

## Development of Pilot-Scale Scrubber for Simultaneous Removal of SO<sub>2</sub>/NO

Seung-Ho Jung<sup>1,2</sup>, Gwi-Taek Jeong<sup>2</sup>, Gwang-Yeon Lee<sup>4</sup>,  
Don-Hee Park<sup>2,3</sup>, Jin-Myeong Cha<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Korea Testing and Research Institute for Chemical Industry, Gwangju 506-301,  
Korea

<sup>2</sup>School of Biological Sciences and Technology, <sup>3</sup>Institute of Bioindustrial  
Technology, Chonnam National University, Gwang-ju 500-757, Korea

<sup>4</sup>Dept. Ophthalmic Optics, Dong-A College, Jeonnam, 526-872, Korea

<sup>5</sup>Bio & Environmental Tech. Co. Ltd., Jeonnam 519-831, Korea

TEL: +82-62-530-1841, FAX: +82-62-530-1909

### Abstract

SO<sub>x</sub> and NO<sub>x</sub> are known major precursors of acid rain and thus the abatement of their emissions is a major target in air pollution control. To obtain basic data on the removal process of simultaneous SO<sub>2</sub>/NO, the optimal reaction condition and the composition of reaction solution for simultaneous removal of SO<sub>2</sub>/NO were investigated using a bubble column reactor. Pilot scrubber was consisted of scrubber, filter and control box. Dust removal rate was 83, 92, and 97% with catalyst flux of 0.5, 0.8, 1.5 L/min, respectively. Average dust removal efficiency with a kind of nozzle was about 94 and 90% in STS FF6.5 (5/8in.) and 14 of P.P W(1.0 in.), respectively. Dust and SO<sub>2</sub> were removed more than 98-96% regardless of reactor number. In the case of NO gas, removal yield of 83.3% was achieved after 48 hours in 1 stage, also removal yield of 95.7% was reached in 2 stages. In the case of application of STS (5/8 in.) and P.P. (1.0 in.) as used fill packing, removal efficiency was reached higher than 98% without related to of kind of fill packing.

## 서론

대기오염물질들 중 대부분을 차지하는 것이 황산화물(SOx), 질소산화물(NOx), 일산화탄소(CO), 분진(particulates), 휘발성유기화합물(volatile organic compounds, VOCs), 다이옥신(dioxin)등인데, 특히 SOx, NOx등의 산성가스들은 현재 대기오염제어에 있어 가장 중요한 제거 대상물질로 인식되고 있으며, 생성 양적으로 대부분을 차지하는 것이기도 하며, 직접적으로 자극성가스, 부식성가스로 작용 할 뿐만 아니라 산성우(acid rain)와 2차 광화학 스모그의 원인 물질로 작용하는 유독성 대기오염 물질이다.<sup>1)</sup> 대기오염 물질 중 SO<sub>2</sub>의 경우 물에 쉽게 용해되는 특징을 이용하여 습식처리공정을 이용하여 제거되고 있으며 NO gas의 경우 물에 쉽게 용해되지 않아 촉매를 이용한 선택적 촉매환원법(selective catalytic reduction; SCR)이나, 비선택적 촉매환원법(selective non-catalytic reduction; SNR)이 이용되고 있다.<sup>2-5)</sup> 본 연구에서는 Pilot scale의 반응기를 제작해 습식촉매의 반응조건에 따른 SO<sub>2</sub>/NO 동시제거 공정의 처리 효율을 살펴보고자 한다.

## 재료 및 방법

소형 소각시설 등에서 발생하는 dust 및 SO<sub>2</sub>와 NO를 제거하고자 Pilot scrubber를 제작하였다. Pilot scrubber는 크게 스크러버(scrubber)와 filter, control box로 구성되었으며, Fig. 1은 Pilot scale scrubber의 개략도이다. 배가스 분석은 가스의 유입농도와 반응 후 유출농도는 toxic gas monitor PGM-35와 검지관(Gastec Co.) 및 Green Line MK2(Eurotron, Italy)를 이용하여 측정하였다.

### 1. 스크러버(scrubber)

Pilot scrubber는 아크릴 재질로 내경은 0.18 m, 외경은 0.20 m이고 전체 높이는 2.25 m이다. 충전물은 5/8 in 크기의 STS 재질과 1.0 in 크기의 P.P 재질로 이루어진 pall ring을 사용하였다. 각각 0.65 m인 2단 충전 구조를 가지고 있으며, mist eliminator의 높이는 0.6 m이었다.

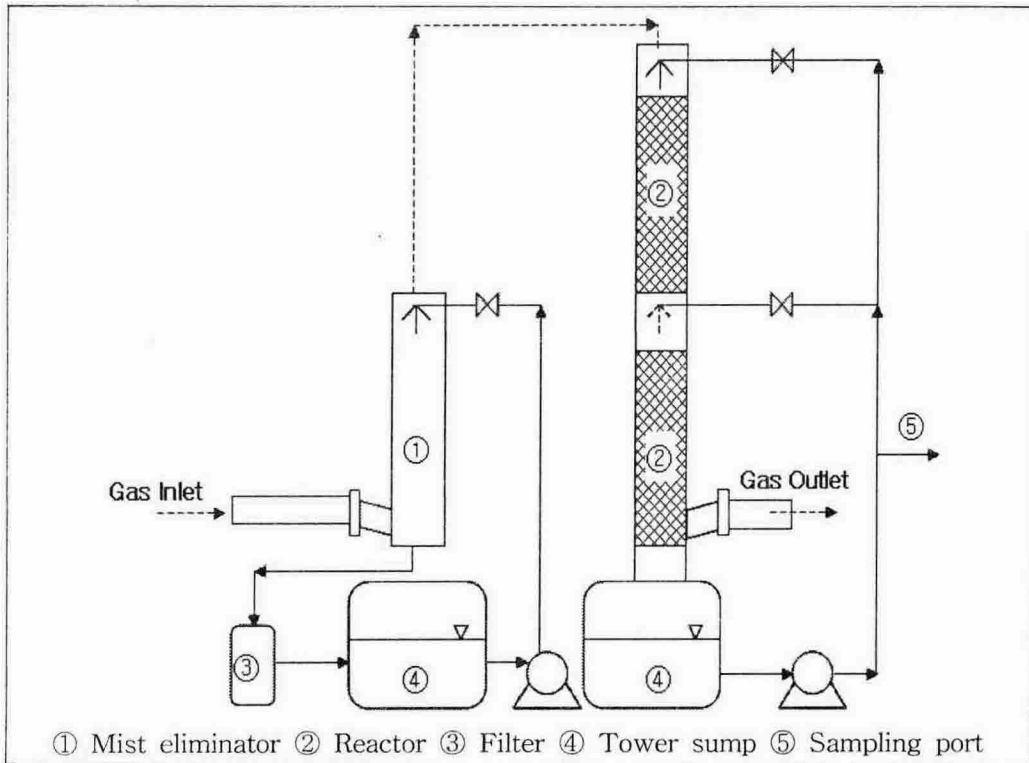


Fig. 1. Schematic diagram of pilot scale scrubber.

## 2. Filter

Filter는 mist eliminator를 통해 제거된 dust와 운전 과정에서 발생하는 협잡물을 여과하기 위한 시설이다. Mist eliminator 상부에 위치한 노즐에서 분사된 습식촉매는 Mist eliminator를 통과하면서 유입가스 중 포함되어 있는 dust를 제거한다. Dust를 제거한 습식촉매는 펌프를 이용해 filter로 유입시키고, filter를 통과한 습식촉매는 dust와 분리된다.

## 3. Control box

액상촉매를 제작한 pilot scrubber에 투입한 다음  $200 \pm 20 \text{ mg/Sm}^3$ 의 dust 농도,  $375 \pm 25 \text{ ppm SO}_2$ ,  $155 \pm 20 \text{ ppm NO}$  농도에서 실험을 진행하였다. 스크러버는  $0.10 \text{ m/s}$ 의 가스유속,  $4.2 \sim 9 \text{ L/min}$ 의 촉매유량,  $27.52 \sim 58.98 \text{ L/m}^3$ 의 액기비, 운전 단수를 기준으로  $0.5 \sim 1.0 \text{ m}$ 의 충전 높이에서 운전하였다.

## 결과 및 고찰

SO<sub>2</sub>와 NO gas의 제거율을 향상시키기 위하여 scrubber의 높이를 통상적으로 사용되는 높이보다 높게 만들었으며 scrubber 내 충전층의 높이도 이에 비례해 높게 설치하였다. Peter Harriott에 의하면 습식공정으로 NO gas를 제거하기 위해서는 NO 흡수탑의 높이가 일반적인 SO<sub>2</sub> 흡수탑 높이의 30배 정도가 되어야 효과적이었으며 직경과 충전층 높이로 약 1:4 정도의 비율을 제시하였다.<sup>6)</sup> 충전탑 높이 외에 사용되는 습식촉매의 유량과 유입기체 유량, 충전물의 종류 등에 변화를 주어 최적 운전조건을 찾기 위한 실험을 진행하였다.

### 1. Dust 제거

Scrubber의 운전 없이 mist eliminator만 운전되었으며 가스 유속은 0.1 m/s였다. 습식촉매는 2 L/min, 3 L/min, 4 L/min의 유량으로 반응기 상부에서 분사되었으며 이때 사용된 노즐은 5/8 in. STS재질의 FF6.5이며, 조건은 Fe(II)-EDTA 0.03 M, ascorbic acid 0.024 M, adipic acid 0.024 M, sodium sulfite 0.09 M, dust 150±10 mg/Sm<sup>2</sup>, 초기 pH 5, 운전 온도 35°C, 4% O<sub>2</sub>이다. 실험결과 dust 제거율은 시간에 따른 제거율의 차이는 거의 존재하지 않았으며 촉매 유량에 따라 변화함을 확인할 수 있었다. 촉매유량이 0.5 L/min 이었을 때 약 83%, 0.8 L/min 이었을 때 약 92%, 1.5 L/min 이었을 때 약 97%의 제거율을 보이고 있다(Fig 2).

Scrubber의 운전 없이 mist eliminator만 운전되었으며 가스 유속은 0.1 m/s였다. 습식촉매는 1.0 L/min의 유량으로 반응기 상부에서 분사되었으며 이때 사용된 노즐은 5/8 in. STS 재질의 FF6.5와 FF10 그리고 1.0 in. P.P 재질의 14W였다. 유입 dust의 농도는 170±10 mg/Sm<sup>2</sup>이며, 조건은 Fe(II)-EDTA 0.03 M, ascorbic acid 0.024 M, adipic acid 0.024 M, sodium sulfite 0.09 M, 초기 pH 5, 운전 온도 35°C, 4% O<sub>2</sub>이다. 실험결과 모든 노즐에서 시간에 따른 제거효율의 차이가 크게 발생하지 않았으며, 노즐 종류에 따른 제거효율의 차이만 존재하였다. Dust 제거효율이 가장 좋은 노즐은 5/8 in. STS 재질의 FF6.5로 평균 제거율이 약 94% 정도였으며 제거효율이 가장 나쁜 노즐은 1.0 in. P.P 재질의 14W로 약 90% 정도였다. FF6.5의 경우 분사각이 45°로 스크러버 내부 벽면을 타고 흐르는 습식촉매의 양이 적어 유입 dust와 습식촉매의 물리적 접촉이 원활히 발생하였다. FF10의 경우 분사각이 58°로 FF 6.5와 비교하여 스크러버 내부 벽면을 타고 흐르는 습식촉매 양이 많아 제거효율이 92% 정도로 약 2% 정도 감소함을 볼 수 있었다. 14W의 경우 분사각이 120°에 습식촉매의 액적 크기

가 커서 dust 제거효율이 상당히 떨어짐을 볼 수 있었다(Fig 3).

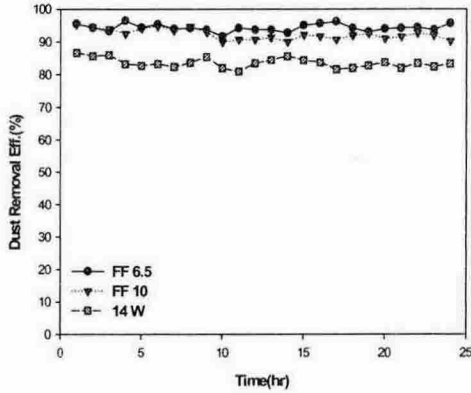


Fig. 2. Effect of catalyst flux for dust removal.

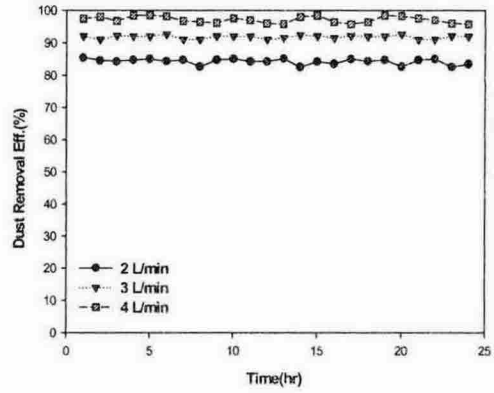


Fig. 3. Effect of nozzle for removal Dust.

## 2. 반응기 단수에 따른 SO<sub>2</sub>/NO 및 dust의 제거효율

SO<sub>2</sub>/NO 및 dust 제거에 있어 반응기 운전단수의 영향을 실험하였다. Scrubber 1 단의 높이는 0.65 m 이었으며 충전층의 높이는 0.5 m이었다. Dust를 제거하기 위한 mist eliminator는 두 조건에서 모두 운전되었으며 가스 유속과 액기비는 각각 0.10 m/s, 58.98 L/m<sup>3</sup>로 동일하였다. SO<sub>2</sub>와 NO의 농도는 각각 375 ppm, 155 ppm 이었으며 dust와 O<sub>2</sub> 농도는 각각 210 mg/Sm<sup>3</sup>, 4%이며, 조건은 Fe(II)-EDTA 0.03 M, ascorbic acid 0.024 M, adipic acid 0.024 M, sodium sulfite 0.09 M, 초기 pH 5, 운전 온도 35°C, 4% O<sub>2</sub>이다. 실험 결과 dust와 SO<sub>2</sub>의 경우 반응기 운전단수와 상관없이 각각 98%, 96% 이상의 높은 제거율을 가지는 것으로 나타났다. 하지만, NO gas의 경우 1단으로 운전할 경우 48시간 후 83.3%의 제거율을 보였으나, 2단으로 운전할 경우 95.7%의 제거율을 보여 2단으로 운전할 시 약 15%의 제거효율 증가가 이루어지는 것으로 나타났다(Fig. 4). 또한 1단 운전을 할 때 운전 16 시간 후 NO gas의 제거율의 감소가 시작됨을 확인할 수 있었으며 이후 사용 촉매량을 감소시키면서 NO gas 제거율을 유지하는 연구의 필요성이 제기 되었다.

## 3. 충전물 에 따른 SO<sub>2</sub>/NO 및 dust의 제거효율

사용된 충전물은 5/8 in. 길이의 STS 재질 pallring과 1.0 in. 길이의 P.P 재질 pallring이었으며 FF 6.5 노즐과 14 W 노즐을 각각 Mist eliminator와 reactor에 사용

하였다. 스크러버는 0.10 m/s의 가스유속, 7 L/min의 촉매유량으로 운전되었으며 조건은 Fe(II)-EDTA 0.03 M, ascorbic acid 0.024 M, adipic acid 0.024 M, sodium sulfite 0.09 M, SO<sub>2</sub> 380 ppm, NO 160 ppm, dust 209 mg/Sm<sup>3</sup>, 초기 pH 5, 운전 온도 35 °C, 4% O<sub>2</sub>이다. SO<sub>2</sub>, dust의 제거효율은 충전물의 종류와 상관없이 98% 이상의 제거효율을 보이고 있다(Fig. 5). NO의 제거율을 보면 운전 초기부터 17시간 까지는 제거효율에 큰 차이가 없는 것을 볼 수 있었다. 하지만, 17시간 운전 이후 1.0 in.의 P.P 재질 pall ring의 제거효율이 더 우수하며 24시간 운전 후 86%의 제거율을 보여 80%의 제거율을 보인 5/8 in.의 STS 재질 pall ring 보다 7.5% 정도 증가한 것을 볼 수 있었다.

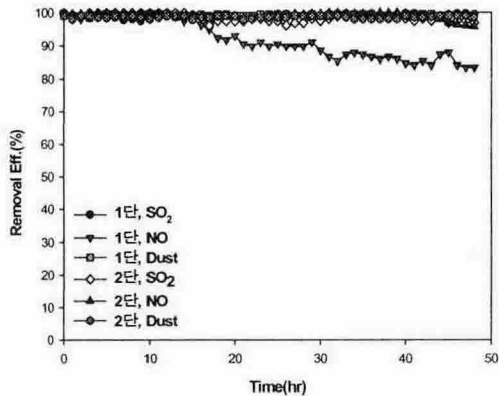


Fig. 4. Effect of reactor number for removal SO<sub>2</sub>/NO/dust.

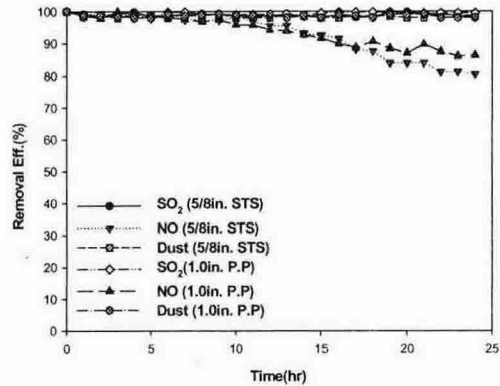


Fig. 5. Effect of reactor number for removal SO<sub>2</sub>/NO/dust.

### Acknowledgments

This research was financially supported by the Program for the Training of Graduate Students in Regional Innovation, which was conducted by the Ministry of Commerce Industry and Energy of the Korean Government.

### Reference

1. Dalton, S. M. (1992), Evolution of Flue Gas Desulfurization Design Reagent Change in the U.S.A., *Symp. Energy&Environ.*, Pargue, Czechoslovakia, pp 20-23.
2. Kunio, K. and S. Hidenori (1994), Effective Dry Desulfurization by a Powder-Particle Fluidized Bed, *J. Chem. Eng. Jpn.* 27, 276-278.

3. Jung, J. H., B. H. Shon, K. S. Yoo, and K. J. Oh (2000), Physicochemical Characteristics of Waste Sea Shell for Acid Gas Cleaning Absorbent, *Kor. J. Chem. Eng.* 17, 585-592.
4. Tsuchiai, H., T. Ishizuka, H. Nakamura, Y. Ueno, and H. Hattori (1996), Study of Flue Gas Desulfurization Absorbent Prepared from Coal Fly Ash: Effects of the Composition of the Absorbent on the Activity, *Ind. Eng. Chem. Res.* 35, 2322-2326.
5. Jung, J. H., K. S. Yoo, G. W. Lee, K. J. Oh, and H. H. Lee (2002), A Study on the  $\text{Ca}(\text{OH})_2\text{-SO}_2$  Reaction Characteristics in a Fixed Bed Reactor Using Shrinking Core Model, *J. Kor. Soc. Env. Eng.* 24, 1911-1922.
6. Harriott, P. (1993), Simultaneous removal of NO and  $\text{SO}_2$  in packed scrubbers or spray towers, *Environmental progress* 12, 110.