

## PD7) Non-thermal Plasma Discharge를 이용한 NO<sub>x</sub> 제거에 관한 연구

### A Study on the removal of NO<sub>x</sub> by using Non-thermal Plasma Discharge

안정연 · 이석현<sup>1)</sup> · 정용원

인하대학교 환경공학과, 인하대학교 전기공학과<sup>1)</sup>

#### 1. 서 론

최근 산업설비 및 기타 시설에서 배출되는 유해가스의 배출허용 기준이 계속 강화되고 있으며 그 중에서도 NO<sub>x</sub>는 SO<sub>x</sub>와 함께 대기오염의 주된 원인으로 작용하고 있다. 국내에서도 이들 유해가스를 제거하기 위한 플라즈마 적용기술이 활발히 연구되었으며, 일부 기술은 상용화 단계에 있다.

NO<sub>x</sub> 제거에 있어서 펄스 코로나 방전에 의한 전자의 생성은 유입되는 가스 및 공기에 충돌하여 반응성이 큰 다량의 이온, 원자 및 radical(N, O, OH, O<sub>3</sub> 등)을 생성한다. 이러한 플라즈마 화학반응(plasma chemical reactions)에 의해서 NO 가스는 제거되며, 이때 산화, 환원된 NO 가스의 대부분은 NO<sub>2</sub> 및 N<sub>2</sub> 가스로 전환되어 연속적으로 강산성인 HNO<sub>3</sub> 에어로졸로 전환된다. 이 전환률을 지배하는 공정 변수들에는 전압, 전류, frequency, 온도, 습도 등이 있으며, 그 중에서도 전압, 전류에 의한 효율적인 에너지의 전달이 가장 주요한 역할을 한다. 따라서 본 연구에서는 펄스 코로나 방전을 이용해 NO 제거를 에너지 관점에서 접근하고, 각각의 공정 변수들에 따른 NO<sub>x</sub> 가스 제거효율을 측정함으로써 펄스 코로나 방전을 이용한 플라즈마 반응의 최적 운전 조건을 알고자 한다.

#### 2. 연구 방법

본 연구에서는 NO<sub>x</sub> gas의 제거를 위하여 그림 1과 같이 코로나 방전전극과 접지전극으로 구성되는 펄스(pulse)방식의 저온 플라즈마(non-thermal plasma) 방전 반응기를 설치하였다. 이 반응기는 wire-cylinder 형으로 실린더의 길이는 1000mm, 내경 40mm, 반응기 체적 1.256 l로서 고 유량의 유해가스를 제거할 수 있도록 설계됐으며, 빠른 전압상승과 좁은 진폭의 고전압을 형성시킬 수 있는 펄스(pulse) 방식의 RSG(Rotary Spark Gab) switch 장치를 사용하였다. 이렇게 만들어진 장치에 상온의 air로 희석된 NO 가스를 유입하였으며, 이 NO 및 NO<sub>2</sub> 가스의 변화를 실시간으로 측정하기 위해 그림 2와 같이 반응기 후단부에 가스분석기(Greenline MK II)를 장치했다. 또한 인가전압 및 전류 파형을 위하여 High Voltage Probe(Tektronix P6015, 1000:1), Current Probe(Tektronix A6302) 및 Current Amplifier(TM 502A)를 사용하여 Digital Oscilloscope(Tektronix TDS 420A)로서 측정하였다.

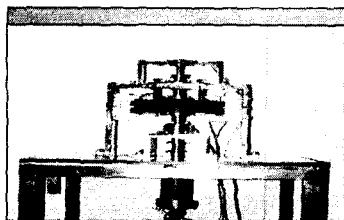


Fig. 1. plasma reactor and RSG(Rotary Spark Gab) switch Devices

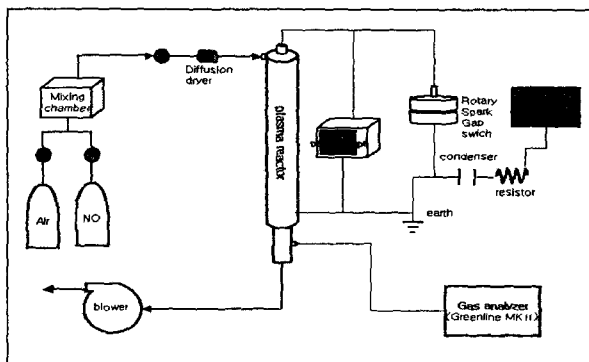


Fig. 2. Schematic diagram of experimental setup

### 3. 결과 및 고찰

일반적으로 인가전압 및 전류의 파형은 빠른 전압상승과 좁은 진폭 그리고 높은 최고값을 갖는 것이 에너지와 제거효율 측면에서 효과적인 것으로 알려져 있다. 그림 3, 4는 인가전압 14.5kV, frequency 100Hz 일 때의 측정된 전압·전류 파형이며, 이때 최고 전압값 23kV, 전압의 상승속도 4.3ns/kV, 최고 전류값 18A, 전류 상승속도는 4.2ns/A의 측정되었다. 이때의 소비전력은 1.03 watt/pulse였으며, 측정된 전압과 전류 파형을 같은 시간 축에 대해서 곱한 후, 적분하여 얻어졌다.

그림 5, 6은 wire-cylinder 형 반응기를 통과한 NO 가스가 펄스 코로나 방전에 의하여 NO<sub>2</sub>로 전환되어진 실험 결과를 나타낸 것이다. 이때 코로나 개시전압은 11kV 정도였으며, NO 가스는 높은 인가전압의 의하여 98%의 제거 효율을 보였고, 이에 따른 NO<sub>2</sub> 가스의 생성도 뚜렷이 확인 됐다. 또한 (NO+NO<sub>2</sub>)의 농도도 인가전압이 높아질수록 감소하는 경향을 보이는데 이는 NO나 NO<sub>2</sub> 가스가 N<sub>2</sub>O나 HNO<sub>3</sub> 등의 물질로 전환된 것으로 볼 수 있으며, 15kV 이상의 고전압 하에서는 NO<sub>2</sub> 역시 높은 플라즈마 화학반응에 의하여 저감되는 것으로 사료된다. 여기에 NH<sub>3</sub> 첨가제를 사용한 화학반응에 의해 NO<sub>x</sub> 산화물들은 입자상 물질인 NH<sub>4</sub>NO<sub>2</sub>, NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> 등으로 제어할 수 있다. 따라서 이러한 공정 변수들에 의한 NO 가스의 제거 효율을 연구함으로써 플라즈마 반응의 최적 조건을 알아 볼 것이다.

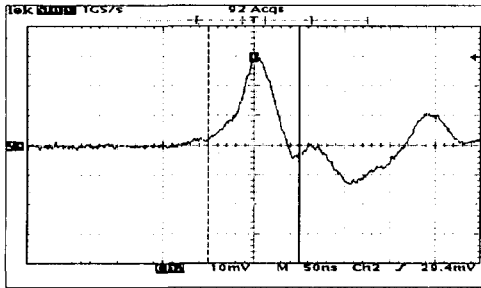


Fig. 3. Current waveforms at reactor  
(frequency = 100Hz, V = 14.5kV)

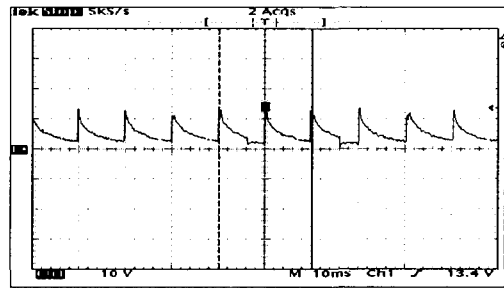


Fig. 4. Voltage waveforms at reactor  
(frequency = 100Hz, V = 14.5kV)

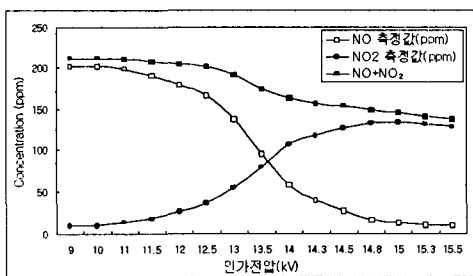


Fig. 5. NO and NO<sub>2</sub> concentration with discharge voltage in the plasma reactor (frequency : 100Hz)

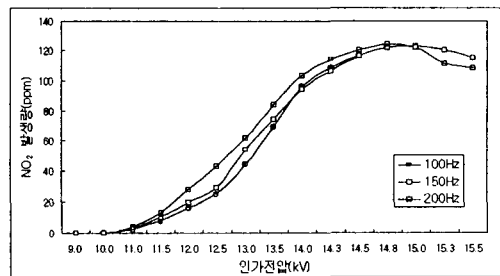


Fig. 6. Variations of NO<sub>2</sub> with discharge voltage for different frequency in the plasma reactor

### 참고 문헌

- Alokkumar Chakrabarti, Akira Mizuno, Kazuo Shimizu, Tsutomu Matsuoka, Satoshi Furuta (1995) Gas Cleaning with Semi-Wet Type Plasma Reactor, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATIONS, Vol. 31, NO. 3, 500-506.
- 최금찬, 김신도 (1995) 전기력을 이용한 배가스처리 기술동향, 한국대기보전학회지 제11권 제3호, 232~243.