

ICCD를 이용한 NO입자의 형광신호강도 측정

(Measurement of Fluorescence Signal Strength of NO Particle Using ICCD)

전용우* · 박원주** · 이광식** · 이홍식***

(Yong-Woo Jun · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Hong-Sik Lee)

요 약

본 연구에서는 교류유전체장벽형 코로나방전을 이용하여 선대원통형 전극구조의 방전리액터내의 NO입자의 방전 Image와 형광방출파장대역[236[nm], 247[nm], 259[nm]]에서의 수평방향과 수직방향의 신호강도를 ICCD카메라를 이용하여 측정하였다. 또한 방전메카니즘을 알기 위해서 방전진전시간에 따른 방전 Image와 신호강도 측정을 행하였다. NO입자의 수평과 수직방향의 신호강도는 247[nm]대역에서 가장 큰 것을 확인 할 수 있었으며, 방전진전시간에 따른 수평과 수직방향의 신호강도는 큰 변화가 없었다. 특히 측정된 데이터로부터 반응장치 내부에서 일어나는 현상의 Image와 형광방출파장의 신호강도를 비교할 수 있었다.

Abstract

In this paper, the discharge image of NO particles wire-cylinder type electrode in the discharge reactor where AC dielectric barrier type corona discharge occurred and horizontal and vertical signal intensity at each fluorescence emission during discharge and the horizontal and vertical signal strength of NO particles at fluorescence emission wavelength band[236[nm], 247[nm], 259[nm]] were measured by ICCD Camera. In addition, discharge images and signal intensities in accordance with discharge time were measured to figure out the discharge mechanism.

It was found that the strongest horizontal and vertical signal intensity of NO particles were observed at 247[nm] band, but no big difference in the horizontal and vertical signal intensity in accordance with discharge time was seen. In particular, the phenomenon image occurring inside the discharge reactor and wavelength were able to be compared based on the measured data.

1. 서 론

* 정회원 : 영남대학교 대학원 전기공학과 박사과정
** 정회원 : 영남대학교 공과대학 전기전자공학부 · 교수
공학박사
*** 정회원 : 한국전기연구원 전기물리팀 · 공학박사
접수일자 : 2001년 3월 28일

질소산화물(NOx)은 황산화물(SOx)과 더불어 산성비의 주요 원인일 뿐만 아니라 광화학 스모그를 유발시키는 주요 대기오염물질이다.

ICCD를 이용한 NO입자의 형광신호강도 측정

자동차의 급격한 증가와 각종 공장에서 배출되는 대기오염의 심화, 화석연료 등의 연소에 의해 생기는 질소산화물(NOx) 및 황 산화물(SOx)에 의한 대기오염이 매우 큰 문제가 되고 있어, 근래에 방전을 이용하여 이들 대기오염물질을 분해·무해화하려는 시도가 행해지고 있다[1].

그 중에서도 비열플라즈마를 이용한 탈황·탈질공법은 대기압 조건에서 플라즈마 방전화학 반응을 일으켜 배기가스에 포함된 아황산가스(SO₂) 및 질소산화물(NOx)을 제거하는 기술로 많이 이용되고 있다. 특히, 코로나방전을 이용한 NOx의 분해기술은 저 에너지, 저 비용, 공간을 적게 차지하는 등의 이점을 가지고 있어 화학적인 처리법에 비해 상당히 효과적이라고 알려져 있다[1]~[3].

순도 99.9[%]의 NO가스(초기농도 1820±20[ppm])와 농도조절을 위해서 N₂ 가스를 혼합하여 만든 모의 배기가스플라즈마의 NO입자에 대한 여러 형광파장은 $\gamma(0,1), \gamma(0,2), \gamma(0,3)$ vibrational bands에 해당하는 236[nm], 247[nm], 259[nm]로 알려져있다[4]~[6].

따라서, 본 연구에서는 선대 원통형 전극구조에서 발생하는 비열플라즈마를 이용하여 NO입자의 방전시의 방전 Image와 형광파장대역에서의 수평방향과 수직방향의 신호강도를 ICCD Camera[7]~[9]를 이용하여 측정하였다. 또한 방전메카니즘을 알기 위해서 방전진전시간에 따른 방전 Image와 수평방향과

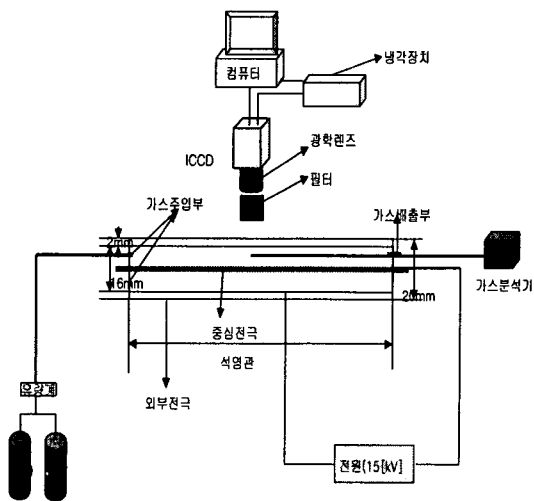


그림 1. 실험장치의 구성도
Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus

수직방향에 대한 신호강도 측정을 행하였다. ICCD[Oriel, InstaSpec V]로 부터 얻어진 ASCII 형식의 데이터는 환산을 거친 후 MKS 단위[mm]로 변환된다. 이를 통해서 리액터 내부에서 일어나는 현상의 시각화와 형광파장대역의 신호강도를 비교 할 수 있었다.

2. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용된 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었다.

실험장치는 크게 방전리액터부, 측정부, 가스공급부로 구성된다. 방전리액터의 재질은 석영으로 되어 있으며, 측정부는 모의 배기가스 플라즈마 중 NO입자들을 측정하기 위해서 236[nm], 247[nm], 259[nm]의 band pass filter를 ICCD 카메라 렌즈앞에 삽입하여 측정을 행하였다. Band pass filter의 투과율은 Peak Transmittance Minimum값이 모두 15[%]인 것을 사용하였다. 다음으로, 가스공급부는 NO와 N₂를 혼합시켜 flowmeter를 통해서 반응장치내로 공급된다. 실험에서 사용한 1000[ppm]이라는 농도는 가스분석기[IMR 2800-P]를 사용하여 조절하였다.

실험방법은 방전관 속으로 모의배기 가스를 주입한 후 AC 전원(15[kV], 60[Hz])을 인가하여 NO입자들의 236[nm], 247[nm], 259[nm]의 형광파장의 방전시 Image와 수직과 수평방향의 신호강도를 ICCD를 이용하여 측정하였다.

그림 2는 본 연구에서 사용될 방전리액터의 개략도를 나타내고 있다. 방전리액터는 두께2[mm], 직경

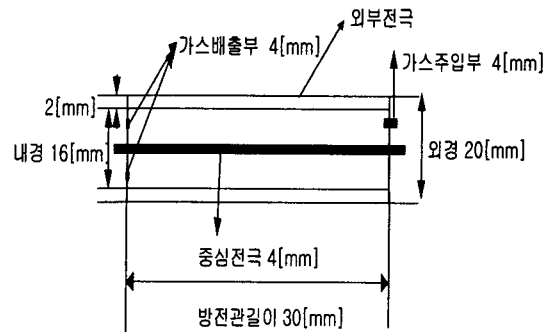


그림 2. 방전리액터의 구성도
Fig. 2. Schematic diagram of discharge reactor

은 20[mm], 길이는 300[mm]의 석영관을 사용하였다. 관의 입구에는 모의가스를 주입하기 위한 창을 내었으며 반대편에는 가스배출을 위한 창을 내었다.

3. 실험결과

본 연구에서는 교류방전시 NO입자들의 방전 Image와 형광파장에 따른 수평방향(방전관의 길이)과 수직방향(방전관의 직경)의 신호강도를 ICCD camera를 이용하여 관측을 행하였으며, 각각의 데이터는 5회 반복 측정된 것의 평균값을 취한 것이다. 표 1에 본 연구에서 이용한 실험조건을 나타내었다.

표 1. 실험조건
Table 1. Experimental condition

유 량	농 도	ICCD 셔터타임
1[l/min]	1000[ppm]	10[ms]

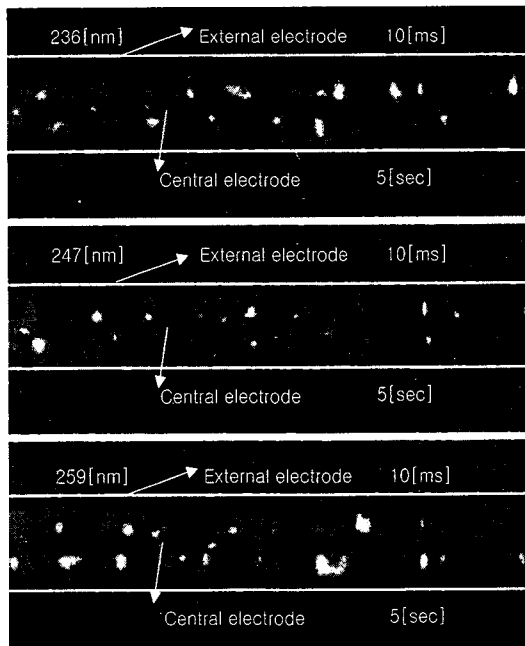


그림 3. 형광파장에 따른 교류방전시의 이미지
Fig. 3. Image of AC discharge with Fluorescence wavelength

그림 3은 NO입자의 형광파장 대역 중 일반적으로 신호강도가 강하다고 알려진 236[nm], 247[nm], 259[nm]의 파장들에 대한 방전리액터 내부의 현상을 ICCD를 이용하여 Image로 나타낸 것이다. 그림에서 밝게 표시된 곳이 NO 입자들의 반응이 활발하게 일어나는 곳이라고 생각되며, 아울러 신호강도 또한 강하다고 생각된다[10].

그림 4와 그림 5는 그림 3에서 나타낸 NO입자의 방전 Image를 파장(236[nm], 247[nm], 259[nm])에 따른 수평방향과 수직방향의 신호강도로 나타낸 것으로서, ICCD에서 받아들인 신호강도 값을 ASCII 데이터 형식으로 받아들이고 이를 MKS단위로[mm] 변환하여 나타낸 것이다. 또한, 대기압 방전은 불안정하므로 경향을 알기 위해서 각각의 파장에 대한 그래프를 회귀함수로 나타내었다.

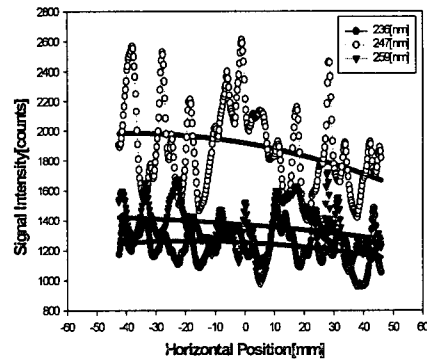


그림 4. 형광파장에 따른 수평방향의 신호강도
Fig. 4. Horizontal signal intensity with Fluorescence wavelength

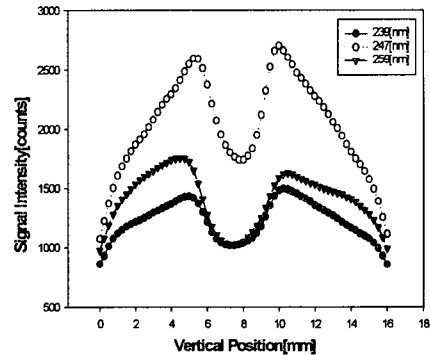


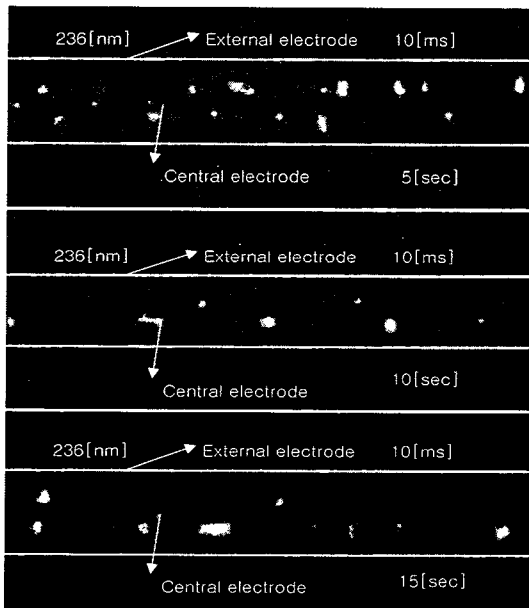
그림 5. 형광파장에 따른 수직방향의 신호강도
Fig. 5. Vertical signal intensity with Fluorescence wavelength

ICCD를 이용한 NO입자의 형광신호강도 측정

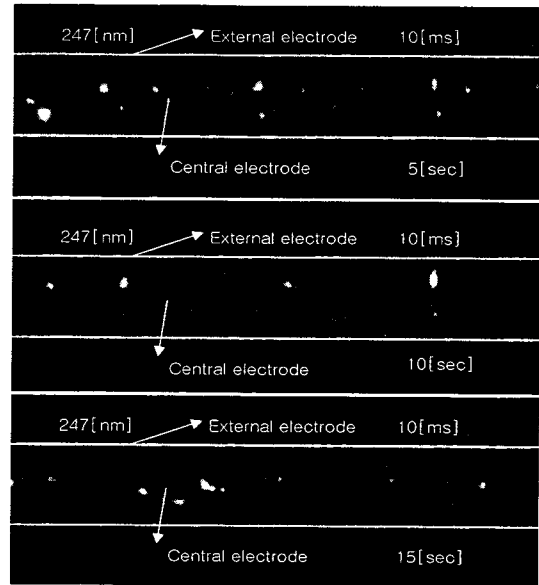
그림4에서 알 수 있듯이 실험에서 사용한 NO입자의 3가지 형광파장(236[nm], 247[nm], 259[nm])중에서 247[nm]대역에서 신호강도가 가장 큰 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 리액터의 내경 16[mm]중에서 중심전극(6~10[mm])이 차지하는 부분을 기준으로 거의 좌우 대칭형을 이루고 있는 것을 볼 수 있다. 이는 신호강도는 중심전극이 위치하고 있는 부분에서 전극의 영향으로 낮게 나타나며, 갭 중심부에서 크게 나타나는 것을 볼 수 있으며, 이 또한 247[nm]대역에서 가장 큰 것을 확인할 수 있었다.

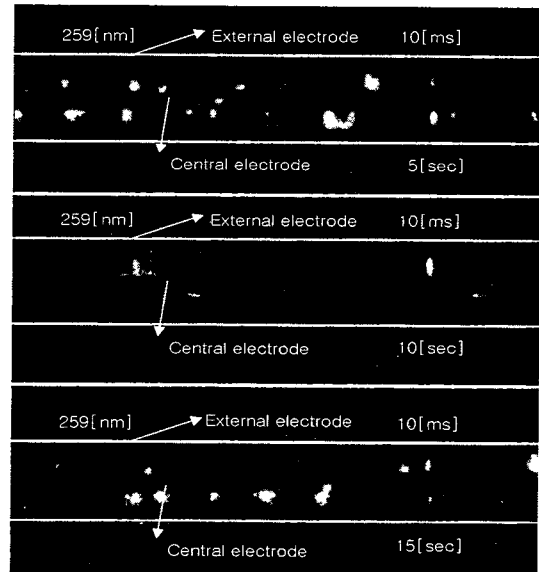
그림 6의 (a), (b), (c)는 각각 236[nm], 247[nm], 259[nm]에서의 방전시간에 따른 Image를 나타낸 것이다. 관측시간은 방전개시 후 비교적 안정된 상태인 5[sec], 10[sec], 15[sec]를 기준으로 하였다. 그림6의 (a), (b), (c)의 Image를 비교해보면 시간이 경과함에 따라서 방전시 일어나는 방전리액터 내부의 화학반응에 의해서 방전이 일어나는 위치가 시간에 따라서 달라지는 것을 볼 수 있다. 또한, 이를 바탕으로 방전진전시간에 따른 현상을 Image화 할 수 있었으며, 얻어진 데이터는 그림 6, 그림 7의 수평방향과 수직방향의 신호강도를 나타냄으로써 Image상의 밝은 곳의 위치를 확인할 수 있었다.



(a) 236 (nm)



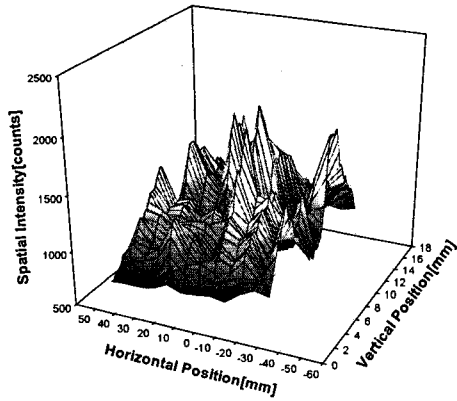
(b) 247 (nm)



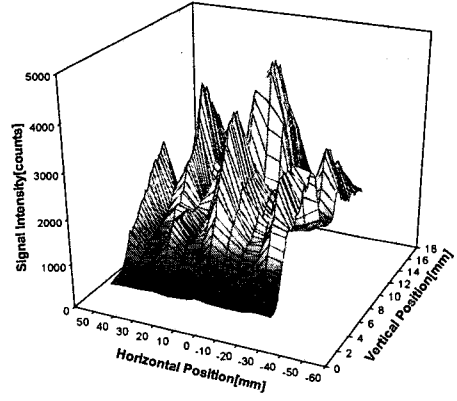
(c) 259 (nm)

그림 6. 방전진전 시간에 따른 파장대별 Image
Fig. 6. Image of wavelength by discharge development time

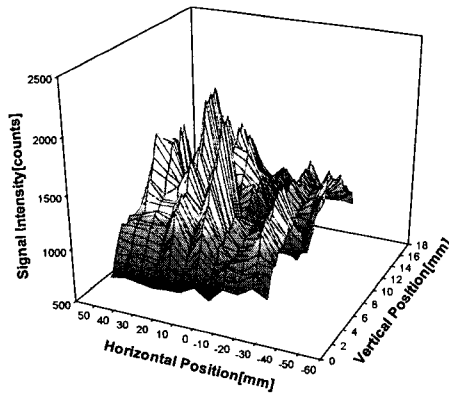
그림 7, 그림 8, 그림 9의 (a), (b), (c)는 각각 그림 6의 (a),(b),(c)의 방전Image에 대한 수평방향과 수직방향의 신호강도를 3차원으로 나타낸 것이다.



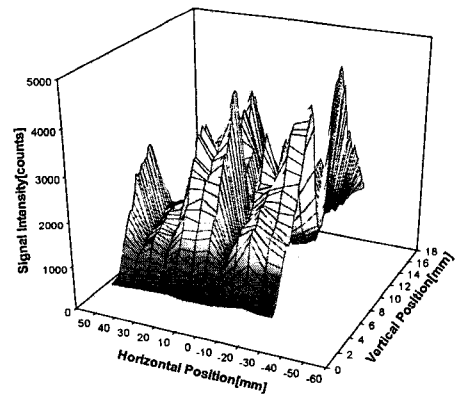
(a) 5초경과



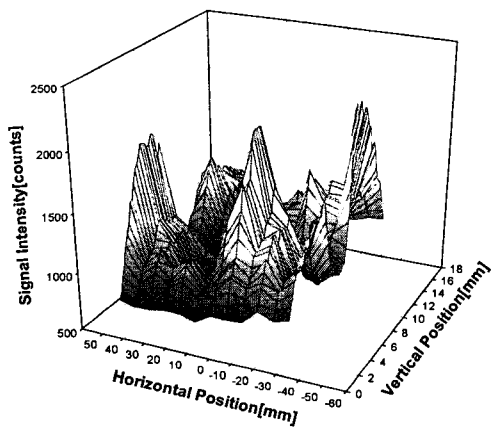
(a) 5초경과



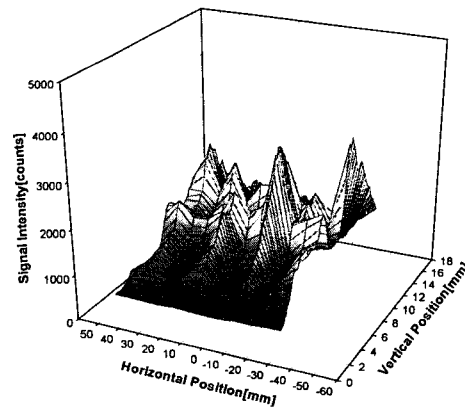
(b) 10초경과



(b) 10초경과



(c) 15초경과

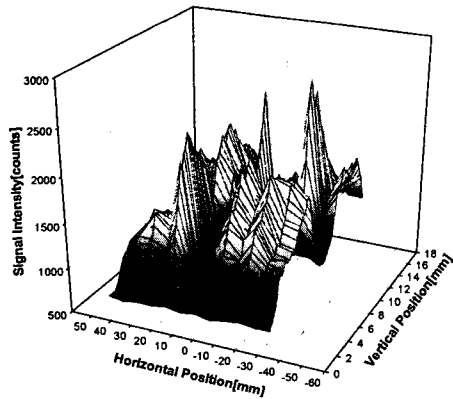


(c) 15초경과

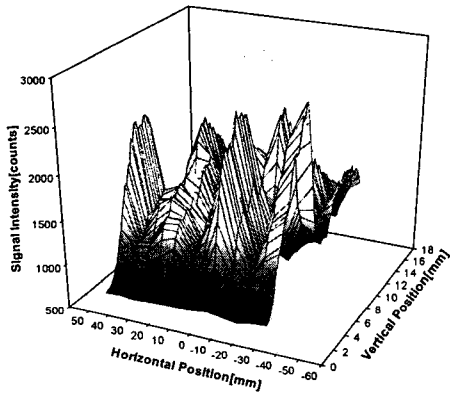
그림 7. 방전진전 시간에 따른 신호강도 (236 nm)
Fig. 7. Signal intensity with discharge development time variable (236 nm)

그림 8. 방전진전 시간에 따른 신호강도 (247 nm)
Fig. 8. Signal intensity with discharge development time variable (247 nm)

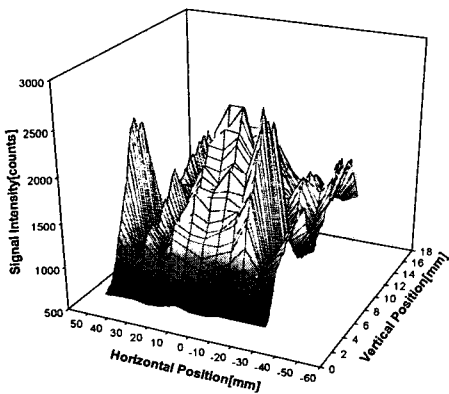
ICCD를 이용한 NO입자의 형광신호강도 측정



(a) 5초경과



(b) 10초경과



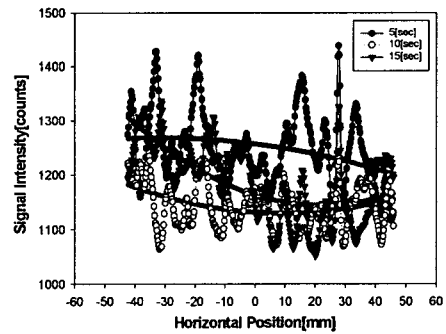
(c) 15초경과

그림 9. 방전진전 시간에 따른 신호강도 (259 (nm))
Fig. 9. Signal intensity with discharge development time variable (259 (nm))

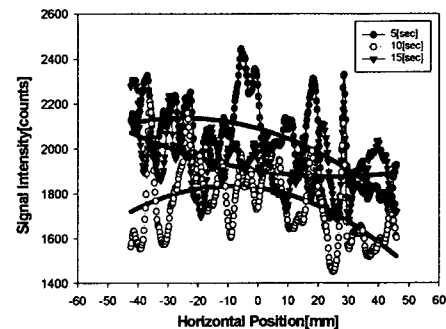
그림 10의 (a), (b), (c)는 각각 그림 6의 (a), (b), (c)의 방전Image에 대한 수평방향의 신호강도를 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 시간이 지남에 따라서 그림 4나 그림 5에 비해서 신호강도의 값이 크게 차이가 나지 않는 것을 알 수 있다. 이는 NO농도가 높아질수록 NO제거율이 낮아지므로[11],[12] 1000[ppm]의 고농도에서는 제거가 잘 되지 않기 때문에 입자들의 움직임이 낮은 농도일때와 비교해서 활발하지 못한 것에 기인하며, 신호강도 또한 NO농도가 높아질수록 크게 차이가 나지 않는다는 것을 알 수 있었다. 표 2에 그림 9의 (a), (b), (c)에서의 각각의 피크값을 나타내었다.

표 2. 수평방향의 신호강도 (피크값)
Table 2. Signal intensity of horizontal position (peak value)

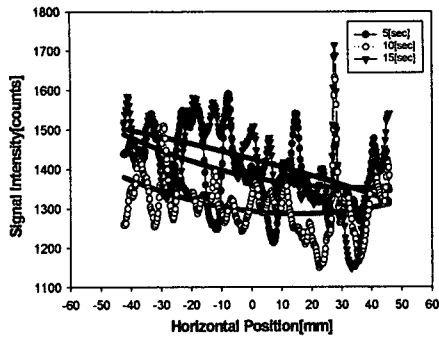
파 장	피 크 값(count)
236[nm]	1426(5초),1236(10초),1307(15초)
247[nm]	2326(5초),2209(10초),2309(15초)
259[nm]	1539(5초),1497(10초),1584(15초)



(a) 236 (nm)



(b) 247 (nm)



(c) 259 (nm)

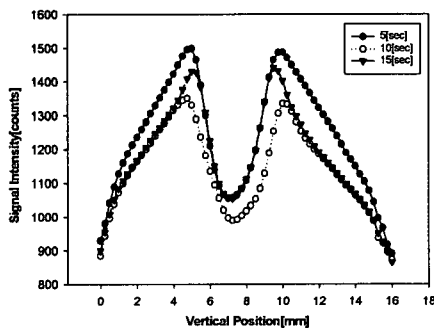
그림 10. 방전진전 시간에 따른 수평방향의 신호강도
Fig. 10. Horizontal signal intensity with discharge development time variable

그림 11의 (a), (b), (c)는 각각 그림 6의 (a), (b), (c)의 Image에 대한 수직방향의 신호강도를 나타낸 것이다. 측정값은 5회 측정된 값의 평균값을 나타낸 것이다. 그림 10과 같이 그림 11의 수직방향의 신호강도도 시간이 경과함에 따라서 NO농도가 포화상태에 있으므로 거의 차이가 없음을 볼 수 있다.

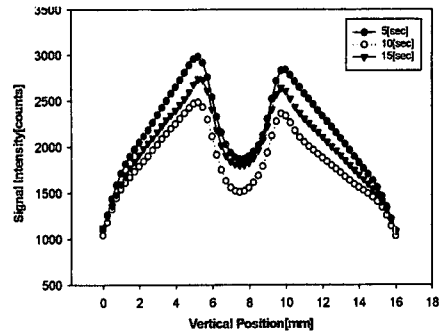
표 3에 그림 11의 (a), (b), (c)에서의 각각의 피크값을 나타내었다.

표 3. 수직방향의 신호강도 (피크값)
Table 3. Signal intensity of vertical position (peak value)

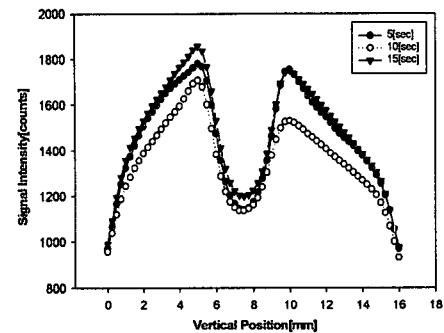
파 장	피크 값(count)
236[nm]	1487(5초),1335(10초),1432(15초)
247[nm]	2982(5초),2486(10초),2740(15초)
259[nm]	1780(5초),1707(10초),1857(15초)



(a) 236 (nm)



(b) 247 (nm)



(c) 259 (nm)

그림 11. 방전진전 시간에 따른 수직방향의 신호강도
Fig. 11. Vertical signal intensity with discharge development time variable

4. 결 론

ICCD Camera를 이용한 NO입자의 형광파장중 일반적으로 알려진 파장 (239[nm], 247[nm], 259[nm])에 대해서 방전 Image 관측과 수평방향과 수직방향에 대한 신호강도 측정을 행하였다. 또한 방전메카니즘의 규명을 위해서 방전진전시간에 따른 방전 Image와 수평방향과 수직방향에 대한 신호강도 측정을 행하였다.

본 논문에서 나타낸 실험결과는 다음과 같다.

① NO의 형광방출 파장중 일반적으로 알려진 파장(236[nm], 247[nm], 259[nm])에 대해서 방전 Image와 수평과 수직방향에 대한 신호강도 측정을 행하였다.

② 방전 메카니즘을 알기 위해서 방전개시후 일정 시간별로 Image와 신호강도 측정을 행하였다. 신호

ICCD를 이용한 NO입자의 형광신호강도 측정

강도는 NO농도가 높을수록 제거율이 낮아진다는 것에 기인하여 시간적인 방전의 변화가 거의 없음을 알 수 있었다.

③ 239[nm], 247[nm], 259[nm] 형광과장중에서 신호강도는 247[nm]대역에서 가장 강하게 나타나는 것을 알 수 있었다.

참고 문헌

- (1) NATO Advanced Research Workshop on Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Cambridge University, England, Sept. 21-25, pp.1-8, 1992.
- (2) 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.
- (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) William P. Patridge, Jr, et al, Experimental assessment of O₂ Interferences on laser-induced fluorescence measurements of NO in high-pressure, lean premixed flames by use of narrow-band broadband detection Applied Optics Vol. 34, No. 24 , pp 4890-4903, 1996.
- (5) John A. Dean, Theodore C. Rains, "Flame emission and atomic absorption spectroscopy" pp.309-312, 1975.
- (6) C. Schulz, et al, "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.
- (7) Makoto Kosuge, et al, "Analyses of Pulse Duration Influence on the NO_x Removal by a Pulsed Corona Discharge with Luminescence Measurement", Transactions of Institute of Electrical Engineers of Japan Part A, pp. 184-189, 1999.
- (8) Keiji Goto, et al "ICCD Study of High-Frequency Silent Discharge in Mixture Gases" J-K Joint Symposium on ED & HVE, pp. 293-296, 1999.
- (9) 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. pp. 28-29, 1999.
- (10) Yong-Woo Jun, et al, "The Measurements of NO(Nitro Oxide) Distribution Using ICCD Method." "International Symposium on Pulsed Power and Plasma Applications", pp. 112-115, 2000. 10.
- (11) 전용우, 하장호, 박원주, 이광식, 이홍식 "ICCD Camera를 이용한 NO입자의 이미지 관측", 한국조명·전기설비학회 논문집 vol. pp. 2001. 1.31.
- (12) 송영훈, 최연석, 김한석, 신원호, 길상인, 정상현, 최갑석, 최현구, 김석준, 장길홍, "저온 플라즈마 탈황탈질 공정의 운전전력 절감을 위한 실험연구" 한국대기보전학회지 제12권 제4호 pp. 487-494.

◇ 저자소개 ◇

전 용 우 (全容佑)

1969년 9월25일생. 1996년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1998년 영남대 대학원 전기공학과 졸업(공학석사). 현재 영남대 대학원 전기공학과 박사과정 수료. 당학회 정회원, 대한전기학회 정회원.

박 원 주 (朴元柱)

1954년 3월 14일생. 1978년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1992년 일본 큐우슈대학교 대학원 졸업(공학박사). 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 당학회 대구·경북지회 연구조사이사, 대한전기학회, 일본전기학회, 일본응용물리학회, 일본 플라즈마핵융합학회 정회원.

이 광 식 (李廣植)

1948년 10월 20일생. 1971년 영남대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 1988~1989년 Nagoya Institute of Technology 초빙 교수. 1995~1998년 당학회 대구·경북지회장 역임. 현재 영남대 공대 전자정보공학부 교수. 당학회 부회장. 대한전기학회 방전·고전압 연구회 간사장.

이 홍 식 (李弘植)

1953년 9월 13일생. 1975년 서울대 공대 전기공학과 졸업(공학사). 1990년 서울대 대학원 전기공학과 졸업(공학박사). 현재 한국전기연구원 전기물리연구팀 책임연구원.