

PA7) 액체 포집구에서의 에어로졸 물질 전달에 관한 해석적 해

정창훈

경인여자대학 환경보건과

1. 서론

에어로졸의 물질 전달은 일반적으로 널리 적용되는 가스상으로부터 고체상으로의 이동뿐 아니라 액체상으로부터 기포(bubble)로 또 가스상으로부터 액상(liquid)으로의 이동등에 다양하게 적용되어 왔다. 이러한 물질 전달과정은 여과 원리를 이용한 대기 중 에어로졸의 제거 뿐 아니라 기포를 통한 수중 하이드로졸의 제거 그리고 습식 스크러버 등에서 액적을 이용한 대기 에어로졸의 제거 등의 물질 전달과정을 설명하여 준다. 따라서 이러한 고체 포집구 및 유체 포집구에서의 물질 전달율에 대한 이론적 연구는 매우 중요하다. 지금까지 고체 포집구에서의 물질 전달에 관한 연구와 다중 가스 기포에서의 물질 전달에 관한 연구등(Lee et al., 1999)은 이루어 졌으나 액체 포집구에서의 물질 전달에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이는 액체의 경우 기포나 고체 포집구에 비해 포집구 내외의 점성도 비에 따라 물질 전달율이 해석적으로 구하여지지 않기 때문에 수치적 해석 결과에 의존해야 하기 때문이다. 본 연구에서는 액체 포집구에서의 에어로졸의 물질 전달에 관한 해석적인 해를 구하였다. 이를 위해 널리 사용되는 유동장 모델인 Kuwabara(1959)와 Happel(1958)의 유동장 모델을 간략화(simplify)하였고 수치적으로 구한 결과에 근사될 수 있는 해석적인 물질 전달율을 구하였다.

2. 해석적 방법

본 연구에서는 Kuwabara(1959)와 Happel(1958)의 cell model을 액체 포집구에 적용하였다. 먼저 다중 유체 포집구 주위를 지나는 유동장(flow field)을 구하고 이를 간략화 한 후 경계층이론을 적용하였다. 구형 포집체로의 에어로졸의 물질 전달율은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Sh = \frac{Pe}{2} \int_0^1 \Psi' dc' \quad (1)$$

여기서 Sh는 Sherwood 수, Pe는 Peclet 수 그리고 Ψ' , c' 은 각각 무차원화된 형태의 농도와 유동장이다. 식(1)은 해석적으로 구할 수 없다. Jung and Lee(1998)에 의해 제안된 간략화된(Approximated) 방법을 본 연구에 적용하면 액체 포집구에 전달되는 에어로졸의 물질 전달률은 Kuwabara(1958)와 Happel(1959)의 유동장에 대해 각각 다음과 같이 해석적으로 구할 수 있다.

$$Sh = \frac{0.7Pe}{2}(A + B) \quad (2)$$

$$A = \left(\frac{3\pi}{4Pe}\right)^{2/3} \left\{ \frac{(1-\alpha^{5/3})(4+3\sigma)}{3(H_K\sigma + H_R)} \right\}^{1/3}, \quad B = \sqrt{\frac{4(1-\alpha^{5/3})}{3(H_K\sigma + H_R)Pe}} \quad \text{for Happel's cell model.}$$

$$A = \left(\frac{3\pi}{4Pe}\right)^{2/3} \left\{ \frac{(1-\alpha)(4+3\sigma)}{3(K\sigma + J)} \right\}^{1/3}, \quad B = \sqrt{\frac{4(1-\alpha)}{3(K\sigma + J)Pe}} \quad \text{for Kuwabara's cell model.}$$

여기서 σ 는 포집구의 내부와 외부의 점성도 비, H_K 와 H_R 은 Happel 모델에서의 hydrodynamic factor 그리고 K, J 는 Kuwabara 모델에서의 hydrodynamic factor이다.

3. 결 론

그림 1은 포집구가 유체인 경우의 물질 전달율을 점성도 비(σ)의 함수로 나타낸 것이다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 Sh 는 Pe 가 증가할수록 증가하며 기포($\sigma \rightarrow 0$)의 물질 전달율이 액적에 비해 더 높게 나오는 것을 알 수 있다. 이는 기포의 경우 유체구 내부의 2차 흐름(induced flow)에 의해 에어로졸의 물질 전달율이 증가하기 때문인 것으로 해석된다. 또한 본 연구에서 구한 해석적인 값과 수치적으로 계산된 값이 서로 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 그림 2는 본 연구에서 비교한 Kuwabara의 cell model과 Happel의 cell model의 결과를 Pe 의 함수로 비교한 것이다. 그림 2에서 볼 수 있듯이 포집구가 고체구, 기포 그리고 유체구인 경우 공히 Kuwabara와 Happel의 cell model이 서로 잘 일치하고 있음을 보여준다. 이는 포집체가 섬유 필터와 같은 원통형(cylindrical)의 경우 Kuwabara와 Happel의 유동장이 차이가 나는 것에 비해 구형의 포집체의 경우, 두 모델의 유동장에 차이가 없기 때문인 것으로 해석된다.

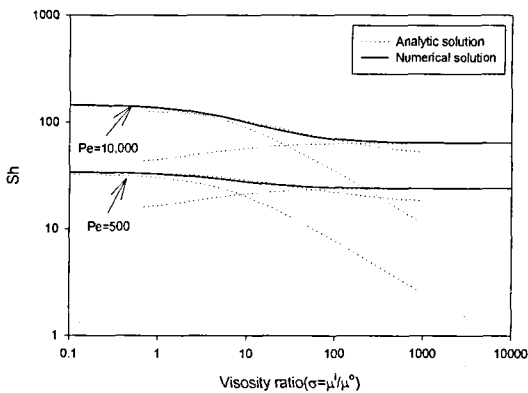


Fig. 1. Comparison of the mass transfer rate a function of viscosity ratio between analytic and numerical results(Happel's model).

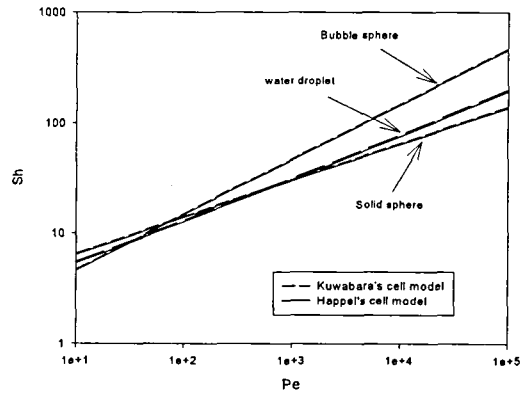


Fig. 2. Comparison of the mass transfer rate as a function of Peclet number between Kuwabara and Happel's cell model.

참 고 문 헌

- Happel, J., 1958, Viscous flow in multiparticle systems: Slow motion of fluids relative to beds of spherical particles, A. I. Ch. E. J., 4, 197-201.
- Jung, C. H. and K. W. Lee, 1998, Filtration of fine particles by multiple liquid droplet and gas bubble systems, Aerosol Sci. Tech., 29, pp. 389-401.
- Kuwabara, S., 1959, The forced experienced by randomly distributed parallel circular cylinders or spheres in a viscous flow at small Reynolds numbers, J. Phys. Soc. Japan, 14, 527-532.
- Lee, K. W., L. D. Reed, and C. H. Jung, 1999, Convective mass transfer onto multiple gas bubbles, J. Environ. Enging., 125, pp634-637.