

## 코로나 방전 공정에 의한 탈질시의 $\text{NO}_x$ 전환율 및 입자특성 분석

박정환\* · 김동주 · 김교선†

강원대학교 화학공학과

\*대주정밀화학(주)

(2002년 1월 10일 접수, 2002년 3월 15일 채택)

## Analysis on $\text{NO}_x$ Conversion and Particle Characteristics in $\text{NO}_x$ Removal by Corona Discharge Process

Jung-Hwan Park\*, Dong-Joo Kim and Kyo-Seon Kim†

Department of Chemical Engineering, Kangwon National University, Chuncheon 200-701, Korea

Daejoo Fine Chemical Co., Ltd, Sihung 429-450, Korea

(Received 10 January 2002; accepted 15 March 2002)

### 요 약

본 연구에서는 펄스 코로나 방전 공정에 의한 NO 제거 효율 및 입자 크기 분포를 분석하였고, 여러 공정변수의 변화가 미치는 영향을 분석하였다. 인가 전압, 펄스 주파수, 공급 기체 체류시간, 반응기로 공급되는 초기 NO 농도, 초기  $\text{NH}_3$  농도, 초기  $\text{H}_2\text{O}$  농도 등의 공정변수가 NO 제거 및 입자 특성에 미치는 영향을 측정하고 분석하였다. 인가 전압 및 체류시간이 증가함에 따라, 또는 초기 NO 농도가 감소함에 따라 NO 제거 효율은 증가하였다. 방전극의 직경이 두꺼울 때 높은 NO 제거 효율을 얻었다. 초기  $\text{NH}_3$ 와  $\text{H}_2\text{O}$ 의 농도 변화는 NO 제거에 큰 영향을 주지 못했다. 초기 NO 농도가 증가할수록, 체류시간이 증가할수록 그리고 인가 전압이 증가할수록 생성된 암모늄염 입자의 농도와 크기는 증가하였다.

**Abstract** – In this study, we analyzed the  $\text{NO}_x$  removal efficiency and particle size distribution by the pulsed corona discharge process and investigated the effect of several process variables. The NO removal efficiencies and the particle characteristics were measured and analyzed as the function of initial concentrations of NO,  $\text{H}_2\text{O}$ , and  $\text{NH}_3$  at the inlet, applied voltage, pulse frequency and residence time of gas stream. As the applied voltage and the residence time increased, or as the initial concentration of NO decreased, the NO removal efficiency increased. The higher NO removal efficiencies were obtained with the discharge electrode of larger diameter. The changes of initial  $\text{NH}_3$  and  $\text{H}_2\text{O}$  concentrations did not affect the NO removal efficiency significantly. The particle concentration and size of ammonium nitrate salts increased with the increases of initial NO concentration, residence time and applied voltage.

**Key words:** NO Removal, Pulsed Corona Discharge Process, Particle Size

### 1. 서 론

오늘날 환경 오염으로 인한 산성비, 지구온난화, 오존층 파괴, 스모그 등의 대기환경문제가 세계적인 관심사로 대두됨에 따라 오염물 저감에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히  $\text{NO}_x$ 와  $\text{SO}_x$ 는 대기오염 및 산성비의 주된 원인으로 작용하고 있어 배출허용기준이 점점 더 강화되고 있다. 이에 대기오염 방지와 강화되고 있는 배출허용 기준을 충족시키기 위해서는 경제성 및 에너지 효율성을 고려한 오염물 제거장치 개발 및 설치가 요구된다. 저온 플라즈마 기술은 이들 문제의 해결방안으로 선진각국에서 활발히 연구가 진행되어 크게 발전해 왔으며 이로 인해 새로운 많은 형태의 플라즈마 반응기가 개발되고 기존의 반응기들

도 그 성능이 크게 개선되었다.

기존의  $\text{NO}_x$ 나  $\text{SO}_x$ 제거에 사용되는 공정들로는 습식 공정인 알칼리 흡수법, 선택적 촉매 환원법(Selective Catalytic Reduction; SCR)과 선택적 비촉매 환원법(Selective Non-Catalytic Reduction; SNCR) 등이 있다. 하지만 기존의 공정들은 제거 효율은 높으나, 설비의 소형화가 어렵고 처리 과정에서 2차 오염물질이 발생하는 단점을 가지고 있다. 최근에는 탈황/탈질 공정으로서 경제적이고 고효율적인 저온 플라즈마를 이용하는 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4].

저온 플라즈마를 이용하는 공정에는 크게 전기적 방전 공정과 전자빔 공정 등이 있으며 전기적 방전 공정은 펄스 코로나 방전, 유전체 방벽 방전, 표면 방전, 강유전체구충 등으로 나뉘어 진다[4-8]. 전기적 방전 공정 중 코로나 방전 공정은 전기 집진기에 이미 사용되어온 방법으로 코로나 방전에 대한 기술이 많이 축적된 상태이며 다른 전기 방전 기술에 비해 대기 유해 가스 처리에 먼저 적용되고 있어 현재 탈질 공정으

†To whom correspondence should be addressed.  
E-mail: kkyosean@cc.kangwon.ac.kr

로 활발한 연구가 진행되고 있다.  $\text{NO}_x$  제거를 위한 펄스 코로나 공정은 1) 전식 공정으로 폐수와 같은 2차 처리가 필요없게 되고, 2) 농업에 사용될 수 있는 유산(초안 비료와 같은 부산물이 생성되며, 3) 설치 면적 및 초기 투자 비용이 적어 기존 산업 설비에 연결 설치가 용이하다는 장점을 가지고 있다. 또한 탈질 이외에도 휘발성 유기물(VOCs), 악취, 다이옥신, 프레온 등의 유해가스 처리에도 효과적으로 활용될 수 있다[1-8].

펄스 코로나 방전 공정에서는 코로나 방전의 에너지 효율성을 높이기 위해 펄스 상승시간이 극히 빠르고(100-500 ns) 펄스 폭이 좁은(1  $\mu\text{s}$  이하) 펄스 형태의 고전압을 방전 전극에 인가하며 방전 전극 근처에 형성된 전기장에 의해 가속된 전자들은 반응기 내로 공급되는 기체들과 충돌하여 반응성이 강한 산화성 라디칼( $\text{O}$ ,  $\text{O}_3$ ,  $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ )과 환원성 라디칼( $\text{NH}$ ,  $\text{NH}_2$ ,  $\text{N}$ ,  $\text{H}$ )을 생성한다.  $\text{NO}$ 는 라디칼들과의 반응에 의해 주로  $\text{NO}_2$ 로 전환되거나  $\text{N}_2$ 나  $\text{HNO}_2$ 로 전환될 수 있다.  $\text{NO}_2$ 는  $\text{OH}$ 나  $\text{HO}_2$  라디칼과 반응하여  $\text{HNO}_3$ 로 전환되며 생성된  $\text{HNO}_2$ 나  $\text{HNO}_3$ 는  $\text{NH}_3$ 와 반응하여 고체 입자인 암모늄염( $\text{NH}_4\text{NO}_2$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )으로 전환된다[2, 7-9, 12-19]. 코로나 방전 공정에 의해  $\text{NO}_x$  제거시  $\text{NH}_3$ 를 인가하여 생성된 암모늄염 입자들은 초안 등과 같은 비료로 활용되므로 전기 집진기나 bag filter 등과 같은 포집 장치를 사용하여 효과적으로 포집해야 한다. 코로나 방전 반응기에서 생성된 암모늄염은 고체 상태의 입자이지만  $\text{H}_2\text{O}$ 가 과포화 된 분위기에서는  $\text{H}_2\text{O}$ 가 암모늄염에 흡수 및 응축될 수도 있다.

펄스 코로나 방전을 이용한  $\text{NO}_x$  제거 연구는 이미 많이 수행되어 왔으나,  $\text{NO}_x$  제거 시 부산물로 생성되는 입자들의 생성 및 성장에 대한 연구는 아직 부족한 상태이다. 또한 펄스 코로나 방전 기술의 실용화를 위해  $\text{NO}$  제거 효율에 대한 검증 및 장치의 대형화 시 발생하는 문제점 해결에 대한 연구도 요구되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 펄스 코로나 방전 반응기를 이용한  $\text{NO}_x$  제거 시 여러 공정 변수의 영향을 체계적으로 분석하였으며,  $\text{NO}_x$  제거 시 부산물로 생성되는 입자의 농도분포와 크기를 측정함으로써 입자 생성 및 성장에 대하여 분석하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2-1. 실험장치

펄스 코로나 방전 반응기에서 탈질 연구를 위해서 사용한 실험장치의 개략도는 Fig. 1과 같다. 실험장치는 반응물의 주입 및 제어부, 반응기, 전력공급 및 제어부 그리고 반응 부산물 측정부로 이루어져 있다.  $\text{NO}_x$  제거 실험시 수분의 영향을 고려하기 위해 일정량의 수분을 bubbler를 사용하여  $\text{O}_2$  가스에 포화시켜 반응기 내로 공급하였다.  $\text{O}_2$  가스에 포화된 수분이 반응기 내로 공급되기 전에 응축하는 것을 방지하기 위해 전열선을 사용하여 가스의 온도를 일정하게 유지시켰다. 반응기로 공급

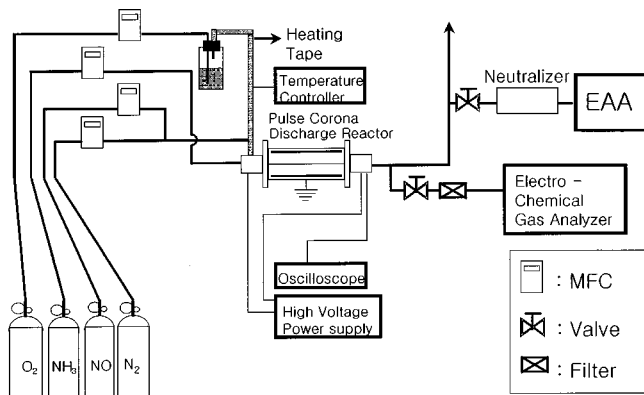


Fig. 1. Schematic diagram of experimental set up to remove  $\text{NO}_x$  by pulsed corona discharge process.

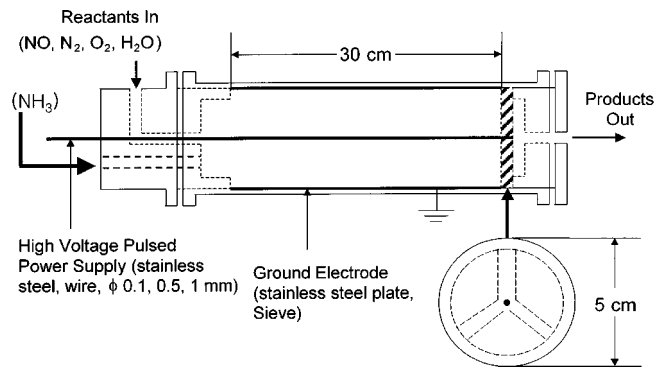


Fig. 2. Schematic of pulsed corona discharge reactor.

되는  $\text{NH}_3$ 가 반응기 내로 공급되기 전에  $\text{NO}$ 와 반응하는 것을 방지하기 위해서  $\text{NH}_3$  공급선을  $\text{NO}$  공급선과 분리하였다. 반응기로 공급되는 각각의 가스 유량은 MFC(Mass Flow Controller, Tyran, model FC-280S)를 사용하여 조절하였다.

$\text{NO}$  제거를 위해 본 연구에서 사용한 펄스 코로나 방전 반응기는 Fig. 2에서와 같이 cylinder-wire형으로써 실린더 내경은 5 cm이고 반응기 전체 길이는 38 cm이며 반응기의 재질은 Pyrex 유리를 사용하였다. 방전극은 반응기 중앙에 설치된 stainless wire(직경 0.1, 0.5, 1 mm)이며, 접지극은 반응기 내벽에 stainless mesh sieve(16 mesh)로 설치하였으며 접지극은 원통형으로 길이는 30 cm이다.

반응기 내에 코로나를 발생시키기 위해 고전압 발생기를 사용하였다. 실험을 하는 동안에 코로나 발생 전극에 공급되는 전압의 크기와 주파수는 오실로스코프(Tektronix TDS 220)를 사용하여 측정하였다. 코로나 방전 후  $\text{NO}_x$ 의 농도를 측정하기 위해 반응기 배출구에 Electro-Chemical Gas Analyzer(Digitron, GreenLine MKII)를 설치하여 측정하였다. 반응기 내에서 생성된 입자들의 크기 분포를 측정하기 위해 반응기 배출구에 EAA(Electrical Aerosol size Analyzer, TSI, model 3030)를 설치하였다.

### 2-2. 실험방법

실험은 상온 상압에서 행하여졌으며, 반응기로 공급되는 가스 유량은 MFC를 사용하여  $\text{N}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{NH}_3$ 가스의 유량과 초기 농도를 실험 목적에 따라 조절한 후 정상 상태가 되도록 10분 정도 유지시킨 후 실험을 하였다. 반응기에 공급되는 주요 반응물질인  $\text{NO}$ 와  $\text{NH}_3$ 는 질소와 부피농도비가 각각 1( $\text{NO}$ ):9( $\text{N}_2$ ), 1( $\text{NH}_3$ ):9( $\text{N}_2$ )로 혼합된 혼합가스를 사용하였다. 펄스 코로나 반응기에 공급되는 반응물의 유량은 MFC를 이용하여 조절하였고, 실험 전후에 수 차례 보정을 하여 절대 공급량을 확인하였다.  $\text{NO}$  제거 시 공정변수의 영향을 알아보기 위해서 반응기로 인가되는 전압을 20, 30, 40, 50 kV로, 펄스 주파수는 50, 100, 150, 200 Hz로 변화시켜가면서  $\text{NO}$  제거 특성을 조사하였고, 반응기로 공급되는 수분의 양을 1, 2, 3, 4%로, 암모니아의 농도를 125, 218, 312, 406, 500 ppm으로, 공급 기체 체류시간을 2.9, 5.3, 7.8, 11.1 sec로 변화시켜가며 수분의 농도와 암모니아의 농도가  $\text{NO}$  제거에 미치는 영향을 분석하였다. 기체 온도는 상온으로 고정시켜 실험하였으며 반응기 내 수분의 응축 현상을 막기 위해 수분 농도를 0-4%까지 변화시켰다.

펄스 코로나 방전 시 암모니아의 첨가로 생성되는 입자에 대한 특성을 분석하기 위해서 반응기 출구에 EAA를 설치하여 반응기 내에서 생성된 입자들의 크기 분포를 측정하였다. 공급되는 암모니아와  $\text{NO}$ 의 양은 1:1의 비율로 공급하였다. 공정변수 변화에 따른 입자 성장의 특성을 분석하기 위해서 인가 전압을 20, 30, 40, 50 kV로, 체류시간을 5.3, 7.8, 11.1 sec로, 암모니아와  $\text{NO}$ 의 농도를 각각 300, 700, 1,600, 2,600 ppm로 변화시켜가며 입자 크기의 변화를 EAA를 이용하여 on-line으로

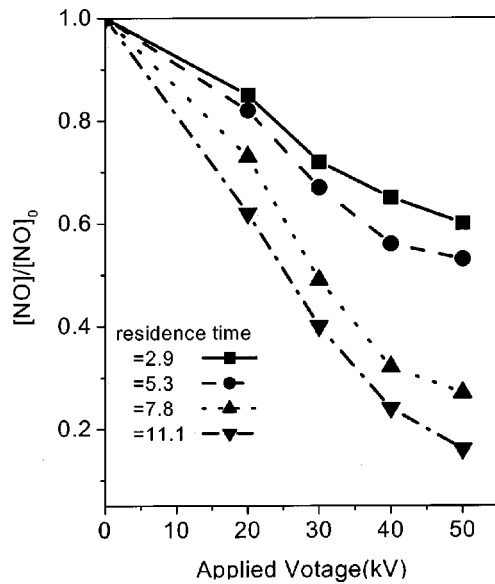


Fig. 3. NO removal efficiencies for various residence times as a function of applied voltage([NO]<sub>0</sub>=100 ppm, pulse frequency=200 Hz).

측정하였다. 입자 크기의 정확한 분석을 위하여 반응기에서 나오는 기체 시료들은 Neutralizer를 이용하여 입자에 대전되어 있는 전하를 없앤 후 측정하였으며, 모든 실험조건에 대하여 3회 이상 측정한 결과의 평균치를 사용하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3-1. 체류시간 변화의 영향

Fig. 3은 반응기로 인가되는 전압의 변화와 체류시간 변화가 NO 제거에 미치는 영향을 보여주고 있다. 반응기로 인가되는 전압은 20-50 kV로 변화시켰으며, 공급 기체 체류시간은 2.9-11.1 sec로 변화시켰다. 펄스 주파수는 200 Hz, 반응기로 공급되는 초기 NO 농도는 100 ppm으로 하였다. 인가 전압이 증가함에 따라 NO의 제거율은 증가하였고, 또한 체류시간이 증가함에 따라 NO의 제거율은 증가하였다. 반응기로 인가되는 전압이 증가할수록 반응기로 공급되는 에너지가 증가하게 되고 따라서 반응기 내에 형성되는 코로나 방전이 강해지고, 방전 영역도 와이어 주변으로 크게 확대되므로 인가전압 증가에 따라 NO 제거율이 증가한다. 그리고 공급 기체 체류시간이 증가하게 되면 반응기체들이 방전영역에 머무는 시간이 증가하게 되지만, 공급 기체 체류시간이 2.9-5.3 sec일 때는 반응기로 공급되는 기체의 유량(12,000-6,600 sccm)이 너무 커 반응기 내 형성된 방전영역에서 반응기체들이 충분한 반응을 하지 못하기 때문에 NO의 제거효율이 40-48%로 나타났다.

#### 3-2. 초기 NO 농도 변화의 영향

Fig. 4에 초기 NO 농도 변화와 인가 전압 변화에 따른 NO 제거율을 나타냈다. 반응기로 공급되는 초기 NO 농도는 100, 200, 300 ppm으로 변화시켰으며, 인가 전압은 20-50 kV로, 펄스 주파수는 200 Hz로 하였다. 인가 전압이 증가함에 따라 NO의 제거율은 증가하였고, 초기 NO 농도가 300 ppm에서 100 ppm으로 감소됨에 따라 NO 제거율이 37%에서 87%로 증가하였다. 초기 NO 농도가 높으면 같은 에너지를 인가하였을 때 반응기 내에서 NO 제거에 요구되는 에너지가 상대적으로 많이 필요하게 되므로 반응기로 공급되는 초기 NO 농도가 증가할수록 NO의 제거율이 감소하게 된다.

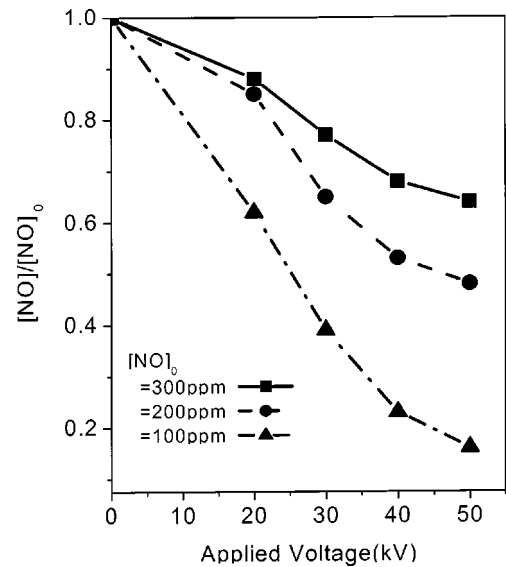


Fig. 4. NO removal efficiencies for various initial NO concentrations as a function of applied voltage(pulse frequency=200 Hz, residence time=11.1s).

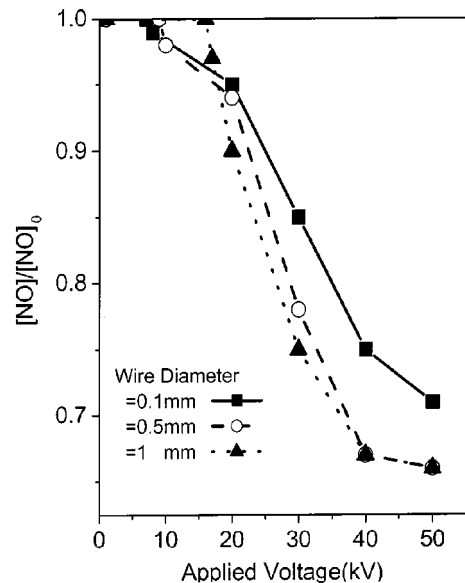


Fig. 5. NO removal efficiencies for various wire diameters as a function of applied voltage([NO]<sub>0</sub>=200 ppm, residence time=5.3s).

#### 3-3. 방전극 직경 변화의 영향

Fig. 5는 방전극의 두께 변화가 NO 제거율에 미치는 영향을 나타낸다. 방전극으로 사용된 wire는 stainless steel이며, 방전극의 두께를 0.1, 0.5, 1 mm로 변화시켜 가면서 NO 제거 특성을 분석하였다. 초기 NO 농도는 200 ppm, 체류시간은 5.3 sec, 펄스 주파수는 200 Hz로 하였다. 방전극의 직경이 0.1 mm일 때는 9 kV에서, 0.5 mm일 때는 10 kV에서 그리고 1 mm일 때는 18 kV부터 NO 제거가 시작되었으며, 방전극의 직경이 감소할수록 NO 제거가 일어나기 시작하는 전압은 낮아졌다. 반면에 방전극의 직경이 0.1 mm일 때는 50 kV에서 29%의 NO 제거율을 나타냈고, 0.5 mm일 때와 1 mm일 때는 39%의 NO 제거율을 나타냈다. 방전극의 직경이 증가함에 따라 NO 제거율은 증가하였으나 40 kV이상에서 방전극 직경이 0.5 mm와 1 mm일 때는 NO 제거율이 비슷하게 나타

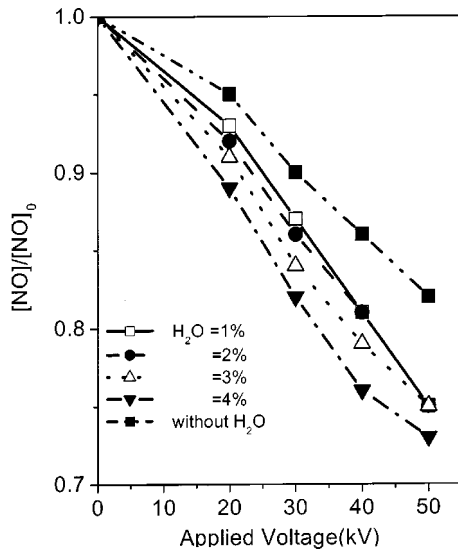


Fig. 6. NO removal efficiencies for various initial  $\text{H}_2\text{O}$  concentrations as a function of applied voltage ( $[\text{NO}]_0=300$  ppm, residence time=5.3s).

났다. 방전극의 직경이 증가함에 따라 반응기 내 형성되는 방전 영역이 넓어지고, NO 소모에 중요한 라디칼의 발생량이 증가하여 NO의 제거 반응 속도가 증가하고, 또한 방전극이 얇을 때보다 더욱 균일한 방전이 형성되어 NO의 제거율이 증가하는 것으로 판단된다.

### 3.4. 초기 수분농도 변화의 영향

Fig. 6에 수분 농도 변화가 NO 제거에 미치는 영향을 나타냈으며, 초기 NO 농도는 300 ppm, 체류시간은 5.3 sec, 펄스 주파수는 200 Hz로 하고, 인가 전압과 수분 농도의 증가에 따른 NO 제거율을 분석하였다. 수분 농도는 0, 1, 2, 3, 4%로 변화시켰다. 인가 전압을 50 kV로 하고 수분을 공급하지 않았을 때는 NO 제거율이 17%였고, 수분을 1% 공급하였을 때는 25%의 NO 제거율을 보였다. 하지만 수분 농도를 1%에서 4%로 증가시켜 공급하였을 때는 NO 제거율이 2% 정도 증가하여 수분 농도 증가가 NO 제거율에 크게 영향을 끼치지 않는 것으로 나타났다. 수분은 반응기 내에서 NO 산화에 중요한 라디칼( $\text{OH}$ ,  $\text{HO}_2$ )를 생성하여 NO 제거에 영향을 주지만, 수분의 첨가로 생성된 OH 라디칼은 NO 산화반응에 중요한 역할을 하는 오존( $\text{O}_3$ )과 반응을 하여  $\text{HO}_2$  라디칼을 생성하게 된다. 따라서 수분의 농도가 증가하면 반응기 내에서 생성된 오존의 양이 줄어들어 NO의 산화반응속도가 줄어들 수 있으므로 수분 농도 증가에 비해 NO 제거율의 증가가 상대적으로 작게 나타났다.

### 3.5. 초기 암모니아 농도 변화의 영향

Fig. 7에 암모니아 농도 변화에 따른 NO 제거 특성을 나타냈으며, 초기 NO 농도는 300 ppm, 체류시간은 11.1 sec, 펄스 주파수는 200 Hz로 하였다. 암모니아의 농도는 0, 125, 218, 312, 406, 500 ppm으로 변화시키며 공급하였다. 암모니아를 공급하지 않았을 경우, 인가 전압이 50 kV 일 때, NO 제거율이 35%였고, 초기 암모니아의 농도를 500 ppm까지 증가시키며 공급함에 따라 NO 제거율이 증가하였으며, 초기 암모니아 농도가 500 ppm일 때 NO 제거율이 43%로 나타났다. 반응기로 공급된 암모니아는 코로나 방전에 의해서  $\text{NH}_2$  라디칼을 생성하게 되고, 생성된  $\text{NH}_2$  라디칼은 NO를  $\text{N}_2$ 로 변환시키는 환원반응에 참여하지만, 환원반응 속도는 NO의 산화반응 속도에 비해 천천히 일어나므로, 초기 암모니아 농도 증가에 비해 NO 제거율의 증가가 상대적으로 작게 나타났다.

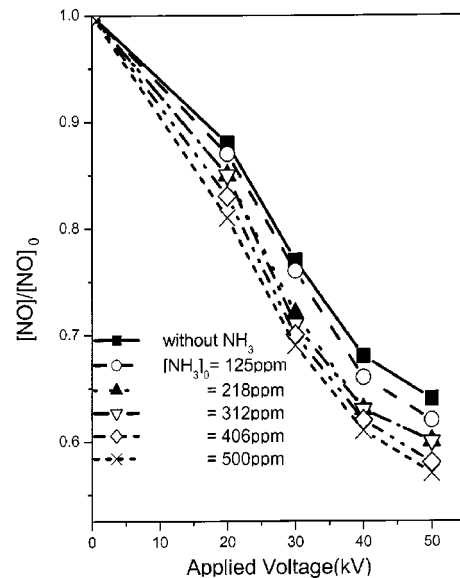


Fig. 7. NO removal efficiencies for various initial  $\text{NH}_3$  concentrations as a function of applied voltage ( $[\text{NO}]_0=300$  ppm, residence time=11.1s).

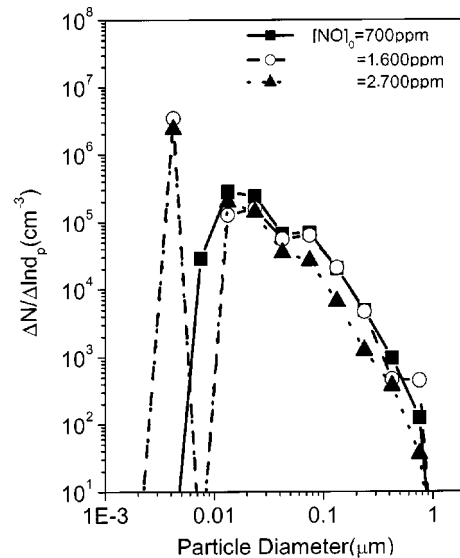


Fig. 8. Changes of particle size distribution for various initial NO concentrations ( $[\text{H}_2\text{O}]_0=1\%$ , residence time=5.3, input voltage=50 kV).

### 3.6. 초기 NO 농도 변화가 입자 생성 및 성장에 미치는 영향

Fig. 8에 반응기로 공급되는 초기 NO 농도와 암모니아의 농도 변화에 따라 측정된 입자 크기 분포를 나타냈다. 초기 NO 농도는 700, 1,600, 2,700 ppm으로 공급되었고, 암모니아의 농도는 NO/ $\text{NH}_3$  비가 1이 되도록 700, 1,600, 2,700 ppm으로 공급하였다. 초기 NO 농도가 700 ppm일 때는 입자들의 크기 분포가 unimodal 한 형태를 나타냈으며 입자들의 크기 분포가 0.004-0.1  $\mu\text{m}$  범위에 존재하는 것으로 나타났다. 반면에, 초기 NO 농도가 1,600 ppm 또는 2,700 ppm으로 공급되었을 때는 생성된 입자들의 크기 분포가 bimodal 한 형태로 측정되었으며 큰 입자들은 0.008-1  $\mu\text{m}$  범위, 작은 입자들은 0.001-0.007  $\mu\text{m}$  범위에서 측정되었다. 초기 NO 농도가 700 ppm 일 때는 반응기 내에서 생성되는 입자의 농도가 낮고, 새로운 입자 생성이 빨리 종결되기 때문에 작은 입자는 큰 입자와 충돌하여 소모되어 입도분포가 unimodal 한 형태를 나타내는 것

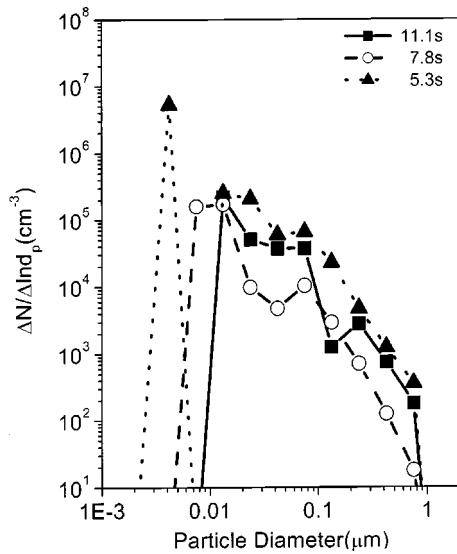


Fig. 9. Changes of particle size distribution for various residence times ([NO]<sub>0</sub>=1,600 ppm, [H<sub>2</sub>O]<sub>0</sub>=1%, input voltage=50 kV).

으로 사료되며, 초기 NO 농도가 1,600 ppm 또는 2,700 ppm일 때는 반응기 내 입자의 농도와 생성 속도도 크고, 새로운 작은 입자 생성이 오랫동안 계속되어 입도분포가 bimodal 한 형태를 나타내는 것으로 보인다.

### 3.7. 체류시간 변화가 입자 생성 및 성장에 미치는 영향

Fig. 9에 체류 시간 변화에 따른 입자들의 크기 분포 특성을 나타냈다. 초기 NO 농도는 1,600 ppm, 수분은 1%, 인가전압은 50 kV로 공급하였다. 체류 시간을 5.3, 7.8, 11.1 sec로 변화시켰다. 반응기 내 기체의 체류 시간이 5.3 sec에서 11.1 sec로 증가함에 따라 입자들의 크기 분포가 bimodal에서 unimodal 하게 변화하고 있으며, 이는 체류시간이 증가함에 따라 NO가 많이 제거되어 새로운 입자 생성이 감소하여 작은 크기 입자 농도가 감소하기 때문이다. 또한 체류 시간이 증가할수록 반응기 내에 반응기체들이 머무는 시간이 길어져 입자들의 생성량이 증가하게 되고, 또한 생성된 입자들은 반응기 내에서 다른 입자들과 응집하여 성

장할 수 있는 시간이 길어져 입자들의 크기는 증가하게 된다.

### 3.8. 인가 전압 변화가 입자 생성 및 성장에 미치는 영향

Fig. 10은 인가 전압 변화에 따른 입자들의 크기 분포 특성을 나타낸다. 초기 NO 농도는 300 ppm, 수분은 1%, 체류시간은 5.3 sec 그리고 인가전압은 20-50 kV로 변화시키면서 공급하였다. 인가 전압이 20 kV 일 때는 입도분포가 unimodal 한 형태를 나타낸 반면에 30, 40, 50 kV 일 때는 bimodal 한 형태를 나타내고 있으며, 인가 전압이 증가함에 따라 입자의 농도 및 크기가 증가하는 것을 보이고 있다. 이는 인가 전압이 증가할수록 NO의 전환율은 증가하게 되고, NO의 전환으로 생성된 HNO<sub>3</sub>의 생성량이 증가하여 반응기로 공급된 NH<sub>3</sub>와의 반응에 의해 입자의 생성 속도가 증가하여 입자 농도가 증가하게 되므로 빠른 입자간 충돌에 의하여 큰 입자로 성장하게 되기 때문이다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 펄스 코로나 방전 반응기를 이용하여 공정변수 변화가 NO 제거율 및 입자상 물질 특성 변화에 미치는 영향을 실험적으로 분석하였다. 펄스 코로나 방전 반응기에 인가된 전압이 증가함에 따라, 또는 반응기 내 기체의 체류시간이 증가함에 따라 NO의 제거 효율이 증가하였고, 초기 NO 농도가 감소할 수록 NO 제거 효율은 증가하였다. 방전극의 직경이 증가할수록 NO의 제거효율은 증가하였으며, 수분의 첨가는 NO 제거에 영향을 주었지만 수분의 농도 증가는 큰 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 또한 NH<sub>3</sub> 첨가에 따라 NO 제거율이 약간 증가하는 것으로 나타났다.

펄스 코로나 방전시 생성된 입자들의 농도와 크기는 반응기에 공급되는 초기 NO 농도와 암모니아의 농도가 증가할수록 생성된 입자의 농도와 크기는 증가하였다. 또한 입자 크기 분포는 큰 입자와 작은 입자를 갖는 bimodal 한 형태를 나타냈으며, 체류시간 및 인가 전압이 낮을 때는 unimodal 한 형태를 나타냈다.

본 연구의 결과는 대기오염 물질인 NO<sub>x</sub>나 SO<sub>x</sub> 또는 VOCs 등을 효율적으로 제거하기 위한 펄스 코로나 방전 공정 설계 및 실용화를 위한 중요한 기초 자료를 제공할 것으로 기대한다.

## 참고문헌

1. Chang, J. S.: *J. Aerosol Sci.*, **20**, 1087(1989).
2. Chang, J. S., Lawless, P. A. and Yamanoto, T.: *IEEE Trans. IA*, **19**(6), 1152(1991).
3. Clements, J. S., Mizuno, A., Wright, C. F. and Davis, R. H.: *IEEE Trans. IA*, **25**(1), 63(1989).
4. Atkinson, R., Baulch, D. L., Coa, R. A., Hampson Jr., R. F., Kerr, J. A. and Troe, J.: *J. Phys. Chem. Ref. Data*, **26**, 6(1997).
5. Dinelli, G. L. and Civitano, M.: *IEEE Trans. IA*, **26**(4), 535(1990).
6. Marnix, A. T., van Hardeveld, R. and van Veldhuizen, E. M.: *Plasma Chem. Plasma Process.*, **17**, 4(1997).
7. Masuda, S. and Hosokawa, S.: *IEEE Trans. IA*, **29**(4), 781(1993).
8. Mizuno, A., Shimizu, K., Chakrabarti, A., Dascalescu, L. and Masulka, S. F.: *IEEE Trans. IA*, **31**(5), 957(1995).
9. Nunez, C. M., Ramsey, G. H., Ponder, W. H., Abbott, James, H. and Hamel, L.: *AIR & WASTE*, **43**, 242(1993).
10. Veldhulzen, E. M., Utgers, W. R. and Butyurin, V. A.: *Plasma Chemistry and Plasma Processing*, **16**(2), 227(1996).
11. Masuda, S. and Nakao, H.: *IEEE Trans. IA*, **26**(2), 374(1990).
12. Ham, S. W., Park, H. H. and Mok, Y. S.: *HWAHAK KONGHAK*, **37**, 759

- (1999).
13. Mok, Y. S. and Ham, S. W.: *Chem. Eng. Sci.*, **53**(9), 1667(1998).
14. Mok, Y. S., Ham, S. W. and Nam, I. S.: *IEEE Trans. Plasma Sci.*, **26**(5), 1556(1998).
15. Choi, H., Ham, S. W., Nam, I. S., Kim, Y. G., Sim, J. H. and Ha, B. H.: *HWAHAK KONGHAK*, **34**, 91(1996).
16. Moon, J. D. and Lee, G.-T.: *J. of KSEE*, **16**(2), 149(1994).
17. Kim, D. J. and Kim, K. S.: *HWAHAK KONGHAK*, **38**, 711(2000).
18. Kim, K. S. and Kim, D. J.: *Aerosol Sci. Technol.*, **36**(2), 178(2002).
19. Kim, D. J., Choi, Y. R. and Kim, K. S.: *Plasma Chem. Plasma Process.*, **21**(4), 625(2001).