

# 저온 플라즈마 장치에서 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량이 NO<sub>x</sub> 저감에 미치는 영향에 대한 실험적 연구

## An Experimental Study on Effect of Adding C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> for Reduction of NO<sub>x</sub> using Low Temperature Plasma Apparatus

권 준 호\*, 강 우 정\*\*, 정 태 용\*\*\*  
J. H. Kwon, W. J. Kang, T. Y. Chung

### ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the reduction rate of NO<sub>x</sub> according to several parameters(NO<sub>x</sub> concentration, the flow rate of gas, the additional amount of C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, input voltage, input frequency and so on) when NO<sub>x</sub> is reduced by using PPCP(Pulse-induced Plasma Chemical Process). PPCP is based on the plasma-chemical technology, which induces narrow voltage pulses to binary electrode structure.

주요기술용어 : PPCP(Pulse-induced Plasma Chemical Process), Plasma(플라즈마), Corona(코로나), Nano-second pulse generation(나노 초 펄스 발생)

### 1. 서 론

산업 기술의 급속한 발달과 더불어 각종 유해성 물질의 배출량 증가로 인한 지구 환경 오염 문제는 점차 심각해지는 실정으로서 공해 제거에 관한 연구의 중요성이 그 어느 때 보다도 절실히 요구되고 있다. 모든 대기 오염의 주된 원인은 연소시에 발생하며, 우리는 연소를 통해 많은 에너지를 얻지만, 그로 인해 생기는 대기 오염 물질이 지구의 온난화, 오존층 및 생태계 파괴 등 심각한

문제를 일으키는 원인이 된다.<sup>1)</sup> 특히 NO<sub>x</sub>는 디젤 자동차, 소각로 및 발전 설비 등에서 배출되고 있어 심각한 대기 오염의 원인이 되므로 전 세계적으로 끊임없는 저감 연구가 계속되고 있다. 종래에 사용되던 대기 오염 물질 저감 장치들은 크기에 비해 효율성이 떨어지는 단점이 있으며, 점점 강화되고 있는 환경기준을 만족시키기 위해서는 새로운 기술을 이용한 제거 장치의 개발이 지속적으로 요구되고 있다.

80년대 중반 무렵 이탈리아, 일본 등에서 기존에 사용하던 전기 집진기(electrostatic precipitator) 장치를 그대로 활용하면서 코로나 방전 반응기를 설치하고 양극 사이에 상승 시간(rising time)이 매우 빠르고(1~5ns/kV), 폭이 매우 좁

\* 국민대학교 대학원  
\*\* 정회원, 홍주산업대학교 기계설계학과  
\*\*\* 정회원, 국민대학교 기계자동차공학부

은(200~1,000ns) 고전압 나노초(high voltage nano-second) 펄스를 인가시킬 수 있는 새로운 제거 시스템을 개발하였는데 이것이 바로 저온 플라즈마 발생 장치인 pulse-induced plasma chemical process<sup>2)</sup>(이하 PPCP라고 함)이다.

PPCP는 코로나 방전에 의해 매우 큰 활성 에너지를 갖는 다량의 라디칼(radical)을 생성시킨다. 이러한 라디칼에 의한 준중성 상태(플라즈마)에서 유해 가스의 기체 분자가 재 산화·환원되어 제거되므로 발전 설비, 소각로 및 자동차 등에 설치하여 NOx를 저감할 수 있는 공해 제거 시스템이다.

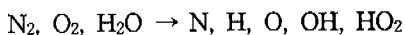
PPCP 장치에 의해 유해 물질을 제거할 때 제거 효율을 증가시키기 위한 첨가제로는 NH<sub>3</sub>, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>, CH<sub>4</sub>, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> 등이 있으며, 이중 NH<sub>3</sub>는 SOx 및 NOx 제거에 크게 영향을 주나<sup>3)</sup> 유독 물질로 그 취급에 세심한 주의를 해야한다. 그러나, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>는 유독 물질이 아니면서 NOx 제거에 크게 영향을 미치는 것으로 알려져 있다.<sup>4)</sup>

따라서, 본 연구에서는 연소에 의해 생성된 유해 물질 중 NOx를 PPCP 장치에 의해 제거할 때, NOx 가스 농도, 가스 유량, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량, 공급 전압 및 주파수 등의 인자가 NOx 저감에 미치는 영향에 대한 기초 자료를 얻어 최적의 PPCP 장치 개발에 기여하고자 한다.

## 2. 플라즈마를 이용한 NOx 제거 원리

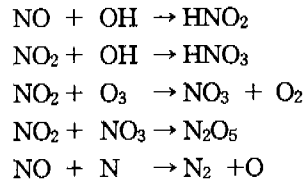
PPCP 방전은 펄스 코로나(corona) 방전에 의해 스트리머 코로나를 형성한다.<sup>5)</sup> 이와 같이 하여 발생된 저온 플라즈마를 이용한 NOx 처리 과정은 다음과 같이 진행된다.

PPCP 방전은 고에너지를 가진 활성 자유 전자(active free electron)를 생성하는데 이는 가스 분자를 분리시켜 다음과 같은 활성 자유기(active free radicals)를 형성한다.

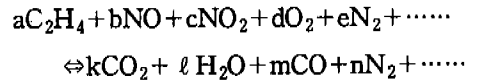


위와 같이 발생한 활성 자유기는 NOx와 산화 반응하여 산으로 되거나 NOx를 단원자 분자

로 변화시켜 N<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>로 환원시킨다.<sup>6)</sup>



반응기에 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하는 경우에는 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>가 생성된 라디칼, NOx 등과 반응하여 다른 화합물을 형성하는데, 이것은 NOx와 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 농도, 가스 유량, 전압·주파수 등의 변화에 따라 무수히 많은 반응식이 생기기 때문에 특정한 반응식을 결정하는 것은 곤란하다. 그러나 일반적인 식은 다음과 같다.



## 3. 실험 장치

본 실험 장치는 펄스 파워 시스템을 이용한 직류 고전압 승압 장치와 고전압 펄스 발생기, 반응기, 혼합 가스 공급 장치 등으로 구성되어 있으며 Photo. 1은 고전압 승압 장치, 펄스 발생기와 반응기가 조합된 실험 장치에 대한 사진이다.

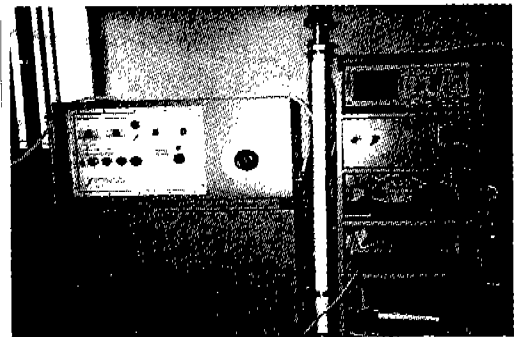


Photo 1 Power supply, pulse generator and reactor

### 3.1 전원 승압 장치

본 실험에서 사용한 전원은 AC 220V로 특별히 제작한 변압기를 사용하여 20kV까지 승압하였으며, 변압기의 입력측에 슬라이드타스를 사용하여 입력 전압을 0~220V까지 가변함으로써 출력측의 전압을 0~20kV까지 가변할 수 있도록 하였다.

변압기에 공급되는 전원은 입력측에 연결된 AC 전압계 및 전류계에 의해 표시되고, 정류 후의 전압은 커패시터(capacitor)에 저항 디바이더로 연결된 전압계에 의해 측정되며, 펄스 발생기로의 전원 공급은 안정 저항기(ballast resister)에 의해 조정된다.

### 3.2 고전압 펄스 발생기

고전압 나노초 펄스 발생(nano-second pulse generation) 방법은 두 전극 사이에 로터(rotor)를 설치하여 스파크 간격에서 발생하는 고전압 펄스를 이용하는 것이지만, 이것은 로터 부분에서 소음이 심하게 나고 장치가 커지며 불안정하기 때문에 본 실험에서는 전자식 발생기를 사용하여 펄스를 발생시키고 최대 전류 500A, 최대 전압 16kV, 최대 주파수 50kHz인 사이리트론(thyatron)을 사용하여 펄스를 증폭시킨 다음 반응기에 공급하였다.<sup>7)</sup>

### 3.3 반응기

코로나 방전 반응기의 전형적인 전극 배치 형태는 와이어형 전극 대 원판형 전극 또는 와이어형 전극 대 평판형 전극의 배치이며, 본 연구에서는 와이어형 전극 대 원판형 전극을 사용한 장치를 사용하였다. 코로나 방전을 안정하게 유지하기 위하여 와이어형 전극을 방전극인 (-)극으로, 원판을 (+)극으로 접속하여 접지한 다음 직류 고전압을 가해 와이어 전극 표면에서 음의 코로나가 발생하도록 하였다.

본 연구에서 사용한 파이프-와이어형 반응기는 인가 펄스의 상승 시간이 80ns이며, 펄스의 길이가 15μs 정도이다. 본 실험 장치에 부착된 파이프-와이어형 반응기는 안지름 28mm의 스

테인리스 강 파이프를 (+)극으로 하고, 그 중앙에 내식성이 좋은 지름 0.3mm 크롬-코발트 와이어를 설치하여 (-)극으로 하였다.

반응기의 모양은 U자형이고 이 중 반응 구간 의 길이는 100cm이다.

### 3.4 혼합 가스 공급 장치

본 실험에서는 실제 연소 가스를 사용하지 않고 유해 성분인 NO를 공기에 희석하여 인공적으로 유해 배기 가스를 조성한 후 반응기에 공급하였다. 실험에 사용된 가스는 유해 가스로서 제거 대상인 NO와 산소 농도 조절을 위한 N<sub>2</sub> 그리고 첨가 가스인 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>이다. 농도 조절을 쉽게 하기 위하여 각각의 가스 레귤레이터에 유량계를 설치하였고, 전체 유량계로 반응기 공급 유량을 측정하였으며 유량 조절을 위해 바이 패스 밸브를 설치하였다. 전체 유량 계어를 위해 압축기로 공기를 불어넣었으며, 동시에 가스와의 혼합도 원활하게 하였다. 혼합 가스 공급 장치의 개략도는 Fig.1과 같다.

NO<sub>x</sub> 가스의 농도 측정을 위하여 반응기의 입구와 출구에 포트(port)를 두고 시료 가스를 채취하였으며, 가스 분석기 전에도 바이 패스 밸브를 설치하여 샘플링 하는 시간외에는 가스 분석기를 공기로 퍼징(purging)할 수 있도록 하였다.

공기 압축기는 압축 공기에 윤활유가 섞여 나오는 것을 방지하기 위해 오일리스 압축기(NUOVA DARI S.P.A, Italia)를 사용하였으며, 최대 압축 압력이 0.6~0.8MPa이고, 안정적인 압축 공기를

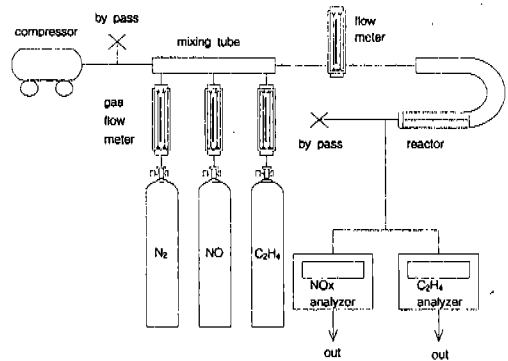


Fig.1 Gas dilution system

토출할 수 있도록 유로에 바이패스 밸브를 설치하였다.

또한, 모든 관들과 유니언들은 부식의 방지를 위하여 테프론 튜브와 스테인리스 강 유니언을 사용하였다.

### 3.5 계측 장비

#### (1) NO<sub>x</sub> 분석기

반응기 전후의 NO<sub>x</sub> 농도를 측정하기 위해서 NO<sub>x</sub> 분석기(Sensonic-5100, SAUTER MESS-UND REGELTECHNIK, Austria)를 사용하였으며, 이 분석기는 측정 범위가 NO : 0~1,000ppm, NO<sub>2</sub> : 0~100ppm, NO<sub>x</sub> : 0~1100ppm, O<sub>2</sub> : 0~20.95%이며, 정확도는 ±5%이고, 분해능(resolution)은 1ppm이다.

#### (2) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 분석기

공급된 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 측정하기 위하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 분석기(Deltagas, Crowcon, England)를 사용하였으며, 측정 범위가 0~50,000ppm이고 분해능이 10ppm이다.

#### (3) 오실로스코프와 고전압 프로브

펄스 발생기로부터의 정확한 전압 파형을 관찰하기 위하여 1GHz의 밴드폭(bandwidth), 4GS/s의 채취율(sampling rate), 1ns/div~1,000s/div의 타임베이스(timebase)가 가능한 오실로스코프(TDS 784A, Tektronix, U.S.A)를 사용하였다. 전압을 측정하기 위해 반응기 직전에 40kV까지 측정이 가능한 1,000/1 고전압 프로브(P6015A, Tektronix, U.S.A)를 이용하였다.

#### (4) 유량계

가스 농도 조절을 쉽게 하기 위하여 각각의 가스 용기에 최대 측정 범위가 1 l/min인 유량계를 설치하였고, 공기와 혼합후의 전체 유량 측정을 위해 최대 측정 범위가 25 l/min인 유량계를 사용하였다.

## 4. 실험 방법

실험에 사용되는 시료 가스는 전체 유량 조절을 위해 공기를 기본 가스로 하고, 여기에 저감 대상인 NO, 산소 농도 조절을 위한 N<sub>2</sub>, 저감 효

율을 높이기 위한 첨가 가스 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 공급하였다. 실험 변수로는 NO<sub>x</sub> 농도, 가스 유량, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량, 공급 전압 및 주파수가 있다. 이들 중의 한가지씩만을 변화시키면서 여러 각도로 실험을 하여 NO<sub>x</sub> 저감 효율을 높이는 최적 조건을 찾는 데 주안점을 두고 실험을 하였으며, 특히 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가가 NO<sub>x</sub> 저감에 미치는 영향에 초점을 맞추었다. 각 실험 변수의 변화폭으로 NO<sub>x</sub> 농도는 200, 300, 400, 500ppm, 전체 유량은 5, 10, 15, 20 l/min, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>는 최고 NO<sub>x</sub> 농도의 3배까지 첨가하였고, 전압은 10.2~15.6kV 그리고 주파수는 150~250Hz이었다.

데이터의 취득은 전압과 주파수를 맞춘 후 1분 뒤에 2분간 측정하였고, 측정이 끝나면 가스 분석기를 2분간 공기로 퍼징하여 측정의 정밀도가 떨어지지 않도록 하였다.

## 5. 실험 결과 및 고찰

Fig.2는 공급 전압 13.2kV, 공급 주파수 200Hz, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, 유량은 5 l/min와 10 l/min이며, 각각의 유량에 대하여 NO<sub>x</sub> 농도가 200ppm과 400ppm일 때 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량이 NO<sub>x</sub> 저감에 미치는 영향을 나타낸 것이다. C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량은 NO<sub>x</sub> 농도가 200ppm인 경우에는 50ppm 간격으로 600ppm까지 첨가하였

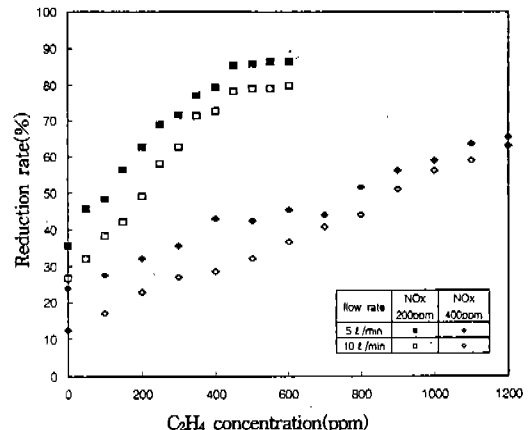


Fig.2 Reduction rate of NO<sub>x</sub> according to C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> concentration variation (Input voltage = 13.2kV, Input frequency = 200Hz, O<sub>2</sub> = 15%)

고, NOx 농도가 400ppm인 경우에는 100ppm 간격으로 1200ppm까지 첨가하여 최고 NOx 농도의 3배를 첨가시켰다.

NOx 농도가 200ppm, 유량이 5 l/min일 때 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 600ppm인 경우에 저감률이 86.5%로 가장 높았으며, NOx 농도가 200ppm, 유량이 10 l/min일 때는 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 600ppm인 경우에 저감률이 80%로 나타났다. NOx 농도가 200ppm일 때는 유량에 관계없이 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 450ppm 이상에서는 저감률의 변화가 거의 없이 80% 정도로 일정하게 나타났다. 이것은 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량을 450ppm 이상까지 증가시키면 NO는 거의 저감되는데 반해 NO<sub>2</sub>가 생성되기 때문인 것으로 확인되었다.

C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하지 않은 경우와 NOx 농도의 3배를 첨가한 경우의 저감률의 차이는 NOx 농도가 200ppm, 유량이 5 l/min인 경우에 50.8%, NOx 농도가 200ppm, 유량이 10 l/min인 경우에 53.3%로 나타났으며, NOx 농도가 400ppm, 유량이 5 l/min인 경우에 41.4%, NOx 농도가 400ppm, 유량이 10 l/min인 경우에 50.6%로 나타나 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량 변화가 NOx의 저감률에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 이것은 플라즈마에 의해 이온화된 NOx와 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 라디칼이 서로 반응을 잘하기 때문인 것으로 사료된다.

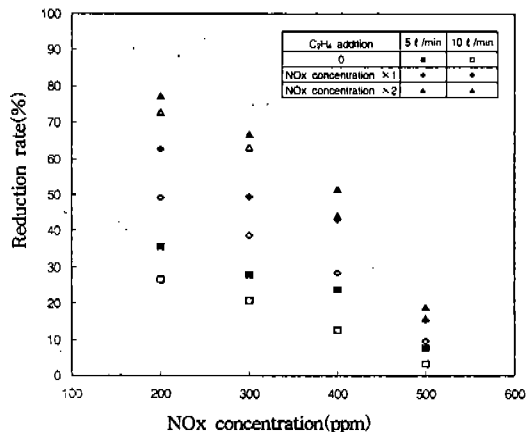


Fig.3 Reduction rate of NOx according to input NOx concentration variation (Input voltage=13.2kV, Input frequency=200Hz, O<sub>2</sub>=15%)

Fig.3은 공급 전압 13.2kV, 공급 주파수 200Hz, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, 유량은 5 l/min와 10 l/min이며, 각각의 유량에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하지 않을 때와 NOx 농도의 1배와 2배의 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하였을 때 NOx 농도가 NOx 저감에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

유량과 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 일정할 때 NOx 농도가 증가할수록 NOx 저감률이 감소하였으며, NOx 농도가 200ppm, 유량이 5 l/min, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 400ppm일 때 저감률이 77.3%로 가장 높은 것으로 나타났다. NOx 농도 200ppm과 500ppm의 저감률의 차이는 유량이 각각 5, 10 l/min인 경우에 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하지 않았을 때 27.9%, 23.5%, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 NOx 농도의 1배일 때 47.3%, 39.6%, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 NOx 농도의 2배일 때 58.5%, 56.9%로 나타난 것으로 미루어 볼 때 유량이 작을수록, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 많을수록 NOx 농도 변화에 따른 저감률의 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.

또, NOx 농도가 500ppm일 경우에 저감률이 급격히 떨어지는 것으로 나타났으며, 이는 NOx 농도가 커지면 반응기 내에서 NOx의 이온화가 제대로 이루어지지 않아 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 이온화된 라디칼과 반응을 충분히 하지 못하기 때문인 것으로 사료된다.

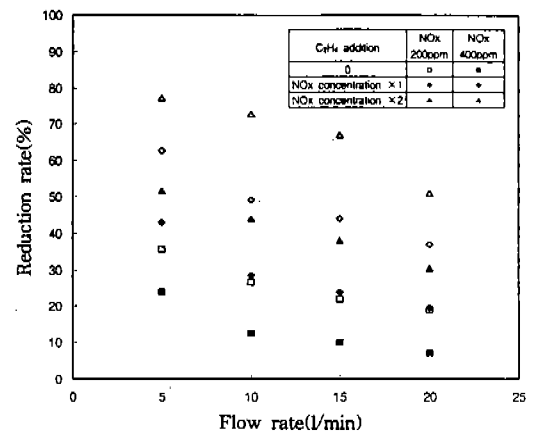


Fig.4 Reduction rate of NOx according to flow rate variation (Input voltage=13.2kV, Input frequency=200Hz, O<sub>2</sub>=15%)

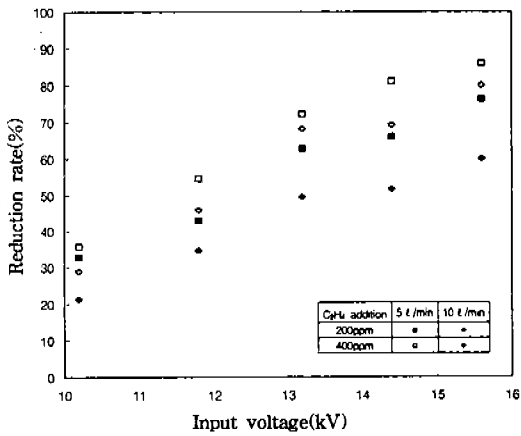


Fig.5 Reduction rate of NOx according to Input voltage variation(NOx=200ppm, Input frequency=200Hz, O<sub>2</sub>=15%)

Fig.4는 공급 전압 13.2kV, 공급 주파수 200Hz, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, NOx 농도는 200ppm과 400ppm이며, 각각의 NOx 농도에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하지 않았을 때와 NOx 농도의 1배와 2배의 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하였을 때 유량의 변화가 NOx 저감에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

NOx 농도와 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량이 일정할 때 유량이 증가할수록 NOx 저감률이 감소하였다.

유량 5 l/min와 20 l/min의 저감률의 차이는 NOx 농도가 각각 200, 400ppm인 경우에 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가하지 않았을 때 각각 16.7%, 17%이고, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 NOx 농도의 1배일 때는 각각 25.7%, 23.5%이며, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 NOx 농도의 2배일 때는 각각 26.3%, 21.1%로 나타났다. 유량이 커짐에 따라 저감률이 떨어지는 것을 알 수 있으며, 이는 유량이 커지면 가스가 반응기를 통과하는 시간이 짧아지기 때문에 NOx와 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 이온화가 제대로 이루어지지 않은 것으로 사료된다.

Fig.5는 NOx 농도 200ppm, 공급 주파수 200Hz, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, 유량이 5 l/min와 10 l/min일 때 각각의 유량에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량을 NOx 농도의 1배와 2배인 200ppm과 400ppm을 첨가하였을 때 공급 전압을 10.2kV에서 15.6kV로 점차 증가함에 따라 이들이 NOx

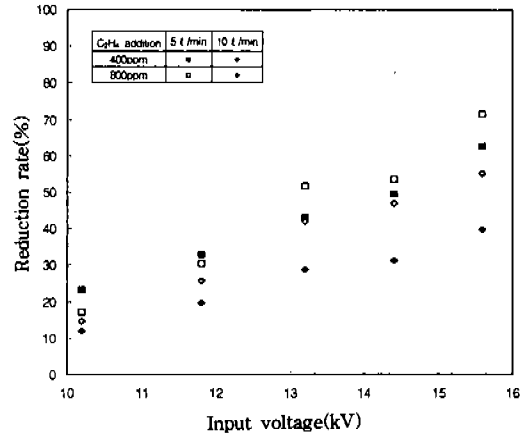


Fig.6 Reduction rate of NOx according to Input voltage variation(NOx=400ppm, Input frequency=200Hz, O<sub>2</sub>=15%)

저감률에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

유량이 5, 10 l/min인 경우에 대해 전압 15.6kV, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 400ppm일 때 각각 최고 저감률 86.0%, 80.0%를 나타냈다. 전압이 높으면 반응기 내에 강한 코로나가 형성되므로 더욱 많은 라디칼이 생성되어 저감률이 높아지는 것으로 사료된다.

Fig.6은 NOx 농도 400ppm, 공급 주파수 200Hz, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고 유량이 5 l/min와 10 l/min일 때 각각의 유량에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량을 NOx 농도의 1배와 2배인 400ppm과 800ppm을 첨가하였을 때 공급 전압을 10.2kV에서 15.6kV로 점차 증가함에 따라 이들이 NOx 저감률에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

유량이 5, 10 l/min인 경우에 대해 전압 15.6kV, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 400ppm일 때 최고 저감률이 각각 71.7%, 55.3%를 나타냈다. NOx 초기 농도가 200ppm인 경우보다는 저감률이 낮지만 역시 전압과 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 가장 클 때 저감률이 가장 높은 것으로 나타났다.

Fig.7은 NOx 농도 200ppm, 공급 전압 13.2kV, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, 유량이 5 l/min와 10 l/min일 때 각각의 유량에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량을 NOx 농도의 1배와 2배인 200ppm과 400ppm을 첨가하였을 때 공급 주파수를 150Hz

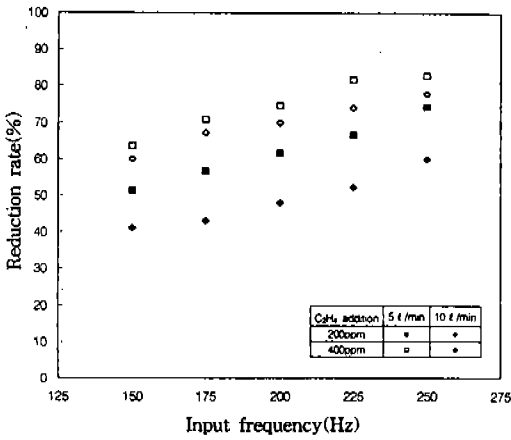


Fig.7 Reduction rate of NOx according to Input frequency variation(NOx=200ppm, Input voltage=13.2kV, O<sub>2</sub>=15%)

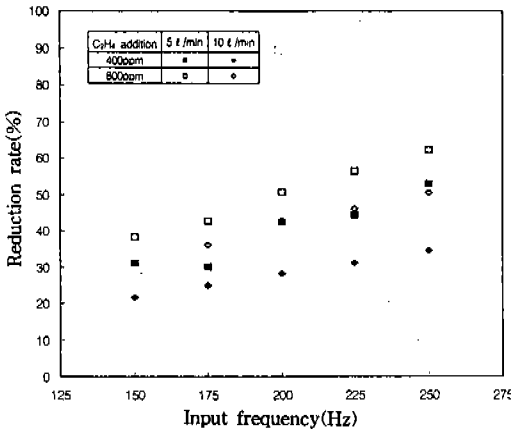


Fig.8 Reduction rate of NOx according to Input frequency variation(NOx=400ppm, Input voltage=13.2kV, O<sub>2</sub>=15%)

에서 250Hz로 점차 증가함에 따라 이들이 NOx 저감률에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

유량이 5, 10 l/min인 경우에 대해 주파수 250Hz, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 400ppm일 때 최고 저감률이 각각 83%, 78%를 나타냈다. 최고 저감률은 전압을 변화시킨 실험의 최고 저감률과 큰 차이는 없지만, 주파수 변화에 따른 저감률의 증가는 전압 변화에 따른 저감률의 증가보다 전체적으로 그 증가폭이 작은 것으로 나타났다.

Fig.8은 NOx 농도 400ppm, 공급 전압 13.2kV, 시료 가스 산소 농도 15%로 일정하고, 유량이

5 l/min와 10 l/min일 때 각각의 유량에 대하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>의 첨가량을 NOx 농도의 1배와 2배인 400ppm과 800ppm을 첨가하였을 때 공급 주파수를 150Hz에서 250Hz로 점차 증가함에 따라 이들이 NOx 저감률에 미치는 영향을 나타낸 것이다.

유량이 5, 10 l/min인 경우에 대해 주파수 250Hz, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 400ppm일 때 최고 저감률이 각각 62.3%, 50.4%를 나타냈다. NOx 초기 농도가 200ppm인 경우보다는 저감률이 낮지만 역시 주파수와 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 가장 클 때 저감률이 가장 높은 것으로 나타났다.

## 6. 결 론

PPCP를 이용하여 NOx 초기 농도, 전체 유량, C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량, 공급 전압, 공급 주파수 등의 인자를 변화시키면서 실험한 결과, 이들 인자가 NOx 저감에 미치는 영향에 대하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 전압 13.2kV, 주파수 200Hz로 일정한 상태에서 유량 5, 10 l/min, NOx 농도 200, 400ppm인 경우에 대해서 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>를 첨가했을 때의 저감률이 첨가하지 않았을 때의 경우보다 41.4~53.3% 증가하여 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가가 NOx 저감에 미치는 영향이 매우 큰 것을 확인하였다.
- 2) C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 많을수록, NOx 초기 농도가 낮을수록, 유량이 작을수록, 공급 전압과 주파수가 높을수록 반응기 내에서 활발한 반응이 일어나기 때문에 저감률이 높아지는 것으로 사료된다.
- 3) 본 실험이 이루어진 범위 내에서 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 첨가량이 600ppm, 유량이 5 l/min, NOx 농도가 200ppm, 공급 전압 및 주파수가 각각 13.2kV, 200Hz일 때 저감률이 86.5%로 최대값을 나타냈다.

## 참 고 문 헌

1. 金熙江·金信道·李濟根·任齊彬 編著, “大氣

- 汚染과 制御”, 東和技術, pp. 15~26, 1995.
2. Senichi Masuda, Hideyuki Nakao, "Control of NOx by Positive and Negative Pulsed Corona Discharges", IEEE Transaction on Industry Applications, VOL. 26, NO. 2, pp. 374~383, 1990.
  3. 정태용, 허문희, "PPCP 장치를 이용한 NOx 저감에 대한 실험적 연구", 한국 산업 안전 학회, 제12권 2호, pp. 95~102, 1997.
  4. A. Mizuno, A. Chakrabarti, and K. Okazaki, "Application of Corona Technology in the Reduction of Greenhouse Gases and Other Gaseous Pollutants", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control, NATO ASI Series G, Ecological Sciences, Vol. 34, Part B, pp. 169~172, 1993.
  5. 田春生, "放電·高電壓 工學", 東明社, pp. 77~89, 1995.
  6. 崔炳輪·李度衡 共譯, 燃燒工學, 東明社, pp. 282~289, 1995.
  7. 京都 High Power Technology 研究會, "Pulse Power 工學의 基礎와 應用", pp. 28~45, 1992.