

## 반건식 배연탈황법에 의한 연소 폐가스 중 SO<sub>2</sub> 제거에 관한 연구

### A Study on SO<sub>2</sub> Removal in Flue Gas by Semidry Flue Gas Desulfurization Method

송 호 철 · 이 윤 기 · 박 진 원

연세대학교 화학공학과

(1997년 10월 26일 접수, 1998년 6월 24일 채택)

Ho-Cheol Song, Yun-Ki Lee and Jin-Won Park  
*Department of Chemical Engineering, Yonsei University*

(Received 26 October 1997; accepted 24 June 1998)

#### Abstract

The investigation on the removal of SO<sub>2</sub> gas from flue gas which causes serious air pollution was made by using a semi dry flue gas desulfurization method. Experiments were carried out as a function of process variables which would affect SO<sub>2</sub> removal efficiency. Process variables included SO<sub>2</sub> inlet concentration, inlet temperature of simulated flue gas, sorbent weight fraction, and volume flow rate of sorbent slurry.

In this study, used sorbent was Ca(OH)<sub>2</sub>, and simulated flue gas was prepared by mixing pure SO<sub>2</sub> gas with air. Experimental conditions were varied at 140~180°C of inlet temperature of the simulated flue gas, 500~2000 ppm of inlet SO<sub>2</sub> concentration, 0.4~1.0% of sorbent concentration, and 10~25 mL/min of flow rate of sorbent slurry.

Among process variables, inlet concentration of SO<sub>2</sub> was found to be the most significant factor to affect SO<sub>2</sub> removal efficiency. The concentration of Ca(OH)<sub>2</sub> had a lower effect on SO<sub>2</sub> removal than SO<sub>2</sub> inlet concentration. And maximum removal amount can be calculated. When we used 0.4, 0.8, 1wt% of Ca(OH)<sub>2</sub> slurry, maximum removal amount was 0.108, 0.141, 0.153 g SO<sub>2</sub>/g Ca(OH)<sub>2</sub> respectively.

As 200 mmol of HNO<sub>3</sub> was added into slurry to improve removal efficiency, initial pH was maintained and solubility of slurry increased, so that removal efficiency elevated. Adding over 200 mmol of HNO<sub>3</sub> into slurry caused removal efficiency lower. Therefore it could be concluded the optimum was 200 mmol of HNO<sub>3</sub> input.

**Key words** : SO<sub>2</sub>, Semidry Flue Gas Desulfurization, inlet temperature, inlet SO<sub>2</sub> concentration, slurry flow rate, pH of slurry

#### 1. 서 론

인류는 문명의 발달 이후 인구의 급격한 증가와

산업의 발달로 인한 에너지의 급격한 사용증가 등으로 이전에 없었던 환경의 위기에 처해있다. 이 중 대기 중에 배출되는 산성 가스에 의해 발생하는 산성비에 의한 오염, 대기질의 악화, 광화학 스모그 등

은 현재 많은 문제를 일으키고 있으며, 그 오염 물질의 배출을 엄격히 규제하고 있는 상황이다.

대기 중에 존재하는 SO<sub>2</sub> 가스는 주로 연료의 연소와 산업 공정을 통해 발생되며 특히 중유 및 석탄 연소에 의한 기여율이 매우 높게 나타난다. 대기 중의 SO<sub>2</sub>는 산성비, 호흡기 질환 등의 요인으로 작용하기 때문에 선진국에서는 70년대부터 SO<sub>2</sub>의 저감을 위한 각종 정책을 수행하여 큰 효과를 거두고 있다. SO<sub>2</sub>의 저감 방법으로는 저황유 공급, 청정 연료의 보급 확대, 고체 연료의 사용규제 및 배연 탈황 등이 있으며 각 나라마다의 특성을 고려한 방법의 적용이 바람직하다. 우리나라의 경우 매년 총 연료 사용량은 증가하고 있으나 SO<sub>2</sub>연료규제를 실시하고 있는 대도시 지역의 경우 환경 대기 중의 SO<sub>2</sub>의 농도 감소가 두드러지게 나타나고 있다(환경처, 1992).

그러나 대기 중의 농도 수준으로 보아 아직도 청정 환경 조건에는 미흡한 실정이며 비규제 지역의 경우 SO<sub>2</sub> 배출량의 증가는 계속되고 있어 이에 대한 대책 마련이 요구되고 있다. 현재 실시 중인 연료 규제나 청정연료의 보급만으로는 선진국 수준의 대기질을 유지하기가 매우 어려우며 SO<sub>2</sub> 배출량이 큰 산업 시설에 대해서는 배연 탈황 기술의 도입이 적극적으로 이루어져야 한다.

배연 탈황 공정은 흡수제의 재생 여부에 따라 크게 비재생 공정(Limestone, Lime, Limestone & Lime, Dual-Alkali 등)과 재생공정(Magnesia, Wellman-Lord, Citrate, Aqueous Carbonate, IFP-Catalytic Inc., Copper-Dry Bed, Carbon-Dry Bed 등)으로 나뉘어진다. 또한 흡수제의 수분 함량에 따라 습식, 건식 및 반건식 공정으로 구분되며 현재까지 개발된 배연탈황 공정은 수십 가지에 이른다(Halt, 1992; Delleney, 1988; Stern, 1988).

현재 가장 널리 상용화되어 있는 처리 방식은 비재생 습식 석회 공정으로 기술적인 완성도 및 신뢰성 면에서 가장 우수하다고 알려져 있다. 그러나 습식법의 경우 초기 투자비가 크고 설치 면적이 크며 폐수처리 및 장치 부식의 문제점을 안고 있다. 건식법은 일반적으로 초기 투자비 및 에너지 소모율이 작고 부산물의 처리 비용도 감소하는 장점을 나타내지만 제거 효율이 낮고 대형 시설의 경험이 적은 단점이 있다(Harriot, 1990). 반건식 방식은 분무건

조방식이 대표적이며, 기-고 반응을 주로하는 건식법보다 제거율이 높고, 장치가 습식법에 비하여 비교적 단순하여 기존의 공정에 부가하여 사용하기 쉬운 이점이 있다. 그러나, 습식법에 비하여 제거율이 낮아 고농도의 배출가스에 적용하기에는 어려운 문제가 있어, 현재는 저농도의 배출가스에 적용하여 사용하고 있다(나진균, 1994; Torrens, 1988).

현재, 국내의 실제 공정에는 대부분 습식법에 의한 SO<sub>2</sub> 제거가 이루어져 있다. 반건식법은 국내에서는 화력발전소 등의 대형시설에 적용한 예가 없으나, 외국에서는 대형 시설에 사용실적이 많은 것으로 보고되고 있다. 반건식법의 효율을 향상시키는 연구가 진행되고 있다. 특히 고농도에의 적용을 위하여 흡수제의 개선, 신흡수제의 개발, 접촉 방법의 개선, 흡수제의 리사이클 등 여러 분야에서 연구가 되고 있다(John, 1995; Kurt 1994; Pakrasi, 1990).

본 연구에서는 화력발전소에서 발생하는 폐가스를 실제 농도와 유사하게 제조하여 반건식 배연탈황공정에 의한 SO<sub>2</sub>의 제거 실험을 행하였다. 폐가스의 도입농도, 도입온도, 흡수제의 농도, 흡수액의 공급 유량 등을 공정 변수로 설정하여 변수들의 변화가 제거 효율에 미치는 효과를 관찰하였다. 그 후, 제거효율을 높이기 위해 질산을 투입하여 흡수제의 용해도를 증가 시키는 방법을 공정에 적용하였고, 그 결과 제거율에 미치는 영향과 그 원인을 고찰하였다.

## 2. 이론적 배경

Ca(OH)<sub>2</sub>를 흡수제로 사용했을 때 분무건조 반응기 내부에서 일어나는 SO<sub>2</sub> 제거반응의 mechanism은 아래와 같다고 알려져 있다(Ruhland, 1989).

- (1) Bulk gas phase에서 액적의 경계층으로의 계속적인 물질전달  

$$\text{SO}_2(\text{g}) \rightarrow \text{SO}_2(\text{aq})$$
- (2) 액상에서의 SO<sub>2</sub>의 수화반응  

$$\text{SO}_2(\text{aq}) + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{HSO}_3^- + \text{H}^+$$

$$\text{HSO}_3^- \rightarrow \text{H}^+ + \text{SO}_3$$
- (3) 액상 표면에서 반응면으로의 물질전달
- (4) 분사되는 액적과 흡수제 입자사이의 물질전달  

$$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{s}) \leftrightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq})$$

$$\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{aq}) \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^-$$

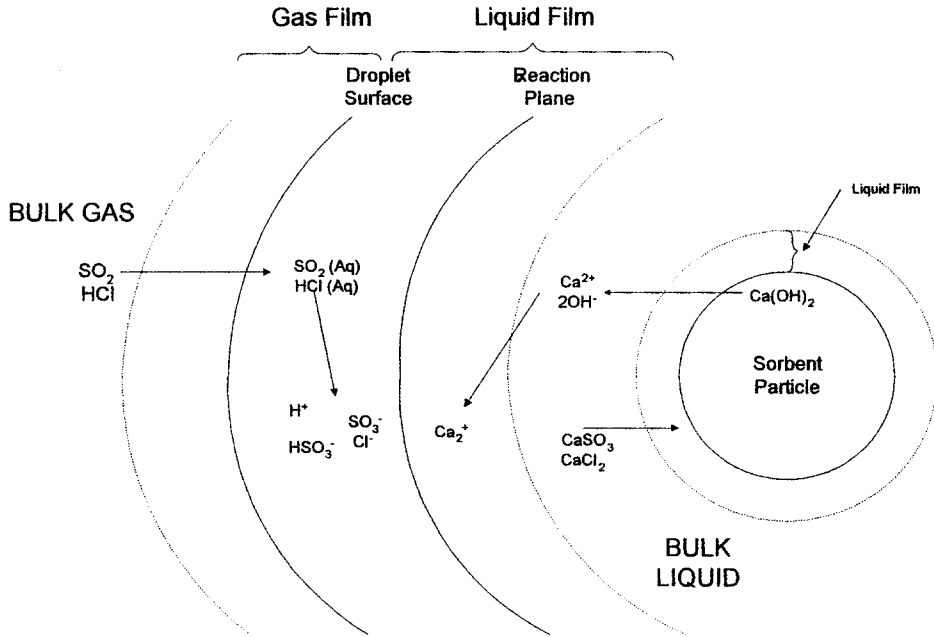
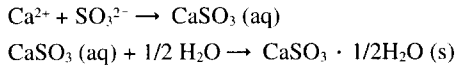
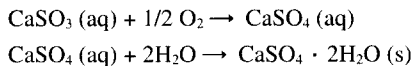


Fig. 1. Reaction mechanism.

(5) 흡수제 입자와 수화된 SO<sub>2</sub>의 반응에 의한 CaSO<sub>3</sub>의 형성



(6) CaSO<sub>3</sub>의 산화반응



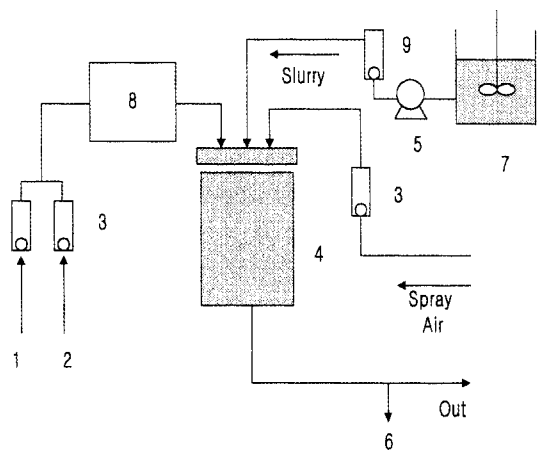
### 3. 실험 및 방법

#### 3.1 실험장치

전체 시스템은 크게 SO<sub>2</sub> 도입부, Ca(OH)<sub>2</sub> 도입부, 분무건조 반응기, preheater, 분석부로 구성되어 있으며 실험장치의 개념도를 그림 2에 나타내었다.

분무건조 반응기는 부식을 고려하여 stainless steel로 제작되었다. 반응기의 윗부분에는 분사 nozzle이 부착되어 있고, 모사 연소 폐가스와 흡수제 slurry가 도입된다. 반응기는 지름 15cm, 높이 40cm의 원통형으로 구성되어 있다. 그림 3에 내부 상세도를 보였다.

SO<sub>2</sub> 도입부는 순수 SO<sub>2</sub>와 압축공기를 혼합하여



1. SO<sub>2</sub> 2. Compressed Air 3. Gas rotameter 4. Spray Dryer  
5. Pump 6. Analyzer 7. Slurry Tank 8. Preheater  
9. Liquid flow meter

Fig. 2. Schematic diagram of system.

실험에 필요한 농도를 맞출 수 있도록 구성되어 있다. Ca(OH)<sub>2</sub> 도입부는 slurry tank와 교반장치로 구

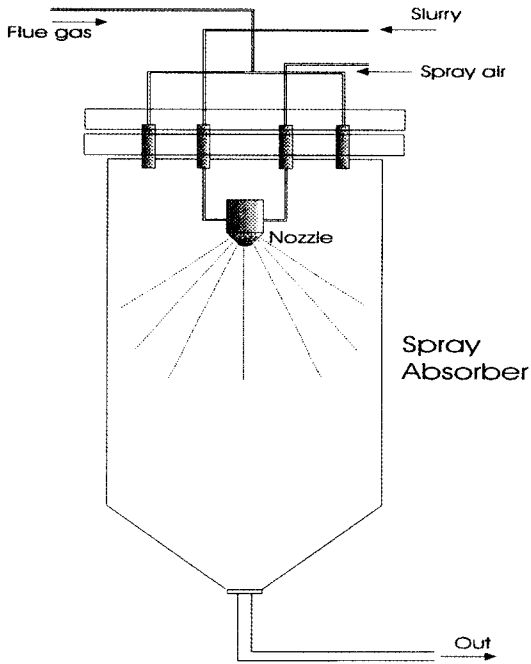


Fig. 3. Schematic diagram of spray dryer.

성되어 있으며, 액체용 무맥류 정량 펌프를 이용하여 일정량의 액체를 공급할 수 있도록 되어있다. 분석부는 배출되는 폐가스를 일부분 분리하여 흡수액을 이용하여 흡수시킬 수 있도록 impinger를 이용한 장치로 이루어져 있다. preheater는 전기를 이용하여 가열하게 되어 있으며, 100~250°C의 범위에서 온도를 조절하여 기체를 가열할 수 있도록 설계되었다

3.2 실험방법

실험 변수들은 분사기체의 유량, 흡수제의 농도, 흡수액 slurry의 부피유량, 도입되는 모사 폐가스의 온도, SO<sub>2</sub>농도, 부피 유량 등이다.

실험은 우선 도입되는 모사가스의 농도를 측정하기 위하여 공시험을 한다. 흡수액 slurry를 흘리지 않고, 모사가스와 분사공기만을 흘린 후 농도를 측정한다. 실제 실험에는 흡수액을 흘려 SO<sub>2</sub>를 제거하고 난 후 배출되는 농도와의 차이에서 제거율을 계산하였다.

흡수제는 시판되는 Lime 분체를 사용하였으며,

325 mesh 체를 이용하여 체를 통과한 미분체만 사용하였다. Tank 내부에서 침전하는 것을 막기 위해서 교반을 행하여 주었다.

Preheater와 반응기 내부에서의 체류 시간을 고려하여 공정 변수의 조건 변화시 충분한 시간을 두고 정상상태에서 sampling을 시행하였다. 공정변수 조건은 아래와 같다.

Table 1. Process variables and operation conditions.

모사폐가스 도입농도 (ppm)	500, 1000, 1500, 2000
모사폐가스 도입온도 (°C)	140~180
Ca(OH) <sub>2</sub> slurry 농도 (wt%)	0.4, 0.8, 1
흡수액의 유량 (mL/min)	10, 15, 20, 25

3.3 분석방법 (James, 1989)

배출가스 중 SO<sub>2</sub>는 3% H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 수용액에 흡수시킨 후 적정법으로 분석한다.

흡수장치로는 250 mL impinger를 사용하였으며, 흡수 용액으로 0.01 N NaOH를 사용하여 적정하였다. 그리고, 지시약으로는 Brom Phenol Blue를 사용하였다.

폐가스 중 SO<sub>2</sub> 농도 계산식은 다음과 같다.

$$V_s = 298 \frac{V}{T}$$

여기서 V는 sampling 한 기체의 총부피이며, T는 sampling 당시의 기체 온도 (°K)이다.

$$SO_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} = \frac{\text{total no. of mmoles of SO}_2 \text{ in sample}}{V_s} \times 6.41 \times 10^4$$

$$SO_2 \text{ (ppm)} = SO_2 \text{ (mg/m}^3\text{)} \times 0.382$$

4. 결과 및 고찰

4.1 분사 공기의 유량

이류체 분사 nozzle에 공급되는 분사 공기의 양에 따라 만들어지는 액적의 크기가 달라지게 된다. 분사 공기의 유량이 증가하면 액적의 크기는 줄어드는 경향을 보이고, 이것은 곧 모사가스와의 접촉 표면적의 증가를 의미한다.

적절한 흡수액 slurry의 분사조건을 파악하기 위하여 순수한 물을 이용하여 실험을 하였다. 2~5

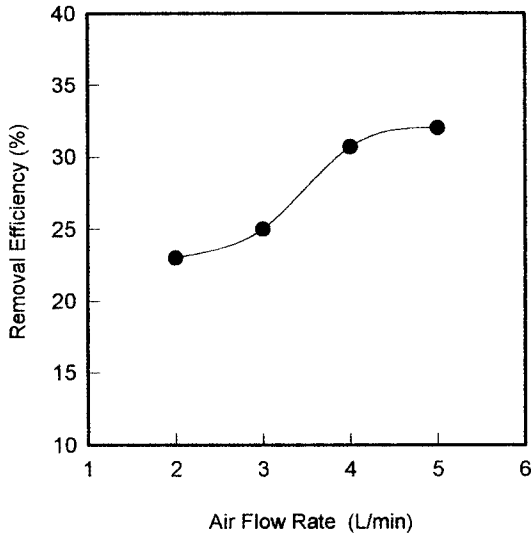


Fig. 4. The Effect of Spray Air Rate on Removal Efficiency. SO<sub>2</sub> Inlet Conc. 500 ppm, Water Flow Rate 20 ml/min, Inlet Gas Temp. 15°C.

L/min의 공기 유량을 분사 시켰을 경우 제거율의 변화를 그림 4에 보였다. 분사 공기의 유량이 늘어남에 따라 제거율이 증가하는 경향을 보인다. 그러나, 4L/min 이상에서 제거율은 거의 일정한 값을 나타낸다. 분사 공기 유량이 4L/min 이하의 경우는 액체의 유량에 비하여 기체의 분사 공기 유량이 부족하기 때문에 액적의 크기가 커지며, 불균일하게 액적이 생성된다. 이러한 경우 nozzle을 통하여 액적이 미세하게 만들어지면서 확산이 이루어지지 않으며, 접촉에 의한 제거율도 유량이 높은 경우에 비하여 현저히 감소한 현상을 보인다. 본 반응기의 경우 최소 4L/min 이상으로 분사 공기를 도입하여야 하는 것으로 결론을 내렸으며, 이 후 실험에서는 분사 공기의 유량을 4L/min으로 고정하였다.

#### 4.2 도입기체의 온도

일반적으로 배연탈황공정에서 도입되는 기체의 온도는 140~200°C의 범위에 분포되어 있다. 도입되는 온도가 높을수록 액적은 빨리 건조되어 기-액 반응을 저해하게 된다. 따라서 액적이 액체로 둘러 싸여 있는 시간이 길수록 SO<sub>2</sub>의 제거에는 유리하다. 그리고, SO<sub>2</sub>의 물에 대한 용해도는 온도가 상승함에 따라 감소하여 기-액 반응을 저해하므로

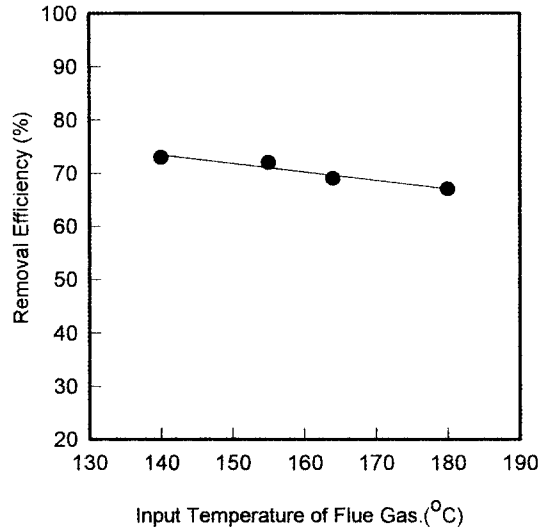


Fig. 5. The Effect of Inlet Gas Temp. on Removal Efficiency. Ca(OH)<sub>2</sub> 1wt%, Slurry Flow Rate 20 mL/min.

가능한 폐가스를 낮은 온도로 유입하는 것이 SO<sub>2</sub> 제거에 유리하다.

모사가스를 140~180°C의 범위에서 도입하고 제거율의 변화를 살펴 본 결과를 그림 5에 보였다. 도입 SO<sub>2</sub> 농도를 500 ppm으로 하고 실험한 결과, 140~180°C에서 도입가스의 온도가 증가함에 따라 제거율은 감소하게 된다. 도입온도가 높을수록 액적의 건조가 빨리 일어나게 된다. 그래서 반응 속도가 빠른 기-액 반응이 일어나는 시간이 짧아져서 제거율이 다소 감소하는 것으로 사료된다. 제거율의 측면에서는 도입가스의 온도가 낮을수록 유리하지만, 도입온도가 일정수준 이하로 내려가게 되면 도입가스 속의 수증기가 반응기의 벽면에 응축하게 된다. 이럴 경우 장치의 부식을 초래하게 되며 안전성면에 있어 문제가 있다. 그래서 장치의 안전을 고려하여 기체의 도입온도를 180°C로 고정하였다.

#### 4.3 흡수제 유량 및 농도에 따른 SO<sub>2</sub> 제거

흡수액의 유량을 10~25 mL/min의 범위에서 변화 시키면서 도입농도 500, 1000, 1500, 2000 ppm 인 조건에서 SO<sub>2</sub> 제거율을 관찰하였다. 흡수제의 질량비가 각각 0.4, 0.8, 1.0 wt%인 경우 SO<sub>2</sub> 제거량을 그림 6, 7, 8에 보였다.

SO<sub>2</sub>의 도입농도가 증가함에 따라 SO<sub>2</sub> 제거량은 증가하다가 일정하게 되는 경향을 보였다. 이것은 흡수제의 농도가 1 wt%로 일반적인 상용 배연탈황 공정에 비해 낮으며, SO<sub>2</sub>의 농도에 비해서도 상대적으로 낮기 때문에 제거할 수 있는 SO<sub>2</sub>의 양이 제한되어 있다는 것을 의미한다. 따라서 투입된 흡수제 농도에 따라 최대 SO<sub>2</sub>의 제거량을 계산할 수 있다. 흡수제 농도가 0.4, 0.8, 1.0 wt%인 경우 최대 SO<sub>2</sub> 제거량은 각각 0.108, 0.141, 0.153 g SO<sub>2</sub>/g Ca(OH)<sub>2</sub>이다.

한편 흡수액의 유량이 증가함에 따라서 SO<sub>2</sub> 제거량은 상승하는 현상을 보인다. 흡수액의 농도가 일정할 때, 유량이 증가하면 분사 입구에서의 액적의 크기는 커지고 액적의 수량은 줄어든다. 액적의 크기가 커짐에 따라 표면적도 감소하게 되며 이러한 표면적의 감소는 bulk gas에서 액적으로서의 SO<sub>2</sub>의 물질전달 속도를 감소시켜 제거량의 감소를 가져올 것으로 생각된다. 또한 액적의 수량의 감소도 제거율에 있어 감소 요인이 될 것으로 판단된다. 그러나 이와 반대로 흡수액의 유량이 늘어남에 따라서 투입되는 흡수제의 양이 증가하여 제거량에 있어 상승 효과를 가져올 것으로 생각된다. 이 두 가지

효과가 동시에 경쟁하였을 때, 후자의 효과가 제거량에 미치는 영향이 더 크기 때문에 흡수액 유량의 증가에 따라 제거량이 증가하는 것으로 사료된다.

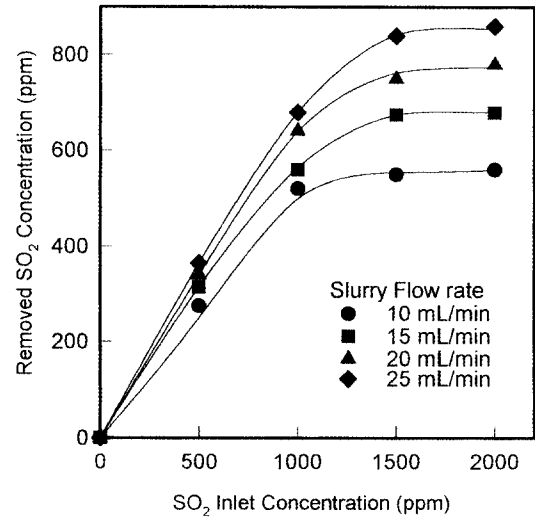


Fig. 7. The Effect of Inlet SO<sub>2</sub> Conc. on Removed SO<sub>2</sub> Conc. at the different Slurry Flow Rate. Ca(OH)<sub>2</sub> 0.8 wt%, Inlet Gas Temp. 180°C.

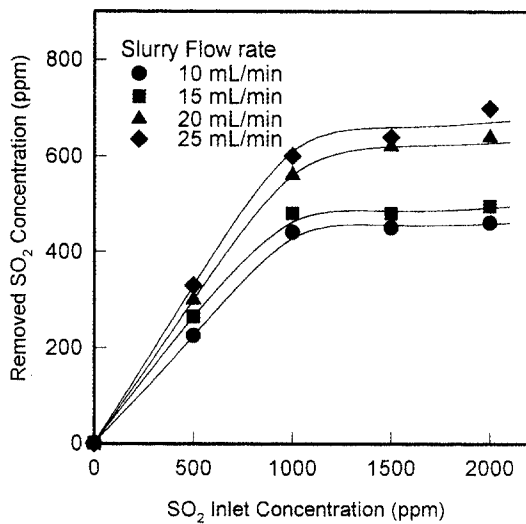


Fig. 6. Effect of SO<sub>2</sub> Inlet Conc. on Removed SO<sub>2</sub> Conc. at the different Slurry Flow Rate. Ca(OH)<sub>2</sub> 0.4 wt%, Inlet Gas Temp. 180°C.

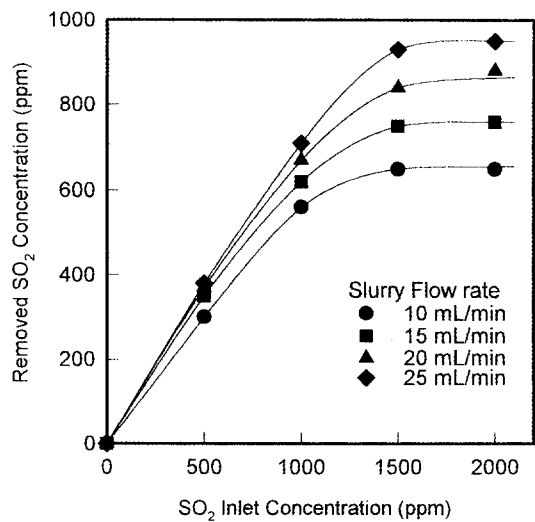


Fig. 8. The Effect of SO<sub>2</sub> Inlet Conc. on Removed SO<sub>2</sub> Conc. at the different Slurry Flow Rate. Ca(OH)<sub>2</sub> 1 wt%, Inlet Gas Temp. 180°C.

4.4 용해도 변화에 따른 제거율의 변화

Ca(OH)<sub>2</sub>의 물에 대한 용해도는 매우 낮다. 따라서, SO<sub>2</sub>의 제거율을 높이기 위하여 흡수제 slurry의 pH를 변화 시킴으로써 Ca(OH)<sub>2</sub>의 용해도를 높여려는 실험을 하였다.

본 실험에서는 HNO<sub>3</sub>를 Ca(OH)<sub>2</sub> slurry에 투입하고 slurry pH와 Ca(OH)<sub>2</sub> 용해도의 변화를 관찰하였다. 용해도는 투입한 Ca(OH)<sub>2</sub>의 질량과 용해 후 남아있는 Ca(OH)<sub>2</sub>의 질량의 차이에서 계산하였다. 용해도의 단위는 질량 계측의 편의를 위해 물 1000g을 기준으로 하였다.

HNO<sub>3</sub> 투입에 따른 pH의 변화를 그림 9에 나타내었다. 다량의 HNO<sub>3</sub>(약 200 mmol)를 투입하여도 slurry pH는 거의 변화가 없다. 200 mmol 이상을 투입할 때는 소량의 HNO<sub>3</sub>를 투입하여도 pH는 크게 변했다. 이 결과는 초기에 다량의 HNO<sub>3</sub>가 투입되어도 이에 대응하여 미용해된 Ca(OH)<sub>2</sub>가 Ca<sup>2+</sup>와 2OH<sup>-</sup>로 분리되며 중화반응이 일어나 Slurry 전체의 pH는 거의 변하지 않게 되기 때문인 것으로 생각된다. 이때 반응 mechanism에서 보였듯이 흡수액 Slurry 속에는 SO<sub>2</sub>와의 반응에 참가하는 Ca<sup>2+</sup>의 농도가 증가하게 된다. 따라서, pH가 일정하게 유지되고 Ca(OH)<sub>2</sub>의 용해도가 증가하는 부분에서 slurry 속의 Ca<sup>2+</sup> 농도가 증가함에 따라 SO<sub>2</sub>의 제거율이 증가할 것으로 사료된다.

질산 투여에 따른 제거율의 변화를 실험하였으며 결과를 그림 10에 보였다. 약 200 mmol의 질산이 투입되었을 때 제거율이 가장 증가하는 결과를 보였다. 이는 그림 9에서 보였듯이 약 200 mmol의 질산이 투입되었을 때, pH는 거의 초기값을 유지하고 용해도는 거의 최고 값을 보였던 결과에서 비롯된 것으로 판단된다.

pH를 일정하게 유지하는 농도 이상으로 질산을 투입하게 되면, 마찬가지로 Ca<sup>2+</sup>가 용해되어 나오게 되나, 그 양은 미약하다. 대부분의 미용해 Ca(OH)<sub>2</sub>는 pH가 일정한 부분에서 용해되고 소량만이 남아 있기 때문이다. 이 후 계속해서 질산을 투입하면 제거율은 오히려 감소하게 된다. 이것은 액적의 내부에 Ca<sup>2+</sup>의 농도는 거의 일정하게 유지되지만, pH를 감소시키는 H<sup>+</sup> 이온의 농도가 상승하여 SO<sub>2</sub>가 액적으로 용해되는 것을 방해하기 때문이라고 사료된다. 약 240 mmol이 투입되었을 때는 질산을 투입하

지 않고 실험한 경우 보다 제거율이 오히려 낮게 나타나는 현상을 보였다. 이 결과는 질산 투입 초기에는 용해되어 나오는 Ca<sup>2+</sup> 이온과 SO<sub>2</sub>의 반응성이 액적 표면의 H<sup>+</sup> 이온이 SO<sub>2</sub> 용해를 방해하는 효과보다 커서 제거율이 증가하는 것으로 사료된다. 이

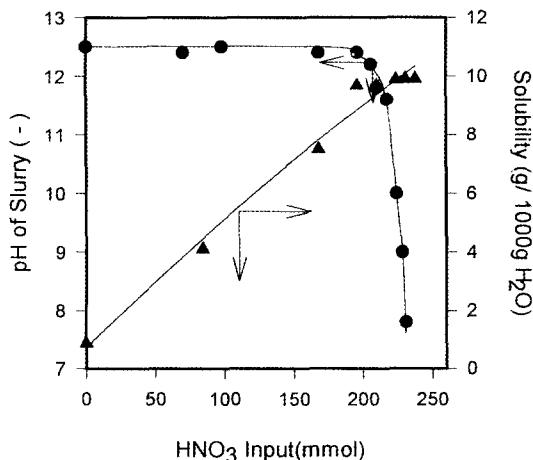


Fig. 9. The pH Variation of Ca(OH)<sub>2</sub> slurry with HNO<sub>3</sub> Input.

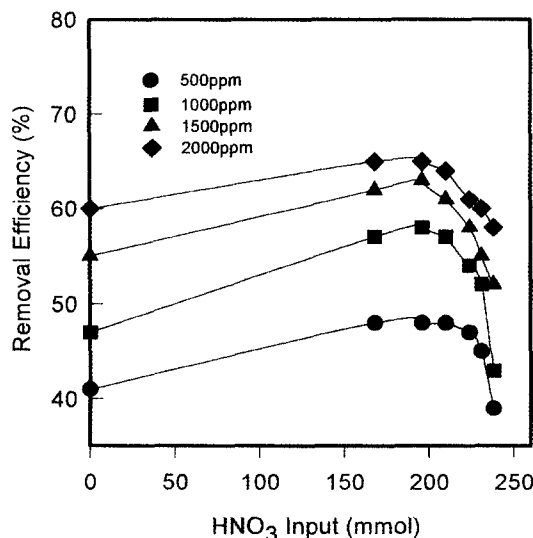


Fig. 10. Effect of HNO<sub>3</sub> Input on Removal Efficiency. Ca(OH)<sub>2</sub> 1 wt%, Slurry Flow Rate 20 mL/min.

후 질산의 투입에 따라서 대부분의  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 용해한 후에는 두 효과가 서로 경쟁하며 거의 모든  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 용해하여 소량의 질산 투입에도 slurry pH가 급격히 감소하는 부분에서는 두 가지 효과 중 후자의 것이 영향력이 더 커서 제거율이 감소하는 것으로 생각된다.

위의 결과를 종합해 볼 때  $\text{SO}_2$ 의 제거율을 높이기 위해서 흡수액 slurry에 산성용액을 투입하여  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 용해도를 높이는 것이 효과적이라고 판단되었다. 그리고 그 투입량은 slurry pH가 일정하게 유지되고  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 용해도가 증가하는 부분에 한정하는 것이 최적의 제거 효과를 거둘 수 있을 것이라고 사료된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 반건식 분무 건조식 반응기를 제작하여 화석연료 연소 폐가스 중의  $\text{SO}_2$  제거 실험을 행하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 본 실험 장치에서 살펴본 결과 분사공기의 유량은 분사 액적의 크기에 영향을 미치는 바, 적정한 분사효과는 4L/min 이상에서 얻어졌다.

2) 여러 가지 공정 변수에 따른  $\text{SO}_2$  제거율을 살펴본 결과,  $\text{SO}_2$  제거율은  $\text{SO}_2$  도입농도와 가장 밀접한 관계가 있었으며, 흡수제의 slurry의 농도, 흡수액의 유속, 도입온도의 영향은 상대적으로 작은 것으로 판단되었다. 또한, 흡수제의 유량, 농도가 증가할수록 제거량은 증가하는 경향을 보였다.

3) 흡수제의 농도가  $\text{SO}_2$ 의 농도에 비해 낮기 때문에 제거용량에 제한이 있었으며, 흡수제 농도가 0.4, 0.8, 1 wt% 일때, 최대 제거량은 0.108, 0.141, 0.153 g  $\text{SO}_2$ /g  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  였다.

4)  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 용해도를 상승시키기 위하여  $\text{HNO}_3$  용액을 투입한 결과, 약 200 mmol의 질산이 투입될 때까지는  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 의 해리에 의해 slurry pH는 일정하게 유지되면서 slurry 속의  $\text{Ca}^{2+}$ 농도가 증가하는 현상을 보였다. 이로 인해  $\text{SO}_2$  제거율은 증가하였으며, 200 mmol 이상의 질산이 투입된 경우에는 pH가

급격히 감소하며 제거율이 감소하는 경향을 보였다. 약 200 mmol 질산을 투입하는 것이  $\text{SO}_2$  제거율의 향상 측면으로 볼 때 최적이라고 판단되었다.

## 참 고 문 헌

- 나진균(1994) 산업용 배연탈황공정 개발을 위한 단위장치 개발, G7과제 보고서.
- 환경처(1992) 환경백서, 1992.
- Delleney, R.D. (1988) FGD research and development status in the US. EPA/EPRI First Combined FGD and Dry  $\text{SO}_2$  control Symp.
- Ruhland, F., Kind, R. (1989) The kinetics of the absorption of sulfur dioxide in calcium hydroxide suspension, Chemical Engineering Science, 46(4).
- Halt, B.W., Sedman, C.B.(1992) Current Status of the ADVACATE Process for Flue Gas Desulfurization, J. Air Waste Management Association, 42(1).
- Harriot, P.(1990) A simple model for  $\text{SO}_2$  Removal in the Duct Injection Process, J. Air Waste Management Association, 40(7).
- James, P. Lodge (1989) *Method of air sampling and analysis*, 3<sup>rd</sup> ed., 523-528, Lewis publisher Inc.
- John, F. Sanders (1995) Heated fly ash/hydrated lime slurry for  $\text{SO}_2$  removal in spray absorbers, 34, 302-307.
- Kurt, K. Kind (1994) Effect of salts on preparation and use of calcium silicates for flue gas desulfurization, Environmental Science and Technology, 28(2), 277-283.
- Pakrasi, A, Davis, W.T., Reed, G.D. (1990) A combined  $\text{Ca}(\text{OH})_2/\text{NH}_3$  Flue Gas Desulfurization Process for High Sulfur coal, J. Air Waste Management Association, 40(7).
- Perry, R.H. (1994) *Chemical engineer's Handbook*, McGraw Hill, New York
- Stern, R.D. (1988) An overview of EPA's program for retrofit sorbent injection technologies, EPA/EPRI First Combined FGD and Dry  $\text{SO}_2$  control Sym.
- Torrens, I.M. (1988) EPRT Perspective on  $\text{SO}_2$  control technologies, First Combined FGD and dry  $\text{SO}_2$  control symp.