

PC5) 자유분자영역에서 프랙탈 입자의 브라운 응집에 관한 연구 Brownian Coagulation of Fractal Agglomerates in the Free-molecule Regime

박성훈 · 이규원
 광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

고온의 산업공정에서 발생하는 에어로졸 입자들은 많은 기본입자(primary particle)들로 이루어진 불규칙한 사슬구조를 가진다 (Matsoukas and Friedlander, 1991). 이러한 비구형 프랙탈 입자들의 거동은 구형 입자들과 비교할 때 큰 차이를 보인다. 프랙탈 입자들의 부피는 충돌반경의 거듭제곱으로 나타낼 수 있으며, 프랙탈 차원이라 불리는 그 지수는 1에서 3 사이의 값을 가진다. 자유분자영역에서의 브라운 응집에 대한 해석해는 Lee et al.(1990)에 의해 제시된 바 있으나, 이는 구형입자를 가정한 결과였고, 비구형 프랙탈 입자의 거동을 해석하려 할 때는 이로 인한 오차가 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 프랙탈 입자의 비구형성(프랙탈 차원)을 고려한 새로운 해석해를 유도하였다.

2. 연구 방법

브라운 응집에 의한 프랙탈 입자들의 크기분포의 변화는 다음 식으로 나타낼 수 있다(Müller, 1928).

$$\frac{\partial n(v, t)}{\partial t} = \frac{1}{2} \int_0^v \beta(v-\bar{v}, \bar{v}) n(v-\bar{v}, t) n(\bar{v}, t) d\bar{v} - n(v, t) \int_0^\infty \beta(v, \bar{v}) n(\bar{v}, t) d\bar{v} \quad (1)$$

여기서 $n(v, t)$ 는 시간 t 에서의 입자크기분포이며, $\beta(v, \bar{v})$ 는 부피가 각각 v 와 \bar{v} 인 두 입자의 충돌커널(collision kernel)로서 자유분자영역의 경우에 다음과 같다 (Matsoukas and Friedlander, 1991):

$$\beta(v, \bar{v}) = K \left(v^{1/D_f} + \bar{v}^{1/D_f} \right)^2 \cdot \left(\frac{1}{v} + \frac{1}{\bar{v}} \right)^{1/2} \quad (2)$$

여기서 $K = [(3/4\pi)^{2/D_f-1/2} (6k_B T / \rho)^{1/2} r_p^{2-6/D_f}]$ 는 응집계수, D_f 는 프랙탈 차원, k_B 는 볼츠만 상수, T 는 절대온도, ρ 는 입자의 밀도, r_p 는 기본입자(primary particle)의 반지름이다.

본 연구에서는 입자크기분포를 다음과 같이 시간에 따라 변하는 대수정규분포(log-normal size distribution)로 가정하였다.

$$n(v, t) = \frac{1}{3v} \frac{N(t)}{\sqrt{2\pi \ln \sigma(t)}} \exp \left[-\frac{\ln^2 \{v/v_g(t)\}}{18 \ln^2 \sigma(t)} \right] \quad (3)$$

여기서 N 은 입자의 전체 수농도, σ 는 입자크기의 기하표준편차, v_g 는 입자부피의 기하평균을 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 대수정규분포의 모멘트기법(Lee et al., 1990)으로 유도해낸 해석해는 다음과 같이 대수정규분포의 세 파라미터로 나타낸다.

$$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{\left\{ 1 + \left(\frac{3D_f - 4}{2D_f} \right) H_0 b K v_{g0}^{4-2D_f} N_0 t \right\}^{2D_f/3D_f-4}} \quad (4)$$

$$\frac{v_g}{v_{g0}} = \frac{\exp\left(\frac{9}{2}\ln^2\sigma_o\right)\left\{1 + \left(\frac{3D_f-4}{2D_f}\right)H_o bK v_{g0}^{\frac{4-D_f}{2D_f}} N_o t\right\}^{\frac{2D_f}{3D_f-4}}}{\left[2 + \frac{\exp\left\{\frac{9(3D_f-4)}{2D_f}\ln^2\sigma_o\right\} - 2}{1 + \left(\frac{3D_f-4}{2D_f}\right)H_o bK v_{g0}^{\frac{4-D_f}{2D_f}} N_o t}\right]^{\frac{D_f}{3D_f-4}}} \quad (5)$$

$$\ln^2\sigma = \frac{2D_f}{9(3D_f-4)} \ln \left[2 + \frac{\exp\left\{\frac{9(3D_f-4)}{2D_f}\ln^2\sigma_o\right\} - 2}{1 + \left(\frac{3D_f-4}{2D_f}\right)H_o bK v_{g0}^{\frac{4-D_f}{2D_f}} N_o t} \right] \quad (6)$$

그림 1은 서로 다른 σ_o 및 D_f 의 조건에서 시간에 따른 입자 수농도의 변화를 비교한 것이다. 이 그림으로부터 σ_o 뿐만 아니라 D_f 역시 응집속도에 매우 중요한 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 과학기술부에서 후원하는 '00 원자력 연구개발과제의 일환으로 수행되었음을 밝히며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Lee, K. W., Curtis, L. A. and Chen, H. (1990) 12, 457.
 Matsoukas, T. and Friedlander, S. K. (1991) *J. Colloid Interface Sci.* 146, 495.
 Müller, H. (1928) *Kolloidbeihfte* 27, 223.

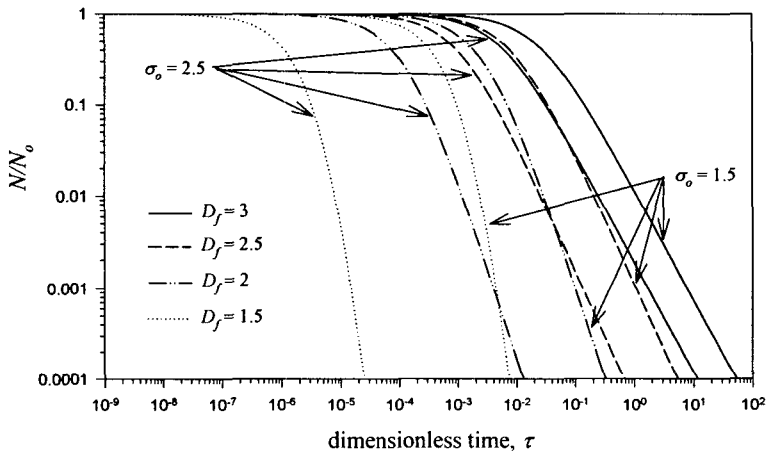


Figure 1. Number concentration change as a function of σ_o and D_f .