한국대기환경학회 2000 추계학술대회 논문집
Proceeding of the 31st Meeting of KOSAE (2000)
Korean Society for Atmospheric Environment

PC2) 에어로졸 입자의 응집과정에서 얻어지는 자기보존 크기분포에 관한 연구

Asymptotic Particle Size Distributions Attained during Coagulation Processes

박성훈 · 이규원
광주과학기술원 환경공학과

1. 서 론

에어로졸 입자들의 물리적, 화학적 성질 및 인체에 미치는 영향 등은 입자의 크기분포에 밀접하게 관련되어 있다. 에어로졸 입자의 응집현상은 입자의 크기분포 변화를 일으키는 주된 메커니즘의 하나로서 여러 응용 및 기초 연구에 필수적으로 사용된다. 응집에 의한 입자크기분포의 변화는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

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

여기서 $n(v, t)$는 시간 t에서의 입자크기분포, $\beta(v,\bar{v})$는 부피가 v와 $\bar{v}$인 두 입자의 충돌함수이다. 충돌함수가 다음과 같은 함수형태를 가질 때 이를 homogeneous하다고 정의한다.

$$\beta(av, a\bar{v}) = a^{\gamma}\beta(v,\bar{v}) \qquad (2)$$

여기서 γ는 degree of homogeneity라 부른다. γ가 1보다 작은 경우 에어로졸 입자는 응집과정을 통해 자기보존(self-preserving) 크기분포로 수렴하게 된다 (Swift and Friedlander, 1964; Friedlander and Wang, 1966). 이 경우 에어로졸 입자의 농도변화는 시간의 $-1/(1-\gamma)$제곱에 비례한다고 알려져 있다 (Lushnikov, 1973). 이와 같이 degree of homogeneity가 응집과정에서 중요한 역할을 담당하지만, 여기서 얻어지는 자기보존 크기분포의 정량적 분석이나 에어로졸 입자의 농도변화의 정량적 해석해는 아직까지도 제시되지 못했다. 본 연구에서는 이에 대한 해답을 제시하는 것을 목적으로 한다.

2. 방 법

Degree of homogeneity γ를 가지는 임의의 충돌함수를 나타내기 위해 다음 식을 사용했다.

$$\beta(v,\bar{v}) = \sum_x K_x v^x \bar{v}^{\gamma - x} \qquad (3)$$

여기서 x는 임의의 실수, K_x는 충돌계수이다.

본 연구에서는 입자의 크기분포를 대수정규분포라 가정하고 세 개의 크기분포 파라미터의 변화를 추적함으로써 입자크기분포의 변화를 알아내는 모멘트기법을 사용하였다. 대수정규분포는 다음 식으로 표현된다.

$$n(v,t) = \frac{1}{3v}\frac{N(t)}{\sqrt{2\pi}\ln\sigma(t)}\exp\left[\frac{-\ln^2\{v/v_g(t)\}}{18\ln^2\sigma(t)}\right] \qquad (4)$$

여기서 N은 입자의 전체 수농도, σ_g는 입자반경의 기하표준편차, v_g는 입자의 기하평균부피를 나타낸다.

3. 결과 및 고찰

에어로졸 입자의 크기가 대수정규분포를 이룬다고 가정했을 때 응집과정에서 얻어지는 자기보존 크기분포는 degree of homogeneity만의 함수임이 확인되었으며 그 결과는 다음 식으로 정리된다.

$$\sigma_{g\infty} = \exp\left[\sqrt{\frac{1}{9(1-\gamma)}\ln 2}\right] \text{ for } \gamma < 1 \qquad (5)$$

$\gamma \geq 1$일 때는 σ_g가 특정값으로 수렴하지 않고 무한대로 발산하게 되며 이는 gelation으로 널리 알려진

현상의 수학적 표현으로 해석할 수 있다.

입자의 크기분포가 자기보존분포로 수렴하게 되면 σ_g는 더 이상 변하지 않게 되며, 이 때 에어로졸 입자의 전체 수농도의 변화는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{N}{N_o} = \left[1+\frac{1}{2}(1-\gamma)N_o v_{go}^{\gamma} t \cdot \sum_x K_x \exp\left\{\frac{9}{2}(\gamma^2-2\gamma x+2x^2)\ln^2\sigma_{g\infty}\right\}\right]^{-\frac{1}{1-\gamma}} \tag{6}$$

그림 1은 여러 degree of homogeneity에 대한 자기보존 크기분포를 보여주고 있다. 이 그림에서는 모멘트 기법을 써서 구한 해석해와 sectional method를 써서 구한 수치해석해를 비교하고 있다. 수치해석해는 Gentry and Cheng (1996)이 사용한 "idealized homogeneous kernel"을 사용하여 구했다. 그림 1에 따르면, 해석해와 수치해석해 모두 degree of homogeneity가 증가할수록 자기보존 크기분포가 넓어지는 경향을 보였으며, 해석해의 오차는 degree of homogeneity가 증가할수록 커지는 것으로 나타났다.

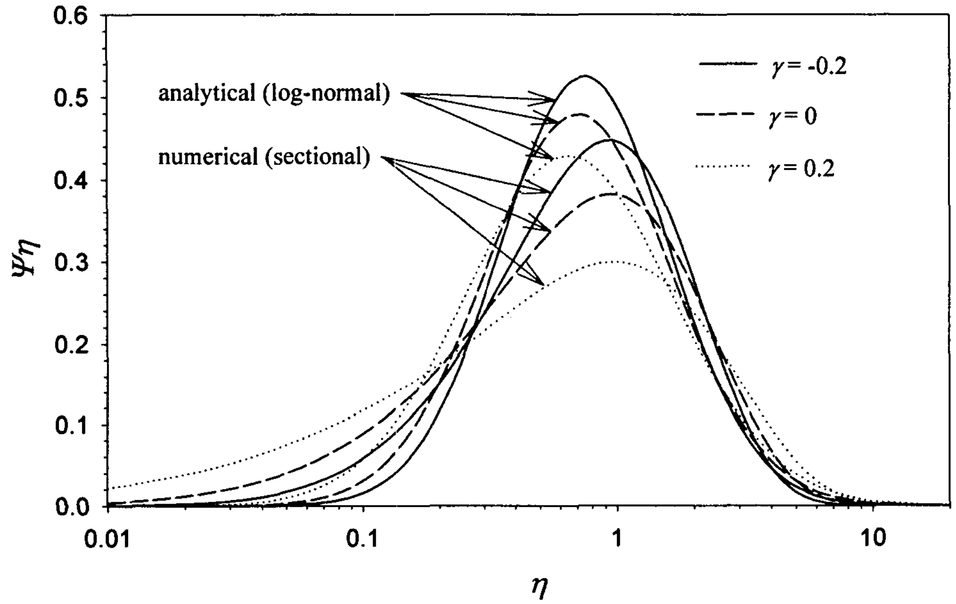

Fig. 1. Comparison of self-preserving size distributions for different values of degree of homogeneity obtained by analytical and numerical methods.

참 고 문 헌

Friedlander, S. K. and Wang, C. S. (1966) The self-preserving particle size distribution for coagulation by Brownian motion. *J. Colloid Interface Sci.* **22**, 126-132.

Gentry, J. W. and Cheng, S. H. (1996) The effect of special classes of collision kernels on the asymptotic behavior of aerosol size distributions undergoing coagulation. *J. Aerosol Sci.* **27**, 519-535.

Lushnikov, A. A. (1973) Evolution of coagulating systems. *J. Colloid Interface Sci.* **45**, 549-556.

Swift, D. L. and Friedlander, S. K. (1964) The coagulation of hydrosols by Brownian motion and laminar shear flow. *J. Colloid Sci.* **19**, 621-647.