

PE2) 1000Nm³/h 파일럿 플랜트를 이용한 SCR설비의 설계조건에 관한 연구

A Study on Design Condition of SCR System with 1000Nm³/h Pilot Plant

장인갈 · 선철영 · 김정일 · 문길호

두산중공업(주) 기술연구원 환경기술연구팀

1. 서 론

질소산화물(NOx)은 대기오염물질이며, 우리나라 대기환경기준 설정항목중 6대 집중관리항목으로 취급되고 있다. 일반적으로 질소산화물에는 NO, NO₂, NO₃, N₂O, N₂O₃, N₂O₄, N₂O₅등이 존재하는 것으로 알려져 있으나, 대기중에서 검출되는 것은 N₂O, NO, NO₂ 등이며, 이 중에서 관리대상은 NO와 NO₂이다. 최근 정부에서는 질소산화물의 배출을 억제하기 위해 2005년 이후부터 배출허용기준을 대폭 강화할 것을 입법 예고하고 있다. 연소후 배기가스 중의 질소산화물 제어를 위한 선택적 촉매환원공정(Selective Catalytic Reduction: SCR)은 안정적이며 고효율 설계가 가능하여 범용적으로 사용되고 있는 기술이다. SCR 공정의 주요 요소기술에는 촉매기술, 반응기 설계기술 및 환원제 분사 및 혼합기 설계기술 등이 있다. 국내에서는 SCR 공정의 핵심 기술인 촉매에 대한 다양한 연구가 진행되고 있으며, 일부에서는 상용화 초기단계에 있다. 그러나 촉매는 각 제조사별로 물성치가 다르기 때문에 촉매 선택에 따른 SCR 설비의 설계는 유연하게 적용되어야 하며, 이를 위해서는 각종 촉매에 대한 설계 인자별 성능특성을 분석하는 것이 선행되어야 한다. 본 고에서는 SCR 촉매의 성능실험 수행을 목적으로 설계/제작된 1,000Nm³/hr급 SCR 파일럿 플랜트를 이용하여, 상용 구매된 3종의 촉매에 대해 대표적인 설계 인자인 반응온도, NH₃/NO몰비, 공간속도, 선속도 등의 실험조건 변화에 따른 성능특성을 비교분석하였다.

2. 연구 방법

SCR 설비의 설계에 있어서 중요한 촉매소요량 및 반응기 크기 결정에 필요한 인자는 공간속도와 배기가스 선속도이고, 탈질율에 영향을 미치는 인자는 공간속도, 선속도, 반응온도, 암모니아 주입량 및 유동 균일도이다. 여기서, 공간속도는 일반적으로 반응기에 공급되는 유량과 촉매의 체적비, 선속도는 반응기 내의 배기가스의 유속을 표준온도 및 압력으로 환산한 유속, 탈질율은 NO가 제거되는 전환율로써 표현하였다. 우선, 촉매 반응면적의 균일성과 전체적인 활성도를 일정하게 하기 위하여 실험 전 유동측정 실험과 반응기내 유동장의 해석도 병행해서 수행하여 유동의 균일성을 확보하였다. 열교환기에서 조정된 반응온도는 300℃~450℃로써 구간별로 나누어 온도별 성능실험을 수행하였다. 암모니아 몰비에 대한 실험은 온라인으로 측정되는 질소산화물 농도에 따라 암모니아량을 연산시켜 자동제어 분사되도록 설정을 한 후 일정한 온도를 유지하며 성능실험을 수행하였다. 총 4단까지 설치할 수 있는 촉매층은 공간속도를 고려하여 조건에 맞게 단수를 조정 설치하였고, 반응기의 단면적을 조건에 맞게 조정하여 선속도 조건을 설정하였다. 실험조건은 반응온도를 300℃~450℃, NH₃/NO 몰비를 0.6~1.2, 공간속도를 2800~7500h⁻¹, 유속을 0.58~2.33Nm/s로 변경시켜 NOx제거 성능실험을 수행하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1은 3종의 촉매에 대해서 반응온도 변화에 따른 NO전환율 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 이때 암모니아 주입비는 1.0으로 고정하였다. 촉매에 따라 다소 차이가 있으나 반응온도가 증가함에 따라 NO 전환율이 증가하고, 미반응 암모니아도 증가하는 경향이 나타났다. A,C 촉매는 350~400℃ 온도에서 가장 높은 활성도를 나타내고 있으나, 미반응 암모니아도 이 온도영역에서 급격히 증가하는 경향을 보였다. B 촉매의 경우, 저온에서 낮은 활성도를 보이며 특히 미반응 암모니아가 타 촉매에 비해 높게 나타나고 있다. 따라서 B 촉매의 경우, 반응온도의 영향이 NO전환율에 크게 작용하므로 설계 시 부하조건에 따른 영향을 고려해야 하며, 공간속도 면에서도 일반적인 석탄 배기가스에 대표적으로 적용하는 공

간속도 3500~4500h⁻¹범위 내에서도 미반응 암모니아가 급격하게 증가하는 경향을 보이므로 촉매량 선정에도 유의해야 한다. Fig. 2는 선속도 변화에 따른 NO전환율 특성을 비교하여 나타낸 것이다. 이때 반응온도는 350℃, NH₃/NO 몰비는 1.0으로 고정하였다. NO전환율은 공간속도 5600h⁻¹의 경우, A촉매는 선속도가 증가함에 따라 증가하고 있으며, 증가폭도 공간속도3500h⁻¹에 비해 크게 나타났으나, B,C촉매의 경우 선속도에 대한 영향이 크지는 않고, 다만 선속도 1.5Nm/s이상에서는 NO전환율이 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 또한 선속도가 낮을수록 미반응 암모니아가 증가하였다. 공간속도 3500h⁻¹의 경우 선속도 증가에 따라 NO 전환율이 증가하고 있으며, 특히 낮은 선속도에도 80%이상의 높은 효율을 나타내며, 미반응 암모니아도 검출되지 않았다. 따라서 촉매에 따라 차이는 있겠지만, 선속도가 증가할 경우 촉매의 활성도가 증가함을 알 수 있다. 시스템 설계 시, 선속도 증가는 촉매의 침식 우려와 압력손실 증가에 따른 추가비용이 발생할 수 있으므로 적절한 선속도의 설정이 성능 및 비용 측면에서 중요하다.

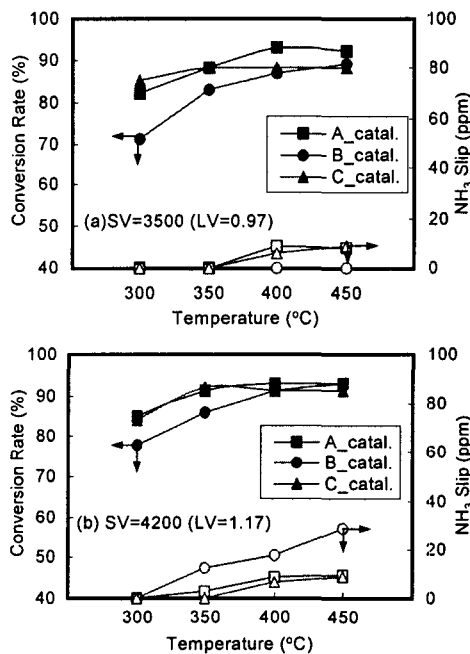


Fig. 1. The effects of temperature on NO conversion ratio(NH₃/NO = 1.0).

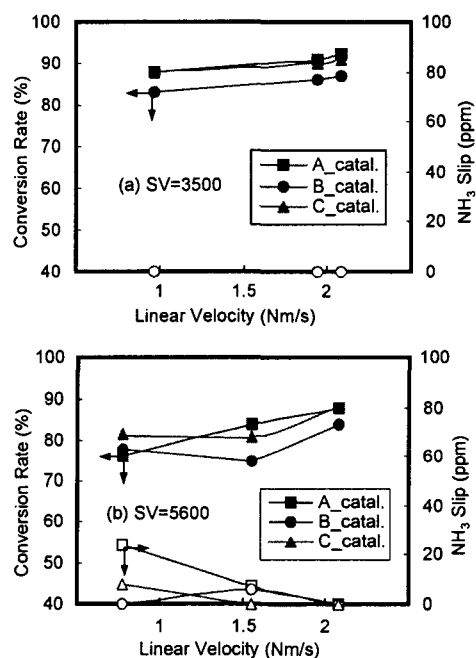


Fig. 2. The effects of linear velocity on NO conversion ratio(Temp.=350℃, NH₃/NO = 1.0).

참고 문헌

- R.P.Gaikwad(2000) Optimizing SCR Reactor Design for Future Operating Flexibility, ICAC Forum 2000 on Cutting NO_x emissions, Session 6.
- J.T.Elston(1999) Impacts of Selective Catalytic Reduction on Utility Sized Boiler System, 1999 Conference on Selective Catalytic and Non-Catalytic Reduction for NO_x Control.
- H.Gurberlet and B.Schallert(1993) Selective Catalytic Reduction of NO_x from Coal Fired Power Plants, Catalysis Today, vol.16, pp. 207~236.
- 최훈 (1995) 「암모니아에 의한 질소산화물의 선택적 촉매 환원에서 구리이온이 교환된 제올라이트 촉매가 담지된 하니콤반응기 설계», 포항공과대학교 대학원 박사학위논문.
- Cho, S.M. and Dubow, S.Z.(1992) Design of a Selective Catalytic Reduction System for NO_x Abatement in a Coal-Fired Cogeneration Plant, Proc. of the 54th Annual Meeting of the American Power Conference, Vol. 78(8).