

반건식 세정법에 의한 배연탈황 기술개발

김병환, 박기호, 경국현, 박철취, 박철린
(주)대우 건설기술연구소

The Development of Spray Drying Absorption Process for Flue Gas Treatment

Byung-Hwan Kim, Gi-Ho Park, Kuk-Hyun Kyung, Chul-Hwi Park, Chil-Lim Park
DAEWOO Institute of Construction Technology

서론

고정배출원인 발전소 및 소각로 배출가스중 대표적인 오염물질인 이황산가스(SO_x)는 각각 600ppm 과 200ppm을 상회하고 있으며, 이를 처리하기 위한 각종 기술중 반건식법은 처리효율이 높고, 폐수처리가 필요없어 경제적인 공정으로 평가받고 있다. 당 연구소에서는 반건식법의 국산 실용화를 최종 목표로 하여, 1993년부터 각종 소각배가스 처리기술중 반건식/백필터 시스템을 최적공정으로 선정하여 기초연구를 수행하였으며, 1994년에는 180Nm³/h규모의 모조 배가스를 이용한 반건식/백필터 시스템 Pilot Plant를 제작 운전하였고, 이를 통해 도출된 결과를 Scale Up 및 현장적용시 기초자료로 활용할 예정이다.

Pilot Plant운전의 주안점은 핵심 설계인자와 최적운전 조건을 설정하기 위한 각인자의 거동특성 고찰과, 현재 소각로등에 적용되고 있는 반건식법의 운전상 문제점으로 지적되는 반응기 벽면에 누적분진을 억제함과 동시에, 효율적인 기/액 접촉 반응기를 개발함에 있다. 따라서 본실험에서는 반건식법의 운전 및 성능에 영향을 미치는 대표적 인자인, 반응기로 도입되는 Bulk 가스의 온도 및 습도와 이를 처리하는 흡수제(Ca(OH)₂) 슬러리의 함량(MER)등에 따른 SO_x 제거특성과 기/액접촉 형태를 달리한 세가지 형태의 반응기 내부 분진누적 특성과 각 반응기의 이황산가스(SO_x)의 제거특성이 조사되었다.

이론

반건식법은 슬러리상의 흡수액을 미세입자로 분무함으로써 기/액접촉을 통한 흡수, 중화반응, 건조 및 흡착의 원리를 이용하여 배출가스속에 함유된 산성가스(SO_x, HCl, HF등)를 제거시키는 공정이다. 분무 초기단계에서는, 슬러리에 함유된 수분으로 인하여 각종 유해가스의 흡수 및 화학반응이 용이하며, 반응기내에서 건조된 생성물에는 많은 미세기공이 형성되어 증금속 및 소수성 유기가스가 흡착제거 되어 배가스 조성이 복잡한 유해물질을 동시제거 가능하고, 아울러 폐수처리도 필요치 않아 경제성도 우수하다. 반건식법의 핵심공정은 (1)분무단계, (2)흡수 및 화학반응 단계와 (3)건조 및 흡착단계로 나눌 수 있다.

제 1단계 슬러리 분무를 위해서는, 흡수제를 전처리하여 소석회 Silo에 저장되고 수분과 함께 슬러리 탱크에서 혼합된 후 처리가스 특성에 맞게 조절 후 슬러리 펌프를 통해 분무장치에 도입한다. 반건식 반응기의 핵심부분인 분무노즐(Atomizer)은 분무되는 특성에 따라 Rotary Atomizer와 Two-fluid Atomizer가 있으며, 본 연구에서는 분사각도 60도인 Two-fluid 노즐(Niro사)을 채택하였다.

제 2단계는 흡수 및 화학반응 단계로, 분무된 슬러리 미세입자는 처리대상 가스와 기/액접촉을 통해 유해가스를 흡수한후 화학반응(중화반응)을 일으키는 데, 대부분의 유해가스는 이 단계에서 제거된다. 반응형태는 흡수제의 표면으로부터 반응되어가는 Shrink Core 모델로 설명이 가능하고, 속도결정단계는 bulk gas에서 슬러리 입자내로의 가스확산과 슬러리내부의 흡수제 입자에서 슬러리액으로의 고체 용해단계로 보고되고 있다.

제 3단계는 건조 및 흡착단계로, 반응기 입구의 도입가스 온도는 200~280℃ 정도가 되므로 분무된 슬러리 입자는 건조과정을 거쳐 미세공간이 형성되어 중금속 및 기타 미반응 유해가스를 흡착 제거하게 된다. 건조과정은 외부에서 도입되는 열량과 슬러리 입자에 함유된 수분 증발열의 균형으로 이루어지며, 비결합수가 건조되는 균일건조와 일부의 비결합수와 결합수가 건조하는 감소건조를 거쳐 처리가스는 최종 100~120℃ 정도로 냉각되어 다음 단계인 백필터로 배출된다. 건조과정을 지배하는 인자로는 도입가스 온도 및 상대습도, 슬러리 입자의 입경, 체류시간과 슬러리 수분함량 등이 있다. 도입온도가 너무 높거나 분무되는 슬러리 입경이 너무 작을 경우 조기건조에 따른 반응효율이 저하되고, 체류시간이 너무 짧거나 수분의 함량이 많을 경우에는 슬러리 입자가 완전히 건조되지 않은 상태로 반응기 벽면이나 하부에 누적되고 백필터에서 처리가 어려워 지는등 공정전체에 장애를 초래하게 된다.

실험

본 시스템의 구성은 아래 그림과 같이 모조배가스 합성장치, 분무탑(Spray Tower), 반건식 반응탑(Spray Drying Absorption, SDA), 백필터 그리고 기타 부수설비로 구성되어 있다. 대상처리가스는 LNG연소 배가스를 바탕가스로 하고 SO_x 500~1500ppm으로 조절된 모조배가스를 합성하여 사용하였다. 반건식 반응기는 내부의 온도 및 가스거동 측정이 가능하도록 200mm간격의 Sampling Port가 설치되어 있으며, 체류시간 조절 및 반응기 내부 누적 분진량 조사를 위하여 반응기 상부 개폐가 용이 하도록 설계되었다. 흡수제로는 반응성, 경제성 및 안전성이 우수하여 현재 실 공정에서 많이 활용되고 있는 Ca(OH)₂로 선정하였다.

Pilot Plant를 운전하며 각종 실험을 행하면서 사용되어지는 측정 및 분석장비로는 가스의 정성 및 정량분석을 위해 Gas Analyzer(IMR 3000P)가 사용되었고, 배출가스의 수분측정, 반응전후의 흡수제 입자의 입도분포 측정등이 이루어졌으며, 공정 각 부위의 온도는 Data Logger에 자동입력 되도록 하였다.

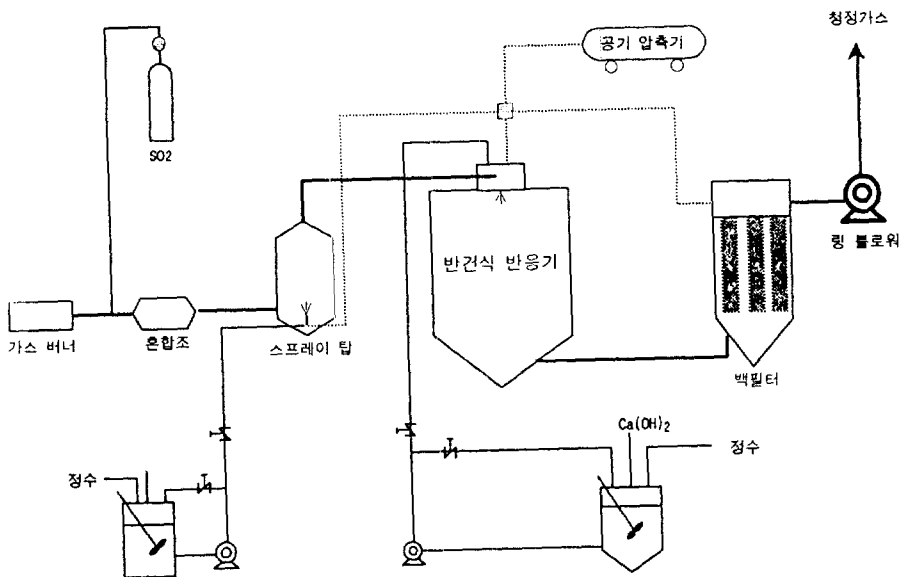


그림 1. 반건식/백필터 공정의 흐름도

결 과

반건식반응기로 도입되는 가스의 입구온도가 높을수록 제거율은 낮아지고(그림 2), 수분주입량에 대한 배가스 제거영향은 그림 3과 같이 수분 주입량이 많을수록 제거율은 일부 향상 되었으나 전체 제거율에는 그리 민감한 영향은 없었다. 분무되는 흡수제(Ca(OH)₂) 슬러리의 MER(Molar Equibalance Ratio)의 SO₂제거거동은 그림 4와 같이 민감함을 알 수 있었다. 아울러 기/액접촉 형태를 달리 한 세가지 반응기에 대한 반응기내 분진누적 특성과 각 반응기의 SO_x제거특성을 그림5와 표1에 요약하였으며 수직접촉형 반응기에서의 제거율 및 누적분진량 억제 효과가 매우 우수하였다.

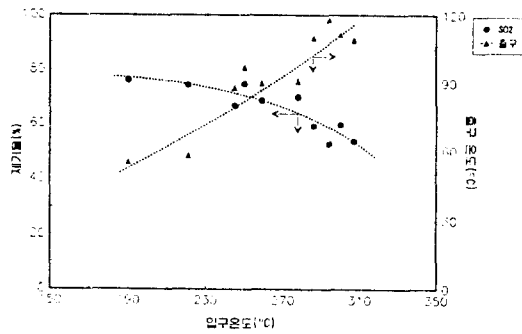


그림 2. 입구온도 변화에 따른 SO_x 제거특성

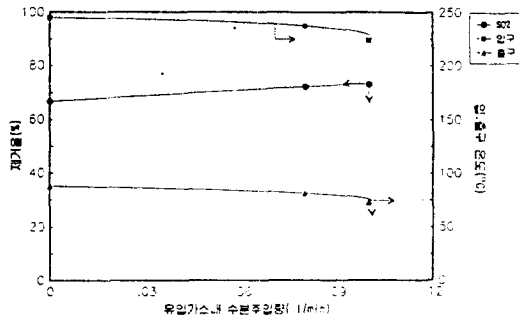


그림 3. 수분 주입량에 따른 SO_x 제거특성

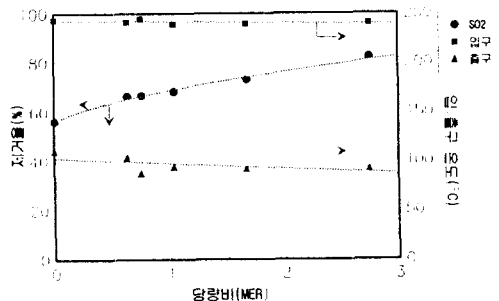


그림 4. 흡수제 당량비(MER)에 따른 SO_x 제거특성

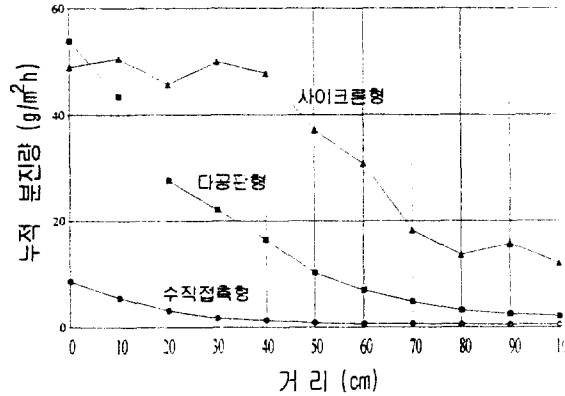


그림 5. 반응기 형태별 누적분진량

표 1. 반응기 형태별 SOx 제거특성 및 평균 누적분진량

반응기 형태	반건식 반응기				백필터 제거율(%) (백압력 100mm H ₂ O)	전체 제거율 (%)
	입구 SO _x 농도(ppm)	입구 SO _x 농도(ppm)	제거율(%)	평균누적 분진량 (g/m ² h)		
사이크론형	1012	324	67.9	33.7	78.9	93.22
다공판형	1042	293	71.9	17.6	78.9	93.81
수직접촉형	1098	227	79.3	2.2	78.9	95.63

참고문헌

- Grant B. Frame, "Air Pollution Control System for Municipal Solid Waste Incinerators", J. of APCA, 38(8), August 1988, p1081-1087
- A. L. Cannel & M.L.Meadows, "Effects of Recent Operating Experience on the Design of Spray Dryer FGD System", J. of APCA, 35(7), July 1985, p782-789
- Kenneth R.Murphy, N.Z.Shiling & Henry Pennline, "In-duct Scrubbing Pilot Study", J. of APCA, 36(8), Aug. 1986, p953-958
- R. A. Davis, J. A. Meyler & K.E. Gude, "Two-Fluid Nozzle vs. Rotary Atomization for Dry-Scrubbing system", CEP, April 1983, p51-59
- Jonas Klingspor, Hans T. Karlsson, Ingemar Bjerle, "A Kinetic Study of the Dry SO₂-Limestone Reaction at Low Temperature", Chem. Eng. Commun., Vol. 22, 1983, p81-103
- Ann-Mari Stromberg & Hans T. Karlsson "Limestone based Spray Dry Scrubbing of SO₂", Chem. Eng. Sci., 43(8), 1988, p2095-2102
- James D. Kilgroe & Michael g. Johnston, "EPA Assesment of Technologies for Controlling Emissions from Municipal Waste Combustion", Solid Waste & Power, Dec. 1989, p18-30
- 강석호, 한도홍, "분무건조장치의 원리와 응용", 화학공업과기술, 8(1), 1990, p30-38
- Aharon Sahar & Ephraim Kehat, "SO₂ Removal from Hot Flue Gases by Lime Suspension Spray in a Tube Reactor", Ind. Eng. Chem. Res., 1991, 30 p435-440
- Hans T. Karlsson, Jonas Klingspor, Narita Linne & Ingemar Bjerle, "Activated Wet-Dry Scrubbing of SO₂", J. of APCA, Vol33, No1, January 1983, p23-28
- Peter J. Kroll & Peter Williamson, "Application of Dry Flue Gas Scrubbing to Hazardous Waste Incineration", J. of APCA, 36(11), Nov. 1986, p1258-1263
- L. J. Muzio, G.R.Offen, "Dry Sorbent Emission Control Technologies" J. of APCA, 37(5) May 1987, p642-654