

# 기포분사반응기를 사용한 배연탈황공정의 아황산가스 물질전달

## Mass Transfer of Sulfur Dioxide in Flue Gas Desulfurization Process Utilizing a Jet Bubbling Scrubber

동 종 인 · 나 진 균<sup>1)</sup> · 홍 지 형<sup>1)</sup>

서울시립대학교 공과대학 환경공학과

<sup>1)</sup>국립환경연구원 대기연구부

(원고접수 : 1992. 11. 10)

Jong-In Dong, Jin-Gyun Na<sup>1)</sup> and Ji-Hyung Hong<sup>1)</sup>

Department of Environmental Engineering, Seoul City University

<sup>1)</sup>Department of Air Pollution Research, National Institute of Environmental Research

(Received 10 November 1992)

### Abstract

The trend of international concerns on environmental conservation and domestic demand of ambient air quality improvement, specially on sulfur dioxide level has resulted in the establishment of mid-term strategy of environmental improvement and stepwise strengthening of emission regulations in this decade in Korea. Development of flue gas desulfurization(FGD) process is becoming an essential task to be accomplished especially for the power plants and large industrial facilities.

This study is an initial stage research focusing on the mass transfer principles in wet type FGD process and the effects of operating variables of a jet bubbling scrubber utilizing limestone slurry on sulfur dioxide removal efficiency. Experimental results showed this type of scrubbing system has some advantages in terms of mass transfer mechanism and removal efficiency.

More rigorous research is needed for the reaction system and the comparison with existing FGD processes for the possible development of a process which is comparative in view of installation cost and treatment of by-products.

### 1. 서 론

일차적인 대기오염의 주요요인중 하나인 아황산 가스는 각종 화석연료의 연소생성물로 배출된다. 이 화석연료의 사용량은 경제규모의 확대와 인구증가에 따라 근래들어 크게 증가하게 되었다. 따라서 이로 인해 배출되는 대기오염물질들은 지역대기질의 악화뿐만 아니라 장거리이동에 의하여 인근지역 및 국가들에도 산성비를 일으키는 등 영향을 미쳐 분쟁의 요인으로 작용하고 있다. 특히 최근에 들어서

는 환경문제가 각종 국제관계에 있어서 주요 이슈로 등장하게 되었고 지구적 차원 또는 지역단위의 공동대처노력의 강조와 함께 선·후진국간의 기술이전도 시도되고 있다.

이와 같은 주위여건변화와 국내 대기질의 개선이라는 절대적인 과제로 인하여 근본적인 대기오염방지노력과 기술개발을 서두르지 않을 수 없게 되었다. 따라서 도시지역 및 오염이 심한 공단지역등을 중심으로 사용연료의 종류를 전환하게 되었고 대기오염배출원의 배출허용기준을 '99년까지 3단계로

대폭 강화하게 되었다. 이에 대비하기 위하여 비교적 큰 배출원인 발전소 및 산업시설에서는 연료대체뿐만 아니라 배연탈황 같은 본격적인 배출가스 방지시설을 설치하지 않으면 안되게 되었다.

여기에서는 습식탈황공정중 기포분사시스템을 사용한 반응기의 기체-슬러리상에서의 물질전달현상에 대하여 실험을 통하여 살펴보았다.

2. 이론적 배경

화석연료연소시 배출되는 각종 황산화물(SO<sub>2</sub>, SO<sub>3</sub>, SO<sub>x</sub>등)을 제거하기 위하여 이용되는 단위공정의 종류로는 흡수, 산화, 환원, 흡착등을 들 수 있다(최병선,1992). 각종 공정의 형태 중 아황산가스를 일단 물에 용해시킨 뒤 슬러리상에서 이온반응을 유도하는 형태가 습식처리방식이다. 이 방식은 기체-액체-고체가 존재하는 방식으로 가장 일반적인 방식이다. 그러나 이것의 이론적인 해석은 각 물질의 존재하는 형태가 다양한 만큼 복잡하다. 건식 배연탈황방식은 비교적 최근에 개발되고 있는 방법으로 집진장치의 성능향상과 더불어 주목을 받고 있다(동종인,1992; Delleney and Torrens, 1988). 그러나 근본적으로 기체-고체간의 반응이라는 한계때문에 효율측면에서 그리 높지는 않은 것으로 알려지고 있다.

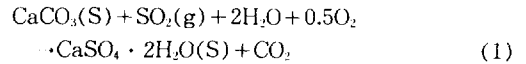
습식 배연탈황공정은 배출가스중의 아황산가스가 bulk상태로 존재하는 물-슬러리와 접촉하여 이중흡수제와 반응을 일으키는 것으로 혼합과 접촉시간 면에서 장점이 있으나 장치가 커지고 슬러지를 탈수하여 폐기해야 하며 탈황후 가스를 재가열해야 하므로 전체 운영비가 높아진다는 단점이 있는 것으로 알려지고 있다(박원훈 외,1991). 이런 단점에도 불구하고 미국등 많은 국가들에서 압도적으로 채택되고 있는 시스템이 이 습식방식이고 공정개선이 아직도 관심의 대상이 되고 있다.

실제 석회석슬러리를 사용하는 배연탈황공정에서 아황산가스의 제거효율에 영향을 줄 수 있는 요인으로서 액체/기체 유량비, pH, 접촉시간, 이론당량을 초과한 과잉 석회석량 및 입구 아황산가스농도등을 들 수 있다. 이중 입구 아황산가스의 농도를 제외하고 제거효율에 비례관계가 있다. 이 외에도 영향을 줄 수 있는 요인으로 시스템의 온도 및 공정특성상 결정해야 하는 설계요인들을 들 수 있다.

2.1 슬러리상의 물질전달 및 화학반응

석회석슬러리를 이용한 아황산가스의 흡수.반응공정에서 일어나는 총괄반응은 아래와 같이 표기될

수 있다.



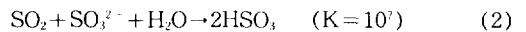
이것은 아래에 열거한 것과 같은 일련의 확산과 화학반응으로 구분지을 수 있다.

- 1) 기-액 경계면에 이르기까지의 gas film을 통한 SO<sub>2</sub>의 확산
- 2) SO<sub>2</sub>가 aqueous상태가 되는 dissolution
- 3) Aqueous상태의 SO<sub>2</sub>가 hydration되어 H<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>로 되고 이것이 H<sup>+</sup>와 HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>로 존재하게 됨.
- 4) HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 분리되어 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>를 형성함.
- 5) 용액내의 CaCO<sub>3</sub>는 aqueous상태로 용해되고 이것은 다시 H<sup>+</sup>이온과 반응하여 Ca<sup>2+</sup>와 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>를 형성함.
- 6) 4) 및 5)과정에서 생성된 Ca<sup>2+</sup>와 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup> 그리고 물이 반응하여 CaSO<sub>3</sub>·0.5H<sub>2</sub>O가 형성됨.
- 7) CaSO<sub>3</sub>·0.5H<sub>2</sub>O의 일부는 물과 물속에 녹아있는 산소와 결합하여 CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O를 형성함.

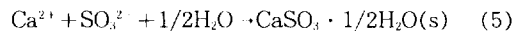
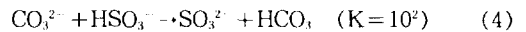
이와 같은 일련의 반응들의 반응속도를 비교하여 볼 때 3),4),6),7)의 단계는 비교적 빠른 반응이 되고 제어단계는 크게 가스확산, 액체내에서의 SO<sub>2</sub>확산, 석회석의 용해등 3단계로 압축시킬 수 있다.

위의 기전들 가운데 이온들의 화학반응을 이반응계면모델 (two-reaction-planes model)로 규명하기도 한다. 이것은 기-액 경계면을 중심으로 액체쪽으로 2개의 반응계면(reaction planes)을 설정하고 각각 다른 반응이 일어난다는 것이다(Sada et al., 1977a, 1977b, 1980).

기-액 경계면쪽의 반응계면에서 일어나는 반응으로



액체의 bulk phase쪽의 반응계면에서는



와 같은 반응이 일어난다(동종인 외,1981).

석회석슬러리에서 존재하는 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도(10<sup>-3</sup> g-mole/l order)는 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>농도(10<sup>-6</sup> g-mole/l order)보다 더 높다. 더욱이 이 시스템에서의 아황산가스 화학반응은 상당한 양의 이산화탄소를 배출시키기 때문에 이 또한 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 농도를 높이는 요인이 되고 있다.

따라서 지배적인 반응물인 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>가 용해되어 있

는 SO<sub>2</sub>와 반응하여 HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 CO<sub>2</sub>(aq.)를 생성시키게 된다. 반응생성물인 HSO<sub>3</sub><sup>-</sup>는 이 반응계의 다른 반응물인 CO<sub>3</sub><sup>2-</sup>와 반응하여 HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>와 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>를 생성시킨다. 형성된 대부분의 SO<sub>3</sub><sup>2-</sup>는 슬러리내에 존재하는 Ca<sup>2+</sup>과 반응하여 매우 빠른 속도로 거의 불용성에 가까운 CaSO<sub>3</sub> · 1/2H<sub>2</sub>O(s)를 생성시킨다. 위의 화학반응식에 나타난 반응들은 화학평형상수가 매우 크기 때문에 거의 비가역적이고 순간적이다. 이와 같은 빠른 화학반응들은 아황산가스의 흡수 및 제거효율에 상승요인으로 작용하고 석회석용해 속도를 상승시킨다.

2.2 기포분사반응기에서의 물질전달

기포분사반응기에서의 물질전달은 분자확산(molecular diffusion)과 난류확산(eddy diffusion)에 의해 일어난다. 기체-액체사이의 물질전달이 일정한 속도로 일어나는 시스템에 있어서 물질전달속도를 총괄물질전달속도를 사용하여 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$N_A dA_i = - G A dy_A = K_{ra}(P_A - P_A^*) A dz \quad (6)$$

- 여기서, N<sub>A</sub> = solute(A)의 전달속도
- A<sub>i</sub> = 접촉면적
- A = 장치의 단면적
- G = 기체유속
- y<sub>A</sub> = A물질의 기체상 농도
- K<sub>ra</sub> = 총괄물질전달계수
- a = 단위부피당 물질전달면적
- P<sub>A</sub> = 기체상 A의 분압
- P<sub>A</sub><sup>\*</sup> = 액체내 A의 농도와 평형관계에 있는 기체에 있어서의 A의 분압

z = 장치의 높이

기체의 압력이 일정하다고 가정할 때 이 식은 다음과 같이 된다.

$$z = \int_0^z dz = \frac{G}{K_{ra} P_r} \int_{y_{A1}}^{y_{A0}} \frac{dy_A}{y_A - y_A^*} \quad (7)$$

- 여기서, y<sub>A0</sub> = A물질의 입구농도
- y<sub>A1</sub> = A물질의 출구농도
- y<sub>A</sub><sup>\*</sup> = A물질의 분압이 P<sub>r</sub><sup>\*</sup>일 때의 A물질의 농도

Bulk phase에서 solute가 거의 흡수된다면 y<sub>A</sub><sup>\*</sup>는 zero에 접근하게 되므로 이것을 정리하면

$$\overline{K_{ra}} = \frac{G}{z \cdot P_r} \ln \frac{y_{A0}}{y_{A1}} \quad (8)$$

3. 실험장치 및 방법

실험장치는 주반응기인 스크라버, 공기예열기, 시료공급장치, 슬러리공급장치 및 분석장치(GC-TCD, Column: Porapak Q 80/120 1/4in.X 5ft.)등으로 구성되어 있다. 이 실험에 사용된 반응기는 직경 20 cm인 원통형의 아크릴관으로 만들었으며 하부에 배플을 달았고 슬러리의 교반을 위해 프로펠러형 교반기를 장착했다. 고른 기포분사를 위해서 장치상부로부터 4개의 분사기(sparger)를 설치하였으며 각 분사기에는 각 방향으로 slot가 형성되어 있다. 반응기에 들어가는 액체의 온도를 일정하게 유지하기 위하여 반응기에 들어가는 공기를 가열할 목적으로 공기예열기를 설치하였다. 이 장치의 개략도를 나타내면 그림 1과 같다.

LEGEND

C	: Absorption Column
F	: Air Filter
D1, D2	: Air Pre-Heater
GC	: Gas Chromatography
O	: Orifice Meter
P	: Pump
Ⓟ	: Pressure Gauge
R1, R2, R3	: Rotameters
S1	: Air
S2	: Sulfur Dioxide
S3	: Limestone
S4	: Water
T1	: Gas Mixing Tank
T2	: Liquid Mixing Tank
TC	: Temperature Controller
SP1, SP2	: Sampling Pots
M1, M2	: Motors
MM1, MM2	: Manometers
V-1~B-13	: Valves

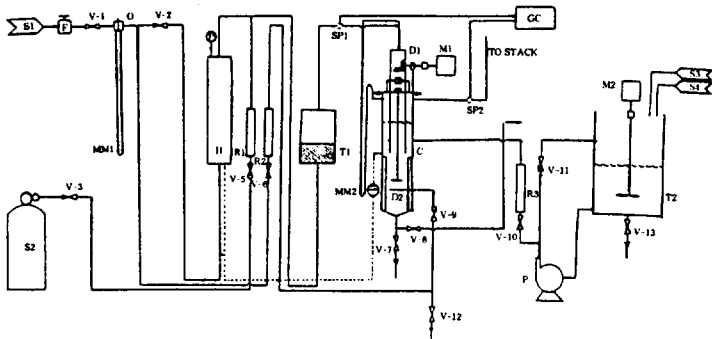


Fig. 1. Flow Diagram of Equipment of Jet Bubbling Scrubber Utilizing Limestone Slurry.

이와 같은 장치를 이용하여 공정변수인 입구 아황산가스 농도, 분사기의 깊이, 온도, 기체유량 및 pH 등을 변화시키면서 아황산가스의 제거효율, 물질전달에 미치는 영향등을 관찰하였다.

본실험에 들어가기 전에 공기의 유속보정, 아황산가스 농도보정, 석회석슬러리의 유속보정, 분사기의 공기침투거리측정 및 분사기 조건설정등 예비실험을 실시하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 입구 아황산가스 농도의 효과

석회석슬러리를 이용한 배연탈황장치를 물질전달 측면에서 본다면 크게 기상 및 액상으로 나누어 생각할 수 있다. 기체의 bulk phase로부터 기상 film을 통과한 용해물질은 일단 aqueous상태로 되고 이것이 액상 film속으로 확산되어 들어간다. 한편 액체에서는 대부분 슬러리상태로 존재하는 석회석이 현탁되어 있고 이중 일부만이 aqueous상태로 녹아 있게 된다.

이 물질전달이 입구농도에 따라 그 양상이 조금씩 다르게 진행된다. 석회석에 의한 흡수 및 반응에서 반응자체는 반응속도상수가 매우 커서 거의 순간반응을 일으키므로 gas film을 통한 물질전달, 액체내에서의 석회석 용해속도등이 유효속단계(controlling step)가 될 수 있다. 보통 아주 낮은 농도에서는 기상제어(gas phase controlling)가 되지만 1,000ppm부근에서는 액상저항도 커지다가 이 이상에서는 액상저항이 무시할 수 없을 정도로 커진다.

따라서 저유황연료인 경우 SO<sub>2</sub>의 입구농도가 1,000ppm부근이 되어 제거효율이 높아지지만 고유황함유 연료쪽으로 갈수록 SO<sub>2</sub>농도가 높아져 제거효율뿐만 아니라 공정상의 여러가지 불리한 점들이 초래되게 된다.

그림 2에서 나타난 바와 같이 낮은 입구농도(1,000ppm부근)에서는 약 91%의 제거효율을 보이던 것이 높은 입구농도(3,000ppm이상)에서는 제거효율이 75%까지 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 입구농도가 높아질수록 석회석용해에 따른 액상저항의 상승에 기인하는 것으로 판단된다.

또한 석회석표면에는 높은 pH의 범위를 유지하는 영역이 있게 되는데 이 표면까지 침투한 용해물질은 여기에서 반응을 일으켜 석회석표면에 침전되는 일종의 blinding현상을 유발시키게 된다. 따라서 높은 입구농도에서는 제거효율이 떨어지게 되고 미세한 석회석슬러리가 더욱 유리해지는 것이다. 이로 인해 저유황함유 연료를 선호하게 되고 낮은 SO<sub>2</sub>농

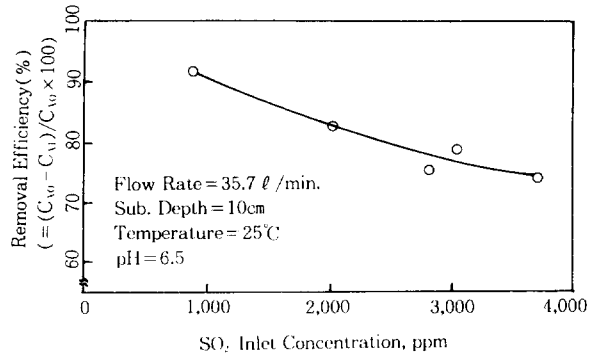


Fig. 2. Effect of Inlet Conc. on Removal Efficiency.

도에 대한 연구와 기술이 앞서게 되는 것이다.

##### 4.2 기포분사기 잠수깊이의 효과

아황산가스의 제거효율은 그림 3에서 보는 바와 같이 기포분사기의 잠수깊이에 따라 증가하다가 깊이가 10cm를 넘을 때부터 증가속도가 점점 느려지는 것을 관찰할 수 있다. 실험상 가장 얇은 2cm의 깊이에서 제거효율이 51.4%인 것을 알 수 있다. 기포분사시스템에서의 물질전달이 가스의 분사, 기포의 상승 및 수면에서의 반응등 3가지로 나누어 이루어진다고 볼 때 이 조건에서의 물질전달은 첫 번째와 세 번째의 요소에 의한 효과인 것으로 볼 수 있다. 아황산가스의 제거효율이 분사기깊이 25cm 이상에서는 거의 변하지 않다가 75cm 이상에서는 오히려 그 효율이 감소한다는 것이 받아들여지고

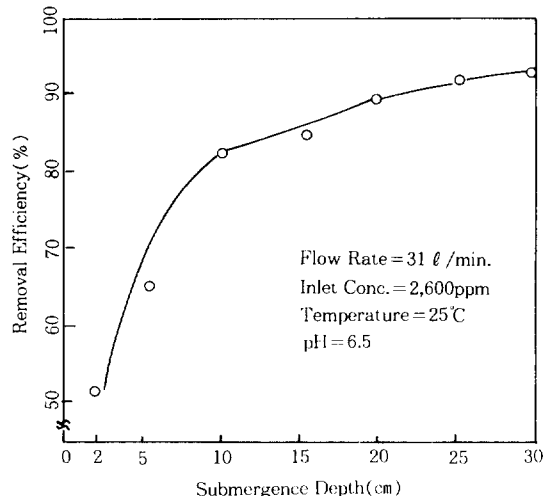


Fig. 3. Effect of Submergence Depth on Removal Efficiency.

있는데 이는 미세한 기포들의 생성이 이 높이에서 격감하기 때문인 것으로 보인다.

4.3 온도의 영향

석회석을 사용하는 아황산가스의 처리공정에 있어서 장치내 온도의 영향은 매우 복잡하다. 기상물질 전달계수는 온도가 올라감에 따라 약간 상승되는 양상을 보이고(Bjerle, 1972) 화학반응들도 약간씩 빨라질 것으로 예상되지만 이들보다 더 중요한 요소로 용해물질의 액체내에서의 용해도 영향을 들 수 있다.

그림 4에서 보는 바와 같이 장치내 흡수제의 온도가 올라감에 따라 제거효율은 조금씩 감소하는 경향을 나타내고 있다. 아황산가스의 용해도자료를 살펴보면 1,000ppm에서 50℃에서의 용해도가 25℃일 때보다 0.52배, 3,000ppm에서는 0.71배이다.

따라서 온도에 따른 용해도 차이에서 생기는 영향을 무시할 수 없기 때문에 실제공정에서는 scrubber에 들어가기 전에 미리 물을 뿜어주어 온도를 낮추어 보내줄 뿐만 아니라 차가운 석회석슬러리를 통과시켜 흡입가스를 가능한 한 단열포화온도까지 저감시켜 운전하는 것이 바람직하다.

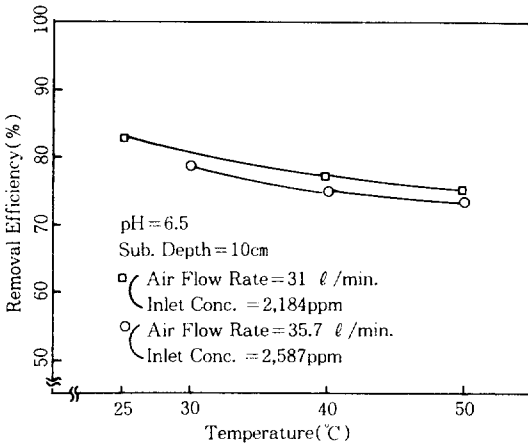


Fig. 4. Effect of Temperature on Removal Efficiency.

4.4 유속의 영향

기포분사시스템의 분사속도는 이 시스템의 아황산가스 제거효율에 큰 영향을 미친다. 그림 5에서 보는 바와 같이 낮은 유속에서는 제트류흐름이 충분히 전개되지 않아 물질전달효율이 낮은 상태이나 유량이 30ℓ/min.가 지나면서 효율이 높아지고 있다.

Slot주위에서 기포가 형성되는 형태를 보면 slot을 통과한 가스는 수평으로 분사되어 제트기포가

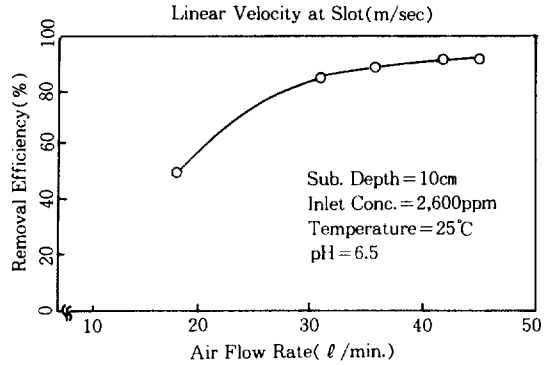


Fig. 5. Effect of Gas Flow Rate on Removal Efficiency.

형성되고 이어 부력에 의해 진행방향이 위로 향하게 된다. 이런 과정을 거칠 때 제트기포는 아주 잘게 부위져서 일종의 제트기포층을 형성하게 된다. 낮은 유속에서는 이것이 형성되는 침투거리가 짧아서 물질전달이 일어날 수 있는 접촉면적이 상대적으로 작아진다. 그러나 제트기포가 본격적으로 형성되면 잘게 부위진 작은 기포들이 많이 존재하게 되고 또한 침투거리가 크게 되어 물질전달은 점점 커지게 된다.

한편 유속이 증가함에 따라 공정상의 압력차도 점점 증가하게 되는데 유속이 증가함에 따라 압력차는 기하급수적으로 증가하게 된다. 따라서 유속이 빨라질 때 효율은 올라가지만 궁극적으로 효율의 증가속도는 둔화되고 압력차가 크게 걸려서 입구기체의 압력을 높여주기 위한 장치가 필요하게 되므로 적정수준의 유속을 유지시켜 주는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

4.5 pH의 효과

반응액의 pH는 그림 6에서 보는 바와 같이 높은 pH에서는 큰 변화를 보이지 않다가 pH값이 6이하로 뒀에 따라 급격히 감소하는 것을 알 수 있다. pH가 감소함에 따라 용액내의 sulfite이온이 증가하는 것으로 알려지고 있는데 한 자료에 의하면 pH가 6에서 5로 그리고 5에서 4로 감소함에 따라 sulfate이온의 농도는 큰 변화가 없는 반면 sulfite의 농도는 각각 6배가량 증가하게 된다(Slack,1978).

따라서 pH가 감소함에 따라 슬러리내에는 sulfite이온의 농도가 급증하게 되고 이는 석회석표면에 반응과 침전을 일으켜 blinding현상을 유발시킬 뿐만 아니라 스케일문제, 부식등의 부작용을 일으키게 되어 아황산가스의 제거효율은 떨어지게 된다. 반

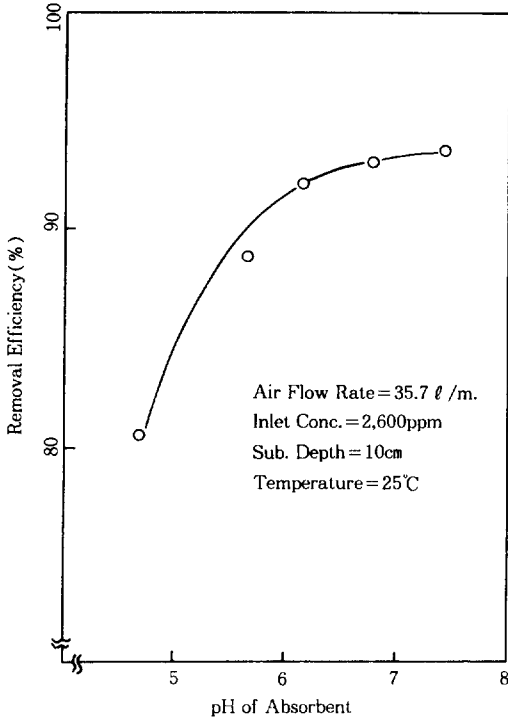


Fig. 6. Effect of pH on Removal Efficiency.

면 슬러리의 pH가 높아짐에 따라 SO<sub>2</sub>의 제거효율은 올라가게 되지만 액체쪽으로 본다면 석회석의 효율문제가 생기게 된다.

4.6 물질전달계수 산정

제트기포분사를 이용한 SO<sub>2</sub>제거공정이 그 자체 화학반응이 복잡할 뿐만 아니라 제트기포시스템에 대한 공정해석이 어렵기 때문에 총괄물질전달계수를 사용하여 해석을 할 수 있다.

식(8)을 사용하여 각 운전변수의 변화에 따른 총괄물질전달계수를 산정하여 보았다. 아황산가스의 입구농도, 분사기의 잠수깊이 및 slot에서의 선속도 등을 변화시켜가며 총괄물질전달계수(K<sub>a</sub>)를 구하고 이의 각 변수들에 대한 실험적인 상관관계식을 구하였다. 이 관계식의 상수를 구하기 위하여 plot을 실시하면 그림 7과 같이 되고 이를 조합하여 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_a = 1.27 \times 10^{-4} (C_{inlet})^{-0.414} d^{-0.467} v^{2.48} \quad (11)$$

적용범위 : C = 930-3,700ppm  
 d = 2-30cm  
 v = 5-15m/sec

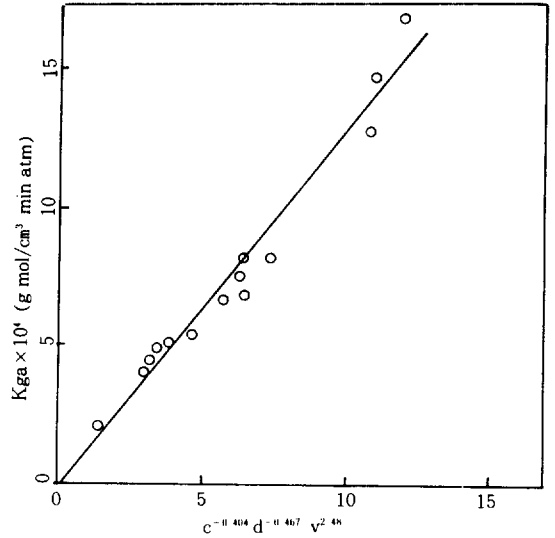


Fig. 7. Dependence of Overall Mass Transfer Coefficient on Operating Variables.

4.7 배연탈황공정간의 물질전달계수 비교

여러가지 습식처리장치들중 자료가 입수가능한 장치들의 물질전달계수에 대한 비교를 표1에 나타내었다. 첫 3가지 형태의 장치는 pilot plant들로부터 산출된 값들이다.

충전탑이나 TCA(turbulent contact absorber)에 있어서 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> 또는 CaCO<sub>3</sub>를 사용했을 때 효율과 물질전달계수값들에 차이가 남을 알 수 있다. 이렇게 Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>가 흡수력이 뛰어난 것은 이것이 물에 대한 용해성이 높고 염기성이 강하여 CaCO<sub>3</sub>에 비해 액상저항이 거의 없기 때문이다. 본 연구에서 구한 bench scale에서의 물질전달계수는 다른 자료에서 나타난 실증설비규모의 유속으로 환산하였을 때의 값이다.

여기에서 나타난 바와 같이 다른 시스템에 비해서 jet bubbling system이 총괄물질전달계수값이 큰 것은 단위부피당 물질전달면적이 크다는 것을 의미하고 이것은 또한 같은 효율을 내기 위한 실질적인 소요용적이 줄어든다는 것을 의미하기 때문에 jet bubbling system이 작은 장치로써 보다 좋은 효율을 낼 수 있다는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 습식배연탈황공정의 물질전달원리 및 석회석슬러리를 사용하는 기포분사반응기에서의 아황산가스제거효율을 실험을 통하여 살펴 보았다.

Table 1. Comparison of Scrubber Performance Characteristics.

Scrubber Type	Absorbent	SO <sub>2</sub> inlet conc. (ppm)	Eff. (%)	Liq. Flow Rate (gal/min ft <sup>2</sup> )	Gas Flow Rate (ft <sup>3</sup> /min ft <sup>2</sup> )	K <sub>a</sub> a (lbmol/ft <sup>2</sup> hr atm)
Spray Tower	CaCO <sub>3</sub>	1020-1600	41.2-83.7	8.5-48	278-520	2.8-9.4
Packed Tower (a = 68ft <sup>2</sup> /ft <sup>3</sup> )	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	680-1040	95.7-98.8	2.8-14.2	470-760	40-89
	CaCO <sub>3</sub>	960-1900	53.0-97.9	22.5	500	11-55
TCA	Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub>	1200(approx.)	89.6-94.4	20-40	750	114-144*
	CaCO <sub>3</sub>	1200(approx.)	79.8-83.6	30-50	750	80-91*
Jet Bubbling Scrubber	CaCO <sub>3</sub>	940-3700	74.5-93.0	0.0184	112	148.7-164.* (approx.)

\*표는 층의 높이를 정지상태로 가정하고 계산한 것임.

연구의 초기단계인 이 실험적 연구에서 각종 공정변수들에 대한 아황산가스 제거효율을 검토한 결과 물질전달효과 및 제거효율면에서 이 반응시스템이 장점이 크게 있다는 것을 발견할 수 있었다.

앞으로 이 반응시스템에 대해 좀더 철저히 연구를 실시하고 기존의 배연탈황시스템과의 비교연구를 실시함으로써 장치규모가 작고 부산물처리등의 면에서 유리한 공정의 개발이 가능하다고 사료된다.

### 참 고 문 헌

- Bjerle I. et al., Chem. Eng. Sci., 27, 1853, 1972.  
 Delleney, R.B. et al., First Combined FGD and Dry SO<sub>2</sub> Control Symposium, St. Louis, MO, U.S.A., 1988. 10. 25.  
 Sada, E. et al., Chem. Eng. Sci., 32, 1165, 1977.  
 Sada, E. et al., ibid., 32, 1499, 1977.  
 Sada, E. et al., Chem. Eng. J., 19, 131, 1980.  
 Slack, A.V., Chem. Eng. Prog., 2, 71, 1978.

- 동종인, 공업화학, 3, 207, 1992.  
 동종인, 이동균, 기포분사반응기에서 석회석슬러리를 이용한 아황산가스 제거, 한국과학기술연구원, 1981.  
 박원훈 외, 대기오염방지를 위한 배기가스 정화기술 개발, 한국과학기술원, 1991.  
 최병선, 고정원으로부터 발생하는 배연가스의 탈황, 탈질에 관한 WORKSHOP, 13-32, 한국과학기술연구원, 1992. 3. 25.