

PE13) SNCR 공정에서 유기성 첨가제의 반응특성 연구 Reaction characteristics of organic additives in SNCR process

동종인 · 장주호¹⁾ · 엄권욱¹⁾ · 라문섭¹⁾
서울시립대학 환경공학부, ¹⁾(주) 유젠텍

1. 서 론

보일러, 발전소, 소각로 등 고정배출원에서의 배연 탈질공정으로 석회수 등을 이용한 습, 건식 탑과 촉매에 의한 처리 등이 있지만 현재 가장 대표적인 처리설비로는 SCR(selective catalytic reduction)과 SNCR(selective non catalytic reduction)공정이 많이 이용되고 있다. SCR 공정은 촉매를 사용함으로써 처리효율을 최대 90% 까지 높였으며 250~350℃의 낮은 온도에서 처리를 가능하게 했다. 그러나 높은 설치비, 촉매 교환비, 연료비등으로 유지관리비가 많이 든다. 국내의 기존 소각로나 비교적 낮은 농도의 NO_x를 배출하는 시설에서는 약 40~60%의 제거효율을 가지고 있는 SNCR공법의 적용이 시도되고 있다. SNCR은 반응제 주입장치와 반응제 저장용기만을 요구하는 비교적 간단한 설비이기 때문에 기존의 소각로에 쉽게 설치할 수 있다.

SNCR 공정은 반응온도, 분사노즐의 위치와 속도 그리고 반응제의 종류에 따라서 처리효율이 달라진다. 따라서 적정 반응온도와 노즐의 위치 및 속도를 결정하기위해 많은 연구가 수행되었다. SNCR의 주요반응은 900~1,100℃의 좁은 온도 영역에서 일어나며 일반적으로 950~1,000℃에서 최대의 제거효율을 나타낸다. 반응제는 주로 NH₃와 urea(NH₂CONH₂)를 쓰고 있다. 일반적으로 NH₃가 urea 보다 높은 효율을 보이지만 반응제의 저장 및 취급관리 그리고 경제적인 면에서는 urea가 장점을 가지고 있다.

SNCR 공정의 문제점은 낮은 처리효율과 더불어 좁은 처리온도 영역이다. 우리나라에서 소각로의 법적 운전온도는 850℃이다. 하지만 SNCR 공정을 적용하기 위해서는 보다 고온영역에서 운전해야하며 소각로의 설계 시에도 고온조건에 따른 장치 설계를 해야 한다. 따라서 발열량이 낮은 생활폐기물이나 슬러지 등을 소각할 때 보조에너지가 필요하며 안정적인 운전이 어렵게 된다. 이에 대한 대안으로 여러 가지 첨가제가 실험되어왔다. 첨가제로는 유기물질들이 많이 연구되고 있으며 CO, H₂O₂ 등도 자주 사용되고 있다. 이러한 첨가제 투입 시에는 700℃ 정도의 낮은 온도영역에서부터 NO_x가 제거되기 때문에 보다 넓은 처리온도영역을 가질 수 있다. 이 연구에서는 alcohols, form aldehyde, acetic acid 등의 첨가제를 선택하여 동일한 온도와 농도조건에서 실험하고 컴퓨터 시뮬레이션을 수행하여 상호 비교함으로써 첨가제의 거동에 대한 보다 심도있는 연구를 하고자 하였다.

2. 실험 방법 및 장치

2. 1 SNCR 실험 장치

실험에서 사용된 장치는 Fig. 1과 같다. 장치는 두개의 반응조로 나뉘며 electric furnace로 되어있다. 1st reactor는 LPG 가스를 사용하여 실제 연소로에서의 발생가스를 조성하여 연소상태에 따른 라디칼의 공급을 변경할 수 있게 하였으며 2nd reactor는 2차 연소로 형태의 SNCR 반응로이며 이류체식 노즐에 의해 액상의 반응제를 분사하여 NO_x를 제거하는 장치이다.

각 반응로는 steady state 상태의 온도조건을 유지하기 위하여 electric furnace로 구성되어있다. 최대 전력 40A 로서 1,200℃까지 운전이 가능하다. 반응로 내부는 SUS 재질의 원통형 pipe를 설치하였다. 2nd reactor는 4개의 thermocouple을 설치하여 반응온도를 측정하였다.

2. 2 첨가제를 이용한 SNCR 실험

각종 첨가제에 의한 NO_x의 제거특성을 알아보기 위하여 urea 만의 실험과 함께 alcohol계로 methanol, ethanol, propanol을 사용하고 polyhydric alcohol로 ethylene glycol (HO(CH₂)₂OH)과 glycerol (CH₂OHCH(OH)CH₂OH)을, 그리고 포름알데히드와 아세트산을 사용하였다.

NO의 초기농도는 300 ppm으로 하였으며 urea의 NSR 비는 1.5로 하였다. 첨가제의 주입량은 30 ppm으로 하였으며 urea 용액과 함께 수용액 상태로 하여 주입하였다.

반응기의 운전은 700~1,100℃ 사이에서 20~30℃간격으로 실험하였으며 정확한 실험을 위해 반응기의 온도를 steady state 상태로 운전하였으며 하나의 온도에 대해 10가지의 반응제를 연속으로 투입하여 실험을 하였다. 각각의 반응제는 충분히 안정적인 반응을 위하여 10분이상의 분사를 하였다.

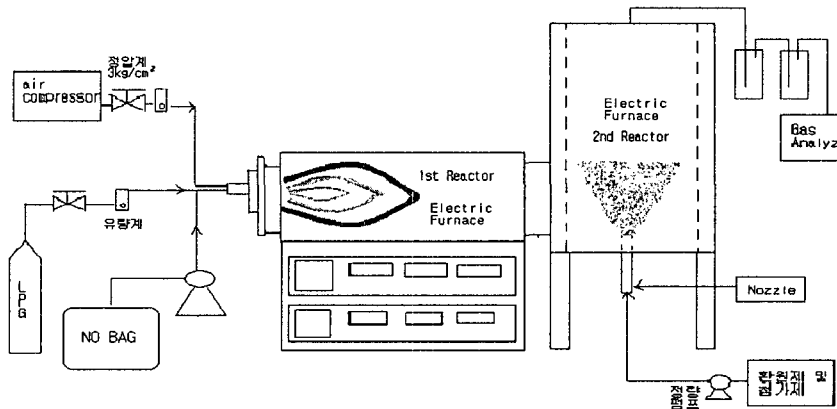


Fig. 1. Diagram of SNCR Experimental System.

3. 결과 및 고찰

첨가제는 alcohols, polyhydric alcohols, formaldehyde, acetic acid 등을 사용하였으며 LPG 버너와 온도조절 장치가 부착된 bench 규모의 반응로에서 실험하였다. 실험 결과에서 다음과 같은 결과를 도출할 수 있었다.

- 1) Urea 만을 주입하였을 때 850℃에서부터 NO가 제거되기 시작했으나 첨가제를 사용했을 때는 750℃ 정도의 저온영역에서부터 NO가 제거되는 것을 확인할 수 있었다. 또한 첨가제에 2중 결합이 있을 때 저온부에서 첨가제의 효과가 잘 나타나지 않음을 알 수 있었다.
- 2) 전산 프로그램을 통한 NOx 제거 모사에서도 실험값과 유사한 결과를 보여 실험의 신뢰도를 높여주고 중간 생성물질의 거동을 봄으로서 첨가제에 의한 저온부에서의 NOx 제거 향상을 확인할 수 있었다.
- 3) 60% 이상의 효율을 달성할 수 있는 가장 낮은 온도영역(870℃)에서 Ethanol, Propanol등이 반응 첨가제로 고려할 수 있지만 처리효율에 차이가 거의 없으므로 실제공정에서의 적용에 있어서는 경제성, 2차 환경문제 반응제의 조제 등의 관점에서 판단되어야 할 것이다. 또한 실제 시설에서 이러한 반응첨가제들의 효용성에 대하여 실증실험 단계를 거쳐야 할 것이다.

참 고 문 헌

- Alzueta, M.U., Bilbao, R., Millera, A., Oliva, M., and Ibañez, J.C.(1998) "Interactions between nitric oxide and urea under flow reactor conditions", Energy & Fuels, Vol.12, pp1001-1007.
- Bilbao, R., Oliva, M., Ibañez, J. C., Zapater, A., Millera, A., & Alzueta, M. U., " The use of urea as selective non-catalytic reduction agent to reduce NOx emissions", Proceedings of the ICCS'97 Essen, Germany, pp1863-1866.
- Cooper, C. D., Alley F. C. (1994) "Air pollution control : a design approach. Waveland Press, pp488-497.