

큰 입자가 포함된 유동층에서 미세입자의 비산특성

김준환, 이동현*

성균관대학교 공과대학 화학공학과

(dhlee@skku.edu*)

The Entrainment of Fine Particle in the Fluidized Beds with Coarse Particle

Joon Hwan Kim, Dong Hyun Lee*

Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University

(dhlee@skku.edu*)

1. 서론

유동층에서 fine particle의 비산특성은 유동층 응용기술에서 상당히 중요한 부분을 차지한다. 비산손실은 column의 직경, 높이, 평균입도, 입도분포, 유속 등의 실험 조건의 차이에 의해서 이전의 연구 결과들과 다른 결과를 얻을 수 있다[1]. Baron 등[2]은 silica sand 와 FCC가 혼합되어 있는 fine particle의 경우 응집되는 현상 때문에 비산이 쉽게 되지 않는다고 하였다. Baeyens 등[3]은 Geldart A입자에 Geldart C 입자를 혼합하여 실험을 하였는데 particle size가 감소할수록 비산속도상수는 증가한다고 하였다. Leva[4]는 weight fraction으로 5~20%까지는 fine particle의 영향이 최소화되는 영역이라고 하였고 Wen and Hashinger[5] 역시 weight fraction 25% 미만의 경우 fine particle이 비산속도상수에 미치는 영향은 미미하다고 하였다. Ma 등[6]은 binary mixture system에서 Geldart C 입자의 경우 15%미만의 영역에서는 비산속도상수에 영향을 크게 미치지 않는다고 하였다. Osberg and Charlesworth[7]은 fine particle의 질량비율이 1~5%의 범위에서 비산속도상수와 fine particle의 비율은 반비례한다고 하였다. 그러나 Geldart 등[8]과 Bachovchin 등[9], Smolders and Baeyens[10]는 fine particle의 함량이 높아질수록 비산속도상수는 증가한다고 하였다. 선행 연구자들의 연구결과를 살펴보면 실험조건에 따라 결과 값이 다르고 일관성이 없기는 하지만 fine particle이 입자의 비산에 영향을 미치고 있다는 것을 알 수 있다.

본 실험의 목적은 batch system에서 coarse particle에 fine particle인 Geldart C 입자를 혼합하였을 경우 입자의 비산특성에 어떤 영향을 미치는지 파악하는데 있다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험 장치는 Fig. 1과 같다. 제습장비를 거친 건조한 공기가 riser에 공급되고 싸이클론에서 포집된 입자들은 전자저울을 통해 1초에 1개의 data를 받는다. 싸이클론에서 포집되지 못한 입자는 bag filter에서 포집된다. 내경이 0.1m이고 높이가 3.7m인 유동층 장치에서 coarse particle에 fine particle인 Geldart C 입자를 최대 50%까지 혼합하여 실험을 진행하였다.

2.2 실험방법

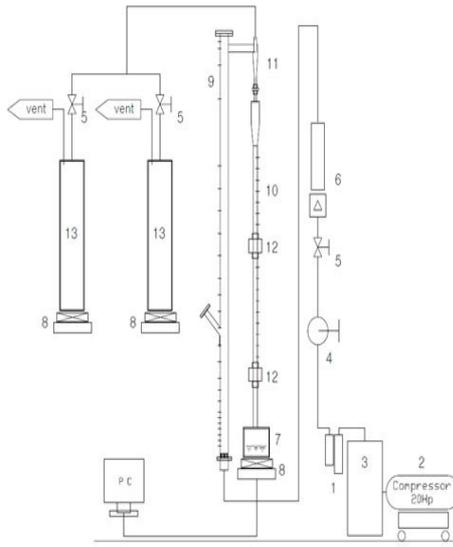


Fig. 1. 실험장치 개략도
resolution을 0.34로 일정하게 유지하였다. Fig. 2는 평균입경을 0.512mm로 일정하게 맞추고 입도분포를 변화시켜 나타낸 것이다.

Coarse particle은 입도분포에 의한 영향을 확인하기 위해서 Sauter mean diameter를 0.512mm로 일정하게 유지한 후 mono, Gaussian, binary type으로 입도분포를 바꾸어 실험을 진행하였다. Fine particle 혼합비에 대한 영향을 파악하기 위해 coarse particle에 Geldart C particle인 fine particle을 5, 10, 30, 50%로 혼합하여 기체유속이 0.5m/s에서 비산속도, 비산속도상수를 측정하였다. 초기의 bed의 무게는 4kg으로 유지하고 실험을 하였다.

2.3 시료

Fine particle 인 Geldart C particle은 부피평균입도가 13 μ m이다. Geldart C 입자의 경우 최소 유동화 속도는 channeling 현상으로 인해 측정할 수 없었다. Coarse particle은 glass beads를 사용하였고 Geldart group B, D에 포함되는 입자이다. 각 구간의

3. 이론

Wen 와 Hashinger[5]는 batch system의 unsteady-state상태에서 비산속도 및 비산속도상수를 다음과 같은 식을 사용하여 계산할 수 있다고 하였다.

$$\frac{dC}{dt} = -kC$$

$$C = \frac{w_0 - w}{W_t - w}, \quad k = \frac{KA}{W_t - w}$$

위의 식을 적분하면 다음과 같은 최종식을 얻을 수 있다.

$$\ln(w_0 - w) = KA \frac{1}{(w_0 - w_t)} t + \ln w_0$$

C는 fine particle의 농도, w_0 는 비산되는 fine particle의 양, W_t 는 초기 bed weight, k는 비산속도, K는 비산속도상수, A는 bed의 단면적이다.

4. 결과 및 고찰

Fig. 3는 시간에 따른 비산량을 이용해 초기의 비산속도를 나타낸 것이다. 초기에 비산속도는 fine particle의 함량이 증가할수록 비산속도가 증가할 것으로 생각되었지만 30%를 전후로 해서 함량이 초기 비산속도가 감소하는 것을 확인할 수 있었다. 이것은 fine particle의 함량이 높아질수록 입자들간의 응집현상이 발생해 비산속도에 영향을 주기 때문이다.

Fig. 4는 위의 Wen 과 Hashinger[5]의 식을 이용해 $\ln(w_0 - w)$ 와 time에 대해 plot한 것이다. 초기의 기울기를 이용해 K값을 구하여 Fig. 5에 나타내었다.

서론에서 설명한 바와 같이 선행 연구자들에 의하면 미세입자들의 혼합비에 따라서 elutriation rate constant 값은 실험조건에 따라서 상이한 결과를 얻을 수 있다고 하였다. 이번 실험에서는 입자의 응집이 강한 Geldart C particle을 사용하였기 때문에

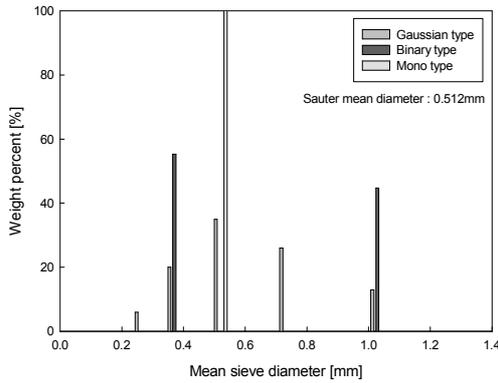


Fig. 2. PSD of the considered mixture

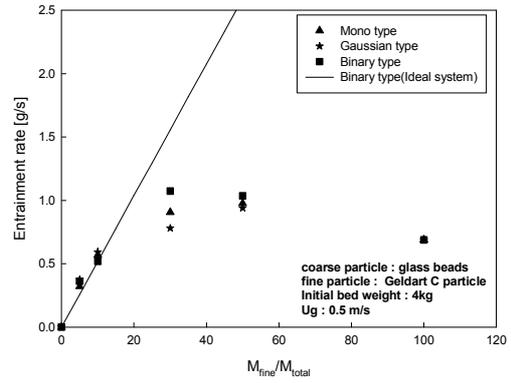


Fig. 3. Mass ratio of fine particle vs entrainment rate

K값이 혼합비의 증가에 따라 감소하는 경향을 확인할 수 있었다. Cocco 등[11]에 의하면 Geldart C 입자는 electrostatics, capillary, Van der Waals force같은 cohesive force가 작용하기 때문에 입자들끼리 뭉치는 현상이 강하다고 하였다. 또한 Chyang 등[12]에 의하면 fine particle의 혼합비가 16%까지는 bubble size가 비산에 영향을 미치는 주요 인자이고 16% 이상의 범위에서는 bubble frequency가 비산에 영향을 미친다고 주장하였다. Kage 등[13]은 fine particle의 혼합비가 증가할수록 입자들의 방해효과 때문에 K값이 점점 감소한다고 주장하였다. 따라서 Geldart C particle의 혼합비가 증가할수록 입자들간의 응집, bubble의 영향 등의 복합적인 원인으로 인하여 K값은 감소하는 경향을 나타낸다고 할 수 있다.

Fig. 6은 coarse particle의 입도분포를 변화시키면서 Geldart C particle 혼합실험을 한 결과이다. 입자들의 분포를 변화시키면 입자와 입자의 충돌에너지 변화로 인해서 비산속도 상수 값에는 영향을 미칠 것이라고 생각했지만 큰 변화는 없는 것으로 확인되었다.

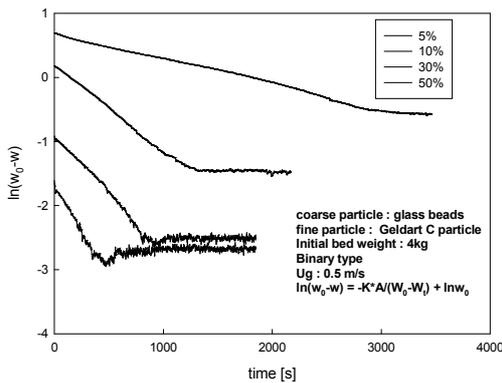


Fig. 4. $\ln(W_0-W)$ vs time

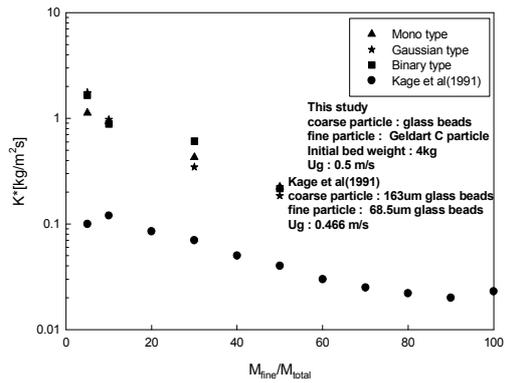


Fig. 5. Effect of fine concentration on the elutriation rate constant.

4. 결론

- (1) Geldart C particle의 혼합비가 증가하면 초기의 비산속도는 10%를 기점으로 점점 감소하는 경향이 나타난다.
- (2) Elutriation rate constant는 fine particle의 혼합비가 증가할수록 감소하는 경향이 나타난다.

(3) Coarse particle의 입도분포는 elutriation rate constant 값에 큰 영향을 미치지 못한다.

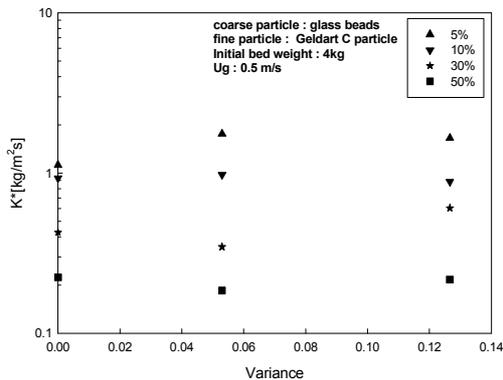


Fig. 6. Elutriation rate constant vs variance

참고문헌

1. Xiaoxun Ma, Kunio Kato "Effect of interparticle adhesion forces on elutriation of fine powders from a fluidized bed of a binary particle mixture."
2. Baron, T., C. L. Bariens, J. J. D. Hazlett, M. A. Bergougnou and P. Galtier "Size Distribution of the Particles Entrained from Fluidized Beds: Gas Humidity Effects."
3. Baeyens, J., D. Geldart and S. Y. Wu "Elutriation of Fines From Gas Fluidized Beds of Geldart A-type Powders—Effect of Adding Superfines."
4. Leva, M "Elutriation of Fines from Fluidized System."
5. Wen, C. Y. and R. F. Hashinger "Elutiation of Solid Particles from a Dense-Phase Fluidized Bed."
6. Ma, X. X., Y. Honda, N. Nakagawa and K. Kato "Elutriation of Fine Particles from a Fluidized Bed of a Binary Particle-Mixture."
7. Osberg, G. L. and K. H. Charlesworth "Elutriation in a Fluidized Bed."
8. Geldart, D., J. Cullinan, S. Georghiadis, D. Gilvray and K. J. Pope "The Effect of Fines on Entrainment from Gas Fluidized Beds."
9. Bachovchin, D. M., J. M. Beer and A. F. Sarofim "An Inverstigation into the Steady-State Elutriation of Fines from a Fluidized Beds."
10. Smolders, K. and J. Baeyens "Elutriation of Fines from Gas Fluidized Beds: Mechanisms of Elutriation and Effect of Freeboard Geometry."
11. Cocco, R., Shaffer, F., Hays, Roy., Reddy Karri, S. B., Knowlton T. "Particle clusters in and above fluidized beds."
12. Chyang, C. S., Wan H. P., Liu, Y. C., "Elutriation of fine particles from a vortexing fluidized bed."
13. Kage, H., Tsumori, M., Matsuno, Y. "Obstructive effect on elutriation due to existence of particles in freeboard."