

## B-4

### 반건식 세정법에서의 SO<sub>2</sub> 제거율 예측에 관한 수학적 모델 A mathematical model for prediction of SO<sub>2</sub> removal efficiency in the spray dryer process.

인회진, 박기호, 김병환, 박철휘  
(주) 대우 건설기술연구소 환경연구실

#### 1. 서론

반건식법은 폐기물 소각처리 시설에서 배출되는 각종 유해 산성 가스들의 세정방법중의 하나로서, 슬러리상으로 된 흡수액 (Ca(OH)<sub>2</sub> 용액) 을 미세입자로 분무하여 기액접촉을 통한 흡수· 건조· 흡착의 과정을 이용하여 오염가스를 제거시키는 공정이다. 이 방법은 흡수액이 분무되어 고온의 배가스와 접촉하면서 산성 유해가스의 흡수와 화학반응을 일으키고, 수분이 증발하여 건조되면서 많은 미세기공이 생겨 중금속 및 유기독성가스의 흡착도 우수한 것으로 보고되어 있다. 본 고찰에서는 특히 SO<sub>2</sub> 의 제거과정에 중점을 두어 이와 관련된 반응메카니즘을 통하여 여러 가지 반응의 파라미터에 따른 SO<sub>2</sub> 제거율을 예측하여 실제 공정에서 적용하고자 한다.

#### 2. 기본방정식

노즐을 통하여 분무된 입자들로부터의 수증기의 증발, 흡수 그리고 SO<sub>2</sub> 와의 반응은 가스상태와 입자상태의 조성과 특질을 모두 변화시키게 된다. 따라서 가스상태와 입자상태의 물질과 에너지수지는 시간에 따른 변화율을 나타내는 방정식으로 표현되고 이를 가스와 입자가 반응기내에서 머무르는 시간동안 적분을 하면 분무반응기 내에서의 SO<sub>2</sub> 의 제거율을 구할 수 있다.

주어진 시간 t 에서 입자내 수분의 무게 (W) 변화율과 활성 흡수제의 무게 (S), 그리고 입자온도 (TD) 는 입자와 가스 사이의 물질, 열 전달율과 서로 관련되어 있다.

$$\frac{dW}{dt} = -18N_w \quad \frac{dS}{dt} = -MWS \times N_s \quad \frac{\pi}{6} D^3 \rho C_p \frac{dT_D}{dt} = Q - N_w L$$

N<sub>w</sub> : 물 증발의 몰 비

N<sub>s</sub> : 가스에서 입자로 SO<sub>2</sub>의 전달의 몰 비

Q : 가스에서 입자로 열 전달율

D : 시간 t 에서 입자의 직경

L : TD 에서 기화시 잠열

입자의 총 무게 (WD) 변화는 수증기의 증발에 의한 질량 감소와 SO<sub>2</sub> 의 흡착에 의한 질량 증가의 합으로 결정되고 X 는 입자안의 수분 함유량 이다.

$$\frac{dWD}{dt} = -18N_w + 64N_s \quad X = \frac{W}{WD}$$

생성된 물질 밀도와 초기의 밀도가 ρ<sub>s</sub> 로 같다고 가정하면 시간 t 에서의 입자의 직경 (D) 은 수분 질량 비 X 와 총 입자 무게 WD 로 결정된다

$$D = \left[ \frac{6}{\pi} \frac{WD + (\rho_s - 1)W}{\rho_s} \right]^{1/3}$$

위 식들은 시간에 따른 수분과 흡수제의 변화를 기술하는데, 이 식들을 초기 조건을 이용하여 입자의 체류시간 RT 동안 적분한다. 또한, 흡수제의 사용도 (UT) 는 활성 흡수제의 잔존량 (S) 과 초기의 흡수제의 양 (CM) 으로 결정되고 SO<sub>2</sub> 의 제거효율 (EF) 은 활성 흡수제의 반응에 이용된 정도를 나타내는 Stoichiometric 비 (SR) 와 흡수제 사용도 (UT) 의 곱으로 주어진다.

$$UT = \frac{(CM - S)}{CM} \quad EF = UT \times SR$$

여기서  $N_w$  와 MWS의 parameter화가 필요한데, 이를 위하여 입자가 건조되기전 상태의 기체경막저항, 액막저항, 소석회와 용해과정을 고려하여야 하고 이후에는 입자의 건조상태를 포함시켜야 한다. 입자의 건조과정에서는 일반적인 건조이론에서 처럼 2단계의 증발과정을 거친다. 처음 단계 (균일건조율단계)에서는 액적내의 solid 함유농도가 증발율에 영향을 미치지 않으나 수분양이 임계수분양 아래로 내려가면서 두번째 단계로 (감소건조율) solid 함유농도는 건조율을 감소시킨다. 건조과정은 액적의 수분함유량이 평형상태를 이룰 때 까지 계속된다.

### 3. 모델 수행 조건

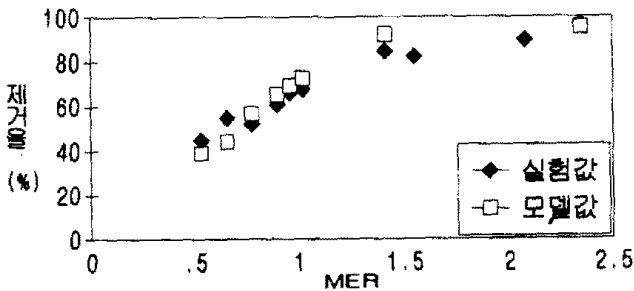
#### ■ input 자료

- 유입가스에 대하여 온도, 함습량,  $SO_2$  농도, 유량
- 슬러리입자에 대하여 입경, 온도, 흡수제 평균입자크기
- 계산조건으로 stoichimetric molar ratio, 체류시간

#### ■ 가정

- 분무건조기 상부에서 하부까지 입자들의 1차원 기류틀 고려
- 입자들은 분무 반응기내에서 균일하게 분포되어 있음 (초기의 입자크기는 일정)
- 입자들의 반응기 내에서의 체류시간과 속도가 같음

### 4. 결과



#### ◆ 모델 조건

- 가스 유량 :  $250 \text{ Nm}^3/\text{hr}$
- 가스유입온도 :  $200 \text{ }^\circ\text{C}$
- 수분함습 : 8%
- 수분주입량 :  $150 \text{ g/min}$
- 입자크기 :  $55 \text{ }\mu\text{m}$
- 흡수제 크기 :  $4 \text{ }\mu\text{m}$
- 체류시간 : 10초

그림 1. MER 에 따른 제거율 변화

모델의 여러 가지 인자에 따른 제거율 변화를 살펴보았다. 입구온도가 증가함에 따라 제거율은 감소하는 경향을 나타내고 유입가스의 함습량이 증가함에 따라서 제거효율은 높게 나타났다. 흡수제 입경이 작을수록 제거율은 증가하고 체류시간을 증가시킬수록 효율은 향상되었다. 위 그림에서는 MER에 따른 제거율의 변화를 모델의 결과와 실험값을 비교하여 나타내었다. 2가지 경우 모두 MER 이 증가함에 따라 제거율이 40% 에서 90% 이상까지 높아지며 거의 같은 경향을 보인다. MER 이 1.5 이상이 되면 제거율에 큰 변화가 없는 것으로 나타났다.