

원통형 플라즈마 반응기에서 NO_x제거에 미치는 슬러지의 촉매효과

박재윤* 이경호* 박상현* 김형만** 김종석* 하현진*
 경남대학교 전기전자공학부* 인제대학교 기계공학부**

Catalytic effect of sludge on NO_x removal in cylinder type reactor

Jae-Yoon Park, Kyung-Ho Lee, Sang-Hyun Park
 Hyung-Man Kim, Jong-Suk Kim, Hyun-Jin Ha

Abstract - In this experiment, an attempt to use the sludge pellets as catalyst for NO removal from simulated gas is experimentally investigated by using cylinder type reactor. An experimental investigation has been conducted for NO concentration of 50(ppm), 100(ppm), 200(ppm) balanced with air, a gas flow rate of 5(l/min). Cylinder type reactor is at upstream of system for corona discharge and packed bed type reactor filled with sludge pellets are put at downstream of Cylinder type reactor for catalytic effect. And AC voltage to discharge the gases was supplied.

In the result, NO removal with magnetic field is higher than that without magnetic field, when packed-bed reactor with sludge pellet is installed at downstream of cylinder reactor NO, NO₂ removal rate increased and O₃ is not generated.

1. 서 론

현대사회의 오염문제를 크게 분류한다면 여러 가지로 나눌 수가 있겠지만, 그 중에서도 대기오염과 수질오염을 대표적으로 들 수 있다. 산업화가 가속화되고 문명의 발달로 인간은 많은 편안함과 혜택을 누리왔지만, 이제는 그에 따르는 오염문제를 간과할 수만은 없는 처지에 이르렀다. 특히 산업전반에서 발생하는 오염물질 중 NO_x(질소산화물)는 우리가 모르는 사이 인간은 물론 동·식물에까지 큰 악영향을 끼쳐왔다. 우리 주위만 해도 발전소, 보일러, 자동차 배기 가스등 여러 곳에서 발생하는 NO_x는 이제 세계 여러 나라에서 그 처리법이 연구가 되고있고 현재 많은 처리방법이 나와있다.^{[1]-[4]}

또한 우리가 먹고 이용하는 물은 주위에 있는 정수장에서 처리가 되어 가정이나 공장으로 가게된다. 그러나 그 처리과정에서 발생하는 슬러지에 대해서는 그다지 신경을 쓰지 않는 실정이었다. 하지만 이제 인구가 증가하고 주택과 공장이 늘어남에 따라 사용하는 물의 양도 증가하게되고, 결국 거기서 발생하는 슬러지의 양만 해도 전 세계적으로 어마한 양에 이르게되었다. 정수장에서 발생하는 슬러지는 여러 가지의 중금속성분과 유기화합물등으로 이루어져있고, 여기에 포함된 중금속 성분은 인간과 자연에게 큰 피해를 입히므로, 그 처리비용이 비싸고 처리방법 또한 어렵다. 이에 국내에서 만도 여러 곳에서 슬러지를 시멘트나 벽돌, 비료 등으로 재활용하는 방법 등을 모색하고 있는 실정이다.^{[5]-[9]}

본 논문에서는 실린더형 반응기를 제작하여 NO_x제거를 시도하였고, 슬러지를 펠렛형태로 제작하여 NO제거 과정에서 발생된 부산물을 제거하기 위한 촉매로서의 사용가능성을 측정하고 분석하였다.

2. 본 론

2.1 실험장치 및 방법

본 실험에서 사용한 실험장치의 개략도를 그림 1에 나타내었고, 사용된 실린더형 반응기와 packed-bed형 반응기를 그림 2에 나타내었다. 두 반응기 모두 반응기 내부의 방전상태를 관찰하기 쉽도록 투명 아크릴을 사용하여 제작하였다. 실린더형 반응기는 플라즈마를 발생시키기 위하여 동 파이프와 텅스텐 wire를 전극으로 사용하였고, 동 파이프를 접지하고 wire전극에 고전압을 인가해서 사용하였다. packed bed형 반응기의 내부에 충전되는 슬러지는 정수장에서 발생하는 슬러지를 평균직径 3(mm)의 pellet모양으로 제작하여 사용하였다. 표 1에 나타난 바와 같이 슬러지는 금속산화물, 금속분자, 유기화합물로 구성되어 있으며, 전체적으로는 제올라이트의 구성성분과 유사한 것으로 나타났다. 가스는 농도 2000(ppm)의 NO가스를 공기과 적절히 혼합하여 사용하였고, 가스의 유량은 MFC(Mass Flow Controller)를 사용하여 항상 일정하게 조절하였으며, 반응기에 인가되는 전압은 네온트랜스를 사용하여 AC전압을 인가하였다. 가스의 농도 및 오존농도는 반응기 후단에 설치된 초정밀가스분석기(Green Line MK2)와 Ozone Analyzer Model 8810(U.S.A)를 사용하여 반응기 전·후의 농도를 분석하고 측정하였다.

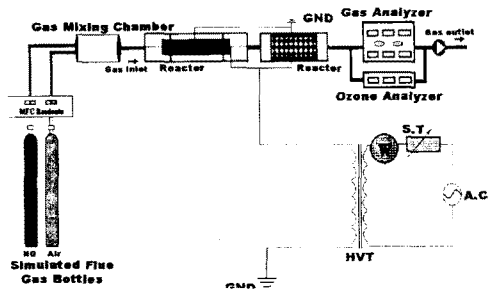


그림 1 실험장치 개략도
 Fig. 1 Experimental setup

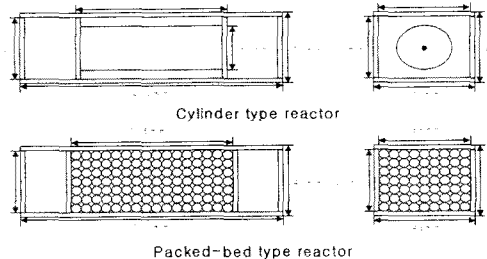


그림 2 반응기의 구조
 Fig. 2 Reactor configuration

표 1 슬러지의 성분

Table 1 sludge components

Material	Quantity	Material	Quantity
Al ₂ O ₃	39.793[%]	P ₂ O ₅	2.731[%]
SiO ₂	39.905[%]	K ₂ O	2.205[%]
Fe ₂ O ₃	7.427[%]	CaO	1.104[%]
SO ₃	3.12[%]	MgO	1.071[%]
Cl	0.747[%]	MnO	0.461[%]
Na ₂ O	0.692[%]	Br	0.103[%]
Zn	0.136[mg/l]	Cu	0.029[mg/l]
Cr	0.028[mg/l]	etc	Organic compound

본 실험에서는 실린더형 반응기, 슬러지를 충전시킨 packed-bed형 반응기, 자석을 이용하여 3가지 형태의 반응기에서 실험을 하였으며, 그림 3은 사용한 반응기의 구조를 나타낸 것이다. type 1과 type 2는 실린더형 반응기만 사용한 경우와 실린더형 반응기에 자석을 사용하여 자계를 인가한 경우를 나타낸 그림이다. type 3은 자계를 인가하지 않은 실린더형 반응기의 후단에 슬러지를 주입한 packed bed형 반응기를 설치한 것을 나타낸 그림이고, type 4는 type 3의 경우에서 실린더형 반응기에 자계를 인가한 것을 나타낸 그림이다.⁽¹⁰⁾

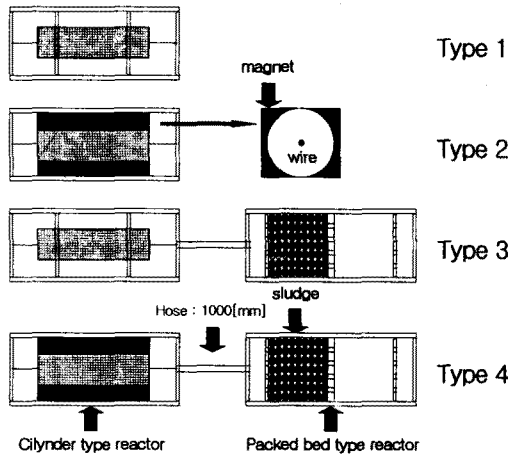


그림 3 리액터 유형
Fig. 3 reactor types

2.2 실험결과 및 고찰

2.2.1 NO_x 제거 특성

그림 4, 5는 type 1에서 유량을 5[l/min]으로 일정하게 유지하고 가스의 초기농도 특성을 조사하기 위하여 specific energy(SE)의 변화에 따른 NO, NO₂의 농도의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 농도가 증가해도 NO는 거의 같은 비율로 감소하는 것을 알 수 있다. 또한 그림 5에서 가스 농도와 SE가 증가함에 따라 NO₂의 농도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이것은 반응기를 통과하면서 분해된 NO가 활성 산소와 반응하여 다시 NO₂로 산화되기 때문이라 사료된다.

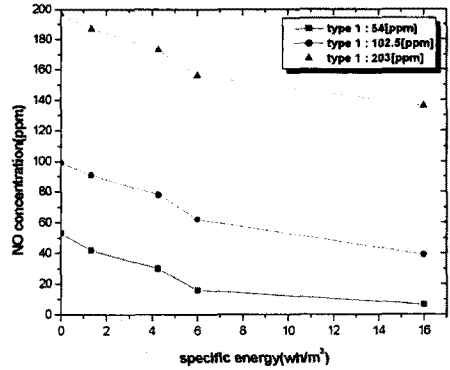


그림 4 specific energy에 따른 NO농도
Fig. 4 NO concentration vs specific energy

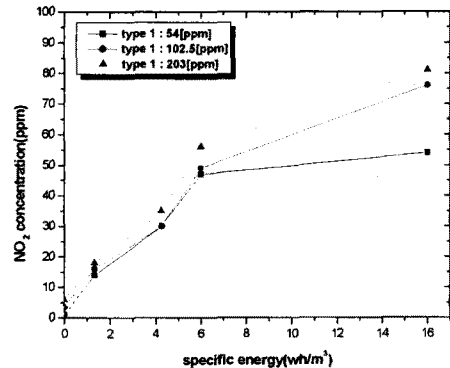


그림 5 specific energy에 따른 NO₂농도
Fig. 5 NO₂ concentration vs specific energy

그림 6, 7은 type 1반응기에 자계를 인가한 type 2에서 NO, NO₂농도의 변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 type 2의 경우는 type 1의 경우보다 NO농도는 조금 더 감소하나 NO₂농도와 SP는 더욱 증가하는 것을 알 수 있다. 이것은 자계의 인가로 로렌쯔력에 의해 반응기의 내부의 방전영역이 확대되면 주입된 NO분자와 전자들과의 충돌확률이 증가하고, 이로 인해 NO산소의 NO의 감소량은 증가하지만 분해가 촉진되지만, 반응기를 통과하면 다시 분해된 NO과 활성산소 O, O₃가 다시 NO₂로 산화되어 NO₂의 농도는 증가되는 것으로 사료된다.

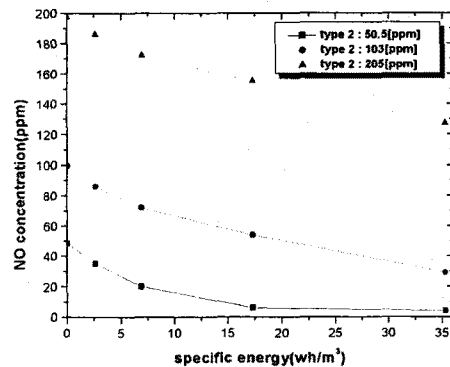


그림 6 specific energy에 따른 NO농도(자계인가)
Fig. 6 NO concentration vs specific energy

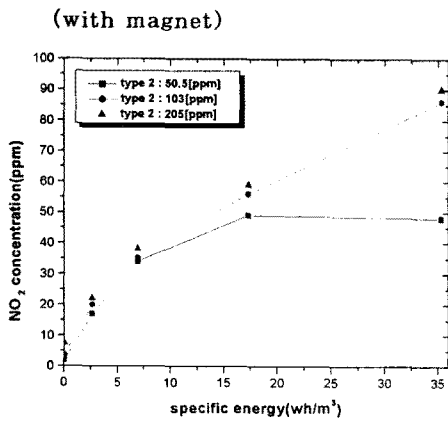


그림 7 specific energy에 따른 NO₂농도(자계인가)
Fig. 7 NO₂ concentration vs specific energy
(with magnet)
2.2.2 슬러지의 촉매효과

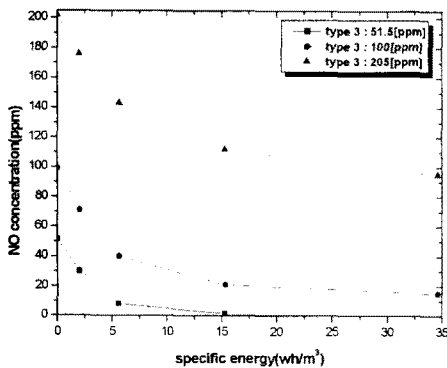


그림 8 specific energy에 따른 NO농도
Fig. 8 NO concentration vs specific energy

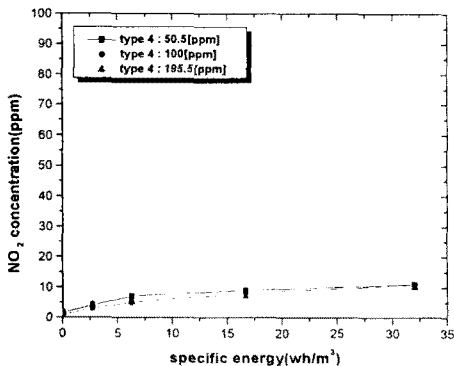


그림 9 Specific energy에 따른 NO₂농도
Fig. 9 NO₂ concentration vs specific energy
그림 8, 9는 type 3 반응기의 SP에 따른 경우 NO와 NO₂의 농도변화를 나타낸 그림이다. 그림에서 실린더형 반응기의 후단에 슬러지를 첨가한 packed bed형 반응기를 함께 사용하면 실린더형 반응기만 사용한 경우보다 NO와 NO₂의 제거량이 증가하는 것을 알 수 있다. 슬러지가 충전된 packed-bed형 반응기가 원통형 반응기 뒤에 설치됨에 따라 원통형 반응기 내부의 가스압이 상승하게 되고 따라서, NO의 제거율이 상승되는 것으로 사료된다. 실린더형 반응기를 통과하면서 분해된 N, 황성 산소 O, O₃등이 다시 NO₂로 산화되지만, NO₂가 packed

bed형 반응기를 통과하면서 슬러지와 반응하기 때문에 NO₂가 제거되는 것으로 사료된다.

3. 결론

본 연구에서는, 실린더형 반응기와 슬러지 펠렛이 충전용 packed bed형 반응기를 제작하고, NO_x제거 및 부산물(NO₂, O₃)생성특성을 측정하고, 자계와 슬러지의 영향을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 실린더형 반응기에서 사용, 초기 NO농도가 증가해도, NO제거율은 비슷하게 나타났다.
- (2) 실린더형 반응기에 자계를 인가한 경우, 자계를 인가하지 않은 경우보다 NO제거량은 조금 더 증가하였으나 NO₂농도도 함께 증가하는 것을 알 수 있었다.
- (3) 실린더형 반응기의 후단에 슬러지를 충전한 packed bed형 반응기를 함께 사용하면 실린더형 반응기만 사용한 경우보다 제거되는 NO와 NO₂의 농도가 증가되는 것을 알 수 있다.

(참고 문헌)

- [1] S. Pekarek, J. Rosenkranz, and H. Lonekova, "Generation of electron beam for technological processes", Non-Thermal plasma Techniques for Pollution Control Part A, Springer-Verlag Pub. Co., pp. 345~389, 1993.
- [2] K. Kawamura, S. Aoki, H. Kimura, K. Adachi, T. Katayama, K. Kengaku and Y. Sawada, "Electron beam dry flue gas treatment process", Environ. Sci. & Tech., 14, pp. 288~293, 1980
- [3] Akira Mizuno, Yoshifumi Yamazaki, Hiroshilto and Hiroshi Yoshida, "Ac energized ferroelectric pellet bed gas cleaner", IEEE Trans. on IAS, Vol. 28, No. 3, pp. 535~540, 1992
- [4] Kazuo Shimizu, Hiroyuki Sone, Akira Mizuno, "Effect of water on NO_x removal using pulsed discharge plasma", 靜電氣學會講演論文集, pp. 355~358, 1993
- [5] 장철현, 신남철, "유해가스 처리공학", 동화기술, 1995
- [6] 이용두 외 3명, "슬러지 처리공학", 동화기술, PP. 15~18, 1998
- [7] STANLEY E. MANAHAN, "환경화학", 자유아카데미, 1999
- [8] 이양규, "상하수도공학", 보문당, pp. 503~541, 1996
- [9] Shigeru Futamura, Aihua Zhang and Toshiaki Yamamoto, "Behavior of N₂ Nitrogen Oxides in Nonthermal plasma Chemical Processing of Hazardous Air Pollutants", IEEE Transaction on Industry Applications, Vol. 36, No. 6, Nov/Dec. 2000
- [10] 김익균, "직류 코로나 방전에서 자계의 영향", 경남대학교 대학원 석사학위논문, 1999, 12

감사의 글

본 논문은 2000년도 한국과학재단의 목적기초 연구비 (과제번호:2000-2-30400-010-3)지원에 의하여 지원되었음.