

# G-1 Silent Discharge Plasma Reactor 를 이용한 질소산화물(NOx) 제거에 관한 연구

정 권 성                  홍 민 신  
아주대학교 환경공학과

## I. 서론

환경개선에 대한 욕구가 날로 증대되고 대기오염물질의 규제가 강화 되기 시작한 80년대 이후 기존의 배가스처리 기술을 대체할 수 있는 저에너지 고효율 배가스 처리기술로서 저온플라즈마(Non-Thermal Plasma)기술이 구미 각국을 중심으로 개발되고 있다.<sup>(1)</sup>

저온 플라즈마 기술은 강력한 에너지를 가지는 전자를 생성시켜 배가스를 해리 또는 이온화 시켜서 수많은 활성라디칼을 생성시키며, 활성 라디칼은 여러 종류의 오염물질을 분해시켜서 무해한 물질로 전환시키는 역할을 하게 된다.

이러한 저온 플라즈마 기술은 다양한 오염물질의 동시 처리가 가능하며 배가스중의 질소산화물과 황산화물 및 산업체에서 배출되는 VOCs, 그리고 신경가스, 디젤자동차의 배가스 정화기술로서 그 가능성이 입증되고 있다.<sup>(1)</sup>

저온 플라즈마 기술은 크게 Electron-Beam Irradiation과 Electrical Discharge로 구분될 수 있으며 Electrical Discharge는 반응기의 형태와 전원 공급방식에 따라 여러가지 형태로 구분되며 각각 형태의 반응기에 따라 다양한 종류의 오염물질의 처리가 가능하다.<sup>(1)</sup>

Electron-Beam을 이용한 기술개발은 일본과 미국 그리고 독일에서 활발히 진행되고 있는데 일본의 Ebara Co., 원자에너지 연구소, 독일의 KfK GmbH, 미국의 코트렐 연구소등에서는 배가스중의 질소산화물 및 황산화물의 처리,<sup>(2), (4)</sup> 소각장 배가스, 디젤엔진 배가스에 포함된 VOCs의 제거,<sup>(3)</sup> 산업체 배가스중의 VOCs제거<sup>(5)</sup> 에 관한 연구를 수행하였다.

Electrical Discharge를 이용한 오염물질처리 기술에 관한 연구는 이태리, 미국, 일본, 러시아 등에서 다양한 형태로 수행되었다. Electrical Discharge를 이용한 처리기술은 주로 질소산화물, 황산화물, H<sub>2</sub>S, VOCs등의 처리에 응용되고 있다.<sup>(6), (7), (8), (9), (10), (11)</sup>

본 연구에서는 Electrical Discharge방식의 일종인 Silent Discharge Plasma Reactor(SDPR)를 이용하여 배가스 중의 NOx처리에 대한 실험을 수행하였다. SDR은 NO의 산화와 NO<sub>2</sub>의 환원이 동시에 이루어 질수 있는데 이는 섬유형 Packing의 표면에서 반응이 가속화 되는 잇점이 있어 NOx처리에 널리 응용되고 있다.<sup>(1), (9), (10), (11)</sup>

본 연구에서는 SDPR반응기를 이용하여 질소산화물의 저감효율을 측정하였으며 처리효율과 주파수의 상관관계 및 체류시간과의 상관관계를 도출 하였다.

## II. 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용된 SDP반응기의 전체적인 흐름도가 그림 1에 나타나 있다.

SDP 반응기 본체는 외부전극의 내경이 15mm, 내부전극을 둘러싼 절연체로 석영관을 이용하여 그 외경을 8mm, 반응이 일어나는 유효 외부전극의 길이를 20cm로 제작한후 pyrex재질의 유리관으로 반응기를 둘러싼후 유리관과 외부전극사이에 실리콘재질의 O-ring을 끼워 넣어 장착한후 테프론 마개를 제작하여 위와 아래를 막아서 실험가스가 반응기 내를 통과하게끔 제작하였다.

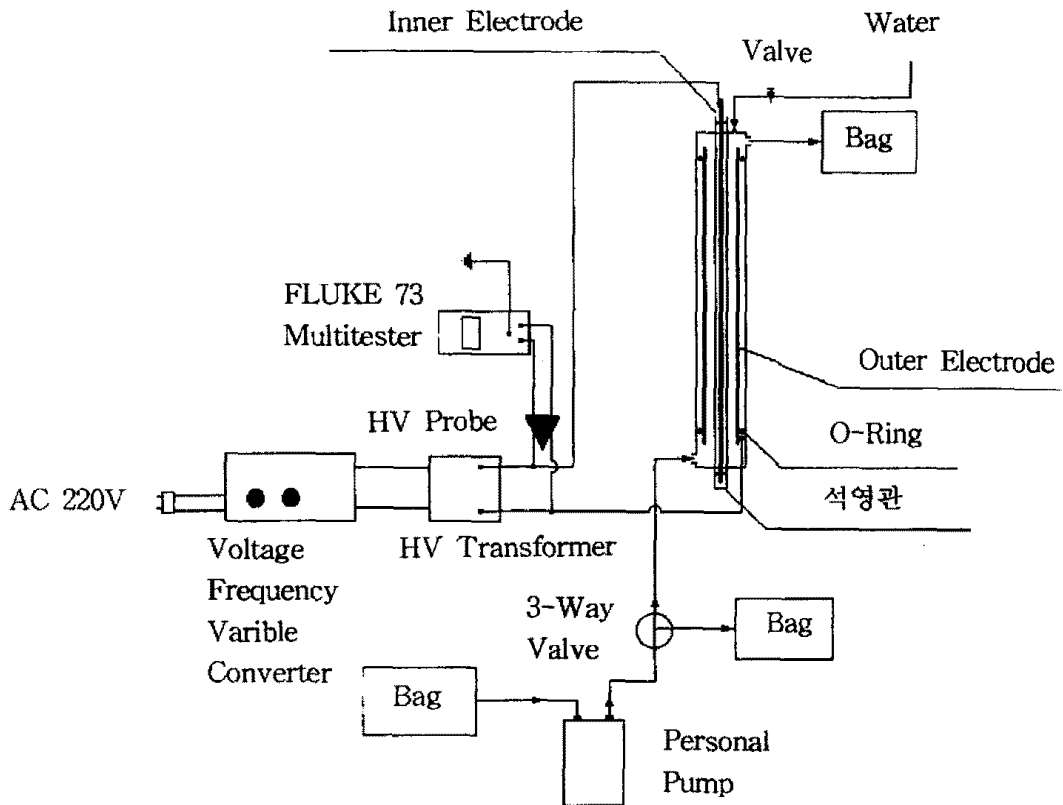


그림 1. SDP반응기의 흐름도

반응기에 인가되는 교류 고전압은 정전압 정주파의 교류전원 공급기를 제작한후 여기서 나오는 전기출력을 고전압발생장치로 공급하는 방식을 사용하였다. 제작한 정전압 정주파의 교류전원 공급기는 0V에서 300V까지, 그리고 0.67A까지 출력이 가능하였다. 또한 주파수는 45Hz 에서 999Hz까지의 주파수에서 선택이 가능하도록 제작하였다. 이 장치에서 얻을수 있는 최고 출력은 200VA였다. 이때 반응기에 공급되는 교류 고전압은 고전압 probe(1000:1)를 이용하여 측정하였다. 반응기에 공급되는 전압은 spark 가 일어나기 전 전압까지 상승시키면서 실험을 수행하였다.

반응기내로 주입되는 질소산화물은 표준가스를(N<sub>2</sub> balance) 제조한후 tedlar bag에 포집한후 순수 air와 N<sub>2</sub> gas로서 산소의 농도 및 질소산화물의 농도를 조절하였다. 이때 반응기로 유입시킨 가스의 농도는 산소의 농도가 5-6%, 질소산화물의 농도가 300-400ppm의 농도범위가 되도록 gas analyzer로 그농도를 측정하여 결정하였다. 실험에 사용된 질소산화물 측정은 electrochemical sensor를 장착한 gas analyzer를 이용하였다.

가스는 Personal pump를 이용하여 반응기내로 주입하였으며 반응기를 거쳐서 나오는 가스 및 유입전 가스를 tedlar bag으로 포집한후 gas analyzer로 측정하였다.

본 실험에 이용된 gas analyzer는 IMR 3000P 모델과 ECOM-A<sup>PLUS</sup> 기종을 이용하여 측정하였다.

본 실험에서는 0.66초, 1.3초, 2.3초의 반응시간과 60, 100, 200, 300,, 350, 400Hz의 주파수에서 NOx 처리효율을 관찰함으로써 반응시간과 주파수에 의한 처리효율의 상관관계 및 최고 처리효율을 얻을수 있는 조건을 결정하고자 하였다.

반응기내 체류시간은 다음 식을 이용하여 계산하였다.

$$t = \frac{V}{Q}$$

V : 반응기 용적

Q : 반응기에서 배출되는 유량

### III. 실험결과

반응기내로 인가되는 전압은 고전압 발생장치 및 주파수 변환 장치의 용량에 의해 각 주파수 대에 따라 약간의 차이는 있었으나 최고 30kV까지 인가할수 있었다.

실험에서 얻은 결과는 그림 2, 3, 4에 나타내었다.

1. 반응기내 체류시간이 길어질수록 최고 처리효율은 높아지는 결과를 나타냈다.  
체류시간이 2.3초인경우 최고 99.2%까지 처리가 가능하였으며 1.3초인경우 최고 99.4%, 0.66초인경우 최고 90.3%까지 처리가 가능하였다. 또한 전체적으로 낮은 전압에서도 80% 이상의 처리효율을 얻을수 있었다.
2. 주파수가 높아질수록 최고효율을 얻는 인가전압은 낮아지는 것을 나타냈다.  
이러한 결과는 동일한 에너지에서 더 높은 처리효율을 얻을수 있음을 보이고 있다.
3. 반응기내 체류시간이 길어질수록 최고효율을 내는 인가전압은 낮아지는 것을 보였다.
4. Spark방전이 일어나기 전까지 전류의 상승은 극히 미세하였으며 spark가 발생하는 전압에서부터 전류가 0.6A(정전압, 정주파장치의 계측기 상으로)까지 상승하면서 처리효율이 떨어지는 결과를 보였다. (그림 4. 200Hz, 26kV의 경우 spark 발생)

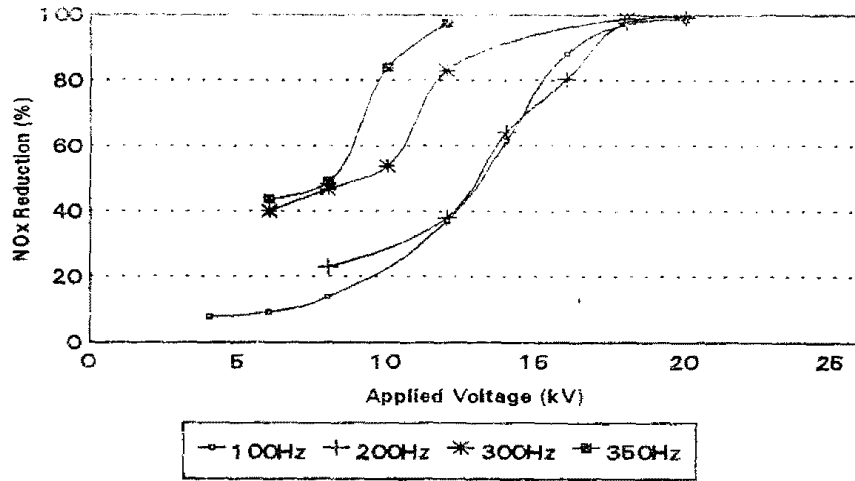


그림 2. 반응기내 체류시간 2.3초에서의 주파수에 따른 NOx 처리효율

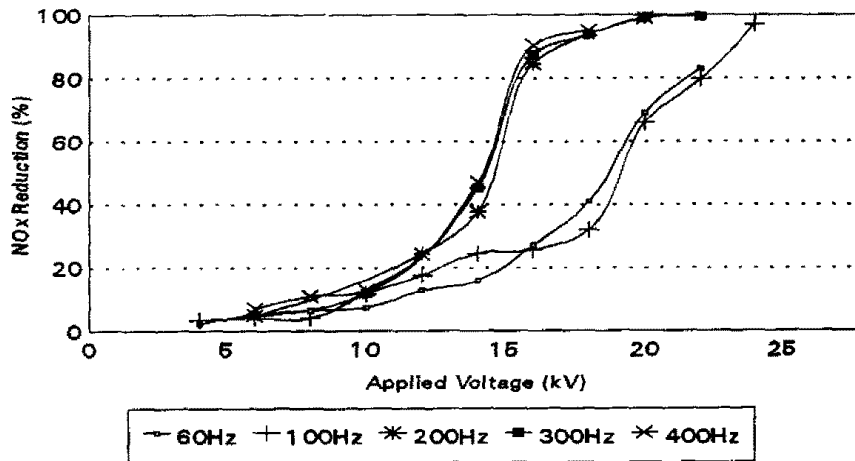


그림 3. 반응기내 체류시간 1.3초에서의 주파수에 따른 NOx 처리효율

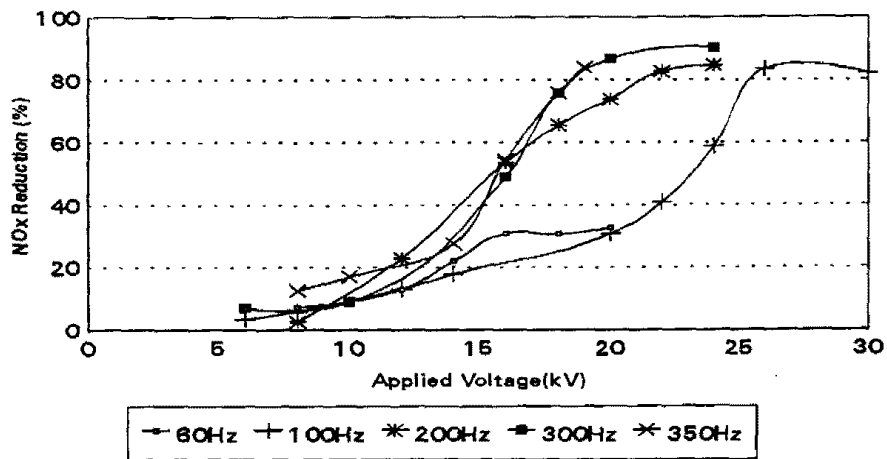


그림 4. 반응기내 체류시간 0.66초에서의 주파수에 따른 NOx 처리효율

#### IV. 결론

위에서 얻은 결과를 토대로 볼때 SDP반응기를 이용한 질소산화물 처리는 반응기내 체류 시간이 길어질수록, 주파수가 높아질수록 최고효율을 내는 인가전압은 낮아지는 것을 확인 하였으며 이것은 더 적은 에너지로 높은 처리효율을 내기위해 SDP반응기를 사용하는 것이 적절하다는 것을 입증하는 것이다.

#### V. 참고문헌

1. Jen-Shih Chang, "Energetic Electron Induced Plasma Processes for Reduction of Acid and Greenhouse Gases in Combustion Flue Gas" NATO ASI Series, Vol. G34, Part A, 1-32(1993)
2. D.J. Helfritch, "SO<sub>2</sub> Removal from Flue gas by Means of Lime Spray Dryer Followed by Electron Beam Irradiation" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 33-46(1993)
3. A. Maezawa et al., "Application of E-Beam Treatment to Flue Gas Cleanup in Japan" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 47-54(1993)
4. O. Tokunaga et al., "Experiments on Chemical Reactions in Electron-Beam-Induces NO<sub>x</sub>/SO<sub>2</sub> Removal" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 55-62(1993)
5. H.-R. Paur, "Removal of Volatile Hydrocarbons from Industrial Off-Gas" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 77-90(1993)
6. G.E. Vogtlin et al., "Pulsed Corona Discharge for Removal of NO<sub>x</sub> From flue gas" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 187-198(1993)
7. D.J. Helfritch, "Pulsed Corona Discharge for Hydrogen Sulfide Decomposition" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 211-222(1993)
8. T. Yamamoto et al., "Decomposition of Volatile Organic Compounds by a Packed-Bed Reactor and a Pulsed-Corona Plasma Reactor" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 223-238(1993)
9. R.W.Breault et al., "Reaction Kinetics for Flue Gas Treatment of NO<sub>x</sub>", NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 239-256(1993)
10. L.A.Rosocha et al., "Treatment of Hazardous Organic Wastes Using Silent Discharge Plasmas." NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 281-308(1993)
11. W. C. Neely, "Decomposition of Complex Molecules Using Silent Discharge Plasma Processing" NATO ASI Series, Vol. G34, Part B, 309-320(1993)