

자계가 인가된 원통형 플라즈마 반응기에서 질소산화물의 제거특성

박재윤* 이동훈** 고흥술* 박상현* 고희석*
* 경남대학교 전기공학과 ** (주)백트론

A removal characteristics of NOx at the cylindrical plasma reactor with magnetic field

Park.Jae-yoon* Lee. Dong-hoon** Koh. Yong-sul* Park.Sang-hyun* Koh. Hee-seok*
*Dept of.Electrical Engineering Kyungnam UNIV., **VACTRON CO.LTD.

2. 본 론

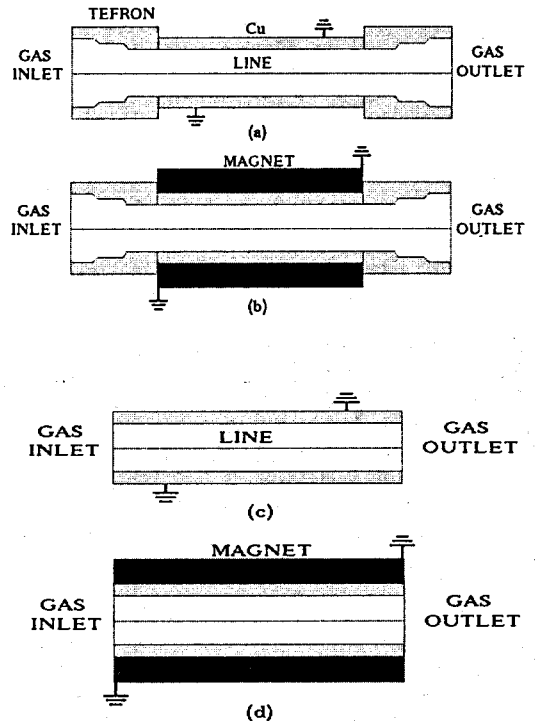
Abstract - The effect of magnetic field was measured on NOx removal for cylindrical-wire plasma reactor with magnetic field applied to electric field vertically. Consumption power increased with increasing discharge voltage. When magnetic field was applied to electric field vertically, consumption power decreased. NOx removal rate of plasma reactor with magnetic field were higher, 10-15%, than that of plasma reactor without magnetic field. And NOx removal rate decreased with increasing gas flow rate.

1. 서 론

오늘날 화력발전소, 자동차 및 산업체등에서 배출되는 탄소산화물(CO₂), 황산화물(SO_x) 및 질소산화물(NO_x)은 주요 대기오염 가스이다. 이들 중 질소산화물(NO_x)은 화력발전소와 같은 고정 발생원과 자동차와 같은 이동 발생원에 의해서 대부분 발생된다. 질소산화물은 연소과정의 고온에 의해 공기중의 질소(N₂)와 산소(O₂)가 반응하여 생성되고, 배기가스의 약 95[%] 정도가 NO_x이며 반응성이 낮기 때문에 제거가 상당히 어렵다.(1-3) NO_x는 대기로 배출되어 대기중의 O₃, O₂, 수분등에 의하여 NO₂, NO₃, N₂O₄, N₂O₅ 등으로 산화되고 대부분은 NO₂이다. 이들은 공기중에서 에어로졸 상태가 되어 산성비가 된다. 또한 미연소 탄화수소(HC)가 존재할 경우, 태양광선의 자외선에 의해 광화학 반응이 일어나 2차 오염물질인 O₃, Formaldyde, Acrolein, PAN 등을 생성시킨다. 이들로 인한 피해는 매우 광범위하며 단시간에 인체에 미치는 영향은 주로 호흡기의 질환 및 시각 장애를 유발한다. 장기간 오염원에 노출되면 호흡기 질환이 만성화되고 심폐기능이 회복 불가능한 상태가 될 수 있다. 이러한 오염원에 금속이 노출되면 부식이 되고 정밀기계인 경우 그 피해는 심각하다.(4) 따라서, 최근까지 30~40년간 NO_x 저감 연구가 지속되고 있다. 저감방법으로는 공기와 연료의 최적 혼합비를 이용하는 방법과 습식공정인 수세법, 알카리흡수법, 액상환원법, 건식공정인 접촉환원법과 무촉매 환원법을 이용하는 방법이 있다. 이러한 방법들은 화력발전소와 같은 대형 고정원의 배기가스 정화처리에서 우수한 특성을 보인다. 그러나 최근에는 전기방전을 이용하는 방법과 전자빔을 이용하는 방법등이 활발히 연구되고 있다. 이들은 광범위하고 다양한 종류의 복합 유해가스위 처리에 이용될 수 있다.(5) 특히, 에너지 효율이 좋은 펄스 코로나를 이용한 전기적인 방법이 아주 관심을 모으고 있다. 수십[kV]의 고전압 펄스를 플라즈마 반응기 전극간에 인가하고, 반응기 내부를 플라즈마화하여 오염가스를 제거하는 방법으로 2차 오염가스가 발생하지 않기 때문에 첨단 유해가스처리법으로 인식되고 있다.(6) 본 연구에서는 NO_x제거에 필요한 소비전력을 감소시키기 위해 전극간에 인가된 전계방향과 직각으로 자계를 형성시킨 실린더형 반응기에서 NO_x제거에 미치는 자계의 영향을 측정하고 분석하였다.

2.1 실험 장치

본 논문에서는 R.S.G(Rotating Spark Gap)스위치를 사용하여, 구형과 펄스 전압을 발생시켰다. 또한 NO_x의 가스농도를 측정하기 위하여 미국 G.C社의 GC-952와 GC-901을 사용하였고 전압 및 방전전류의 파형은 Pluse Electronic社에서 제작된 High Voltage Probe(내압 50[kV] 1900:1)를 이용하여 미국의 Tetrionix社의 Tek2440 오실로스코프로 측정하였다. 방전소비전력은 아날로그형 전력계를 사용하여 측정하였다. 또한, 실험에 사용된 자석은 Mn-Zn 페라이트 자석이고, 자석의 자속밀도는 4000[Gauss]이다. 모의샘플가스는 한국표준과학연구소에 의뢰하여 제작된 NO의 가스농도가 1918[ppm]인 NO-N₂ 혼합가스이며 N₂를 첨가하여 시험목적에 따라 NO_x의 초기농도를 조절하여 사용하였다.



<Fig.1> Schematic diagram of plasma reactors

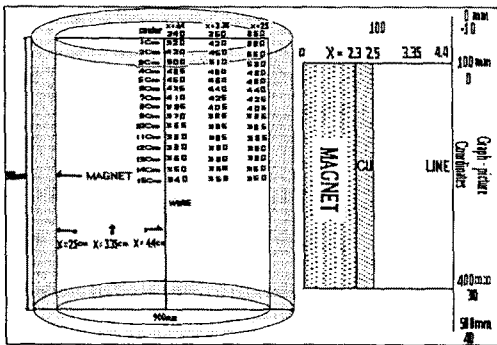
Fig. 1은 본 논문에 사용된 각종 반응기의 형태를 도시한 것이다. 그림에서 (a)와(b)형 반응기는 입구와 출구부분에 가스의 흐름이 안정화 되도록 테프론 버퍼를 플라즈마 반응기 단말부에 연결하였다. (c)와 (d)형의 플라즈마 반응기는 모의가스의 유동형태의 영향을 보기 위해 반응기

단말부의 버퍼를 제거한 반응기 형태를 나타내고 있다. 실린더의 재질은 구리, 선전극은 텅스텐을 사용하였다. 플라즈마 반응기의 길이는 300(mm)이다.

2.2 실험 방법

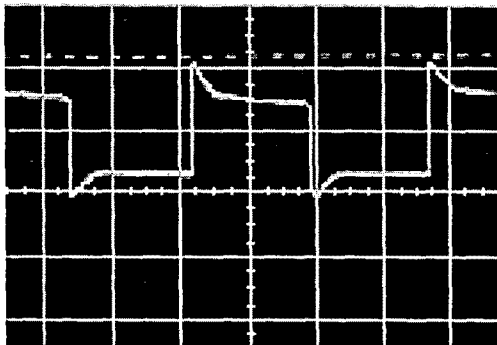
실험은 기온이 20℃ 내외인 대기압 상태에서 하였고 반응기 외부의 자석부착의 유무에 따라 질소산화물(NOx)의 제거율과 소비전력을 측정하고 상호 비교하였다. 모의 가스의 유량오차를 줄이기 위해 NOx, N₂ 등의 특정가스에 대해 보증값이 실증된 유량계를 사용하여 반응기에 유입되는 가스유량을 조절하였다. 가스유량은 1(l/min), 3(l/min) 및 5(l/min)로 변화 하였다. 초기농도가 1918(ppm)인 NOx에 N₂가스를 첨가하여 실험을 위한 혼합가스의 농도를 200(ppm), 400(ppm), 600(ppm) 그리고 800(ppm)으로 변화시켰다. 이들 혼합가스 농도중에서 디젤 자동차의 배기가스중의 NOx농도와 비슷한 800(ppm)을 기본 측정농도로 하였다. 각 조건에서 측정값이 5분 이상 연속적으로 유지되고 3회 연속 측정값의 평균값들을 취하였다.

2.3 자속밀도분포 및 방전특성

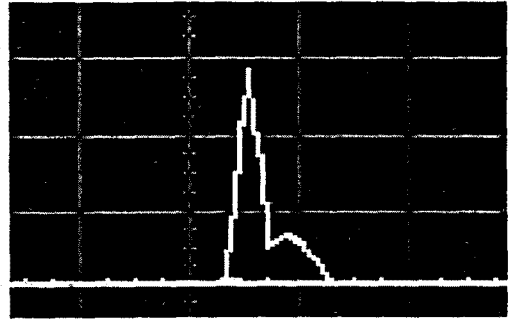


<Fig. 2> Magnetic flux density at cylindrical reactor

Fig. 2은 실험에 사용한 반응기 내의 자속밀도를 가우스 미터를 이용하여 측정한 결과이다. 자속밀도는 자석의 단말부에서 최대값 880[Gauss]가 측정되었고, 중심부에서는 최소값 340[Gauss]가 측정되었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전계가 집중될 가능성이 높은 리액타의 단말부에 자속 밀도도 높음을 알 수 있다.



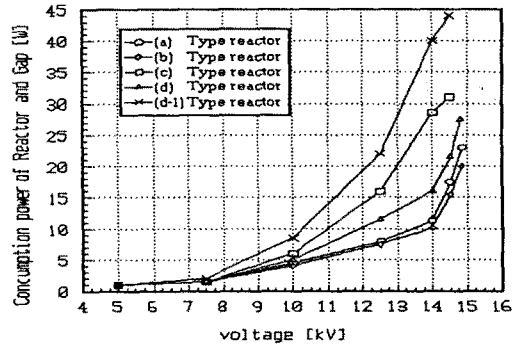
(a) 5(kV/div)



(b) 1(mA/div)

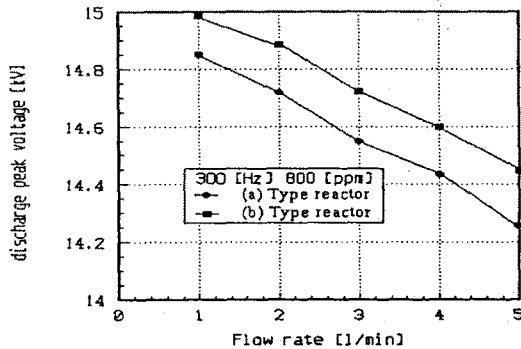
<Fig. 3> Voltage(a) and current(b) wave form

Fig. 3는 전압 11[kV], 반복율이 400(pps)인 구형파 펄스 전압과 그 방전전류파형을 나타낸 것이다. 구형파 펄스전압의 상승시간은 50(ns)이었고, 파두에 큰 오버슈터가 나타났다.



<Fig. 4> Consumption power by reactor and R.S.G

Fig. 4는 Fig. 1에 도시한 반응기들의 인가 전압에 대한 반응기 및 R.S.G(Rotating Spark Gap)에서의 소비전력을 나타내고 있다. 인가전압이 증가함에 따라 소비전력이 증가되었고, 자계가 인가된 경우의 소비전력이 자계가 인가되지 않은 경우의 소비전력보다 감소되었다. 반응기의 출구크기를 감소시켜 출구가 25(mm²)인 Fig. 1의 (d-1)형 플라즈마 반응기는 출구크기가 50(mm²)인 Fig. 1의 (d)형의 플라즈마 반응기보다 소비전력이 증가되었음을 나타내고 있다. 이는 출구의 크기를 작게 하면 반응기 내부 플라즈마 밀도가 상승되고 임피던스가 감소되어 방전전류가 증가되기 때문이다. 또한 반응기의 입구 및 출구부분에 버퍼가 있는 경우가 없는 경우보다 소비전력이 감소하였다.

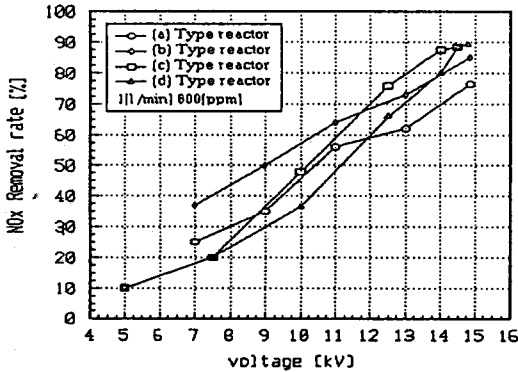


<Fig. 5> Effect of gas flow quantity on arc transition voltage

Fig. 5은 Fig. 1의 (a)와 (b)형 플라즈마 반응기에서 유량증가에 따른 전극간의 아크 전이전압을 나타낸 것이다. 혼합가스의 유량을 증가함에 따라 아크 전이전압이 감소하였다. 이는 유량이 증가함에 따라 반응기 내부의 플라즈마 밀도가 상승되고, 동시에 플라즈마 반응기 내부 가스의 임피던스 감소하여 아크전이전압이 감소되는 것으로 생각된다. 또한 그림에서 자계가 인가된 그림(b)형의 경우가 자계가 인가되지 않은 그림(a)형보다 아크전이전압이 상승하였다. 따라서 자계를 인가하면 동일조건에서 더욱 높은 전압을, 전극에 인가할수 있고 NOx의 분해효율도 향상될 수 있을 것으로 사료된다.

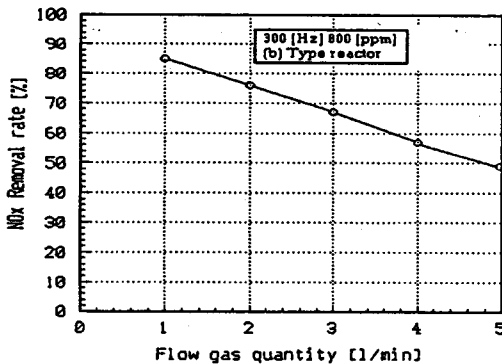
2.4 NOx 제거 특성

Fig. 6은 Fig. 1의 플라즈마 반응기 형태에 따른 NOx 제거율을 나타낸 것이다. 전압이 상승함에 따라 제거율도 선형적으로 증가되었다.



<Fig. 6> NOx removal rate as reactor types.

Fig. 1의 (b)형 리액타는 (a)형 리액타보다 NOx의 분해율이 높게 나타났다. 이것은 자계가 인가되면 2.3항에서 설명한 것과 같이 전극간에 높은 전압을 인가할 수 있고 반응기내의 전자 에너지도 증가하여 NOx의 제거율이 증가되는 것으로 사료된다. Fig. 1의 (c), (d)형 플라즈마 반응기는 높은 전압에서 그림 (a), (b)형 보다 NOx의 제거율이 높게 나타났다. 그러나 방전전류가 크기 때문에 에너지 효율은 감소될 것으로 사료된다.



<Fig. 7> Effect of gases quantity on NOx removal rate

Fig. 7은 Fig. 1의 (b)형 플라즈마 반응기에서 가스유량의 증가에 따른 질소산화물 (NOx)의 최대분해율을 나타내고 있다. 가스 유량이 선형적으로 증가함에 따라 NOx의 분해율도 선형적으로 감소되고 있다. 이는 유량이 증가함에 따라 NOx가스의 플라즈마 반응기에서의 잔류시간이 감소하여

NOx 분자가 충분한 에너지를 받지 못하여 미분해된 상태로 배출됨을 알 수 있다.

3. 결 론

대기오염가스의 처리를 위한 자계가 인가된 실린더-선형 플라즈마 반응기에서 NOx제거 특성을 측정하고 분석하였다. 반응기의 소비전력은 전압의 증가에 따라 증가하였고, 자계가 인가된 경우가 자계가 인가되지 않은 경우보다 작게 나타났다. NOx 제거율은 전압의 증가에 따라 증가하였고, 자계인가의 경우가 자계를 인가하지 않은 경우보다 10~15[%] 상승하였다. 또한 NOx 제거율은 유량의 증가에 따라서 선형적으로 감소하였다.

[참고문헌]

1. "박재운" 청대평판전극에서의 NOx 제거특성", 95대한전기학회 학회 학술대회 논문집, pp. 1317-1319(1995)
2. 김종달, 박재운, 고희석" 코로나 방전을 이용한 배기가스중의 NOx 제거", 한국전기전자재료학회지, Vol.8, No.6, pp.721-726 (1995)
3. 장철현, 신남철, 유해가스 처리공학, 동화기술(1995)
4. 김종달, 코로나 방전플라즈마에 의한 NOx의 제거, 박사학위논문(1996)
5. Akira Mizuno, Kazuo Shimizu, Alok Chakrabarti, Lucian Dascalescu, Satoshi Furuta, "NOx removal process using pulsed discharge plasma", Conf. Rec. of IEEE/IAS Annual Meeting, pp. 1977-1982(1993)
6. S. Masuda, "Destruction of gaseous pollutants and air toxics by surface discharge induced plasma chemical process (SPCP) and pulse corona induced plasma chemical process(PPCP)", Non-Thermal Plasma Techniques for Pollution Control Part B, Springer-Verlag Pub.Co., PP.179-201, (1993)