

질소산화물 제거를 위한 무성 방전 공정의 전기 및 NO 전환 특성

論 文

51C-1-3

Electrical and NO Conversion Characteristics of Dielectric Barrier Discharge Process

李 鎔 煥* · 鄭 在 祐** · 趙 武 顯***

(Yong-Hwan Lee, Jae-Woo Chung, Moo-Hyun Cho)

Abstract - We investigated effects of electrical, physical, and chemical parameters on energy transfer, NO conversion, and light emission in the dielectric barrier discharge (DBD) process. As gap distance between electrodes increased, discharge onset voltage increased. However, as gap distance between electrodes increased, electric field which initiates discharge showed approximately the same value, 30 kV/cm. The discharge onset voltage of the coarse surface electrode was lower than that of the smooth surface electrode. And, energy transfer was slightly enhanced in the coarse electrode condition. However, NO conversion rate decreased with the coarse surface electrode because more uniform discharge can be obtained on the smooth surface electrode. The NO conversion rate increased with decreasing the initial concentration, so the DBD process is more feasible in the lower concentration condition. The variation of gas residence time tested at the same energy density in the experiment did not affect on the NO conversion. The result shows that the NO conversion rate mainly depends on the energy density. The DBD process is able to adjust on plasma photocatalyst process because it emits the short wavelength light in the range of ultraviolet. The intensity of light emission increased with the increase of the energy transfer to the reactor and the gas flow rate.

Key Words : Dielectric barrier discharge, NO conversion, Emission characteristics

1. 서 론

질소 산화물(NO_x)은 주로 연소공정에서 공기중의 질소가 고온에서 산화되어 발생되며 스모그 및 산성비의 원인이 될 뿐 아니라 눈과 호흡기를 자극하며 식물을 고사시키는 등 인체 및 환경에 악영향을 미치므로 주요 대기오염 물질로 규제되고 있다. 현재까지 개발된 질소 산화물 저감 기술로는 저온 다단 연소공정이나 저 농도 NO_x 연소기를 사용하여 공정상에서 NO_x 의 발생을 저감시키는 연소개선법과 선택적 비촉매 환원법(Selective Non-Catalytic Reduction, SNCR), 선택적 촉매 환원법(Selective Catalytic Reduction, SCR) 등 발생된 질소산화물을 저감시키는 후처리 방법 등이 있다. 최근에는 전자빔, X ray, 전기방전^{1,2)} 등을 이용하여 NO_x 를 저감시키는 신기술들이 연구·개발되고 있다.

연소개선법은 설치 및 운영 비용이 저렴하지만 근본적으로 NO_x 를 제거시키지 못하며 적용대상에 한계가 있다. SNCR은 900~1,000 °C의 온도 조건에서 배기가스 또는 연소 대류영역에 암모니아 또는 요소를 주입하여 NO_x 를 환원시키는 방법이다. SNCR은 설치 및 운전 비용이 저렴하지만

처리효율이 낮으며 적정량의 NH_3 주입 및 적정 반응온도 유지 등 운영상 많은 어려움이 따른다. SCR은 배기가스와 환원제를 촉매층에 유입시켜 질소산화물을 선택적으로 환원시키는 방법으로 높은 처리효율을 얻을 수 있다는 장점이 있으나 촉매 사용으로 인해 비용이 높게 소요되며 배기가스를 구성하는 성분들에 의한 촉매의 피독현상이 발생할 수 있다는 단점을 가지고 있다.

비교적 최근에 저온 플라즈마 공정과 촉매공정을 결합하여 질소산화물을 저감하려는 시도가 이루어지고 있다.³⁻⁶⁾ 저온 플라즈마 공정은 질소 산화물을 N_2 와 O_2 의 무해한 물질로 직접 전환시키는데는 비효율적이지만 NO를 NO_2 로 전환시키는데 매우 효과적인 공정으로 알려져 있다. 또한 많은 촉매들은 NO보다는 NO_2 의 상태로 질소산화물이 유입될 때 높은 환원효율을 가지는 특성을 갖고 있다.^{7,8)} 따라서 촉매로 질소산화물을 처리하기 전에 플라즈마 공정을 사용하여 미리 NO를 NO_2 로 전환시키면 촉매에 의한 제거효율이 향상될 뿐만 아니라 촉매의 수명도 증가하게 된다.⁹⁾ 현재까지 저온 플라즈마를 생성시키기 위해 다양한 전기방전 공정들이 사용되어 왔으며 그 중 무성 방전(dielectric barrier discharge, DBD) 공정은 방전이 지닌 균일성으로 인해 가장 많이 활용되고 있는 공정중의 하나이다.

DBD 공정은 낮은 온도와 대기압 조건에서 가스내의 분자들을 여기시켜 반응을 활성화시킬 수 있다는 장점을 가지고 있다.¹⁰⁾ DBD 공정에서 유전물질은 플라즈마내의 전하량을 제한하여 Filamentary Discharge 또는 아크방전으로의

* 準 會 員 : 浦 港 工 科 大 學 校 環 境 工 學 部 博 士 課 程

** 準 會 員 : 普 州 產 業 大 學 校 環 境 工 學 科 專 任 講 師 · 工 博

*** 正 會 員 : 浦 港 工 科 大 學 物 理 學 科 副 教 授 · 理 博

接 受 日 子 : 2001 年 6 月 18 日

最 終 完 了 : 2001 年 12 月 3 日

전이를 방지하는 역할을 하므로 안정적인 방전상태가 유지될 수 있다. DBD 공정에서 방전상태는 전극간의 거리, 전원의 주파수, 인가 전압 등 여러 가지 변수들에 영향을 받으므로 균일한 방전의 생성을 위해서 이러한 인자들을 최적화시켜야 한다. 본 연구에서는 DBD 공정의 물리적, 화학적, 전기적인 변수들을 변화시키면서 각각의 인자들이 반응기내로 전달되는 에너지 전달특성과 NO 전환특성에 미치는 영향을 규명하여 최적의 플라즈마-촉매 반응기 설계를 위한 기초 자료를 얻고자 하였다. 또한 방전이 발생하는 동안 생성되는 방출 스펙트럼을 분석하여 플라즈마 반응기내에서의 광촉매 활성화 가능성을 평가하고자 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 실험 장치

본 연구에서 사용된 실험장치는 그림 1에 나타낸 바와 같이 기체 유입부, 전원공급부, DBD 반응기 및 분석장치로 구성되어 있다. 반응기로의 유입 기체는 공기를 사용하였으며 유량은 유량계로 조절하였다. 사용된 NO는 10% 함량의 붐베 기체를 사용하였으며 MFC(mass flow controller, MKS 1179)를 이용하여 유량을 조절함으로써 유입되는 농도를 조절하였다. 반응기로 고전압을 인가하기 위해 220 V, 60 Hz의 교류전압을 1:15000의 트랜스포머를 사용하여 증폭시켰다. 전압의 조절을 위해 슬라이더스를 사용하였다.

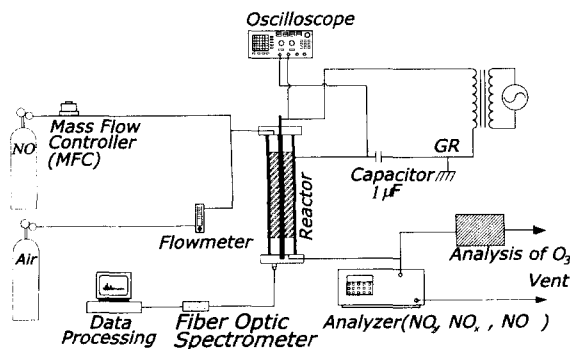


그림 1 실험 장치의 개략도

Fig. 1 Schematic diagram of experimental setup.

그림 2는 DBD 반응기의 구조를 나타내고 있다. 유전물질로 내경이 44 mm, 두께가 3 mm, 길이가 500 mm인 파이렉스 관(pyrex tube)을 사용하였다. 내부전극은 스테인레스 봉을 사용하여 여러 가지 직경으로 제작하였다. 외부 전극으로는 반응기 외벽에 구리테이프를 400 mm의 길이로 감아서 사용하였다. 전극의 절연과 기체의 차폐를 위해 파이렉스관의 양단에 테플론으로 만들어진 덮개를 설치하였다. 반응기의 전단과 후단에는 가스 시료의 채취를 위한 채취구를 만들었으며 출구 쪽의 덮개는 별도로 제작된 투명한 덮개로 교체하여 방출 스펙트럼을 관측할 수 있도록 하였다.

2.2 측정 및 분석방법

DBD 방전의 전기적 특성값인 전압, 전류, 전하량을 측정하기 위해 구성된 회로를 그림 3에 나타내었다. 외부전극에 1 μF의 정전용량을 가진 콘덴서를 직렬로 설치하여 콘덴서 양단에 걸린 전위차(V)를 측정함으로써 반응기내를 흐르는 전류(I) 및 전하량(Q)을 측정할 수 있다.

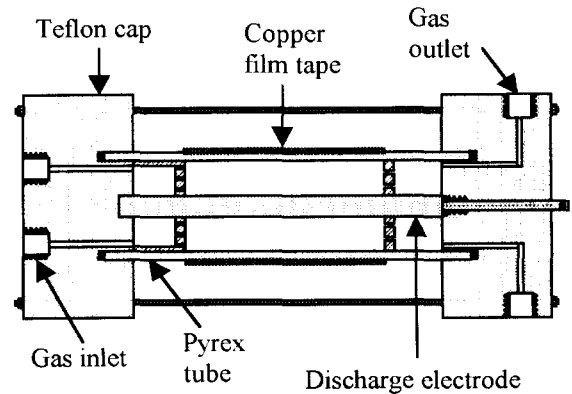


그림 2 무성방전 반응기의 구조

Fig. 2 Configuration of dielectric barrier discharge reactor.

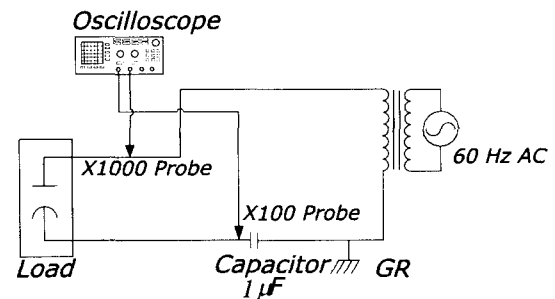


그림 3 전하-전압 파형을 얻기 위한 실험 장치

Fig. 3 Experimental setup for obtaining Q-V plot.

반응기로 인가되는 전압과 콘덴서 양단에 걸리는 전압을 측정하기 위해 1000 : 1 고전압 프로브(Tektronix P6015A)와 100 : 1 고전압 프로브(Tektronix P5100 100X voltage probe)를 오실로스코프(Tektronix TDS 744A)에 연결하여 사용하였다. 반응기로 전달되는 에너지는 방전동안에 오실로스코프에서 얻어지는 전압(V)-전류(I) 파형을 시간에 대해 적분하거나 전하량(Q)-전위차(V) 그래프의 면적을 계산함으로써 얻을 수 있다.

방전이 일어나는 동안 방출되는 광스펙트럼을 측정하기 위해 스펙트로미터(S2000 Miniature Fiber Optic Spectrometer, Ocean Optics, Inc.)를 사용하였다. 스펙트로미터에 광섬유로 연결된 탐침기를 반응기의 출구쪽에 부착시켜 얻어지는 신호를 파장별로 측정하였다. 스펙트로미터

는 컴퓨터와 연결하여 OOIbase 프로그램을 사용하여 광특성을 실시간으로 관측하였다. 실험이 진행되는 동안 외부로부터 들어오는 빛을 완전히 차단하여 반응기에서 발생하는 빛만을 측정하고자 하였다.

NO_x의 측정은 chemiluminescent NO_x 분석기(Thermo Environmental Inc., Model 42H)를 이용하여 반응기의 출구 쪽에서 측정하였다.

2.1 실험항목

표 1은 DBD 공정의 에너지 전달 특성 및 NO 전환특성에 미치는 여러 가지 변수들의 영향을 알아보기 위하여 실시한 실험의 운전 변수 및 범위를 나타내고 있다. 기체가 통과하는 전극간 거리의 영향을 관찰하기 위해 15, 20, 25, 30, 35 mm의 직경을 가진 내부전극을 각각 사용하였다. 일반적인 무성 방전 공정의 경우에 전극사이의 간격은 2~3 mm 정도이지만 서론에서 설명한 바와 같이 환경적용을 위한 플라즈마-촉매 공정의 기초자료를 얻고자 본 연구에서는 4.5~12 mm의 전극간 간격을 실험 범위로 설정하였다. 내부전극은 방전에 미치는 전극 표면상태의 영향을 알아보기 위해 매끈한 표면과 거친 표면(나선형)의 두 가지 종류로 제작하였다. 본 논문에서는 매끈한 표면상태를 "S", 거친 상태를 "C"로 표기하였다.

NO 유입 농도의 영향을 관찰하기 위해 반응기로 유입되는 농도를 200, 300, 400 ppm으로 변화시키면서 실험하였으며, 체류시간의 영향을 알아보기 위해 2.47 초에서 6 초까지 체류시간을 변화시키면서 실험하였다. 0~35 kV의 점두값을 가진 교류 전압을 인가하면서 인가전압의 영향을 관찰하고자 하였다. 이러한 조건에서 발생하는 전류의 값은 0~100 mA의 범위를 가졌다. 모든 실험은 상온, 대기압 조건에서 수행하였다.

표 1 실험인자 및 범위

Table 1 Experimental parameters and ranges.

Parameter	Range
Gap distance between electrodes	4.5 ~ 14.5 mm
Residence time	2.47 ~ 6 sec
Initial concentration of NO	200, 300, 400 ppm
Applied peak voltage	0 ~ 35 kV (60Hz)
Peak current	0 ~ 100 mA
Surface conditions of discharge electrode	Coarse and smooth

3. 실험결과 및 고찰

3.1 에너지 전달특성에 미치는 운전변수의 영향

DBD 공정의 방전 개시전압(V_{ON})은 Q-V 그래프에서 쉽게 얻을 수 있는 방전 전압(V_S)을 이용하여 구할 수 있다.^[1] 즉, 방전개시 전압(V_{ON})은 방전전압과 다음과 같은 관계를

갖고 있다.

$$V_{ON} = \frac{C_g + C_d}{C_d} V_s \tag{1}$$

여기서, C_d와 C_g는 각각 유전물질 및 기체공간의 정전용량을 나타내며 Q-V 그래프의 기울기로부터 구할 수 있다. V_S는 기체공간내의 방전전압으로서 방전 개시전압보다 높은 외부전압이 인가되면 항상 일정한 값을 가진다. 그림 4는 전극사이의 거리 및 내부전극의 표면상태가 식 (1)에 의해 구할 수 있는 방전 개시전압에 미치는 영향을 보여준다. 전극간 간격이 증가함에 따라 방전 개시전압이 거의 선형적으로 증가하는데 이러한 현상은 전극 사이의 간격이 증가하면 기체 공간내의 전기장 강도가 감소하므로 방전이 시작되기 위해 더 높은 전압이 필요하기 때문이다. 방전 개시전압에 미치는 전극 표면상태의 영향은 매끄러운 표면보다 거친 표면의 내부 전극을 사용할 경우에 낮은 전압에서 방전이 개시되며 전극 사이의 간격이 클수록 전극 표면상태의 영향이 큰 것으로 나타났다.

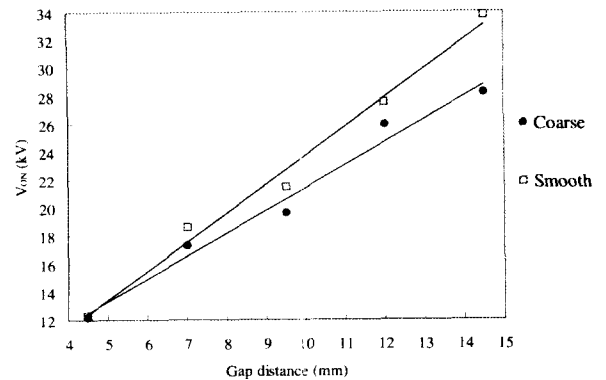


그림 4 전극간 거리와 전극표면 상태가 방전개시전압에 미치는 영향

Fig. 4 Effect of gap distance and electrode surface state on discharge onset voltage.

그림 5는 거친 표면의 내부전극을 사용하였을 때 반응기로의 에너지 전달 특성에 미치는 전극 사이의 거리와 인가 전압의 영향을 나타내고 있다. 횡축에 표기된 전압은 교류 전압의 점두값을 나타내며 종축의 숫자는 전극 사이의 거리를 의미한다. 인가 전압이 증가함에 따라 반응기로 전달되는 에너지가 선형적으로 증가하며 전극사이의 간격이 작을수록 그 기울기가 작게 나타남을 관찰할 수 있다. 이러한 기울기의 차이로 인해 대략 30 kV의 전압을 기준으로 낮은 전압에서는 전극간 간격이 좁을수록, 높은 전압에서는 전극간 간격이 넓을수록 더 높은 에너지가 반응기로 전달되는 현상이 나타난다. 운전전압이 높을수록 절연과피에 의해 유전물질이 손상될 우려가 있으므로 일반적인 DBD 공정은 30 kV 이하의 전압에서 운전된다. 따라서, 전형적인 DBD 공정의 운전조건에서는 기체가 흐르는 간격이 좁을수록 반응기로 높은 에너지를 전달할 수 있음을 알 수 있다.

DBD 공정의 전기장 강도는 Laplace 방정식을 풀어서 경계조건을 대입함으로써 구할 수 있다. 이러한 과정을 거치면 기체 공간 내에서의 전기장 분포인 $E(r)$ 는 다음과 같은 식으로 유도된다.

$$E(r) = -\frac{\phi_0}{\ln p} \frac{1}{r} \quad (2)$$

(where, $\ln p = \frac{\epsilon_0}{\epsilon} \ln\left(\frac{h}{R_c}\right) + \ln\left(\frac{R_w}{h}\right)$)

여기서, ϕ_0 는 전위차(인가전압), R_w 는 내부전극의 반경, R_c 는 내부전극 중심에서 유전물질과 외부전극 경계까지의 거리, h 는 내부전극 중심에서 기체와 유전물질 경계까지의 거리, ϵ_0 은 공기의 유전상수, ϵ 은 유전물질의 유전상수를 각각 나타낸다. 그림 6은 방전으로 전달되는 에너지에 미치는 전극 사이의 거리, 전극의 표면상태 그리고 기체 공간내의 전기장 강도의 영향을 나타내었다. 전기장 강도는 교류전압의 첨두값을 대입하여 식 (2)를 사용하여 계산하였다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 전극간 거리의 변화는 코로나 개시 전압에 중요한 영향을 미친다. 그러나 그림 6으로부터 실험된 모든 조건에서 방전이 개시되는 전기장 강도(E_{ON})는 대략 30 kV/cm의 값을 가지는 것을 관찰할 수 있다. 반응기로 전달되는 에너지는 전기장의 크기에 비례하여 선형적으로 증가하였으며 전극사이의 간격이 증가함에 따라 그 기울기가 증가하였다. 이러한 결과는 전극사이의 거리가 증가할수록 동일한 전기장 강도에서 더 높은 에너지가 반응기로 전달됨을 보여준다. 전극 표면상태가 에너지 전달에 미치는 영향은 전극사이의 거리가 작을 경우에는 거의 무시할 수 있으며 거리가 클 경우에는 거친 표면의 전극이 매끈한 표면의 전극보다 동일한 전기장 강도에서 더 높은 에너지를 전달하는 것으로 나타났다.

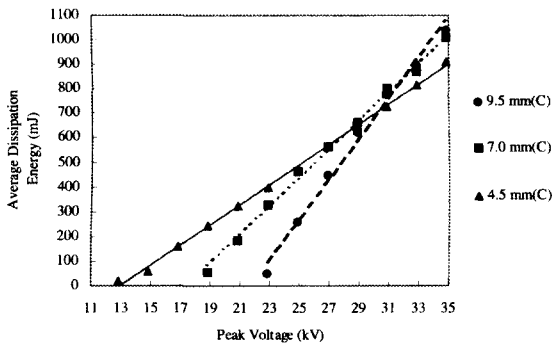


그림 5 전극간 거리와 첨두 전압이 반응기로 전달되는 에너지에 미치는 영향

Fig. 5 Effect of gap distance and peak voltage on energy transfer.

3.2 NO 전환에 미치는 운전변수의 영향

DBD 공정은 오존 발생기로 실용화되었으며 오존을 발생

시킬 수 있는 다른 공정들에 비하여 에너지 효율성이 높고 대용량으로 만들 수 있기 때문에 널리 사용되고 있다. 실험을 수행해보면 상당히 많은 양의 오존이 생성되는 것이 관찰된다. 방전 분위기내에서 NO의 전환반응은 O, OH, HO₂와 같은 라디칼과 오존에 의해 주로 이루어지며 반응속도 측면에서 O₃이 가장 큰 역할을 하는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 따라서, DBD 공정은 NO의 전환에 매우 효과적일 수 있다. 실험에서 얻어진 DBD 공정내에서의 전형적인 NO 전환 경향을 그림 7에 나타내었다. 반응기로 전달되는 에너지 밀도가 증가함에 따라 NO는 대부분 NO₂로 전환되었다. 더 높은 에너지가 전달되면 NO₂의 제거가 이루어지게 되나 앞에서 언급한 바와 같이 본 연구의 주요 관심은 NO의 전환이므로 NO 전환에 초점을 두어 다루었다.

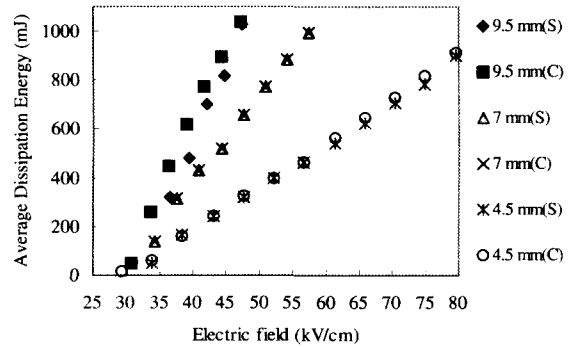


그림 6 전극간 거리, 전극표면의 상태, 전기장이 반응기로 전달되는 에너지에 미치는 영향

Fig. 6 Effect of gap distance, electrode surface state, and electric field strength on energy transfer.

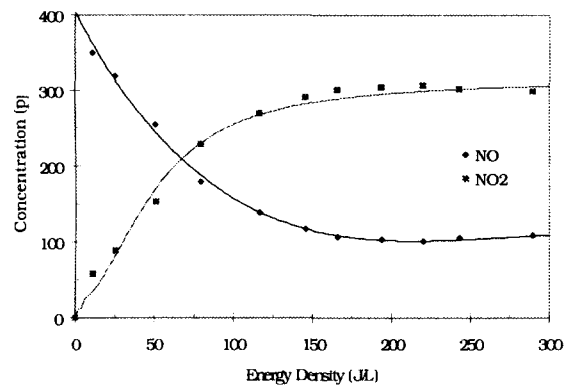


그림 7 무성방전 공정 내에서의 전형적인 NO 전환경향

Fig. 7 Typical NO conversion trends in DBD.

그림 8은 거친 표면의 내부 전극을 사용하여 기체가 통과하는 간격이 4.5 mm인 조건에서 NO의 전환에 미치는 유입 농도의 영향을 나타내고 있다. 횡축에 나타낸 에너지 밀도는 단위 기체 유량에 전달되는 전기 에너지를 나타내며

공정의 중요한 운전 및 설계 인자이다. 초기 농도가 200과 300 ppm인 경우에 각각 50 J/L와 75 J/L 이상의 에너지 밀도에서 대부분의 NO가 NO₂로 전환되며 400 ppm일 경우에는 NO의 최대 전환율이 대략 75%로 포화되는 현상이 관찰된다. 따라서, NO의 전환을 위한 DBD 공정은 낮은 농도 조건에서 효과적으로 적용될 수 있음을 알 수 있다. 내부전극의 직경이나 체류시간의 변화에 대해 초기농도에 따른 NO 전환 경향은 비슷하게 나타났다.

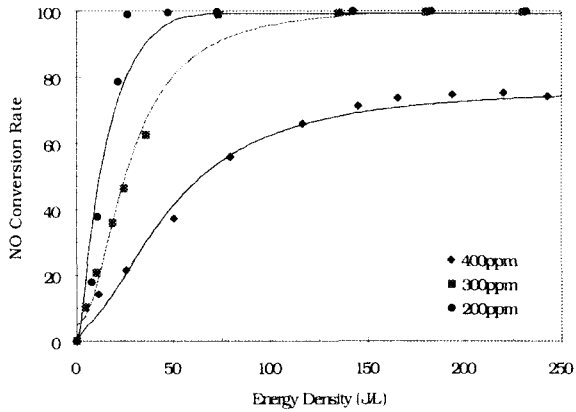


그림 8 초기농도가 NO 전환에 미치는 영향 (체류시간=2.47초)

Fig. 8 Effect of initial concentration on NO conversion (gas retention time=2.47 sec).

NO의 전환에 미치는 체류시간의 영향을 그림 9에 나타내었다. 기체의 체류시간은 유량을 조절함으로써 변화시켰다. 그림에 나타난 바와 같이 실험된 범위(2.47 초~6 초)의 체류시간 변화가 NO의 전환율에 거의 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 유량의 변화에 따라 동일한 에너지 밀도 조건이 되기 위해서는 전압 및 전류 특성의 변화가 있어야 한다. 실험에서 얻어진 결과는 DBD 공정내에서 NO 전환율이 에너지 밀도의 주된 함수임을 나타낸다. 이러한 현상은 낮은 농도 조건에서는 NO가 매우 빠른 속도로 NO₂로 완전히 전환되며 높은 농도의 경우에는 NO 전환반응의 평형상태가 매우 빠르게 이루어져 일어난 현상으로 사료된다.

그림 10은 내부전극의 표면상태가 NO의 전환율에 미치는 영향을 보여준다. 매끄러운 표면을 가진 내부전극을 사용했을 때가 거친 표면을 가진 전극을 사용했을 때보다 높은 전환율을 나타내었다. 그림 4와 6을 보면 거친 표면의 내부전극을 사용할 때 방전 개시전압이 낮으며 동일한 전기장에서 같거나 높은 에너지가 반응기로 전달되는 것을 알 수 있다. 높은 에너지가 전달됨에도 불구하고 낮은 전환효율을 나타내는 것은 방전의 균일성과 관련되어 일어나는 현상으로 사료된다. 즉, 매끄러운 표면을 사용하였을 때 방전이 균일하게 일어남으로써 NO 전환의 에너지 효율이 높은 것으로 생각된다.

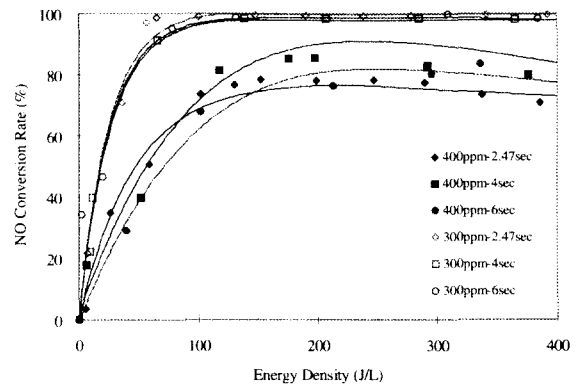


그림 9 체류시간이 NO 전환에 미치는 영향

Fig. 9 Effect of gas residence time on NO conversion.

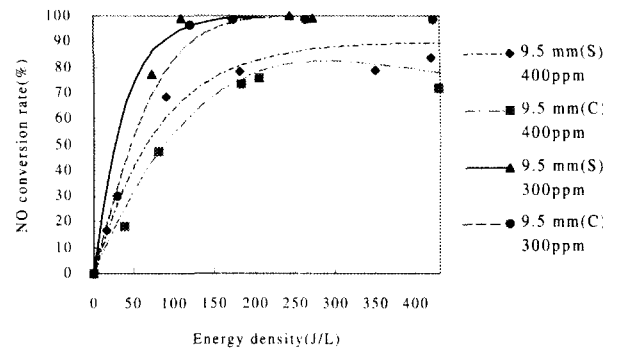


그림 10 전극 표면상태가 NO 전환에 미치는 영향

Fig. 10 Effect of electrode surface state on NO conversion.

3.3 DBD 공정의 광방출 특성

그림 11은 플라즈마 반응기내에서의 광촉매 활성화 정도를 파악하기 위해 측정된 DBD 방전의 전형적인 방출 스펙트럼을 나타내고 있다. 방전이 일어나는 동안에 357, 375, 380, 394, 400, 405 nm 파장 부근에서 높은 강도의 빛이 발생함을 알 수 있다. 일반적으로 광촉매는 자외선을 흡수하여 강한 환원력 및 산화력을 가지는 전자를 방출하고 정공을 생성한다. 예를 들면, TiO₂의 band gap은 약 3 eV로서 파장으로 약 400 nm의 값을 가진다. 즉, 400 nm 이하의 자외선을 흡수하여 전자와 정공의 분리가 이루어지게 된다.^{13,14} 따라서, DBD 방전과 광촉매를 동시에 사용함으로써 효과적으로 촉매를 활성화시킬 수 있을 것으로 판단된다. 본 연구에서는 실험의 편의상 아크릴로 제작된 덮개를 사용하여 측정되었으므로 정확한 방출 스펙트럼을 얻기는 어려울 것이라 사료된다. 대기압 방전의 광방출 특성과 관련된 문헌을 보면 N₂의 여기종에 의해 방출되는 337.1 nm의 파장이 가장 큰 방출 강도를 가진다.¹⁵ 그림 12에서 337.1 nm의 파장이 관찰되지 않으며 나머지 파장대에 있어서는 기존의 결과들과 비슷한 결과를 나타내고 있다. 이러한 현상은 아크릴로 제작된 덮개에 의해 일정한 파장 영역의 빛이 흡수되거나 반사되어 일어난 현상이라 사료된다.

그림 12는 반응기로 전달되는 에너지 및 기체 체류시간이 광방출 특성에 미치는 영향을 보여준다. 종축의 상대적인 강도는 여러 가지 파장 영역의 피크들중에서 가장 큰 값을 가지는 380 nm 부근에서 나타나는 피크의 상대적인 크기를 나타내고 있다. 광방출의 상대적인 강도는 반응기내에서 소모되는 에너지가 증가할수록 선형적으로 증가하였다. 이러한 경향은 380 nm 이외의 파장에서도 동일하게 나타났다. 기체의 체류시간이 광방출 특성에 미치는 영향은 체류시간이 짧을수록 광방출 강도가 증가하는 것으로 나타났다. 광방출 특성에 미치는 기체 체류시간의 영향은 방전에 의해 생성된 성분들이 빛을 흡수함으로써 일어나는 현상으로 추측된다. 기체의 흐름은 이러한 물질들의 축적을 방지하므로 광방출 강도를 높이는 효과를 나타내게 된다. 사용된 스펙트럼미터의 측정 범위의 한계가 있었으나 실험으로부터 얻어진 결과로부터 DBD-광촉매 공정이 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

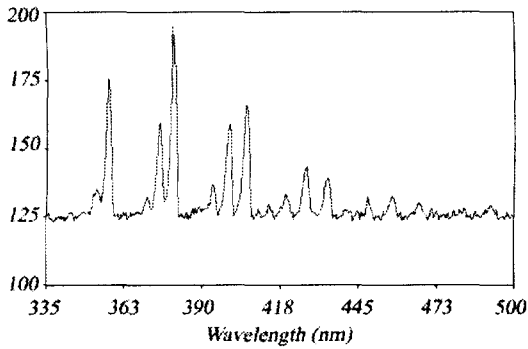


그림 11 무성방전공정의 335~500 nm 범위에서 발생하는 스펙트럼

Fig. 11 Typical emission spectrum of dielectric barrier discharge in the 335~500 nm range.

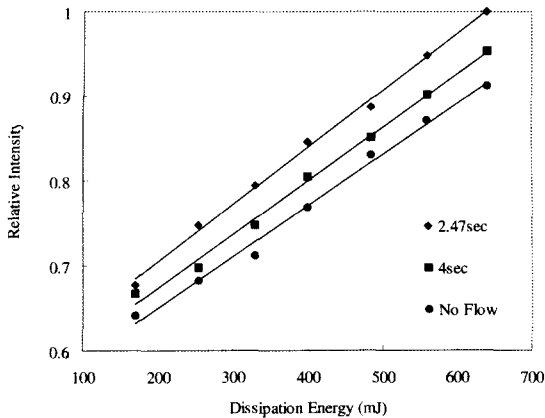


그림 12 반응기 내로 전달되는 에너지와 체류시간이 광방출강도에 미치는 영향

Fig. 12 Effect of transferred energy and residence time on emission intensity.

4. 결 론

본 연구에서는 무성 방전 공정의 전기적, 화학적, 물리적 인자를 변화시키면서 에너지 전달 특성, NO 전환특성, 광방출 특성에 미치는 영향에 관해 실험하였으며 얻어진 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 전극 사이의 거리가 증가함에 따라 방전 개시전압은 증가하나 방전이 개시되는 전기장 강도는 대략 30 kV/cm의 일정한 값을 가지는 것으로 나타났다.
- (2) 매끄러운 표면보다 거친 표면의 내부 전극을 사용할 경우에 낮은 전압에서 방전이 개시되며 전극사이의 간격이 클수록 전극 표면상태의 영향이 큰 것으로 나타났다.
- (3) 비교적 낮은 에너지 밀도에서 NO의 전환이 빠르게 이루어짐으로써 DBD 방전공정은 NO의 전환에 유용하게 적용될 수 있으며, NO 유입 농도가 낮을수록 효과적으로 제거되는 것으로 나타났다.
- (4) 실험된 범위에서 체류시간의 변화는 NO 전환율에 거의 영향을 주지 않았으며 이러한 현상은 NO 전환율이 에너지 밀도의 주된 함수임을 나타낸다.
- (5) 매끈한 표면을 가진 내부전극은 방전의 균일성을 향상시켜 거친 표면의 내부전극보다 높은 NO 전환율을 가져오는 것으로 나타났다.
- (6) 광방출 특성의 분석으로부터 DBD 공정이 효과적으로 광촉매를 활성화시킬 수 있을 것으로 나타났으며 발생하는 빛의 강도는 반응기내로 주입되는 에너지가 클수록, 기체의 유속이 빠를수록 증가하였다.

참 고 문 헌

- [1] 박재윤, 고희석, 손성도, 이동훈, 김종달, "Effect of Magnetic Field on NOx Removal for Wire-Plate Plasma Reactor", 대한 전기학회논문지, 제49권, 2호, pp. 120-124, 2000.
- [2] 김동욱, 정영식, "NOx Removal by using Double Barrier Discharge", 대한 전기학회논문지, 제49권, 1호, pp. 37-43, 2000.
- [3] 홍영기, 신수연, 강정훈, 이성화, 조정수, 박정후, "Air Cleaning Unit using Combination of TiO₂ Photocatalyst and Pulsed Discharge Plasma", 대한 전기학회논문지, 제48권, 10호, pp. 710-715, 1999.
- [4] Toshiaki Yamamoto, Chen-Lu Yang, "Plasma Chemical Hybrid Process for NOx Control", Proc. 1998 Int. Fall Fuels and Lubricants Meeting (Society of Automotive Engineers, SP-1395), pp. 27-35, 1998.
- [5] Shimizu K., Oda T., "DeNO/sub x/ process in flue gas combined with nonthermal plasma and catalyst",

- IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 35, no. 6, pp. 1311-1317, 1999.
- [6] Oda T., Kato T., Takahashi T., Shimizu K., "Nitric oxide decomposition in air by using nonthermal plasma processing with additives and catalyst", IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 34, no. 2, pp. 268-272, 1998.
- [7] Hamada, H., Kintaichi, Y., Sasaki, M., Ito, T., and Tabata, M., "Selective reduction of nitrogen monoxide with propane over alumina and HZSM 5 zeolite - Effect of oxygen and nitrogen dioxide intermediate", Appl. Catal. 70, L15, 1991.
- [8] Yokoyama, C. and Misono, M., "Catalytic reduction of nitrogen oxides by propene in the presence of oxygen over cerium ion-exchanged zeolites: 2. Mechanistic study of role of oxygen and doped metals", J. Catal. 150, 9, 1994.
- [9] B. M. Penetrante et al., "Plasma Assisted Catalytic Reduction of NOx", Proc. 1998 Int. Fall Fuels and Lubricants Meeting (Society of Automotive Engineers, SP-1395), 57-66, 1998.
- [10] B. M. Penetrante and S. E. Schultheis, Ed, *Non-thermal Plasma Techniques for Pollution Control, Part B-Electron Beam and Electrical Discharge Processing* (Springer-Verlag, Berlin) (1993).
- [11] J. J. Carlins and R. G. Clark, Ozone Generation by Corona Discharge, in *Handbook of Ozone technology and application*, Ed. R. G. Rice and A. Netzer (Ann Arbor Science Publicsher, Ann Arbor) Vol 1, Chapter 2, 1982.
- [12] J. W. Chung, M. H. Cho, B. H. Son, Y. S. Mok, and W. Namkung, "Study on Reduction of Energy Consumption in Pulsed Corona Discharge Process for NOx Removal", Plasma chemistry and Plasma Processing. vol. 20, no. 4, 495-509, 2000.
- [13] Serpone, N., Pelizzetti, E., Ed. *Photocatalysis: Fundamentals and Applications*. (Wiley, New York) 1989.
- [14] Fujishima, A., Hashimoto, K., Watanabe, T. *TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications*, (BKC, Inc.: Tokyo) 1999.
- [15] Y. H. Kim, S. H. Hong, M. S. Cha, Y. H. Song, and S. J. Kim "Measurement of electron energy by emission spectroscopy in pulsed corona and dielectric barrier discharge", Proc. The third international symposium, Non-thermal Plasma Technology for Pollution Control pp. 142-146, 2001.

저 자 소 개



이 용 환 (李 鎔 煥)

1969년 1월 2일 생. 1997년 한양대 공대 원자력공학과 졸업. 1999년 포항공과대 환경 공학과 졸업(석사). 2000년~현재 동 대학원 환경공학부 박사과정

TEL : 054-279-2758

Fax : 054-279-1190

E-mail : yhlee69@postech.ac.kr



정 재 우 (鄭 在 祐)

1967년 10월 30일 생. 1994년 영남대 공대 환경공학과 졸업. 1996년 한국과학기술원 토목공학과 졸업(석사). 2000년 8월 포항공과대 환경공학부 졸업(공학박). 현재 진주산업대학교 환경공학부 전임강사.

TEL: 055-751-3348

Fax: 055-751-3484

E-mail : jwchung@jinju.ac.kr



조 무 현 (趙 武 顯)

1954년 10월 1일 생. 1977년 서울대 공대 원자핵공학과 졸업. 1979년 동 대학원 원자핵공학과 졸업(석사). 1988년 Wisconsin-Madison 졸업(이박). 1989년 포항공과대 물리학과 조교수. 1997년~1998년 포항공속기 연구소 선형가속기 실장. 현재 포항공과대 물리학과/환경공학부 겸임교수.

TEL: 055 751-3348

Fax: 055 751-4353

E-mail : mhcho@postech.ac.kr