

촉매-코로나방전을 이용한 NO_x제거 특성

(The Characteristic of NO_x Removal Using Catalyst-Corona Discharge)

고희석* · 박재윤 · 김종석 · 이수정

(Hee-Suk Goh · Jae-Yoon Park · Jong-Suk Kim · Soo-Jung Lee)

요 약

우리가 생활하는 거의 모든 곳에서 발생하는 슬러지(sludge)는 악취, 토양오염 등 많은 문제점을 가지고 있으며, 대부분의 폐기물은 매립 또는 소각에 의해 처리되고 있으나 슬러지의 경우 두 가지 방법 모두 심각한 문제점을 가지고 있어, 대체 처리방법의 개발이 시급한 실정이다. 본 연구에서는 그 슬러지를 NO_x제거용 촉매 펠렛(pellet)재료로 재활용하기 위한 가능성을 타진하기 위하여 수도물 정수장에서 발생하는 슬러지로 펠렛을 제작하여 BaTiO₃ 펠렛과 하이브리드 구조로 NO_x제거용 플라즈마 반응기를 제작하였고, specific energy, 전압인가 방법, 슬러지의 양, 산소농도 변화에 따른 NO_x제거 특성을 측정하고 슬러지 펠렛의 영향을 측정하고 분석하였다.

Abstract

The catalytic effect of waterworks sludge on NO_x removal in BaTiO₃ pellets and sludge pellets combined packed-bed plasma reactor with plate-plate electrode geometry is measured for the various conditions. NO_x removal rate is about 90[%] at BaTiO₃-sludge combined reactor used fresh sludge. NO₂ and O₃ as byproducts are significantly generated in only BaTiO₃ packed-bed plasma reactor, however, in BaTiO₃-sludge combined packed-bed reactor, NO₂ and O₃ are completely removed while CO₂ as by-products are observed from FTIR spectra. NO₂ and O₃ seem to react with metallic molecules, metal oxide, and organic compounds that are generally chlorophyll included in sludge. NO_x removal rate increases with O₂ concentration increasing. Removal rates of NO₂ and O₃ are independent of operating time and repetition measurement times.

Key Words : catalytic, packed-bed plasma reactor, sludge pellet, De-NO_x

1. 서 론

산업화가 가속화되고 문명의 발달로 인간은 많은 편안함과 혜택을 누리왔지만, 이제는 그에 따르는 오염문제를 간과할 수만은 없는 처지에 이르렀다. 이미 환경파괴의 문제점이 지구 곳곳에서 나타나기

시작하였고, 그 파괴의 속도가 급속하게 증가하고 있으며, 피해규모도 크게 증가하는 추세에 있다.

비열플라즈마(Non-thermal plasma) 기술에 의한 연소가스처리 방법에는 전자빔 조사(Electron beam irradiation)[1]에 의한 것과 전기적인 방전에 의한 것이 있다. 전자빔 조사에 의한 탈질(de-NO_x), 탈황(de-SO_x)법은 1980년 일본의 Kawamura[2]등에 의해 제안된 이래 상용화되어 실제 시스템에 사용되고 있다. 전자빔법은 X선의 발생을 동반하기 때문에 이에 대한 대책이 필요하고 가속장치 등에 높은 설비비가 소요되는 문제점이 있다. 이러한 단점을 개선

* 주저자 : 경남대학교 전자전기공학과 교수
Tel : 055-249-2628, Fax : 055-249-2839
E-mail : powersys@kyungnam.ac.kr

접수일자 : 2004년 3월 31일
1차심사 : 2004년 4월 2일, 2차심사 : 2004년 5월 10일
심사완료 : 2004년 5월 20일

하기 위하여 전기적 기체방전현상을 이용한 방전 플라즈마법이 제안되었고 이들 방법에는 코로나 방전(Corona discharge)[3], 부분 방전(Partial discharge in ferroelectric pellet layer)[4], 펄스스트리머 방전(Pulse streamer discharge)[5]~[8], 연면방전(Surface discharge) 및 무성방전(Silent discharge)[9]등이 있으며, M. P. Sehlenger의 논문 「Plasma arc processing of solid and Liquid wastes」에서는 혁신적인 열 plasm기술을 논의하였다. B. M. Penetrante의 논문 「Plasma Chemistry and power Consumption in non-thermal DeNO_x」에서는 비열 DeNO_x의 한계와 가능성에 대한 중요한 근본적인 문제들에 대해 답하려고 노력하였다.

또한 우리가 생활하는 거의 모든 곳에서 발생하는 슬러지(sludge)는 악취, 토양오염 등 많은 문제점을 가지고 있으며, 대부분의 폐기물은 매립 또는 소각에 의해 처리되고 있으나 슬러지의 경우 두 가지 방법 모두 심각한 문제점을 가지고 있어, 대체 처리방법의 개발이 시급한 실정이다. 슬러지의 발생량은 수질오염기준의 강화, 하수 처리율의 증가, 상수원의 수질 악화 등으로 매년 증가할 것으로 예상되며, 슬러지는 납, 카드뮴, 크롬, 수은 등 중금속을 포함하고 있어 땅에 함부로 묻거나 하천에 방류할 경우 환경을 크게 오염시키고, 인체에도 치명적일 수가 있다. 이러한 이유로 전 세계적으로 슬러지의 처리에 고심하고 있는 실정이다[10]~[12].

본 연구에서는 그 슬러지를 NO_x제거용 촉매 펠렛(pellet)재료로 재활용하기 위한 가능성을 타진하기 위하여 수도물 정수장에서 발생하는 슬러지로 펠렛을 제작하여 BaTiO₃ 펠렛과 하이브리드 구조[13]~[17]로 NO_x제거용 플라즈마 반응기를 제작하였고, specific energy, 전압인가 방법, 슬러지의 양, 산소농도 변화에 따른 NO_x제거 특성을 측정하고 슬러지 펠렛의 영향을 측정하고 분석하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에 사용한 실험장치의 구성도와 실험장치를 그림 1에 나타내었다. 그림에서 볼 수 있는 바와

같이 실험장치에는 교류전압을 공급할 수 있는 네온트랜스, NO가스의 유량을 조절하는 MFC(Mass Flow Controller), 코로나 방전 플라즈마를 발생시키는 packed-bed형 반응기, 소비전력 및 방전 전압을 측정하기 위한 측정기, 혼합가스중의 NO, NO₂ 농도를 분석하는 초정밀 연소가스 분석장치 (Greenline NK2, Eurotron / Italy) 그리고 부산물인 오존농도를 측정하는 오존 분석기(Monitor Labs INC. MODEL 8810)로 구성되어 있다.

본 실험에는 3가지 형태의 플라즈마 반응기를 사용하였고 그림 2에 나타낸다. 플라즈마 반응기는 내부의 방전상태를 관찰하기 쉽도록 투명한 아크릴수지를 사용하여 만들었으며, 길이 170[mm], 높이 30[mm], 폭 45[mm]인 직사각형 구조이다. 전극은 직사각형 반응기의 길이방향 두 변의 아크릴 판에 구리박판을 부착하여 한쪽은 고전압 입력전극 다른 한쪽은 접지를 시킨 평판 대 평판구조를 사용하였다. 그림에서와 같이 형태 1은 반응기의 절반에 BaTiO₃만을 채운 형태이고 형태 2는 BaTiO₃를 채운 바로 뒤에 슬러지를 채운 형태이다. 그리고 형태 3은 슬러지의 영역을 BaTiO₃영역으로부터 1000[mm] 후방에 설치하였다. 플라즈마 반응기에 인가되는 전압은 네온트랜스를 사용하여 주파수가 60[Hz]인 AC고전압을 인가하였고, 인가되는 전압의 크기는 네온트랜스의 입력전압을 조절하여 0-15[kV]까지 변화시킬 수 있다. 실험을 위한 NO 초기농도는 실험목적에 따라 MFC를 사용하여 농도가 2000[ppm]인 NO가스를 공기로 희석하여 NO의 초기농도로 만들고 Gas Mixing Chamber를 통과하여 반응기에 주입된다. 총 혼합가스의 유량은 5[ℓ/min]으로 일정하게 유지하였다. 실험 전·후의 NO 및 NO₂가스의 농도는 초정밀 가스 분석기를 사용하여 측정하였고, 부산물인 오존농도측정에는 OZONE ANALYZER를 사용하였다. 가스가 반응기를 통과한 후 발생하는 부산물을 분석하기 위하여 반응기의 후단에서 채취한 가스에 대한 FTIR (Fourier transform infrared spectroscopy)를 측정하고 분석하였다. 반응기에 주입되는 전력은 아날로그 전력계를 사용하여 측정하였다. 표 1에는 슬러지의 성분을 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 전체적으로는 제올라이트의 구성성

분과 유사한 것으로 나타났다.

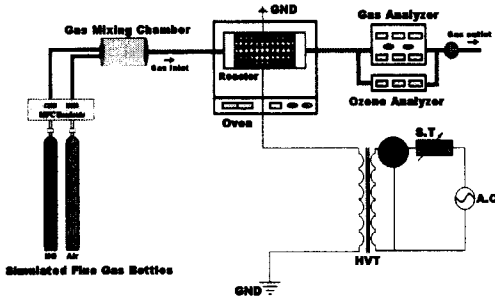


그림 1. 실험장치 구성도
Fig. 1. Construction diagram of experimental apparatus

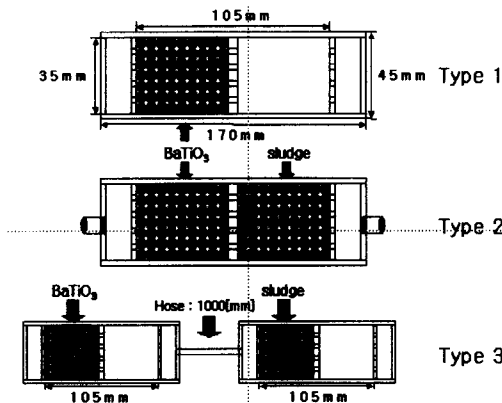


그림 2. 반응기 형태
Fig. 2. Reactor type

표 1. 슬러지의 구성성분
Table 1. Components of sludge

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

3. 결과 및 고찰

3.1 유전체의 영향

그림 3과 그림 4 및 그림 5는 플라즈마 반응기 형태 1에 여러 가지 종류의 유전체를 채우고 Specific energy의 증가에 따른 NO 제거량과 이때 발생된 부산물인 NO₂와 O₃의 생성량을 나타낸 것이다. 그림 3에서와 같이 γ -Al₂O₃와 sludge는 NO가 거의 제거되지 않았지만, BaTiO₃와 TiO₂를 사용한 경우는 NO가 거의 제거되었다. 이것은 강유전체인 BaTiO₃와 TiO₂에 AC전압이 인가되면 강유전체의 접촉부위에서 강한 전계의 집중이 발생되고 연면방전이 발생된다. 전압을 증가시키면 방전영역이 전 반응기의 영역으로 확대된다. 이 방전영역에 NO가 주입되면 N과 O로 분해되어 질소와 산소로 환원되기도 하지만 이러한 환원반응은 혼합가스 중 산소가 풍부한 경우 일어나기가 매우 어려운 것으로 알려져 있다. 따라서 주입된 혼합가스 중 산소가 플라즈마 영역에서 O 혹은 O₃로 되고 이들이 주입된 NO와 산화반응이 일어나 NO₂로 되는 것으로 사료된다. TiO₂를 채운 경우는 NO₂가 거의 발생되지 않았으나 BaTiO₃는 많은 양의 NO₂가 발생하였다. 이는 BaTiO₃가 강유전체인 반면 TiO₂는 강유전체 특성 외에 광촉매 특성을 갖고 있기 때문인 것으로 사료된다. NO₂는 촉매 또는 수분과 반응하면 NO₂가 아닌 다른 부산물로 변화되는데 이러한 TiO₂의 광촉매 특성에 의해 NO₂가 다른 부산물로 발생되어 NO₂가 발생되지 않는 것으로 사료된다. 따라서 NO_x(NO+NO₂) 제거율은 BaTiO₃보다 TiO₂ 경우가 우수하지만 TiO₂를 충전시킨 경우는 N₂O가 다량 발생된다는 보고가 있다. BaTiO₃를 채운 경우는 강력한 플라즈마에 의해 NO가 NO₂로 거의 산화되어 NO_x 제거율은 매우 좋지 않았다. 또한 Al₂O₃ 및 슬러지 펠릿을 채운 경우는 NO가 거의 제거되지 않았으며 NO₂도 생성되지 않았다. 이는 이들을 채운 경우는 강한 방전 플라즈마가 발생되지 않았으며 오존이나 활성산소 라디칼이 발생되지 않기 때문인 것으로 사료된다. 그림 5는 펠릿의 종류에 따른 O₃발생량을 나타낸 것으로서, 역시 γ -Al₂O₃, sludge, TiO₂는 O₃가 거의 발생하지 않았지만,

BaTiO₃에서는 O₃ 발생량이 최고 70[ppm]까지 증가한 것을 알 수 있다. 이것은 공기중의 O₂로부터 발생된 것으로 추정되며 이것이 NO와 반응하여 BaTiO₃의 경우 NO₂가 많이 발생되는 원인으로 사료된다.

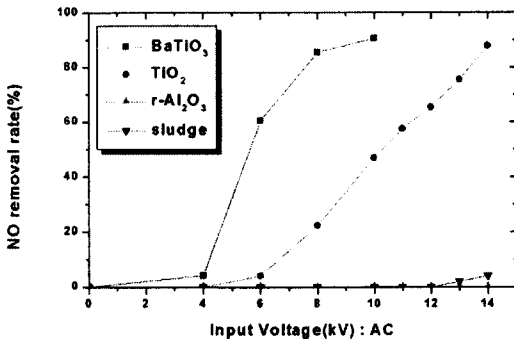


그림 3. 인가전압에 따른 NO제거율
Fig. 3. NO removal rate on applied voltage

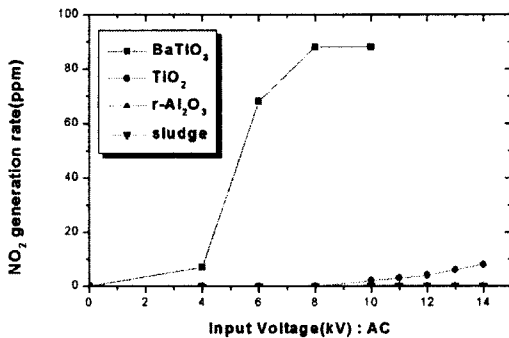


그림 4. 인가전압에 따른 NO₂ 생성
Fig. 4. NO₂ generation on applied voltage

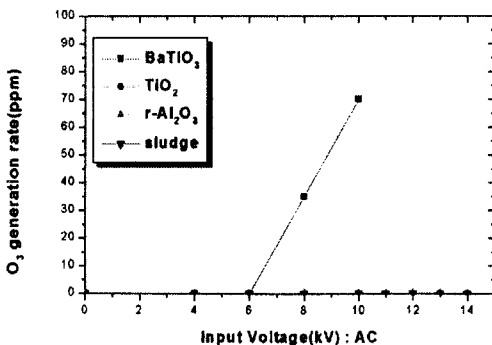


그림 5. 인가전압에 따른 O₃ 생성
Fig. 5. O₃ generation vs applied voltage

3.2 슬러지의 영향

그림 2의 플라즈마 반응기중에서 내부에 그림과 같이 BaTiO₃와 슬러지 펠렛을 구별해서 채운 형태1의 반응기에 주파수가 60[Hz]인 AC고전압을 인가하였다. BaTiO₃영역에서는 강유전체인 BaTiO₃ 펠렛들 간의 접촉부에서 강한 전계의집중이 생겨 연면방전이 발생하였고 인가전압이 증가하면 그 방전 플라즈마 영역이 전 BaTiO₃영역으로 확대되었다. 그러나 형태 2의 반응기의 슬러지 펠렛영역에서는 이러한 전면적인 방전현상은 나타나지 않았으나 9[kV] 이상에서는 국부적인 코로나방전이 관찰되었다. 따라서 NO의 분해는 주로 강력한 플라즈마가 발생되는 BaTiO₃영역에서 일어나고 강력한 방전 플라즈마가 발생되지 않는 슬러지 영역에서는 다공성을 가진 슬러지의 표면과 내부에서 NO의 분해로부터 생성된 라디칼과 슬러지간의 화학반응이 주로 일어나는 것으로 사료된다. NO_x제거에 미치는 BaTiO₃와 슬러지의 영향을 측정하기 위하여 처리가스가 주입되는 반응기 앞부분에 BaTiO₃(50%)를 채우고, 반응기의 뒷부분에 슬러지(50%)를 채운 경우와 반응기의 앞부분에 BaTiO₃(50%)만 채운 두 경우에 대하여 NO의 초기농도는 50[ppm], 유량은 5[l/min]을 일정하게 유지하고, 상온에서 주입 Specific Energy(SPE)의 변화에 따른 NO와 NO₂의 농도변화를 그림 6에 나타낸다. 그림에서 두 경우에서 SPE의 증가에 따른 NO농도의 감소량은 큰 차이는 없으므로 나타났다. 그러나 NO의 제거중에 발생하는 부산물인 NO₂는 슬러지가 충전된 경우가 매우 작게 나타났다. 이것은 강유전체인 BaTiO₃ 펠렛의 표면에서 강한 전계집중에 의해 발생하는 연면방전에 의해 이 영역 통과하는 NO는 거의 제거되고, 슬러지 영역은 연면방전이 거의 일어나지 않으므로 NO분해 제거에는 큰 효과가 없기 때문이라 사료된다. 또한 BaTiO₃만 사용한 경우는 최대 NO₂생성량이 51[ppm]이었지만, 슬러지(50%)를 함께 사용한 경우는 최대 NO₂생성량이 5[ppm]으로 크게 감소하는 것을 알 수 있다. BaTiO₃의 표면에서 연면방전에 의해 NO가 공기중 산소로부터 생성된 O, O₃등과 같은 활성산소에 의해 NO₂로 산화변환되기 때문이라 사료된다[12].

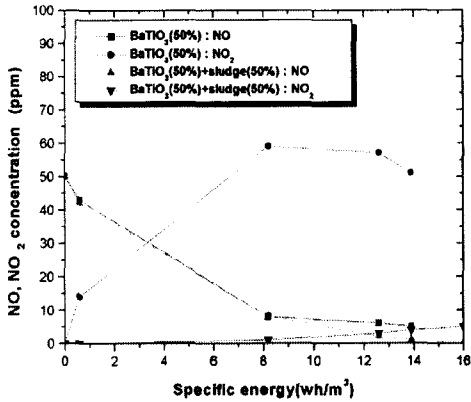


그림 6 Specific energy 따른 NO, NO₂농도
Fig. 6 NO, NO₂ concentration vs specific energy

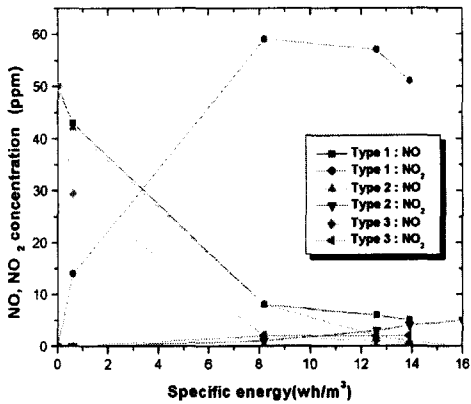


그림 7. Type 1, Type 2, Type 3 반응기에서 주입에너지에 따른 NO, NO₂농도
Fig. 7. NO and NO₂ concentration vs specific energy in type-1, type-2 and type-3 reactors (50(ppm), 5(ℓ/min))

그림 7은 BaTiO₃와 슬러지가 혼합된 type 1, type 2, type 3의 반응기에서 주입에너지의 증가에 따른 NO, NO₂의 농도를 나타낸 그림이다. 초기 NO농도와 가스의 유량은 50[ppm], 5[ℓ/min]을 유지하였다. 그림을 보면 세 가지 유형의 반응기에서 주입에너지의 증가에 따른 NO농도는 감소하였으나, NO₂의 경우 전혀 다른 것을 알 수 있다. type 1 반응기에서 코로나 방전 중 NO₂ 생성 농도는 58[ppm]으로 증가하였으나, 슬러지가 주입된 type2, type 3 반응기에서는 매우 낮았다. 이 시스템에서는 NO₂ 제거반응에 다른 추가적인 물질은 필요로 하지 않는다. BaTiO₃와 슬

러지가 혼합된 경우 NO_x 제거율은 약 90[%]였다. BaTiO₃ 펠렛의 후단에 슬러지를 충전시킨 type2, type 3 반응기의 경우는 BaTiO₃의 영역에서 방전에 의해 생성된 O, O₃ 등 활성산소가 슬러지 펠렛 중의 금속성분 혹은 유기화합물과 반응하여 금속산화물 혹은 다른 산화물로 변화되기 때문에 NO₂와 O₃의 생성량이 감소하거나 먼저 활성산소(O, O₃)에 의해 NO가 NO₂로 산화되고 NO₂가 슬러지 펠렛에서 환원분해되는 것으로 사료된다.

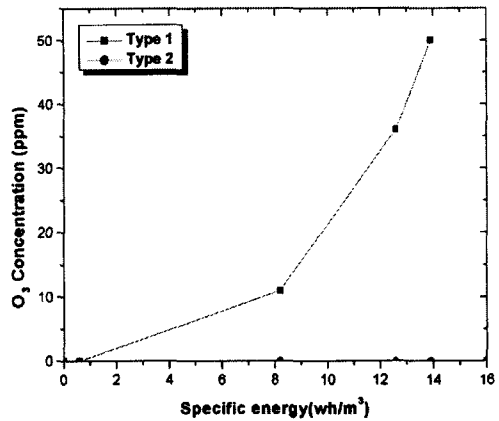


그림 8. Type 1, Type 2, Type 3 반응기에서 주입에너지에 따른 O₃농도
Fig. 8. O₃ concentration vs specific energy in type-1, type-2 and type-3 reactor(50(ppm), 5(ℓ/min))

그림 8은 NO 제거 실험 과정에서 부산물로 생성된 O₃ 생성량을 나타낸 것이다. 그림에서 보는바와 같이 BaTiO₃만 사용한 경우는 O₃가 최대 50[ppm]까지 생성되었지만, 슬러지를 함께 사용한 경우는 O₃가 약 0.004[ppm]이 생성된 것을 알 수 있다. 이것은 앞에서 언급한 바와 같이 BaTiO₃의 방전에 의해 공기 중의 산소로부터 생성된 O, O₃가 반응기 후단의 슬러지에 의해 흡착되거나 금속성분 혹은 유기 화합물과 반응하기 때문에 O₃ 생성량이 훨씬 감소되는 것으로 사료된다. 그림 9는 그림 6에 대한 NO_x 제거율을 나타낸 그림이다. BaTiO₃에만 전압을 인가한 경우보다 BaTiO₃와 슬러지에 전압을 동시에 인가한 경우가 NO_x 제거율이 높은 것을 알 수 있다. NO 제거율이 거의 같지만 BaTiO₃와 슬러지에 동시에 전압을 인

촉매-코로나방전을 이용한 NO_x 제거 특성

가한 경우가 NO₂ 생성량이 약간 적기 때문인 것으로 사료된다. 이때 O₃ 생성량은 0.004[ppm] 이하로 거의 발생되지 않는 것으로 나타났다.

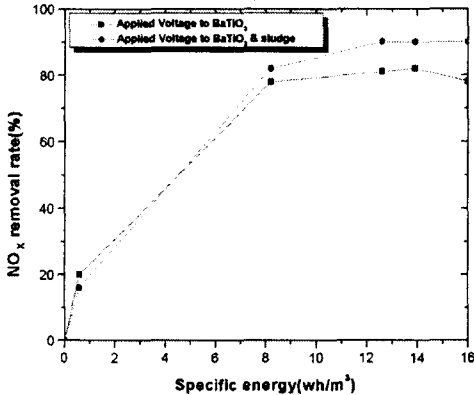


그림 9. Specific energy에 따른 NO_x 제거율
Fig. 9. NO_x removal rate vs specific energy

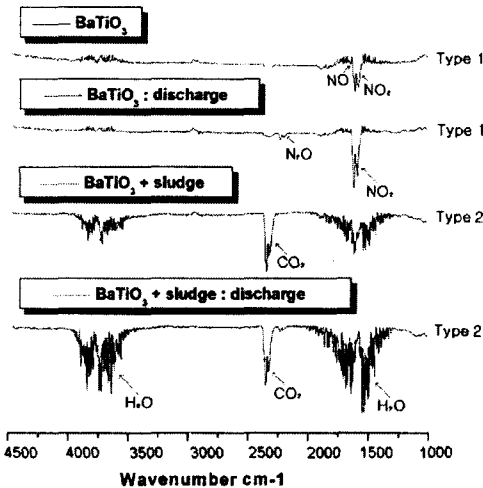


그림 10. FTIR 스펙트럼
Fig. 10. FTIR spectra

그림 10은 반응기 후단에서 측정된 반응 전후 가스의 부산물을 분석하기 위하여 측정된 FTIR 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림에서 나타난 것과 같이 전압이 인가된 BaTiO₃를 통과한 가스에서 NO₂ 피크가 증가되는 것을 알 수 있다. 그러나 슬러지 펠렛을 통과한 가스에서는 NO₂ 피크가 감소되고 CO₂ 피크가 새롭게 나타나는 것을 볼 수 있지만 다른 부산물

은 발견되지 않고 있다. 이때 발생된 CO₂는 활성산소 혹은 NO₂가 유기화합물과 반응하여 발생하는 것으로 사료된다.

3.3 산소농도의 영향

그림 11은 Type 2 플라즈마 반응기를 사용하여 NO의 농도와 가수유량을 각각 50[ppm], 5[l/min]으로 일정하게 유지하고 혼합가스 중 산소(O₂)의 농도만을 변화시켰을 때, SPE[wh/m²]의 변화에 따른 NO_x 제거율을 나타낸 그림이다.

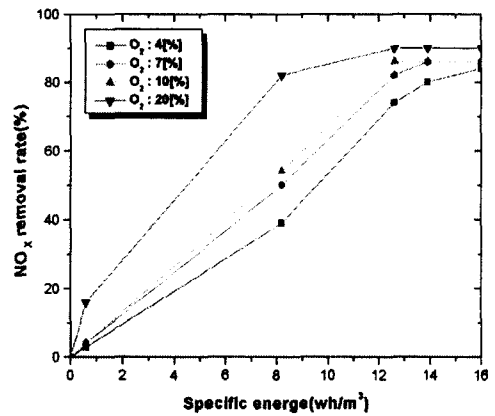


그림 11. O₂ 농도와 인가 전력에 따른 NO_x 제거 특성
Fig. 11. NO_x removal vs input power as function of O₂ concentration

그림에서 산소(O₂)의 농도가 증가하면 NO_x의 제거율은 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 산소의 농도가 증가함에 따라 방전에 의해 더 많이 발생된 O나 O₃가 NO를 NO₂로 산화시키는데 더욱 기여하기 때문인 것으로 사료된다. 특히 SPE가 낮은 영역에서는 이러한 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 따라서 본 실험에 사용한 반응기는 O와 O₃가 NO_x 제거에 큰 역할을 하는 것으로 사료되고 이러한 것은 슬러지 펠렛의 역할과 관련이 있는 것으로 사료된다.

4. 결 론

BaTiO₃-Sludge hybrid packed bed형 플라즈마 반응기에서 BaTiO₃(50%)만 사용한 경우는 NO가 NO₂로 산화되어 실질적인 NO_x는 거의 제거되지 않

았다. 그러나 BaTiO₃(50%)와 슬러지(50%)를 함께 사용한 경우는 NO₂, O₃등과 같은 부산물 생성량이 95[%]이상 감소하여 NO_x제거율이 80~90[%]로 크게 향상되었다. 또한 산소(O₂)의 농도가 증가하면 NO_x의 제거율은 증가하는 것을 알 수 있었다.

따라서 정수장 슬러지는 위의 실험결과와 같이 우수한 NO_x제거용 촉매로서 재활용하여 사용이 가능함을 알 수 있고 이로 인하여 현재 사용중인 고가의 촉매를 대체할 수 있음을 알 수 있었으며, 추가적인 신뢰성과 내구성이 필요한 것으로 사료된다.

이 논문은 2001년도 경남대학교 교내연구비 지원으로 이루어진 것으로 이에 감사드립니다. (연구과제번호 : 경남대학교 제 2001-5033호)

References

- [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] 清水一男 外1人, "濕式プラズマ가스處理", 放電プラズ마による가스狀 環境汚染物質の處理技術に関する總合的研究, pp. 69~78, 1994.
- [4] Akira Mizuno, Yoshifumi Yamazaki, Hiroshilto ,and HiroshiYoshida, "Ac energized ferroelectric pellet bed gas cleaner", IEEE Trans. on IAS, Vol. 28, No. 3, pp. 535~540, 1992.
- [5] Kazuo Shimizu, Hiroyuki Sone, Akira Mizuno, "Effect of water on NO_x removal using pulsed discharge plasma", 靜電氣學會講演文集, pp. 355~358, 1993.
- [6] Hee-Seog Koh, Jae-Yoon Park, Gun-Ho Kim, "Removal of NO_x by Pulsed Streamer Discharge", The Journal of theKorean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 10, No.8,pp. 807-812, 1997.
- [7] Jae-yoon Park, "Removal of NO_x and SO₂ from Combustion Flue Cases by Corona Discharge Systems", The Journal of theKorean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 10, No.8, pp. 830-835, 1997.
- [8] Jae-yoon Park, Yong-sul Koh, Jae-Dong Lee, Sang-Bo Han, Sang-Hyun Park, Duck-Chool Lee, "A removal characteristics of NO_x at the cylindrical plasma reactor with magnetic field", The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers, Vol. 12, No.2, pp. 188-192,1999.
- [9] J. S. Chang et al, "The effect of ammonia mixing concentration on the reductionof NO_x in a combustion flue gas by superimposing surface/silent discharge

plasma reactor", 放電プラズマによる가스狀 環境汚染物質の處理技術に関する總合的研究, pp. 59~68, 1994.

- [10] Yong-Do et al. , "The treatmental technology of Sludge", Dong-Hwa Engineer, pp15~18, 1998.
- [11] STANLEY E. MANAHAN, "Environmental Chemistry", Free Academy, 1999.
- [12] Yan-ku Lee, "The Technology for Water Supply and drain", Bo-Mun-Dang, p 503~541, 1996.
- [13] Shigeru Futamura, Aihua Zhang and Toshiaki Yamamoto, "Behavior of N₂ Nitrogen Oxide in Nonthermal Plasma Chemical Processing of Hazardous Air Pollutants", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 36, No. 6, Nov./Dec. 2000.
- [14] K. Mizuno, K. Shimizu, K. Yanagihara, K. Kinoshita, H. Tsunoda, H. Kim, and S. Katsuta, "Effect of Additives and Catalysts on Removal of Nitrogen Oxides Using Pulsed Discharge" Proc. of 1996 IEEE-IAS Annual Meeting., Oct. 6~10, San Diego, CA, Vol. 3, pp 1808~1812, 1996.
- [15] J. S. Chang, K. Urashima, M. Arquilla, T. Ito, "Reduction of NO_x from Combution flue gases by Corona discharge activated Mathane radical Injections", Combust. Sci. and Tech., Vol. 133, pp. 31~47. 1998.
- [16] H. Shaw, "Aqueous Solution Scrubbing for NO_x Control in Munitions Incineration", "The Amr. Soc. of Mechanical Engineers, August 1976.
- [17] T. Oda, T. Kato, T. Takahashi, and K. Shimizu. "Nitric Oxide Decomposition in Air by Using Non-Thermal plasma Processing", Proc. of IEJ-ESA 1996 Joint Symposium on Electrostatics, Univ. of Tokyo, Tokyo, Japan, Oct. 30-31, pp. 17~28, 1996.

◆저자소개◆

고희석 (高羲石)

1942년 8월 21일생. 1966년 부산대학교 전기공학과 졸업. 1985년 중앙대학교 대학원 전기공학과(박사). 1999년 대한전기학회 부회장 역임. 현재 : 한국조명전기설비학회 부회장. 경남대학교 전기전자공학부 교수.

박재윤 (朴在潤)

1960년 4월 12일생. 1986년 경남대학교 전기공학과 졸업. 1991년 인하대학교 대학원 전기공학과(석사). 대학원 전기공학과 박사 졸업. 현재 경남대학교 전자전기공학부 교수.

김종석 (金鍾錫)

1973년 5월 24일생. 2000년 경남대학교 전기공학과 졸업. 2002년 경남대학교 대학원 전기공학과(석사). 현재 : 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

이수정 (李秀正)

1956년 7월 15일생. 1999년 가야대학교 전기공학과 졸업. 2002년 경남대학교 대학원 전기공학과(석사). 현재 : 경남대학교 대학원 전기공학과 박사과정.