

## 상온 펄스 코로나 방전 공정에 의한 NO 제거 효율 NO Removal Efficiency by Pulsed Corona Discharge Process at Room Temperature

김 동 주 · 박 정 환<sup>1)</sup> · 김 교 선\*  
강원대학교 공과대학 화학공학과, <sup>1)</sup>대주정밀화학(주)  
(2002년 3월 13일 접수, 2002년 7월 29일 채택)

Dong-Joo Kim, Jung-Hwan Park<sup>1)</sup> and Kyo-Seon Kim\*  
*Department of Chemical Engineering, Kangwon National University, <sup>1)</sup>Daejoo Fine Chemical Co.*  
(Received 13 March 2002, accepted 29 July 2002)

### Abstract

In this study, we analyzed the NO removal efficiency by the pulsed corona discharge process and investigated the effects of several process variables such as initial concentrations of NO, H<sub>2</sub>O, and NH<sub>3</sub>, applied voltage, pulse frequency, diameter of the discharge electrode, and residence time. The removal efficiency of NO increased by the addition of H<sub>2</sub>O or NH<sub>3</sub>, but the changes of initial NH<sub>3</sub> and H<sub>2</sub>O concentrations did not affect the removal efficiency of NO significantly. With the increases of the applied voltage or the residence time, the removal efficiency of NO increased. In addition, with the increases of the pulse frequency of applied voltage, or the diameter of the discharge electrode, the removal efficiency of NO increased. The experimental results can be used as a basis to design the pulsed corona discharge process to remove NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub> and VOCs.

**Key words** : NO removal, pulsed corona discharge process

### 1. 서 론

대기오염 물질인 NO<sub>x</sub>는 SO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> 및 부유분진 등과 함께 주로 석탄 화력발전소, 자동차, 제철소, 소각로, 제지공장 등에서 다량으로 배출되어 산성비, 지구온난화, 오존층 파괴와 같은 환경 오염 문제를 일으키고 있다. 최근 환경문제에 대한 국제적 규제 흐름으로 오염원에 대한 배출농도규제 및 대기환경

기준을 강화하려는 움직임이 보이고 있다. 질소산화물의 제거 방법에는 연소 단계에서 연료 성질과 연소 조건의 제어 등에 의해 NO<sub>x</sub>의 발생을 억제하는 방법과 생성된 NO<sub>x</sub>를 대기 중에 방출하기 전까지 처리하는 후처리 방법으로 나뉘어진다. 후처리 방법에는 선택적 환원 촉매 방법, 선택적 비촉매 환원법 등과 같은 방법이 개발되어 있으나, 비용이 고가이며 대용화의 어려움 및 저온에서의 효율이 감소하는 문제점을 갖고 있어 경제성 및 에너지 효율성을 고려한 오염물 제거장치 개발과 설치가 요구되고 있다. 최근에는 탈질 공정으로서 경제적이고 고효율

\* Corresponding author  
Tel : 033-250-6334, E-mail : kkyoseon@kangwon.ac.kr

적인 저온 플라즈마를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다 (Urashima *et al.*, 1997; Oda *et al.*, 1996; Penetrante, 1995; Nunez *et al.*, 1993; Chang *et al.*, 1991; Masuda *et al.*, 1990; Chang, 1989).

코로나 방전 공정은 저온 플라즈마를 이용한 전기적 방전 공정으로서 대기압 상태에서 방전 전극에 인가된 고전압에 의해 전극 주변에 높은 전기장이 형성된다. 코로나 방전으로 생성된 전자들은 전기장에 의해 가속되어 높은 에너지를 가지게 되는 반면 질량이 큰 이온과 분자들은 가속되지 않아 낮은 에너지를 가지게 되므로 코로나 방전 반응기 내에는 저온 플라즈마가 발생된다. 전자들은 반응기 내로 공급되는 기체들과 충돌하여 반응성이 강한 라디칼들(H, N, O, O<sub>3</sub>, OH, HO<sub>2</sub>, O(D) 등)과 2차 전자들을 생성한다. NO는 라디칼들과의 반응에 의해 주로 NO<sub>2</sub>로 전환되나 N<sub>2</sub>나 HNO<sub>2</sub>로도 전환될 수 있다. NO<sub>2</sub>는 OH나 HO<sub>2</sub> 라디칼과 반응하여 HNO<sub>3</sub>로 전환되며 HNO<sub>2</sub>나 HNO<sub>3</sub>은 NH<sub>3</sub>와 반응하여 고체입자인 암모늄염(NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)으로 전환된다.

펄스 코로나 방전 반응기를 이용한 NO<sub>x</sub>나 SO<sub>2</sub> 제거에 대한 많은 연구가 수행되어 왔다. Chang (1989)은 스트리머 코로나 방전 반응기에서 NO<sub>x</sub> 제거에 이온-분자 반응이 중요하게 작용하며 H<sub>2</sub>O와 NH<sub>3</sub> 및 전자 에너지가 이온-분자 반응에 상당한 영향을 미치는 것을 보고하였다. Amirov *et al.* (1998)은 스트리머 코로나 반응기 내에서 생성된 라디칼들이 NO나 SO<sub>2</sub> 제거에 미치는 영향을 이론적/실험적으로 연구하였는데, NO는 주로 OH, O<sub>3</sub>, N 등과의 반응에 의해 제거되며 SO<sub>2</sub>는 OH, O<sub>3</sub>과의 반응에 의해 제거되는 것으로 보고하였다. Lowke and Morrow (1995)는 펄스 코로나를 사용한 전기 집진기 내에서 NO<sub>x</sub>와 SO<sub>2</sub>의 제거 메커니즘에 대해 이론적으로 연구하였으며 질소, 산소, 수증기 등과 같은 주요 화학종의 분해반응에 대한 속도상수를 전기장에 따라 계산하였다. Mok *et al.* (1998a, b)은 펄스 코로나 방전 반응기에서 반응 속도론에 근거한 NO 제거 모델을 제안하였으며 NO 제거율이 전계강도, 처리시간, 펄스 주파수와 NO<sub>x</sub> 초기농도에 의존함을 실험적으로 관찰하였다. Urashima *et al.* (1997)은 injector를 통해 코로나 방전 반응기에 NH<sub>3</sub>/CH<sub>4</sub>를 첨가하였을 경우 NH<sub>3</sub>와 CH<sub>4</sub>가 NO<sub>x</sub> 제거에 미치는 영향

을 연구하였는데, 인가 전압과 NH<sub>3</sub>나 CH<sub>4</sub>의 첨가 비율이 증가할수록 NO<sub>x</sub> 제거효율이 증가함을 관찰하였다. Kim and Kim (2002, 2001, 2000)과 Kim *et al.* (2001)은 NO<sub>x</sub> 제거를 위한 펄스 코로나 방전 공정에서 플라즈마 화학 및 입자 생성과 성장을 모델식을 사용하여 연구하였으며 입자 성장 분석에 중요한 입자특성(입자 농도, 입자크기, 표준편차)을 분석하였다.

펄스 코로나 방전 공정에 의해 NO<sub>x</sub>를 효과적으로 제거하기 위해서는 플라즈마 반응기 내에서 공정변수 변화가 NO<sub>x</sub> 제거에 미치는 영향을 체계적으로 분석해야 한다. 본 실험에서는 반응기로의 인가 전압, 펄스 주파수, 초기 NO 농도, 초기 H<sub>2</sub>O 농도, 초기 NH<sub>3</sub> 농도, 반응기 내 유체의 체류시간, 방전극 직경 등과 같은 공정변수 변화가 펄스 코로나 방전 반응기 내에서 NO<sub>x</sub> 제거에 미치는 영향을 분석하였다.

## 2. 실험 및 방법

펄스 코로나 방전 반응기에서 탈질 연구의 수행을 위해 사용한 실험장치의 개략도는 그림 1과 같다. 실험장치는 반응물 공급부, 반응기, 전력공급 및 제어부, 반응 부산물 측정부로 구성되어 있다. 반응물들(NO, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>)은 MFC (Mass Flow Controller)를 사용하여 펄스 코로나 방전 반응기 내로 정량 주입되도록 하였다. NO<sub>x</sub> 제거 실험시 수분의 영향을 고려하기 위해 O<sub>2</sub> 가스를 H<sub>2</sub>O bubbler에 통과시켜 일정량의 H<sub>2</sub>O가 O<sub>2</sub> 가스에 포화된 후 반응기 내로 공급되도록 하였다. H<sub>2</sub>O가 반응기 내로 공급되는 동안 응축하는 것을 방지하기 위해 전열선을 사용하여 공급라인의 온도를 일정하게 유지시켰다. NH<sub>3</sub>가 반응기 내로 공급되기 전에 NO와 반응하는 것을 방지하기 위해 NH<sub>3</sub>를 NO와 분리하여 공급하였다.

NO 제거를 위해 본 연구에서 사용한 펄스 코로나 방전 반응기는 그림 2에서와 같이 cylinder-wire 형으로써 실린더 내경은 5 cm이고 반응기 전체 길이는 38 cm이며 반응기의 재질은 Pyrex 유리를 사용하였다. 방전극은 반응기 중앙에 설치된 스텐레스 선을 사용하였으며 반응기 내벽에 설치된 접지극은 체 형태의 스텐레스 망(16 mesh)을 사용하였고 접

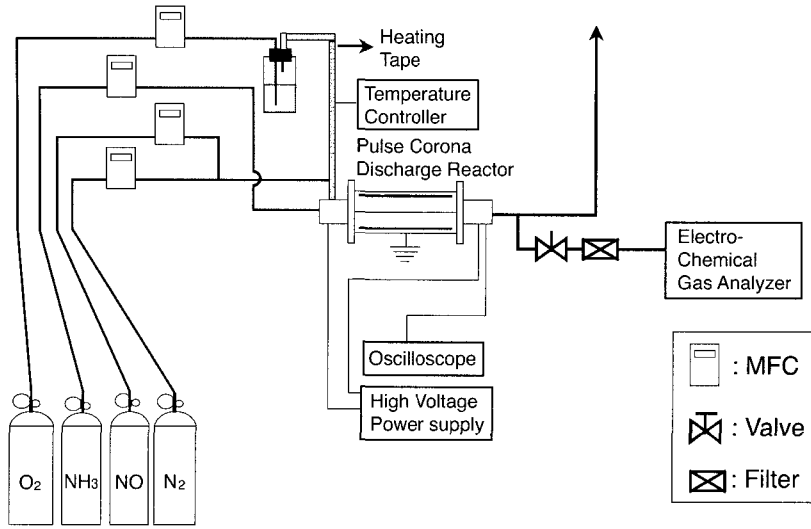


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set up to remove NO<sub>x</sub> by pulsed corona discharge process.

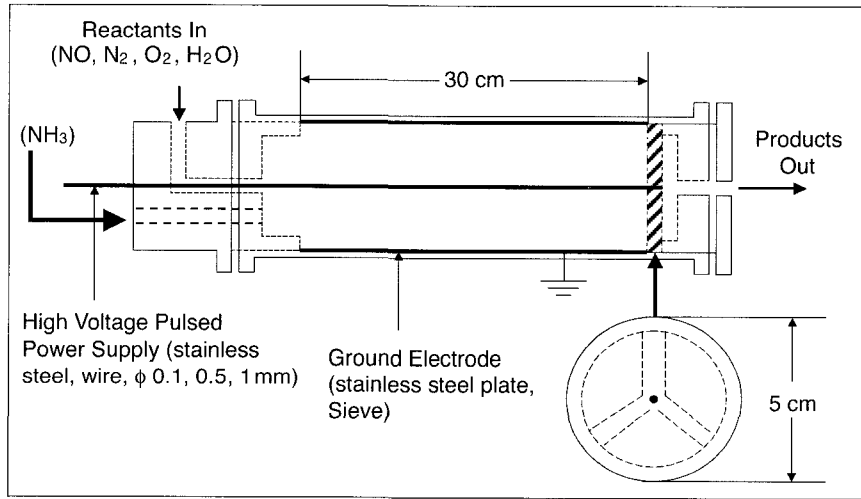


Fig. 2. Schematic of pulsed corona discharge reactor.

지극의 길이를 30 cm로 하였다. 반응기 내에서 코로나 방전을 발생시키기 위해 고전압 발생기를 사용하여 펄스 형태의 고전압이 방전극에 인가되도록 하였다. 코로나 방전 후에 방전극에 공급되는 전압의 크기와 펄스 주기는 오실로스코프를 사용하여 측정하였다. 코로나 방전 후 NO<sub>x</sub> 농도는 반응기 배출구에 설치된 Electro-Chemical Gas Analyzer를 사

용하여 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

NO 제거에 미치는 공정변수의 영향을 분석하기 위해 공정변수로서 반응기로의 인가 전압 ( $V_{app}$ ), 펄

스 주파수 ( $f_p$ ), 초기 NO 농도 ( $[NO]_0$ ), 초기 H<sub>2</sub>O 농도 ( $[H_2O]_0$ ), 초기 NH<sub>3</sub> 농도 ( $[NH_3]_0$ ), 반응기 내 유체의 체류시간 ( $\tau$ ), 방전극 직경 ( $d_w$ ) 등을 고려하였다. 본 연구에서 사용한 공정변수들의 기준 조건으로  $V_{app}$ ,  $f_p$ ,  $[NO]_0$ ,  $[H_2O]_0$ ,  $[NH_3]_0$ ,  $\tau$ ,  $d_w$ 는 50 kV, 200 Hz, 300 ppm, 3%, 0 ppm, 5.3 s, 0.5 mm를 각각 사용하였다. NO<sub>x</sub>는 석탄 화력발전소, 자동차, 제철소, 소각로, 제지공장 등에서 배출되고 있으며 배출원의 연소 조건 등에 따라 NO 및 NO<sub>2</sub>의 생성 비율에 차이가 생길 수 있으나 본 실험에서는  $[NO]_0$ 를 100~300 ppm로 변화시켰다. 실제 화력발전소, 자동차, 제철소, 소각로 등에서는 기체 온도가 넓은 온도 범위에서 공급되겠지만 본 실험에서는 상온으로 고정시켜 실험하였다. 초기 NH<sub>3</sub> 농도 변화가 NO 제거율에 미치는 영향을 분석하기 위해  $[NH_3]_0$ 를 125~500 ppm 범위에서 변화시켰다. 반응기 내 수분의 응축 현상을 막기 위해  $[H_2O]_0$ 는 0~4%까지 변화시켰다.  $V_{app}$ 은 20~50 kV,  $f_p$ 는 50~200 Hz,  $\tau$ 은 2.9~11.1 s,  $d_w$ 는 0.1~1 mm로 각각 변화시켜가며 NO 제거에 미치는 공정 변수의 영향을 분석하였다. O<sub>2</sub> 농도는 20%로 하였고 N<sub>2</sub>는 밸런스 가스로 사용하였다.

그림 3에는 코로나 방전 공정에 의한 NO<sub>x</sub> 제거 반응 기구를 개략적으로 나타냈다. 코로나 방전 공정에서는 대기압 상태에서 방전 전극에 인가된 고전압에 의해 전극 주변에 높은 전기장이 형성된다.

코로나 방전으로 생성된 전자들은 전기장에 의해 가속되어 높은 에너지를 가지게 되는 반면 질량이 큰 이온과 분자들은 가속되지 않아 낮은 에너지를 가지게 되므로 코로나 방전 반응기 내에는 저온 플라즈마가 발생된다. 전자들은 반응기 내로 공급되는 기체들과 충돌하여 반응성이 강한 라디칼들(H, N, O, O<sub>3</sub>, OH, HO<sub>2</sub>, O(D) 등)과 2차 전자들을 생성한다. 코로나 방전 반응기 내에서 플라즈마 화학에 의해 생성된 라디칼들은 산화성 라디칼(O, O<sub>3</sub>, OH, HO<sub>2</sub>)과 환원성 라디칼(NH, NH<sub>2</sub>, N, H)로 구분될 수 있다. NO는 그림 3의 반응경로 (2), (3), (5)에 의해 N<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, HNO<sub>2</sub>로 각각 전환된다. NO<sub>2</sub>는 OH나 HO<sub>2</sub> 라디칼과 반응(그림 3의 반응경로(9))하여 HNO<sub>3</sub>로 전환되거나 N 라디칼과 반응(그림 3의 반응경로(6))하여 N<sub>2</sub>O로 전환된다. HNO<sub>2</sub>나 HNO<sub>3</sub>은 반응경로(10)나 (11)에서와 같이 NH<sub>3</sub>와 반응하여 고체입자인 암모늄염(NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>)으로 전환된다. NO<sub>x</sub> 제거 공정 중에는 그림 3에 나타난 반응 경로(1)에 의해 NO가 새로이 생성될 수 있다.

### 3.1 체류 시간의 영향

그림 4에서는 반응기로 공급되는 초기 NO 농도 변화에 따른 NO 제거율을 체류시간에 따라 나타냈다. 본 실험에서 배출가스의 조성을 측정하기 위해 사용한 Electro-Chemical Gas Analyzer는 NO<sub>x</sub>만 측

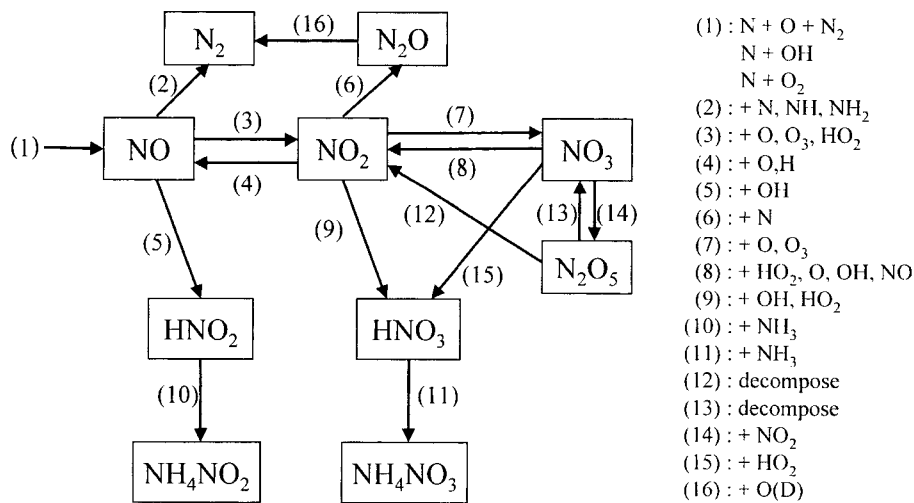
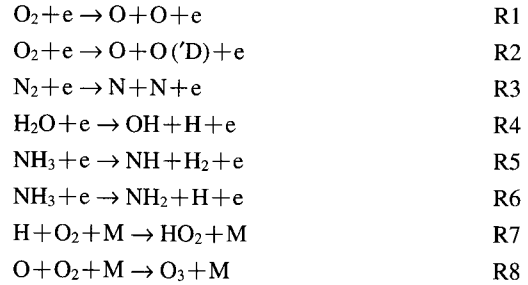


Fig. 3. Schematic of plasma reaction mechanisms for NO<sub>x</sub> reduction.

정할 수 있다. Kim and Kim (2002, 2001, 2000)과 Kim *et al.* (2001)에 의하면 대부분의 NO는 NO<sub>2</sub>로 전환된 후 HNO<sub>3</sub>로 전환되며 HNO<sub>3</sub>가 생성되자마자 NH<sub>3</sub>와 반응하여 NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>로 전환됨을 보였다. 본 시험에서 사용한 공정조건 하에서 NO<sub>2</sub>는 거의 측정되지 않았으므로 코로나 방전 후 제거된 대부분의 NO가 HNO<sub>3</sub>로 산화된 것으로 사려된다. 반응기 내 유체의 체류시간이 증가함에 따라 NO가 반응기 내에 머물면서 반응하는 시간은 증가하게 되므로 NO 제거율이 증가하고 있다. 초기 NO 농도가 증가함에 따라 NO 제거에 소비된 에너지는 상대적으로 감소하게 되므로 NO의 제거율이 감소하고 있다.

반응기로 인가되는 전압 변화가 NO 제거에 미치는 영향을 체류시간을 변화시켜 가며 그림 5에 나타냈다. 반응기 내 유체의 체류시간이 증가함에 따라 NO가 라디칼들과 반응하는 시간은 증가하게 되므로 NO 제거율이 증가하고 있다. 반응기로 인가되는 전압이 증가할수록 반응기에 공급되는 에너지가 증가하여 방전극 근처에 발생하는 코로나 방전 영역에서 고에너지를 갖는 전자나 혹은 라디칼들과

반응물들간의 다음과 같은 반응에 의해 활성 라디칼들(H, N, O, O<sub>3</sub>, OH, HO<sub>2</sub>, O('D) 등)들의 생성속도는 증가하게 된다.



NO 전환반응에 관여하는 활성 라디칼들의 생성속도가 증가함에 따라 NO 전환속도도 증가하므로 NO의 제거율이 증가하고 있다. 그림 6에서는 반응기로 인가되는 전압의 펄스 주파수 변화가 NO 제거에 미치는 영향을 체류시간에 따라 나타냈다. 펄스 주파수가 증가함에 따라 단위 시간당 코로나 방전의 방전시간이 증가하고 방전 영역은 더욱 균일하게 형성되어 활성 라디칼들의 생성 속도가 증가

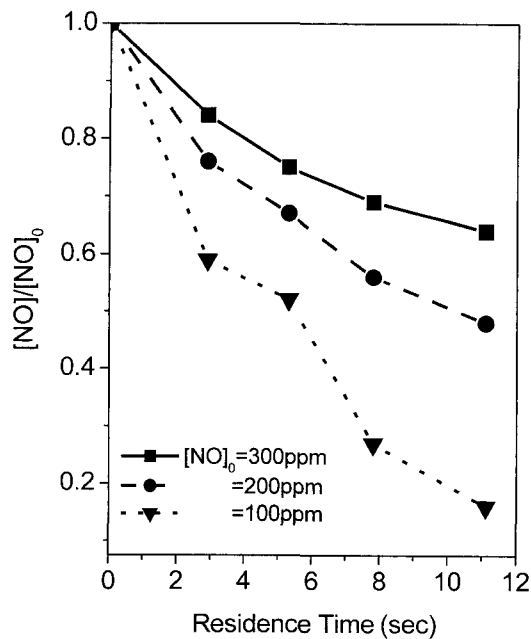


Fig. 4. NO removal efficiencies for various initial NO concentrations as a function of residence time ( $[H_2O]_0 = 3\%$ ,  $V_{app} = 50$  kV,  $f_p = 200$  Hz).

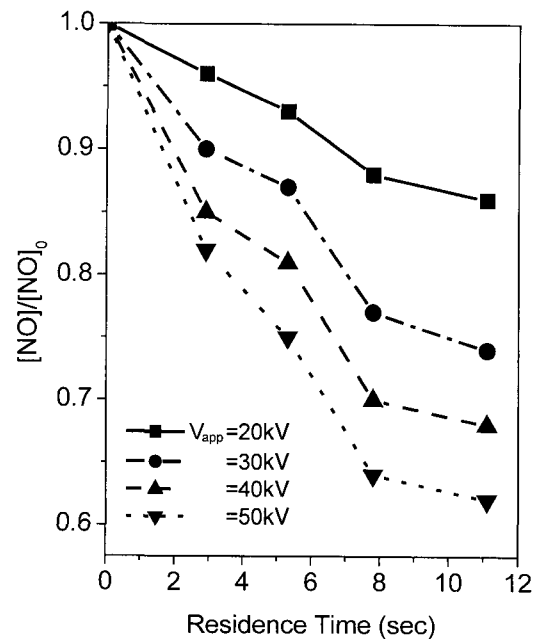


Fig. 5. NO removal efficiencies for various voltages as a function of residence time ( $[NO]_0 = 300$  ppm,  $[H_2O]_0 = 3\%$ ,  $f_p = 200$  Hz).

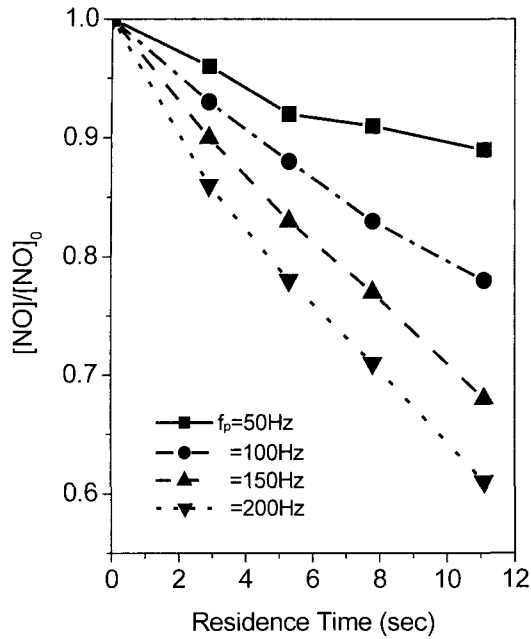


Fig. 6. NO removal efficiencies for various pulse frequency as a function of residence time ( $[NO]_0 = 300$  ppm,  $[H_2O]_0 = 3\%$ ,  $V_{app} = 50$  kV).

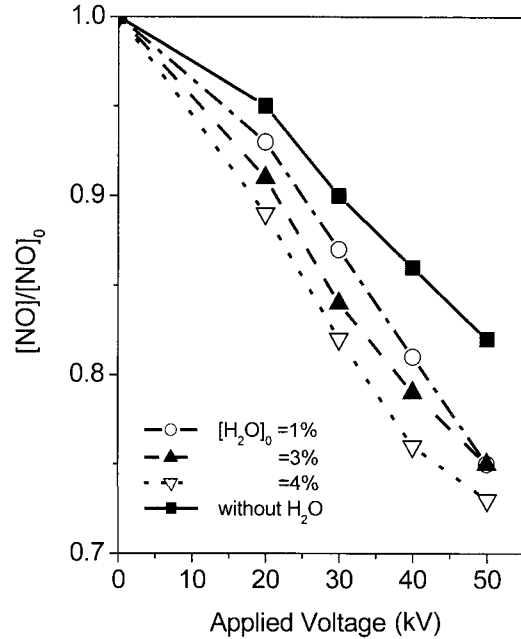


Fig. 7. NO removal efficiencies for various initial  $H_2O$  concentrations as a function of applied voltage ( $[NO]_0 = 300$  ppm,  $f_p = 200$  Hz,  $\tau = 5.3$  s).

하고 NO 전환반응 속도는 증가하므로 NO 제거율이 증가하고 있다.

### 3.2 인가 전압의 영향

그림 7에서는 초기  $H_2O$  농도 변화가 NO 제거에 미치는 영향을 인가 전압에 따라 나타냈다. 반응기로 인가되는 전압이 증가함에 따라 반응기에 공급되는 에너지는 증가하여 플라즈마 화학에 의한 NO 제거속도는 증가하게 되므로 NO 제거율이 증가하고 있다. 코로나 방전 공정에서  $H_2O$ 는 플라즈마 화학반응에 의해 OH 및  $HO_2$ 와 같은 활성 라디칼들을 생성(R4, R7)하며  $HO_2$ 는  $NO_2$ 의 생성반응(그림 3의 반응경로 (3))에 관계되고 OH와  $HO_2$ 는  $NO_2$ 가  $HNO_3$ 로의 소모반응(반응경로 (9))에 관계된다. Kim and Kim (2000, 2001, 2002)과 Kim *et al.* (2001)에 의하면, 초기  $H_2O$  농도 변화는  $NO_2$  생성반응보다는 소모반응에 더 크게 영향을 미치는 것으로 나타났다. 초기  $H_2O$  농도가 증가함에 따라 플라즈마 화학에 의해 생성된 OH,  $HO_2$  라디칼들의 농도는

증가하고 OH,  $HO_2$  라디칼들과의 반응에 의한 NO 제거속도는 증가하게 되므로 NO 제거율이 증가한 것을 보여주고 있다. 인가 전압이 50 kV인 경우, 초기  $H_2O$  농도가 1에서 4%로 증가함에 따라 NO 제거율은 2% 정도 증가하여  $H_2O$  농도 증가가 NO 제거에 미치는 영향은 상대적으로 작게 나타났다. 이는 NO 산화반응에 중요한  $O_3$  라디칼이 R9와 같이  $H_2O$  공급으로 생성된 OH 라디칼과 반응하여  $HO_2$  라디칼 생성에 소모된다.



R9에 의해  $O_3$  라디칼이 소모됨에 따라 반응기 내에서  $O_3$  농도는 감소하고 그림 3에서 반응 경로 (3)의 NO 소모속도도 감소하여 NO 제거율이 크게 증가하지 않은 것으로 사려된다.

그림 8에는 초기  $NH_3$  농도 변화에 따른 NO 제거율을 인가 전압에 따라 나타냈다.  $NH_3$ 는 플라즈마 화학반응(R5, R6)에 의해 NH와  $NH_2$ 로 각각 분리되어  $N_2$  생성 반응(그림 3의 반응경로(2))에 관여

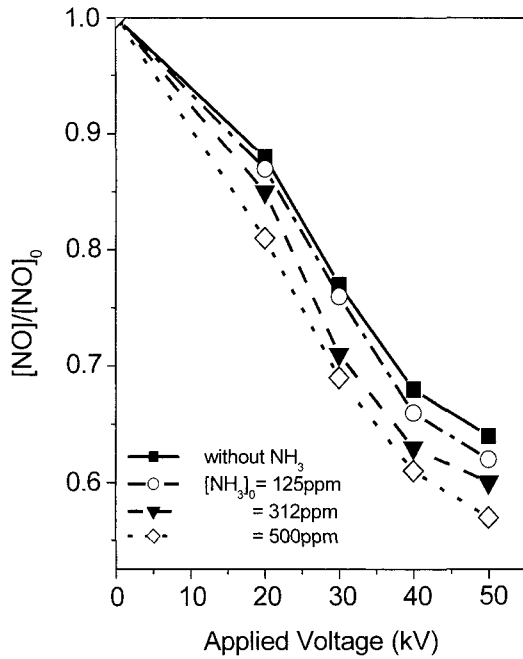


Fig. 8. NO removal efficiencies for various initial  $\text{NH}_3$  concentrations as a function of applied voltage ( $[\text{NO}]_0 = 300 \text{ ppm}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 3\%$ ,  $f_p = 200 \text{ Hz}$ ,  $\tau = 11.1 \text{ s}$ ).

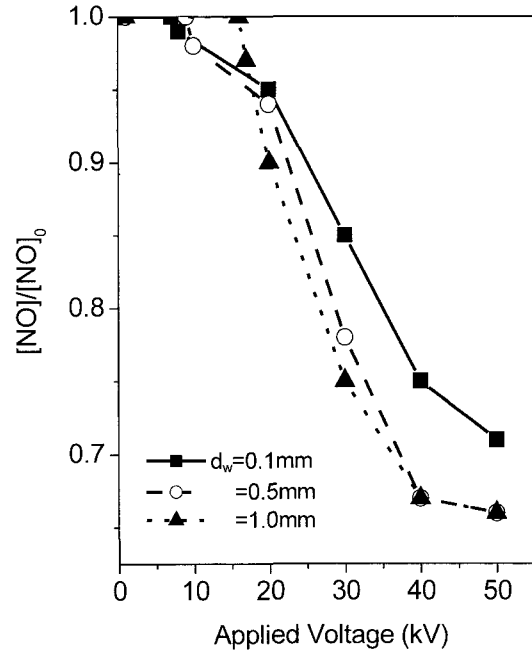


Fig. 9. NO removal efficiencies for various wire diameters as a function of applied voltage ( $[\text{NO}]_0 = 300 \text{ ppm}$ ,  $[\text{H}_2\text{O}]_0 = 3\%$ ,  $f_p = 200 \text{ Hz}$ ,  $\tau = 5.3 \text{ s}$ ).

하나  $\text{N}_2$  생성 반응에 미치는 영향은 작다. 따라서 대부분의  $\text{NH}_3$ 는 그림 3에서 나타낸 반응경로(10)와(11)에 의해  $\text{HNO}_2$ 나  $\text{HNO}_3$ 와 반응하여  $\text{NH}_4\text{NO}_2$  및  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ 와 같은 입자상 물질을 생성하는데 소모되는 것으로 보고됐다(Kim and Kim, 2002, 2001, 2000; Kim *et al.*, 2001). 반응기에  $\text{NH}_3$ 를 공급하지 않았을 경우, NO 제거율은 약 35%로 나타났고 초기  $\text{NH}_3$  농도가 500 ppm까지 증가함에 따라 NO 제거율은 약 43%까지 증가하였다. 코로나 방전 반응기에  $\text{NH}_3$ 를 공급하면 플라즈마 화학에 의해  $\text{NH}_2$  라디칼들이 생성되고, NO는  $\text{NH}_2$  라디칼과의 환원반응(그림 3의 반응경로(2))에 의해  $\text{N}_2$ 로 전환되나  $\text{N}_2$ 로의 환원반응 속도가 NO의 산화반응 속도보다 매우 느려 초기  $\text{NH}_3$  농도 증가에 비해 NO 제거율의 증가는 상대적으로 작게 나타나고 있다. 물론 공급된  $\text{NH}_3$ 가 반응되지 못하고 배출되는 경우 다른 오염원이 될 수 있기 때문에 실제 공정에서는 초기  $\text{NH}_3$  농도 결정에 신중해야 한다.

그림 9에서는 방전극의 직경 변화가 NO 제거율

에 미치는 영향을 인가 전압에 따라 나타냈다. 방전극의 직경이 0.1에서 1mm로 증가함에 따라 NO 제거가 시작되는 인가 전압은 9에서 18kV로 증가하였다. 방전극의 직경이 증가함에 따라 반응기 내에 형성되는 방전 영역과 방전 균일도가 증가하여 NO 소모에 중요한 라디칼의 생성량이 증가하게 되게 되므로 NO 제거율이 증가하고 있다. 인가 전압이 40kV 이상에서는 방전극 직경이 0.5mm와 1mm일 때 NO 제거율은 비슷하게 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 펄스 코로나 방전 반응기를 이용하여 공정변수 변화가 NO 제거율에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 실제 화력발전소, 자동차, 제철소, 소각로 등에서는 NO,  $\text{NO}_2$ 의 생성 비율 또는 기체 온도가 넓은 범위에서 변화하겠지만 본 실험에서는 기체 온도를 상온으로 고정시켰고 초기

NO 농도가 100~300 ppm 범위에서 변화하는 것으로 가정하였다.

초기 NO 농도가 감소하거나, 반응기 내 유체의 체류시간이 증가함에 따라 NO 제거율은 증가하였다. 초기 H<sub>2</sub>O 농도가 증가하거나, 혹은 초기 NH<sub>3</sub> 농도가 증가함에 따라 NO 제거반응에 관여하는 라디칼들(OH, OH<sub>2</sub>, 혹은 NH<sub>2</sub>)의 농도가 증가하여 NO 제거속도는 증가하게 되므로 NO 제거율은 증가하였으나 초기 H<sub>2</sub>O 농도나 NH<sub>3</sub> 농도 증가에 비해 NO 제거율의 증가는 상대적으로 작게 나타났다. 반응기로의 인가 전압이 증가함에 따라 반응기로 공급되는 에너지의 증가로 코로나 방전 영역에서 NO 전환속도는 증가하여 NO의 제거율은 증가하였다. 방전 주파수가 증가함에 따라 코로나 방전의 방전 시간 증가와 방전 영역의 균일도 증가로 NO 제거율이 증가하였다. 방전극의 직경이 증가함에 따라 방전 영역과 방전 균일도의 증가로 NO 제거율은 증가하였다.

본 연구의 결과는 대기오염 물질인 NO<sub>x</sub>나 SO<sub>x</sub> 또는 VOCs 등을 효율적으로 제거하기 위한 펄스 코로나 방전 공정의 설계 및 실용화에 중요한 기초 자료가 될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- Amirov, R.H., J.O. Chae, Y.N. Dessiaterik, E.A. Filimonova, and M.B. Zhelezniak (1998) Removal of NO<sub>x</sub> and SO<sub>2</sub> from Air Excited by Streamer Corona : Experimental Results and Modeling, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 37, 3521.
- Chang, J.S. (1989) The Role of H<sub>2</sub>O and NH<sub>3</sub> on the Formation of NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> Aerosol Particles and De-NO<sub>x</sub> under the Corona Discharge Treatment Combustion Flue Gases, *J. Aerosol Sci.*, 20, 1087.
- Chang, J.S., P.A. Laeless, and T. Yamamoto (1991) Corona Discharge Processes, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 19, 1102.
- Kim, D.J. and K.S. Kim (2000) Numerical Analysis on Plasma Chemistry and Particle Characteristics in NO<sub>x</sub> Removal by Pulsed Corona Discharge Process, *HWAHAK KONGHAK*, 38(5), 711.
- Kim, D.J., Y.R. Choi, and K.S. Kim (2001) Effects of Process Variables on NO<sub>x</sub> Conversion by Pulsed Corona Discharge Process, *Plasma Chem. Plasma Process.*, 21(4), 625.
- Kim, D.J. and K.S. Kim (2001) Analysis on Plasma Chemistry and Particle Growth in Corona Discharge Process for NO<sub>x</sub> Removal using Discrete-Sectional Method, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, in press (2002).
- Kim, K.S. and D.J. Kim (2002) Plug Flow Modeling of Particle Formation and Growth Combined with Plasma Chemistry in NO<sub>x</sub> Removal by Pulsed Corona Discharge Process, *Aerosol Sci. Technol.*, 36(2), 178.
- Lowke, J.J. and R. Morrow (1995) Theoretical Analysis of Removal of Oxides of Sulphur and Nitrogen in Pulsed Operation of Electrostatic Precipitators, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 23(4), 661.
- Masuda, S. and H. Nakao (1990) Control of NO<sub>x</sub> by Positive and Negative Pulsed Corona Discharges, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, 26(2), 374.
- Mok, Y.S. and S.W. Ham (1998a) Conversion of NO to NO<sub>2</sub> in Air by a Pulsed Corona Discharge Process, *Chem. Engng. Sci.*, 53(9), 1667.
- Mok, Y.S., S.W. Ham, and I.S. Nam (1998b) Mathematical Analysis of Positive Pulsed Corona Discharge Process Employed for Removal of Nitrogen Oxides, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 26(5), 1556.
- Nunez, C.M., G.H. Ramesy, W.H. Ponder, J.H. Abbott, and L.E. Hamel (1993) Corona Destruction : An Involative Control Technology for VOCs and Air Toxics, *Air Waste*, 43, 242.
- Oda, T., T. Takahashi, and S. Masuda (1996) Atmospheric Pressure Discharge Plasma Decomposition for Gaseous Air Contaminants-Trichloro Trifluoro ethane and Dichloroethylene, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, 32, 227.
- Penetrante, B.M., M.C. Hsiao, B.T. Merrite, G.E. Vogtlin, and P.H. Wallman (1995) Comparison of Electrical Discharge Techniques for Nonthermal Plasma Processing of NO in N<sub>2</sub>, *IEEE Trans. Plasma Sci.*, 23, 679.
- Urashima, K., J.S. Chang, and T. Ito (1997) Reduction of NO<sub>x</sub> from combustion Flue Gases by Superimposed Barrier Discharge Plasma Reactors, *IEEE Trans. Ind. Applicat.*, 33(4), 879.