터의 개략도를 나타내고 있다. 방전리액터의 직경은 20[mm], 길이는 300[mm]이다. 관의 입구에는 샘플가스를 주입하기 위한 창을내었으며 반대편에는 가스배출을 위한 창을 내었다.

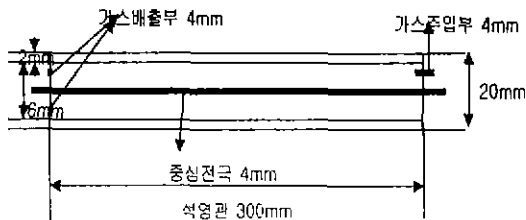


그림 2. 방전리액터의 구성도  
Fig. 2 Schematic diagram of discharge reactor

실험방법은 방전관 속으로 샘플가스를 주입한 후 AC 전원을 인가하여 방전을 일으켜 NO 입자들의 신호강도를 ICCD camera를 이용하여 측정하게 되고, 얻어진 값을 밀도분포로서 나타내었다.

### 3. 실험결과

본 연구에서 측정된 실험결과는 교류방전에서의 NO입자들의 방전 Image와 그 밀도분포를 나타낸다 실험조건은 방전관의 직경 20[mm] 중심전극의 두께 4[mm]로 하였으며, 유량은 1 [l/min]로 NO의 농도를 변화시키가면서 실험을 행하였다

그림3은 NO의 농도에 따른 교류방전시의 Image를 나타낸 것으로 shutter time은 10[ms]로 조절하

여 방전개시후 5초경과시의 Image를 측정한 것이다 그림에서 나타낸 것 같이 밝게 표시된 곳이 신호강도가 크고 입자들의 움직임이 활발하다고 생각된다.

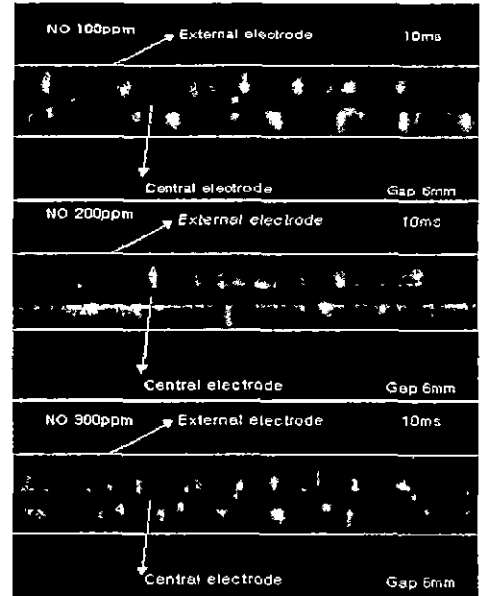


그림3. 교류방전시의 Image (5초경과)  
Fig. 3 Image of AC discharge (After 5seconds)

그림4는 그림3에서 나타낸 방전의 Image를 신호강도로 나타낸 것으로서, NO농도에 따른 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다.

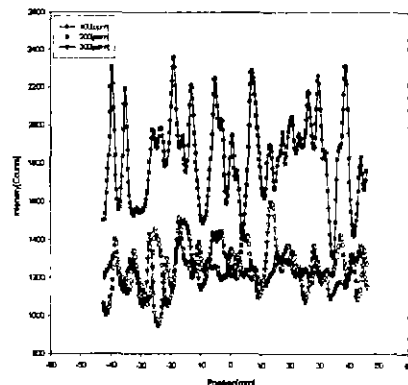


그림4. NO 농도에 따른 수평방향의 신호강도  
Fig. 4 Horizontal signal strength with NO concentration

그림에서 알수 있듯이 NO농도 100[ppm]일때의 신호강도(counts)가 가장 높고 200과 300[ppm]에

서는 큰 변화가 없는 것을 나타낸다. 이는 NO농도 100[ppm]에서 입자들의 움직임이 활발하고 따라서 신호강도는 크게 나타나기 때문이라고 생각된다.

그림5는 NO농도 100[ppm]에서 교류방전시 ICCD camera의 shutter time을 10[ms]-12[ms]로 조절하여 방전개시후 5초경과시 측정된 Image를 나타낸다. 그림에서 알수있듯이 시간이 지남에 따라서 방전점이 계속해서 이동하고 있는 것을 알 수 있다.

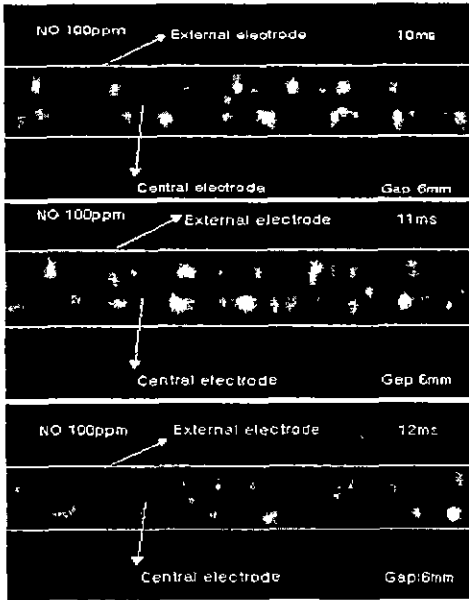


그림5. 시간에 따른 교류방전의 Image (100 [ppm])  
Fig. 5 Image of AC discharge with time variable (100 [ppm])

그림6은 그림5의 Image에 대한 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다

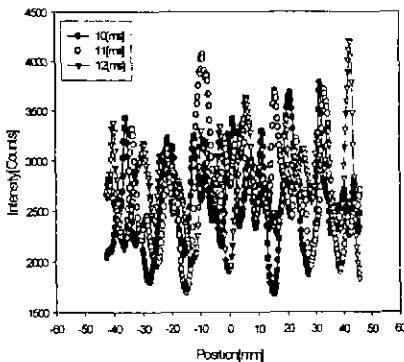


그림6. 시간에 따른 수평방향의 신호강도 (100 [ppm])  
Fig. 6 Horizontal signal strength with time variable (100 [ppm])

신호강도는 시간이 지남에 따라서 조금씩 높아지

는 것을 볼 수 있다. 이는 시간이 지남에 따라서 방전현상이 진전되고 있음을 나타내는 것이다.

그림7은 NO농도 200[ppm]에서 교류방전시 ICCD camera의 shutter time을 10[ms]-12[ms]로 조절하여 방전개시후 5초경과시 측정된 Image를 나타내 것이다.

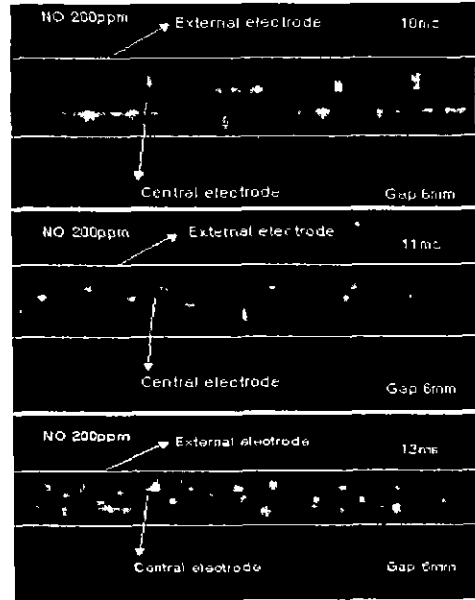


그림7. 시간에 따른 교류방전의 Image (200 [ppm])  
Fig. 7 Image of AC discharge with time variable (200 [ppm])

그림8은 그림7에서의 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다.

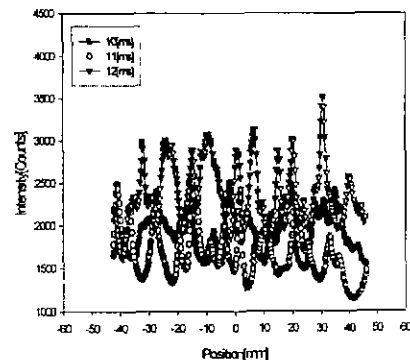


그림8. 시간에 따른 수평방향의 신호강도 (200 [ppm])  
Fig. 8 Horizontal signal strength with time variable (200 [ppm])

그림9는 NO농도 300[ppm]에서의 교류방전시 shutter time을 10ms-12ms로 조절하여 방전개시

후 5초경과시 측정 한 Image를 나타내것이다.

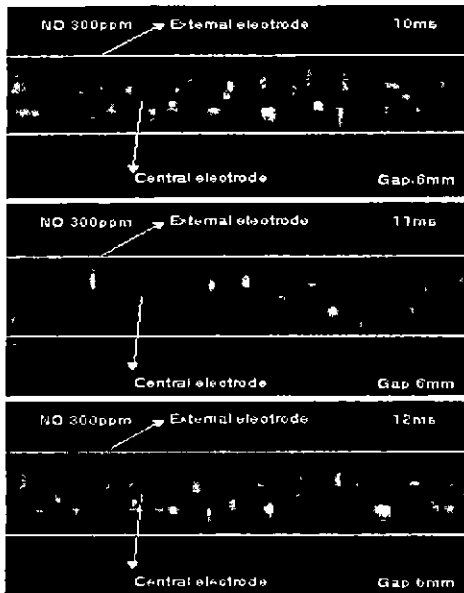


그림9. 시간에따른 교류방전시의 Image (300 ppm)  
Fig. 9 Image of AC discharge with time variable (300 ppm)

그림10은 그림9에서의 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다.

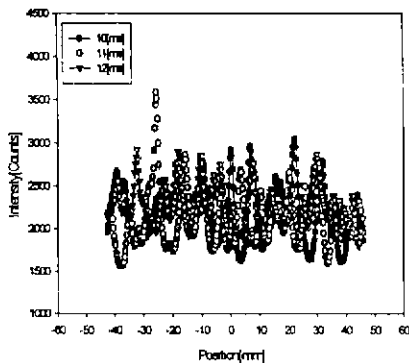


그림10. 시간에따른 수평방향의 신호강도 (300 ppm)  
Fig. 10 Horizontal signal strength with time variable (300 ppm)

#### 4. 검토 및 고찰

ICCD Camera를 이용한 방전의 Image측정과 입자의 신호강도 측정을 행하였다 이는 기존의 방전현상의 규명과 입자들의 거동을 파악하는데 있어서 중요한 데이터로서 사용될수 있으리라고 생각

된다. 또한, 본 실험을 통한 결과는 차후 NOx 제거용 리액터 제작시 보다 체계적인 자료로 활용될수 있으리라 생각된다.

본 논문에서 나타낸 실험결과를 간략히 소개하면 다음과 같다

- ①. NO농도에 따른 교류방전시의 Image를 방전개시후 5초경과시에 ICCD camera의 shutter time을 10[ms]로 하였을때의 방전의 Image를 관측할 수 있었다
- ②. NO농도를 100[ppm]-300[ppm]으로 변화시키고 ICCD camera의 shutter time을 10[ms]-12[ms]로 변화시켰을때의 방전진전현상의 Image를 관측할 수 있었다.
- ③. 수평방향의 신호강도는 NO농도 100[ppm]에서 가장 높게 나타났다.
- ④. ICCD Camera의 shutter time을 변화시켰을때의 신호강도는 시간이 지남에 따라서 조금씩 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

- [1] NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge University, England, Sept. 21-25, 1992, pp.1-8
- [2] M. Higashi, S. Uchida, N. Suzuki and K. Fujii, "Simultaneous reduction of soot and NOx in a diesel engine exhaust by discharge plasma", T.IEE Japan, Vol.111-A, No.5, pp.467-473, 1991
- [3] A. C. Gentile, M. J. Kushner, "Microstreamer dynamics during plasma remediation of NO using atmospheric pressure dielectric barrier discharge", J. Appl. Phys., Vol.78, No.3, pp.2074-2085, 1995
- [4] Gregory J. Roth and Martin A. Gundersen "Laser-Induced Fluorescence Images of NO Distribution After Needle-Plane Pulsed Negative Corona Discharge", IEEE transactions on plasma science, vol. 27, NO 1, pp28-29
- [5] Makoto Kosuge, Masanori Fujiwara, Masayoshi Ishida "Analyses of Pulse Duration Influence on the NOx Removal by a Pulsed Corona Discharge with Luminescence Measurement", 平成11年 電気學會基礎・材料・共通部門大會, pp184-189
- [6] Keiji Goto, Yoshiki Noma, Yukihiko Yamagata, Tomoaki Ikegami, Kenji Ebihara "ICCD Study of High-frequency Silent Discharge in Mixture Gases" 1999 J-K Joint Symposium on ED & HVE, pp293-296
- [7] C. Schulz, V. Sick, J. Heinze and W. Stricker, "Laser-induced-fluorescence detection of nitric oxide in high-pressure flames with A-X(0,2) excitation", Appl. Opt., Vol.36, No.15, pp.3227-3232, 1997
- [8] A. V. Mokhov, H. B. Levinsky and C. E. vander Meij, "Temperature dependence of laser-induced-

fluorescence of nitric oxide in laminar premixed atmospheric-pressure flames", *Appl. Opt.*, Vol 36, No.15, pp.3233-3243, 1997

[9] D. D. Thomson, F. F. Kuligowski, and N. M. Laurendeau, "Background corrections for laser-induced-fluorescence measurements of nitric oxide in lean, high-pressure, premixed methane flames", *Appl. Opt.*, Vol 36, No 15, pp.3244-3252, 1997

[10] T. Nielsen, F. Bormann, M. Burrows, P. Andresen, "Picosecond laser-induced-fluorescence measurement of rotational energy transfer of OH  $A^2\Sigma^-(v'=2)$  in atmospheric pressure flames", *Appl. Opt.*, Vol.36, No.30, pp 7960-7969, 1997

[11] 레이저응용 연소진단기술 연구회, "레이저 응용 연소진단기술", pp.129