

# CT2) **확산, 차단, 충돌에 의한 세정탑의 입자 제거 효율 예측** **Prediction of Wet Scrubber Particle Removal Efficiency due to Diffusion, Interception and Impaction**

김현태, 정창훈, 이규원  
 광주과학기술원 환경공학과

## 1. 서 론

입자상 물질을 제거하기 위한 수단으로는 싸이클론, 필터, 전기집진기, 세정탑 등이 있다. 이중에 세정탑은 설치 및 운전이 편리한 반면, 미세 입자 제거 효율이 낮아 산업체에서 제한적으로 사용되고 있다. 이러한 결점, 즉 미세 입자의 제거 효율을 높이기 위해 다양한 형태의 세정탑이 연구되었으나(Laitinen et al., 1997; Fan et al., 1988), 대부분 실험적인 연구로서 세정탑에서 입자의 제거 기작이나 크기 분포 특성을 설명하지는 못한다. 이에 본 연구에서는 입자의 크기 분포가 대수정규함수(lognormal function)라고 가정하여 다분산(polydisperse) 입자가 세정탑에서 확산, 차단, 관성 충돌에 의해 제거될 때 입자의 제거 효율 및 입자 크기 분포의 특성(총 입자 개수, 평균 직경, 표준 편차)을 밝히는데 그 목적이 있다.

## 2. 이론적 연구

세정탑에서 주요 입자 제거 기작(mechanism)으로는 확산(diffusion), 차단(interception), 관성 충돌(impaction)이 있다. 확산은 입자의 크기가 대략 0.05  $\mu\text{m}$  보다 작을 때 지배적인 제거 기작이며, 유속이 작을 때 확산에 대한 영향은 증가한다. 이와 반대로 상대적으로 큰 입자의 제거 기작인 관성 충돌에 의한 입자 제거는 유속이 증가하면 그 영향도 증가한다(그림 1 참조). 차단에 의한 영향은 입자가 유속이 없는 상황에서도 제거될 수 있다는 것을 보여주는 입자 제거 기작이다. Jung and Lee(1998)는 물방울에 의한 입자의 확산과 차단에 의한 제거 효율식(식 1, 2)을 연구한 바 있으며, Licht(1988)는 관성 충돌에 의한 입자 제거 효율식(식 3)을 제시하였다.

$$\eta_{df} = 0.7 \left\{ \frac{4}{\sqrt{3}} \left( \frac{1-\alpha}{J+\alpha K} \right)^{\frac{1}{2}} Pe^{-\frac{1}{2}} + 2 \left( \frac{\sqrt{3}\pi}{4Pe} \right)^{\frac{2}{3}} \left[ \frac{(1-\alpha)(3\sigma+4)}{J+\alpha K} \right]^{\frac{1}{3}} \right\} \quad (1)$$

$$\eta_{nt} = \frac{(1-\alpha)}{(J+\alpha K)} \left[ \left( \frac{R}{1+R} \right) + \frac{1}{2} \left( \frac{R}{1+R} \right)^2 (3\sigma+4) \right] \quad (2)$$

$$\eta_{mp} = \left( \frac{Stk}{Stk+0.35} \right)^2 \quad (3)$$

이러한 입자 제거 기작들이  $\eta_{total} = \eta_{df} + \eta_{nt} + \eta_{mp}$ 의 형태로 동시에 일어난다고 가정하면, 시간에 따른 입자 개수농도의 변화는 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial n}{\partial t} = -\frac{3}{2} \frac{Q_i(U_{st} - U_n)}{Q_g D} (\eta_{total}) n \quad (4)$$

## 3. 결과 및 토론

그림 1에서와 같이 입자의 채취 효율 곡선은 포물선 형태를 보여준다. 채취 효율이 최소를 보이는 점(대략 입자 크기가 1  $\mu\text{m}$  부근)을 기준으로 왼쪽 부분이 확산이 지배적으로 입자의 제거에 영향을 미치는 확산 영역이고, 오른쪽이 관성 충돌에 의해 대부분의 입자가 제거되는 충돌 영역이다. 이러한 현상은 약간의 차이가 있겠지만 입자가 필터에 의해 여과(filtration)될 때 나타나는 경향과 같다. 세정탑은 거대 입자의 제거에 있어서 많은 장점이 있으나 미세 입자를 제거하기 위한 수단으로는 부적절하다는 것이

일반적인 견해이다. 하지만 세정탑의 운전 조건을 변화시킨다면 미세 입자도 충분히 제거될 수 있다. 그림 1(a)에서 보는 바와 같이 오염된 가스의 유속이 작을 때 비록 거대 입자의 효율은 낮아지지만, 미세 입자의 효율이 증가됨을 보여주고 있다. 세정탑에서 분사되는 물방울의 크기도 미세 입자를 제거하기 위한 중요한 변수이다. 그림 1(b)에서 볼 수 있듯이 물방울의 크기가 작아지면 입자 전 영역에서 제거 효율이 향상됨을 알 수 있다. 그림 2는 물방울에 의해 제거되는 입자의 크기 분포를 시간에 따라 보여 주고 있다. 확산 영역에 분포하는 입자의 경우 평균 직경은 증가하고, 표준 편차는 감소하면서 빠르게 제거됨을 볼 수 있다. 충돌 영역에 분포하는 입자의 경우 평균 직경과 표준 편차가 동시에 감소함을 예상할 수 있다.

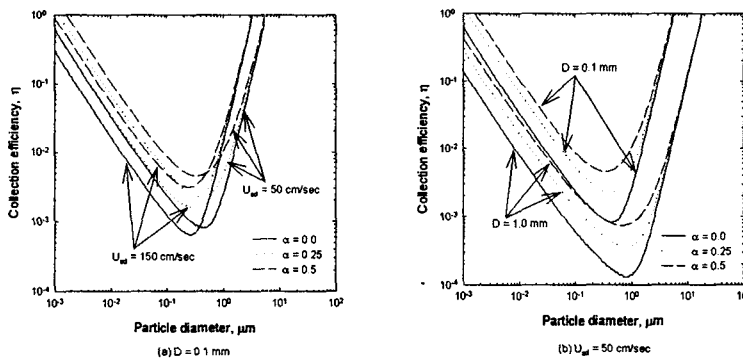


Fig. 1. Collection efficiency as a function of particle size for (a)  $D = 0.1$  mm and (b)  $U_{sd} = 50$  cm/sec

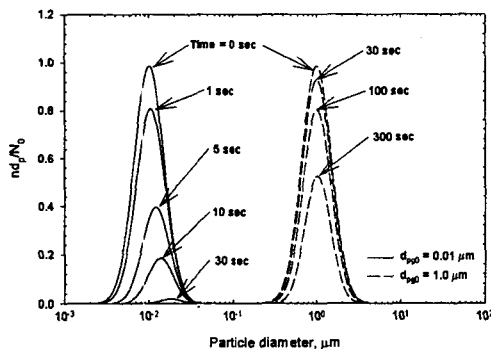


Fig. 2. Particle size distribution as a function of particle size

### 참고문헌

- Fan, X., T. Schultz, and E. Muschelknautz (1988) Experimental Results from a Plate-Column Wet Scrubber with Gas-Atomized Spray, Chem. Eng. Technol., Vol.11, p.73.
- Jung, C. H., and K. W. Lee (1998) Filtration of Fine Particles by Multiple Liquid Droplet and Gas Bubble Systems, Aerosol Sci. and Technol., Vol.29, p.389.
- Laitinen, A., J. Hautanen, and J. Keskinen (1997) Effect of the Space Charge Precipitation on Wet Scrubber Fine Particle Removal Efficiency, J. Aerosol Sci., Vol.28, p.S287.
- Licht, W. (1988) Air Pollution Control Engineering: Basic Calculations for Particulate Collection, 2nd Ed., Marcel Dekker, New York, p.419.