

실험실적 규모의 분무흡수건조반응기의 배출가스 중 아황산가스 처리성능 연구

Flue Gas Sulfur Dioxide Removal Performance of a Bench-Scale Spray Absorption/Drying Reactor

동종인·구우회·임대현
서울시립대학교 환경공학과
(1996년 2월 9일 접수, 1996년 8월 6일 채택)

Jong-In Dong, Woo-Hoi Goo, Dae-Hyeon Lim
Department of Environmental Engineering, Seoul City University
(Received 9 February 1996; accepted 6 August 1996)

Abstract

The main purpose of this study was to investigate sulfur dioxide removal performance of flue gas desulfurization system utilizing a Spray Absorption/Drying Reactor. In this system, the size of droplets was considered the most significant factor and tested using a PDA system. Lime slurry flow rate, operating temperature, calcium/sulfur (Ca/S) ratio and applied air pressure were selected as major operation variables and tested/analyzed in terms of system performance. The results are as follows.

1. The SO₂ removal efficiencies were 49%, 74%, 85% for Ca(OH)₂ slurry flow rate of 10, 20, 30 ml/min, which implies that the increase of slurry flow rate improves removal efficiency. The optimum slurry flow rate in this study was, however, considered 20 ml/min because of constraints of system troubles and absorbent utilization.
2. As Ca/S ratio increased, SO₂ removal efficiency was observed to increase.
3. As air pressure, at the atomizing nozzle, increased from 3 to 5 kg/cm², SO₂ removal efficiency increased from 74% to 80%, because of droplet size reduction due to pressure increase during atomizing process and the increase of surface area, helping mass transfer between gas and liquid phase.

Key words : sulfur dioxide, spray absorption/drying reactor, droplet size

1. 서 론

산성비 등의 국제적 이슈와 국내 대기환경개선을 위한 3단계의 배출허용기준 강화 및 총배출량 규제실시 등으로 인하여 대형 대기오염물질 배출시설에서는 대책마련과 관련장치의 설치가 필수적으로 되었다. 아황산가스의

배출저감기술은 선진국가들에 있어서는 그 기술이 실용화되어 많은 장치들이 설치되고 있으나, 우리나라는 아직 기술개발경험이 거의 없는 상태이다. 국내의 기술수요가 급격히 늘어날 것으로 예상되는 본 기술은 국내의 기술진들에 의해 개발되지 못할 경우, 외국업체들에 기술시장이 잠식될 우려가 다분히 있으므로 그 기술개발이 시급히 요청되고 있다. 외국의 경우 기본적인 공정개발

은 완성된 상태이고 다만 효율 향상 및 경제적인 공정의 개발을 활발히 진행하고 있다.

일반적으로 활용될 수 있는 배기가스의 아황산가스의 제거공정을 크게 습식법과 건식법 두 가지로 나눌 수 있다. 습식법은 아황산가스를 일단 물에 용해시킨 뒤 슬러리상에서 이온반응을 유도하는 형태로 기체-액체-고체가 존재하는 가장 일반적인 방식이다. 이 공정은 배출가스 중의 아황산가스가 bulk상태로 존재하는 물-슬러리와 접촉하여 이중 흡수제와 반응을 일으키는 것으로 혼합과 접촉시간면에서 장점이 있으나, 장치가 커지고 슬러지를 탈수하여 폐기해야 하며 탈황 후 가스를 재가열해야 하므로 전체 운영비가 높아진다는 단점이 있다 (박원훈 등, 1991).

건식법은 비교적 최근에 개발되고 있는 방법으로 집진 장치의 성능향상과 더불어 주목을 받고 있다. 그러나, 일반적인 건식법은 근본적으로 기체-고체간의 반응이라는 한계 때문에 효율 측면에서 그리 높지는 않은 것으로 알려지고 있으나, 비교적 장치가 단순하고 수처리 비용이 절감되는 장점으로 관심을 끌고 있고, 미국을 중심으로 효율제고와 신공정개발을 활발히 하고 있다. 또한 기체-고체간의 반응이라는 한계점을 극복하기 위하여 반건식 방식(분무흡수건조방식)이 시도되고 있고, 축적된 운전결과가 주목된다. 따라서 본 연구에서는 기초실험을 통하여 분무흡수건조방식의 실험실적 규모의 배연탈황장치를 제작하여 예비실험과 실제 운전조건에서의 기초실험 등을 실시하여 pilot 및 실증설비 규모의 설계 및 효율향상을 위한 기초로 삼고자 한다.

2. 실험장치 및 실험내용

2.1 실험장치

본 연구에서 쓰인 실험장치의 전체 공정흐름도는 그림 1에 나타낸 바와 같다. 주요장치는 배기가스를 생성하는 보일러, 아황산가스를 흡수하고 건조시켜 제거하는 분무 흡수건조반응기 (SADR, spray absorption/drying reactor)와 반응기에서 생성된 분진을 제거하기 위한 여과집진장치로 구성되며, 반응기로의 분무를 위한 노즐은 이류체식 압력노즐을 사용하였다. 배기가스는 버너에서 LPG를 태워 발생한 배가스에 순수 아황산가스를 혼합하여 원하는 농도의 아황산가스를 제공할 수 있도록 하였다. 또한 석회슬러리의 원활한 공급을 위하여 원심펌프를 이용하였고, 노즐에 가압공기를 공급하기 위하여 air compressor를 설치하였다. 석회 슬러리는 슬러리 교반조에서 물과 석회를 주입하여 충분히 혼합되도록 교

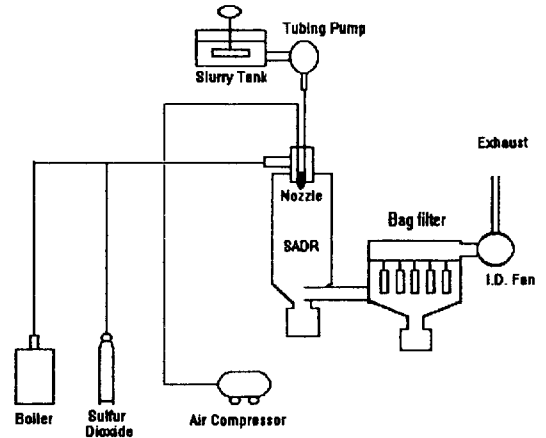


Fig. 1. Flow diagram of spray absorption drying reactor system.

Table 1. Experimental data for spray absorption/drying reactor (SADR).

Part	Variable/Operating Condition	Description/Data
Scrubber	Diameter	300 mm
	Height	180 cm
Nozzle	Dual Media	Compressed Air
	Construction Material	SUS-304
	Nozzle Orifice Diameter	1.3 mm
Bag Filter	Type	Fabric Filter
	Air Flow	7 Am ³ /min
	Size	450 × 560 × 745 mm
	Shaking Type	Manual
Experimental Conditions	Concentration of SO ₂	300, 500 ppm
	Gas Flow Rate	0.7 Nm ³ /min
	Gas Inlet Temperature	200°C
	Gas Retention Time	6~8 sec
	Slurry Flow Rate	10~30 ml/min

반하였다. 각 실험장치의 사양과 운전조건을 표 1에 나타내었다.

분무건조흡수반응기 자체의 구조는 그림 2와 같다. 배기가스는 분무된 슬러리와 하향병류식으로 접촉하도록 설계되었다. 노즐은 반응기 상부에 설치하였고 하단에는 호퍼를 설치하여 비교적 입자가 큰 반응생성물을 포집할 수 있도록 하였다. 반응기의 열손실을 막기 위해 외부를 ceramic wool로 단열하고, 반응기내의 온도변화를 측정하기 위해 8곳에 측정구를 설치하고, 온도 sensor를 설치하였다.

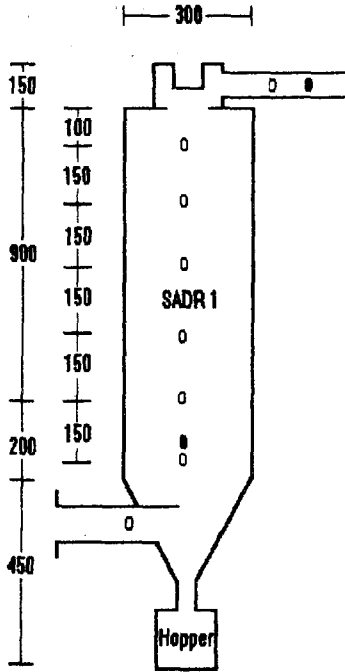


Fig. 2. The side view of the main reactor.

Table 2. Composition of lime used in the experiment.
(Test Method: KSL-9004)

Component	Content	Component	Content
Ca(OH) ₂	93.56%	MgO	0.90%
SiO ₂	1.45%	Al ₂ O ₃	0.05%
Fe ₂ O ₃	0.24%	R-CO ₂	-
S	-	기타	4.00%
BET area	1.25 m ² /cc		

본 연구에 사용된 석회의 성분분석의 결과 표 2에 나타난 것과 같이 Ca(OH)₂가 93.56%를 차지하고, 소량의 SiO₂와 MgO가 포함되어 있으며, 325 mesh (pore size : 45 μm)의 경우 통과율이 93.48%였다. 석회의 경우, 공기중의 습도가 높을 때 서로 응고되어 입자가 커지게 되므로 실험 전에 325 mesh를 통과시켜 통과된 석회를 흡수제로 사용하였다.

2.2 실험내용

2.2.1 노즐분사실험 및 반응기 차원결정을 위한 물 분사실험

분사노즐의 특성과 반응기의 설계인자를 도출하기 위

해 물분사실험을 수행하였다. 장치설계에 있어서 가장 중요한 부분이라고 할 수 있는 반응기의 차원을 결정하기 위하여 물만 노즐에 주입시켰을 경우와 석회와 물의 질량비와 슬러리아양을 변화시켜 노즐에 주입하면서 실험을 수행하였다.

또한 반응기의 직경을 도출해 내기 위해 분무기의 높이를 30~110 cm까지 변화시키면서 분무되는 액적의 분사각도와 분무범위를 측정하였다.

2.2.2 PDA (Particle Dynamics Analyzer)를 이용한 분무액적분포 특성실험

분무흡수전조반응기에 있어서 노즐을 통하여 분사되는 액적에 대한 자료를 확보하는 것은 필수적이다. 따라서 액적크기 및 토출속도 측정장치인 Dantech사의 PDA를 이용하여 순수한 물의 유량 변화와 노즐에 공급되는 가압공기의 압력을 조절하여 이에 따른 액적크기의 변화와 토출속도의 변화를 측정하였다. 또한, 노즐에서 분무되는 액적의 특성은 시간과 분사거리에 따라 변화하게 되는데, 이를 파악하기 위하여 노즐로부터의 거리를 15 cm, 35 cm로 변화시켜 각각의 거리에서 액적크기변화와 액적의 이동속도 변화를 측정하였다. 이의 정확한 측정을 위해서 색소를 첨가한 물을 분사하여 분사범위를 실측하였고, 또한 사진촬영을 통하여 분사각도 등을 관찰하였다.

2.2.3 석회슬러리 분무를 이용한 아황산가스의 처리효율 측정

본 실험은 분무흡수전조반응기의 운전에 있어서 일반적으로 논의되어지고 있는 각 인자 (배가스 유입온도, 화학양론비, 주입슬러리아양)에 따른 처리효율의 변화에 대한 실험을 수행하였다. 또한, 다른 인자는 고정시키고 가압공기량의 변화에 따른 액적크기를 주 인자로 설정하여 각 아황산가스유입농도 (300 ppm, 500 ppm)에 대해 실험을 실시하였다. 액적크기는 분무노즐에 공급되는 슬러리의 유량이나 분무압력 등에 의해 변화되는데, 본 연구에서는 분무압력을 변화시켜 액적크기의 변화를 도모하였다. 각 실험에서는 온도분포를 파악하기 위하여 각 측정구에서 온도를 측정하였다.

3. 실험결과

3.1 노즐분사실험 및 반응기 차원결정을 위한 물 분사실험 결과

표 3은 분무각도와 분무기의 높이에 따른 분무범위를 구하기 위해 수행하였던 물 분사실험의 결과이다. 이 표

Table 3. Spraying angle change according to slurry content and flow rate.

Water only (5 ml/min)	Height (cm)	Diameter (cm)	Angle (deg)
	30	9.6	72.25
	40	12.4	72.77
	50	18.2	69.99
	60	21	70.70
	Avg. 72.4		
Water with lime	Height (cm)	Diameter (cm)	Angle (deg)
(1 wt. %, 5 ml/min)	30	9.8	71.90
	40	11.8	73.56
	50	14.4	73.93
	60	19.8	71.73
	Avg. 72.8		
Water with lime	Height (cm)	Diameter (cm)	Angle (deg)
(10 wt. %, 20 ml/min)	30	19.7	56.77
	40	18.3	65.41
	50	21.3	66.92
	60	23.5	68.61
	70	26.3	69.40
	80	29.7	69.63
	90	33.7	69.47
	110	47	66.86
	Avg. 66.6		

에서 보는 바와 같이 3 kg/cm²의 가압 공기를 주입하면서 물만 5 ml/min으로 주입하였을 경우, 분사각도는 평균 72.4°였다. 또한 가압공기의 상태는 고정시키고 슬러리의 석회함량과 슬러리유량을 각각 10 wt. %와 20 ml/min으로 증가시켜 행한 실험에서 분사각도는 66.6°로 물로만 행한 분무보다는 약간의 감소를 나타냈다. 이는 슬러리 양과 슬러리 내에 존재하는 석회입자가 분무노즐의 분무특성을 변화시키기 때문인 것으로 사료된다. 물만 5 ml/min으로 공급하여 분무하였을 때 분무범위의 직경은 30 cm의 높이일 때 9.6 cm였고, 60 cm의 높이에서는 21 cm로 점차 증가하였다.

1 wt. %의 슬러리를 분사한 실험에서는 물만 공급하였던 실험과 분사각도와 분무범위도 비슷하였다. 그러나 10 wt. %의 슬러리를 주입하여 분사한 실험에서는 60 cm의 높이에서 분무직경이 23.5 cm로 다소 증가하였다. 이 실험에서는 반응조의 직경을 결정하기 위하여 높이를 1 m 안팎까지 증가시키면서 실험하였다. 실험에서는 반응조 내에서 행한 것이 아니기 때문에, 또 수직측정상의 어려움으로 90 cm까지의 높이에서만 측정값이

유용한 것으로 사료된다. 반응기의 높이 90 cm에서 반응기의 직경은 33 cm였으나 고온의 배기가스가 유입되었을 때 빠른 건조가 일어나게 되고 유입가스의 유속에 의해 분무범위는 약간 감소될 것이므로 여분의 20 cm까지도 벽의 젖음 현상을 일으키지 않고 건조될 수 있을 것으로 판단되었다. 가압공기의 압력이 4 kg/cm² 이상이 될 경우 가압공기의 유속이 매우 빨라져 슬러리가 반응기 바닥에 직접 닿게 되거나 다시 뛰어 오르게 될 우려가 있어 반응기의 높이는 1.1 m가 타당할 것으로 생각된다. 향후 실험에서 반응기의 상부 20% 정도만이 액적으로서 존재하는 것으로 나타나 반응기의 추가적인 확장은 건조영역(흡착반응영역)의 연장을 의미하는 것으로 보인다.

3. 2 PDA (Particle Dynamics Analyzer)를 이용한 분무액적 특성실험결과

분무흡수건조반응기의 분무노즐에서 분사되는 액적은 크기가 작아질 수록 표면적이 커지게 되고 이에 따라 SO₂와의 접촉기회를 높이게 된다. 또한, 슬러리 유량이 같고 액적크기가 작아지게 된다면 액적의 수는 더 많아지게 될 것이다. 그러나 너무 작을 때에는 건조가 빨리 진행되어 SO₂의 흡수반응을 억제하게 된다. 따라서 적절한 액적의 크기를 파악하는 것이 필요하다. 본 연구에서는 가압공기의 압력과 유량을 변화시켜 이에 따른 액적크기의 변동을 파악하고자 하였다. 본 연구는 석회슬러리를 이용하지 못하고 순수한 물만을 대상으로 하였는데 이는 물속의 불순물이 존재할 때, 측정장치 즉 PDA의 신뢰도가 떨어지기 때문이었다.

표 4와 표 5는 가압공기의 유량을 고정시키고 가압공기의 압력과 유량을 변화시켜 노즐에서 분사되는 액적의 크기를 측정지점의 위치를 변화시키면서 PDA를 이용해 측정한 자료이다. 측정지점이 15 cm이나 35 cm일 때 모두 유량이 증가함에 따라 액적크기도 증가함을 알 수 있었다. 또한 가압공기의 압력의 변화에 의한 액적크기는 공기압의 증가에 따라 액적크기는 감소하는 것으로 나타났다. 이는 공기압이 크면 노즐에서의 액적을 분쇄하는 추진력이 커지기 때문이다.

노즐로부터 15 cm 떨어진 지점에서 측정한 액적의 크기보다 35 cm 지점의 액적이 일반적으로 더 작게 측정되었다. 이는 노즐에서 가까운 부분은 액적의 밀도가 높아 산란광의 굴절률에 의해 액적의 크기를 측정하는 PDA의 특성에 의해 노즐에서 가까운 곳의 액적의 크기가 크게 측정된 것으로 사료된다.

노즐로부터 미세하게 분무된 액적은 토출 당시에는 매

Table 4. Average droplet diameter measured by PDA.
(L=15 cm from nozzle)

Air Pressure (Pg)	Water Flow Rate	Sauter Mean Dia. (μm)	Droplet Vel. (m/sec)
3 kg/cm ²	10 ml/min	26.7	18.7
	20 ml/min	57.3	16.5
	30 ml/min	78.6	16.6
4 kg/cm ²	10 ml/min	20.1	18.3
	30 ml/min	33.3	17.7
5 kg/cm ²	10 ml/min	19.0	19.1
	20 ml/min	29.4	17.5
	30 ml/min	33.7	17.0

Table 5. Average droplet diameter measured by PDA.
(L=35 cm from nozzle)

Air Pressure (Pg)	Water Flow Rate	Sauter Mean Dia. (μm)	Droplet Vel. (m/sec)
3 kg/cm ²	10 ml/min	25.0	8.99
	20 ml/min	34.7	8.11
	30 ml/min	64.4	7.64
4 kg/cm ²	10 ml/min	23.2	9.45
	20 ml/min	27.9	9.16
	30 ml/min	38.6	8.05
5 kg/cm ²	10 ml/min	19.8	8.41
	20 ml/min	25.0	7.98
	30 ml/min	35.7	7.57

우 빠른 속도로 분사되지만 짧은 시간 안에 급격하게 속도가 감소하는 것으로 나타났다. 이는 액적이 분무초기에는 공기압의 에너지로 큰 속도를 가지지만 주위가스의

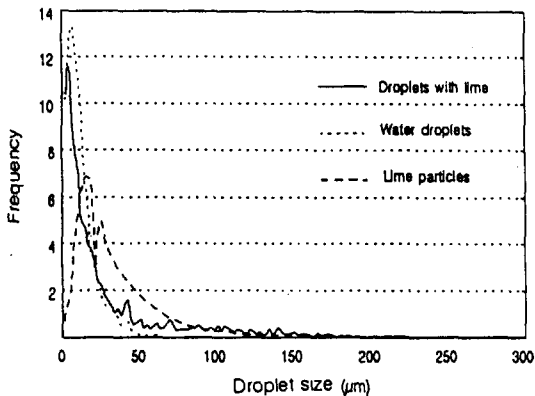


Fig. 3. Droplet size distribution of lime slurry, water and lime particles

저항으로 인하여 분무후 빠른 시간 이내에 액적 개개의 크기에 따르는 정상상태의 자유낙속도를 가지려는 경향때문으로 사료된다 (Damle, 1985).

그림 3은 PDA로부터 얻은 액적의 크기와 석회화 크기분포를 나타낸 것이다. 그림에서와 같이 순수액적에 석회입자가 포함되면, 슬러리액적의 분포는 순수액적의 경우와 마찬가지로 10 μm부근에서 큰 발생빈도를 나타내지만 절대값이 상당히 적어짐을 알 수 있다. 따라서 순수액적에 석회입자가 포함되면 액적의 평균입경은 증가하게 될 것이다. 그러므로 슬러리 액적의 크기가 폭넓게 분포되고 액적의 크기가 약간 커지는 경향에 의하여 하나의 액적 속에 수개~수십개의 석회입자가 존재할 것으로 사료된다.

3.3 석회슬러리 분무를 이용한 아황산가스의 처리효율 측정결과

3.3.1 슬러리 유량변화에 따른 아황산가스의 처리효율 측정결과

분무흡수건조반응기에 있어서 흡수영역의 결정은 처리 효율 및 반응속도의 결정에 있어서 중요한 자료가 된다. 가압공기의 압력 4 kg/cm², 유입온도 200°C, 유입가스 농도 500 ppm, 건조기내 체류시간은 6초로 다른 변수를 고정시키고 슬러리 양만을 10, 20, 30 ml/min (석회 함량 : 10 w/w%)으로 변화시켜 SO₂의 제거효율을 실험하였다.

그림 4는 유입 SO₂ 농도를 500 ppm으로 하였을 때 각 슬러리 유량에 따른 각 시료채취구의 온도분포를 나

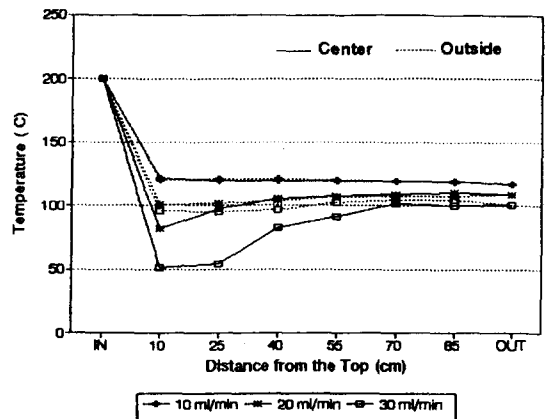


Fig. 4. Temperature distribution at each sampling port according to the flow rate change of Ca(OH)₂ slurry atomized.

타내고 그림 5는 이 때의 SO₂ 농도를 나타낸다. 그림 4에서 보면 반응기 상단 10cm에서 25cm 부근에서 수분의 양이 급격히 감소하게 되고, 이 지점 이후에는 일정온도에 이르게 되는 것을 알 수 있었다. 따라서 이 지점에서 반응기의 온도분포는 최저가 된다. 하부에서의 온도 감소분은 체류시간에 따른 온도강하분으로 사료된다. SO₂의 흡수반응은 액체내의 수분이 건조되면서 일정해지는 양, 즉 임계수분함량에 이르기 전까지 우세하게 이루어진다. 그러나 임계수분함량에 이르면 액체내에 반응 생성물이 존재하게 되고 SO₂의 흡수반응과 건조는 제한을 받게 된다(Uchida *et al.*, 1984; Masters, 1976).

그림 5에서와 같이 슬러리 유량이 20, 30 ml/min일 경우에 대하여 시스템의 처리효율성능을 평가하여 보았는데 유량에 관계없이 반응기 상단 10cm와 25cm 지점에서 대부분의 SO₂가 제거되었다.

SO₂의 제거효율은 유량이 많아질 수록 커지는데 이는 슬러리 유량이 많아질 수록 액적크기는 커지지만 당량비가 높아지기 때문인 것으로 사료된다. 슬러리 유량이 10 ml/min인 경우에는 액적의 건조가 너무 빨라 처리효율이 낮게 나타났다. 슬러리 유량이 30 ml/min인 경우에는 처리효율은 높아지지만 그림 4에서와 같이 반응기 중심부의 온도측정지점인 반응기 상단 10cm와 25cm 지점 부근에서의 온도하강 폭이 커서 내벽젖음 현상을 유발할 우려가 있음을 알 수 있었다. 유량변화에 따른 SO₂의 제거효율은 슬러리 유량이 10 ml/min, 20 ml/min, 30 ml/min으로 증가함에 따라 49.0%,

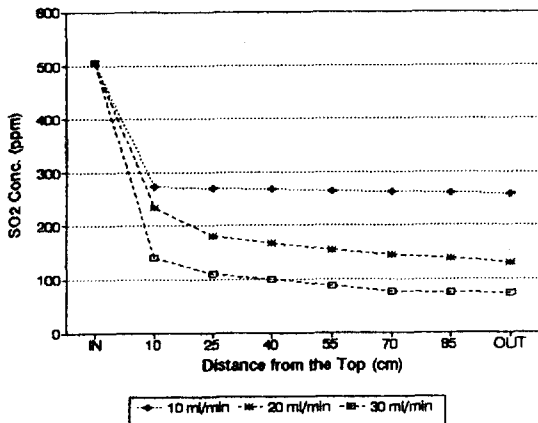


Fig. 5. Sulfur dioxide removal performance change at each sampling port by the flow rate change of Ca(OH)₂ slurry atomized.

74.4%, 85.6%로 증가하였다. 그러나 단순한 슬러리유량 증가에 의한 처리효율의 상승을 기대하는 것은 어렵는데 이는 장치의 내부젖음현상을 유발하여 부식 등의 문제를 유발할 뿐 아니라 후단의 집진시설에 문제를 일으킬 가능성이 높고 또한 과도한 흡수제의 사용에 따른 제거율 상승효과는 감소되고 운전비용 및 폐기물처리비용만 증가시킬 우려가 있다. 슬러리유량이 작은 10 ml/min의 경우는 제거효율이 너무 낮아 방지시설로서의 효율가치가 떨어지므로 본 시스템의 경우에는 슬러리유량이 20 ml/min부근일 때, 최적임을 알 수 있다.

3.3.2 유입가스의 온도변화에 따른 아황산가스의 처리효율 측정결과

가압공기의 압력을 4 kg/cm²로, 유입 SO₂ 가스의 농도를 500 ppm, 슬러리 유량을 20 ml/min으로 고정시키고 온도변화에 따른 제거효율의 변화를 살펴보았다.

그림 6은 유입온도의 변화에 따른 반응기 내의 SO₂ 농도의 변화를 나타내었다. 반응기 하단에서의 처리효율 차이는 크게 나지 않아 전체시스템의 효율변화는 거의 없는 것으로 보인다. 다만 반응기 상부영역에서는 유입온도가 200°C 일때가 150°C인 경우보다 처리효율이 약간 높게 관찰되었다. 이것은 액상슬러리의 석회입자의 용해성 증대, Ca성분과 Sulfate성분 간의 화학반응속도 증가, 기체상 SO₂의 확산속도 향상 등에 의한 복합적인 요인으로 생각된다. 그러나 250°C의 조건과 같이 입구 온도조건이 과도하게 높은 경우 오히려 액적의 건조 속도를 가속하여 흡수영역을 축소하여 효율을 저하시키는 것으로 사료된다. 실험온도범위에서 전체적인 처리효율은 150, 200, 250°C인 경우 71.2, 74.4, 73.4%로 큰

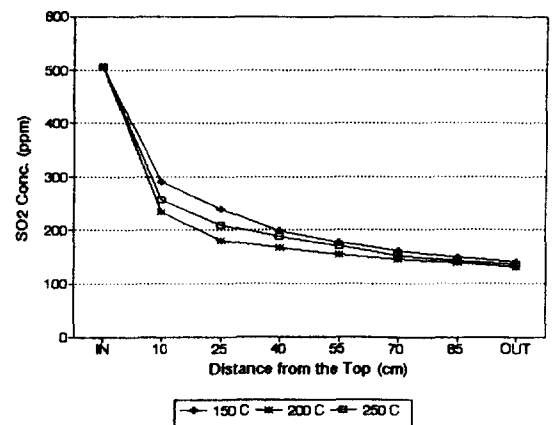


Fig. 6. Removal trend of SO₂ at each sampling port according to inlet gas temperature change.

차이를 나타내지 않았다. 이러한 경향을 볼 때, 최적유입온도조건은 200°C 주위로 판단된다.

3.3.3 화학양론비에 따른 아황산가스의 처리효율 측정결과

일반적으로 Ca/S의 당량비가 높아질 수록 SO₂의 제거효율은 증가하지만 비용의 증가뿐만이 아니라 노즐의 막힘을 유발할 우려가 있고, 석회 소비증가에 따라 반응 생성물이 증가하게 되는 단점이 있다. 따라서 본 실험에서는 화학양론비를 변화시켜 이에 따른 처리효율의 변화를 파악하고 본 실험에 사용된 노즐에 대한 당량비의 적용성을 파악하고자 하였다.

그림 7은 유입가스 온도 200°C, 슬러리 유량 20 ml/min, 가압공기의 압력 4 kg/cm²일 때 Ca/S 당량비의 변화에 따른 SO₂ 농도의 변화를 나타낸다.

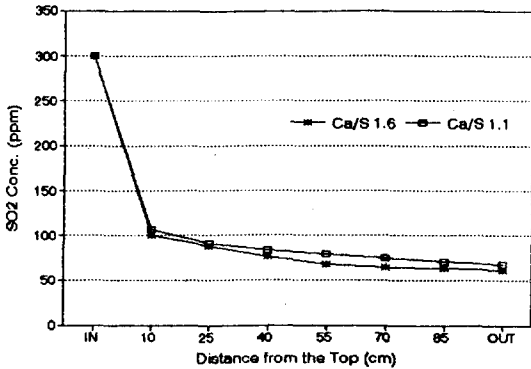


Fig. 7. Removal trend of SO₂ at each sampling port according to Ca/S ratio change.

이 그림에서 보면 반응기 상단 10 cm에서 25 cm영역에서 흡수반응은 완료가 되고 전조가 이루어지면서 약간의 SO₂ 제거가 이루어진다. 제거효율은 Ca/S가 1.6인 경우 79.6%, 1.1인 경우 77.3%로 효율이 약간 감소하는 경향을 나타내었는데, 당량비를 높게 적용할 때 슬러리의 석회함량이 많아지게 되고 슬러리 이송관과 분무노즐 내에 침적하게 되어 실질적으로 분무되는 슬러리의 당량비는 1.6 이하가 되었을 것으로 사료되며, 실험시 노즐의 막힘현상으로 인하여 장치의 작동이 불가능하게 되는 문제점을 일으켰다.

3.3.4 가압공기의 압력변화 및 입구농도에 따른 아황산가스의 처리효율 측정결과

이류체식 압력노즐의 경우에는 가압공기의 압력이 높을 수록 액적 크기가 작아지게 된다. 이는 액적의 표면

적이 커져 SO₂와의 접촉이 활발히 일어나기 때문에 효율을 향상시키게 될 것이다. 따라서 본 실험은 슬러리 유량 20 ml/min, 유입온도 200°C, Ca/S 당량비를 1.1로 고정시키고 가압공기의 압력만을 변화시켜 이에 따른 제거효율을 유입 SO₂ 가스농도 500 ppm, 300 ppm의 경우에 대하여 각각 실험하여 보았다. 그림 8에서 보는 바와 같이 유입 SO₂ 농도, 측정지점에 상관없이 가압공기의 압력이 높아짐에 따른 액적크기의 감소에 의해 제거효율은 증가되는 것을 알 수 있었다.

이 실험에서 동시에 실시한 유입 아황산가스 농도변화에 따른 처리효율의 변화관찰 결과에 의하면, 유입 SO₂ 가스농도가 300 ppm에서 500 ppm으로 증가됨에 따라

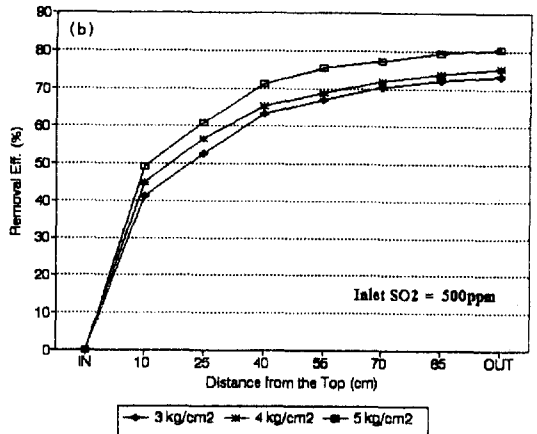
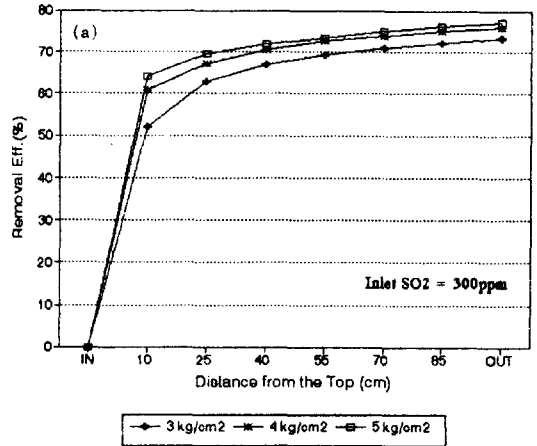


Fig. 8. SO₂ removal efficiency at each inlet SO₂ concentration according to air pressure change.

제거효율이 약간 향상됨을 알 수 있었다. 측정지점별 제거효율은 유입농도가 300 ppm일 때 반응기 상단 10 cm 부근을 지나면서 거의 제거가 이루어짐을 알 수 있고, 유입농도가 500 ppm인 경우에는 반응기 상단 40 cm 부근까지 제거가 이루어짐을 알 수 있었다. 반응기 유입 구 부근에서 아황산가스 제거효율은 유입농도 300 ppm의 경우가 500 ppm의 경우보다 오히려 단위길이당 제거율이 높게 나타났는데, 이는 전자의 경우 분사액적의 크기가 더 미세하여 제거반응이 더 활성화되었다고 볼 수 있으며, 전체적으로는 500 ppm의 경우가 제거효율이 높게 나타나는 것은 적용당량비에 따른 분사슬러리유량이

증가하여 흡수반응영역이 넓어졌기 때문으로 사료된다. 슬러리유량 변화실험에서 알 수 있었던듯이 건조가 완료되는 반응기 하부에서는 흡착과 입자내로의 확산에 의한 제거만이 우세하게 되고, 제거량 자체는 크게 증가되지 않았다.

3. 3. 5 상대습도와 포화온도접근에 따른 제거효율의 변화

측정지점의 온도에서 수분량에 대한 포화온도곡선으로의 접근은 가까울 수록 증발시간을 길게하여 흡수제의 이용율을 증가시키고, 분진제거장치에서 SO₂의 제거효율을 유리하게 한다. 또한 배기가스의 반응기내 상대습도는 증가할 수록 산성가스의 제거효율이 증가한다. 그러나 높은 상대습도는 배기가의 재가열과 여과집진기의 막힘을 유발하게 되고, 반응생성물의 최종상태를 불량하게 하는 요인이 된다(NIRO Env. Protection, 1990)

한 예로서 그림 9에 가압공기압력 3 kg/cm², 슬러리유량 20 ml/min, 유입가스 온도 200°C, 유입 아황산가스농도 300 ppm, 당량비 1.1일때의 반응기의 높이에 따른 상대습도와 포화온도접근에 따른 각 측정지점의 SO₂의 제거효율을 나타내었다. 그림에서 보듯이 SO₂의 제거효율은 상대습도에 비례 (포화온도접근도에 반비례) 한다. 분무가 시작되는 지점에서부터 25 cm 지점까지는 상대습도가 계속 증가하고, 이 지점에서의 제거효율증가 폭이 다른 구간보다 큰 것을 알 수 있다. 이로 인해 반응기상단 25 cm 부근까지가 액적이 증발하면서 SO₂의 제거가 활발한 흡수영역이라 추정할 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 분무흡수건조반응기에 있어서 아황산가스 처리효율에 대한 실험적 기초연구를 실시하였다. 실험을 통하여 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 석회슬러리의 유량을 10, 20, 30 ml/min으로 변화시켰을 때, SO₂의 제거효율은 각각 49.0%, 74.4%, 85.6%로 증가하였다. 그러나 본 실험장치의 조건으로 판단할 때, 30 ml/min의 유량인 경우 반응기내벽의 젖음현상이 발생하므로 20 ml/min의 유량이 적절한 것으로 판단되었다.
2. 다른 인자를 고정시키고 가압공기의 압력을 변화시켜 행한 실험에서는 유입 SO₂ 가스의 농도가 300 ppm인 경우, 가압공기압력이 3 kg/cm²일 때 73.3%, 4 kg/cm²일 때 76.0%, 5 kg/cm²일 때 77.3%로 아황산가스의 처리효율이 증가하였다.

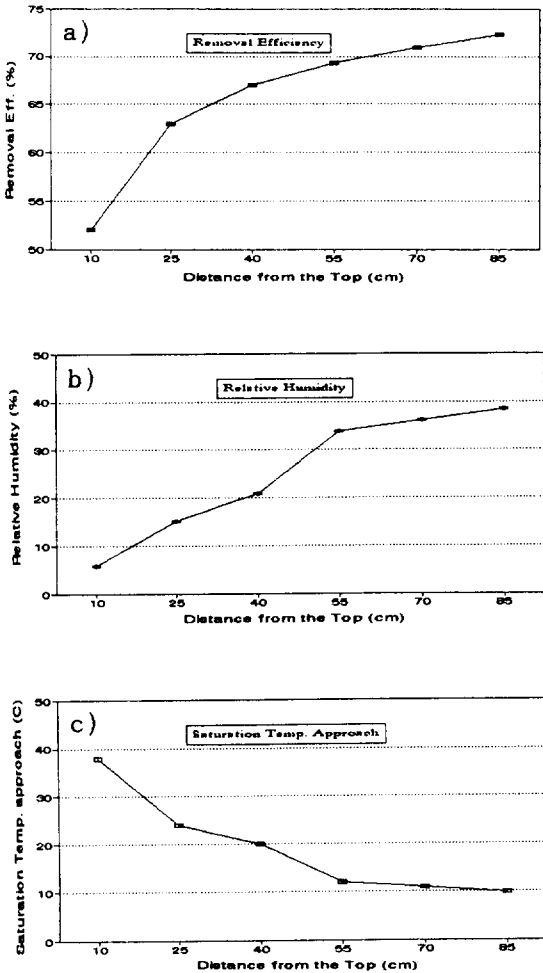


Fig. 9. Removal efficiency variation, relative humidity and saturation temperature approach at each sampling port.

유입 SO₂ 가스의 농도가 500 ppm인 경우에도 같은 경향이 관찰되었고, 처리효율은 300 ppm인 경우보다 약간 상승되었다. 따라서 압력이 증가할수록 아황산가스의 처리효율이 증가하고 유입농도가 증가할수록 처리효율이 약간 상승하는 경향을 나타냈다.

3. Ca/S의 당량비를 변화시키고 다른 변수를 고정시켜 수행한 실험에서는 당량비가 1.1일 때, 제거효율은 77.3%, 당량비가 1.6일 때는 79.6%로 당량비가 높을 수록 제거효율이 향상되었다. 그러나 당량비의 증가는 알칼리흡수제의 이용률과 역상관계가 있으므로 적정당량비의 설정이 중요하다고 사료된다.

본 연구에 따르면 유입온도나 당량비의 변화에 의한 것보다는 액적크기를 변화시켜 줌에 따른 제거효율의 변화가 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 시스템의 성능을 향상시키기 위하여 다른 변수보다 액적크기에 영향을 주는 운전변수를 최적화시키는 것이 무엇보다 중요하다고 생각된다. 향후 계속되는 연구와 시스템의 대형화 연구 결과에 따라, 이를 위한 보다 현실적인 대안들이 제시될 수 있을 것이다.

감사의 글

이 연구논문은 정부의 환경공학기술 개발사업의 일환

으로 실시된 연구결과의 일부이다. 연구의 기회를 준 당국에 감사드리는 바이다.

참 고 문 헌

박원훈, 김상돈, 김상환, 홍성안, 이성호, 심상규, 신병철, 백남준, 최은영, 김유신(1991) 대기오염방지를 위한 배기가스 정화기술개발, 한국과학기술원, 57-58pp.

Damle A.S.(1985) *Modeling of SO₂ Removal in Spray-dryer Flue Gas Desulfurization System*, EPA, 7-8pp.

Masters K.(1976) *Spray Drying*, 2nd Ed., John Wiley & Sons, U.S.A., 51-62pp.

NIRO Environ. Protection (1990) *Flue Gas Desulfurization by Spray Dryer Absorption*, Denmark, 5-8pp.

Uchida S. and K. Tsuchiya (1984) Simulation of spray drying for removal of HCl in flue gas from incinerators, *Ind. Eng. Chem. Process Des. Dev.*, 23, 300-307.