

큰 입자가 포함된 연속 유동층에서 미세입자의 비산 손실

김준환, 이동현*

성균관대학교 공과대학 화학공학과

(dhlee@skku.edu*)

Entrainment Loss of Fine Particle in the Continuous 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. 따라서 이번 실험에서는 입도분포가 넓은 coarse particle에 fine particle인 Geldart A와 C를 각각 혼합하였을 경우 입자의 비산특성에 어떤 영향을 미치는지 확인하였다.

2. 실험

2.1 실험장치

본 실험에서 사용한 실험 장치는 그림 1과 같으며 크게 유동층부, 시료 주입부, 순환부로 나눌 수 있다. Riser에서 기체유속을 증가시키면 싸이클론에서 입자들을 포집하고 싸이클론이 잡아내지 못하는 입자는 bag filter에서 포집된다. 압축공기는 20hp 용량의 압축기를 사용하여 실험하였고 중간에 제습장치를 설치하여 수분을 제거하였다. 내경이 0.1m이고 높이가 3.7m인 순환 유동층 장치에서 입도범위가 넓은 coarse

particle에 fine particle인 Geldart A 와 C 입자를 혼합하여 혼합비에 따른 비산특성 실험을 하였다. Coarse particle은 0~2mm 와 0~4mm를 사용하였다. Fine particle을 0, 10, 30, 50 과 100 %로 혼합하여 screw feeder에서 주입되는 양에 대한 bag filter로의 비산되는 손실율을 측정하였다.

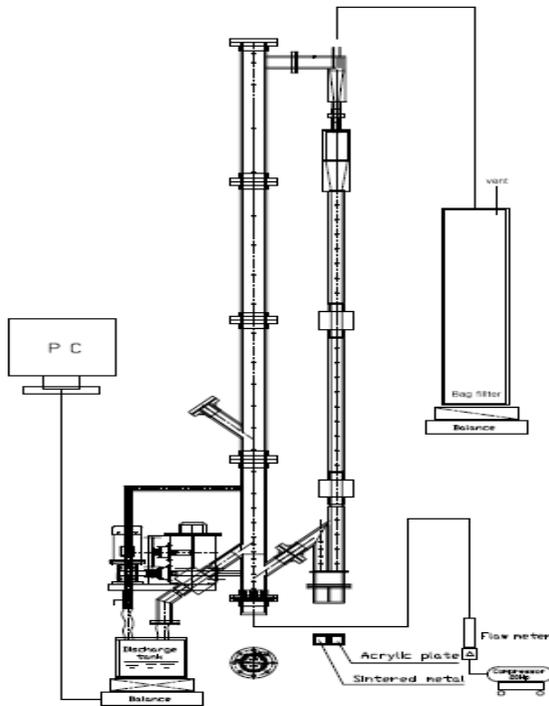


Fig. 1. Experimental setup

2.2 실험방법

Fine particle을 입도범위가 넓은 coarse particle에 0, 10, 30, 50, 100%로 혼합하였고, 기체유속이 1.2 와 1.7m/s에서 비산손실량을 측정하였다. Fine particle 중 Geldart A는 부피평균입도가 41 μ m이고 Geldart C 입자는 18 μ m이다. 넓은 입도분포를 가지는 coarse particle은 0~2mm 와 0~4mm의 입자를 사용하였다.

2.3 시료

본 실험에서 사용한 입자들의 물리적 특성은 표1에 정리하였다. Geldart A 입자의 경우 최소 유동화 속도는 0.45 cm/s이며, 진밀도는 4,488 kg/m³이고 bulk density는 2,315 kg/m³이다. Geldart C의 진밀도는 4,455 kg/m³이고 bulk density는 2,374 kg/m³이다. Coarse particle의 경우 true density는 3,661 kg/m³이고 bulk density는 2,054 kg/m³이다.

그림 2는 coarse particle과 fine particle(Geldart A, C)의 입도분포를 나타낸 것이다. Coarse particle은 입도분포가 넓은 것을 확인할 수 있고 10 μ m이하의 양도 많이 존재하는 것을 확인할 수 있다.

Table 1. Physical properties of bed materials

Material	Mean diameter [μ m]	True density [kg/m ³]	Bulk density [kg/m ³]	Voidage
Coarse particle(0~2mm)	200	3,661	2,054	0.439
Coarse particle(0~4mm)	500	3,661	2,054	0.439
Geldart A particle	41	4,488	2,322	0.483
Geldart C particle	18	4,455	2,374	0.467

3. 결과 및 고찰

그림 3는 coarse particle과 Geldart A particle의 혼합비를 달리하여 실험한 결과이다. Coarse particle는 입도가 넓기 때문에 cyclone에서 포집되지 않는 10 μ m이하의 입자도 Geldart A 입자보다 많다. 따라서 Geldart A의 혼합비가 커질수록 cyclone에서 포집되지 않아 비산 손실되는 비율은 적어지는 결과를 얻을 수 있다.

그림 4는 bag filter에서 포집된 입자의 평균입도를 나타내었다. 기체유속을 1.2 와 1.7 m/s로 실험한 결과 기체유속이 높을 때 비산 손실되는 입자의 평균입도도 크다는 것을 확인할 수 있었다.

그림 5는 Geldart C 입자를 coarse particle에 혼합하였을 경우 비산 손실율에 대한

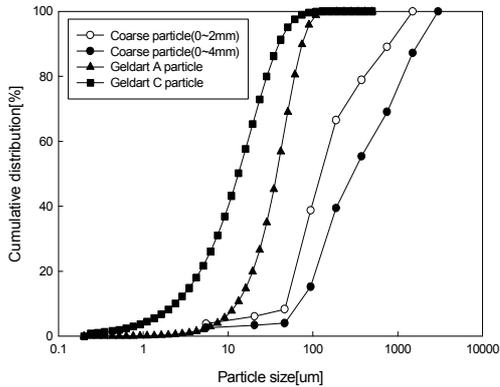


Fig. 2. Cumulative particle distribution.

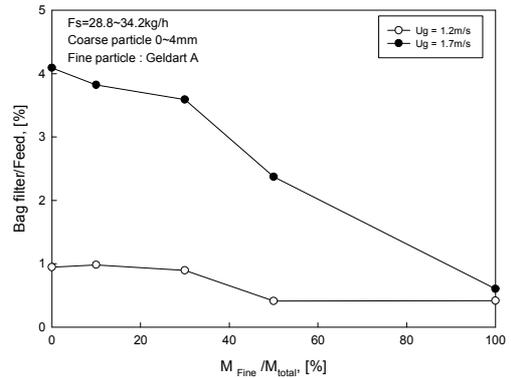


Fig. 3. Entrainment loss with the ratio of Geldart A particle.

결과값이다. Cocco 등[11]에 의하면 Geldart C 입자는 electrostatics, capillary, Van der Waals force 같은 cohesive force가 작용하기 때문에 입자들끼리 뭉치는 현상이 강하다. 그러므로 coarse particle에 Geldart C 입자들이 혼합되면 30%까지는 coarse particle에 입자가 붙어서 비산 손실율이 감소하지만 그 이상으로 Geldart C particle의 비율이 높아지면 상대적으로 coarse particle보다 Geldart C particle이 많아지기 때문에 비산 손실율이 다시 증가하는 현상이 나타남을 알 수 있었다.

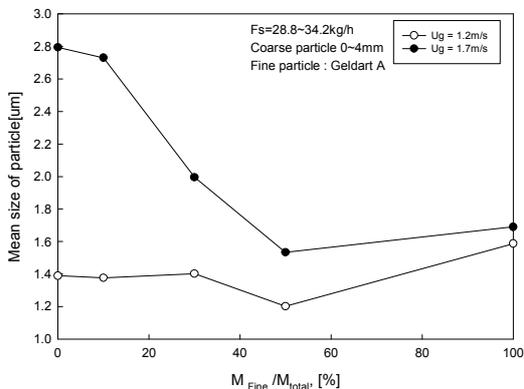


Fig. 4. Mean particle size distribution of bag filter with Geldart A particle.

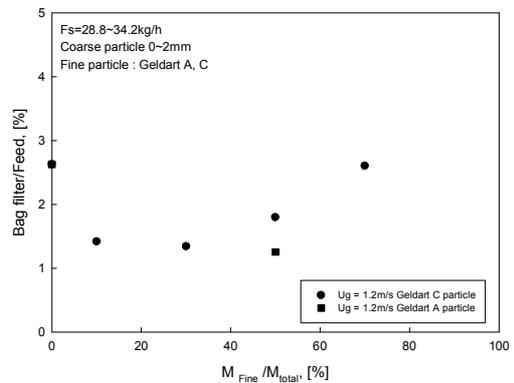


Fig. 5. Entrainment loss with the ratio of Geldart c particle.

4. 결론

- (1) Geldart group A 입자인 경우 기체유속이 1.2 보다 1.7m/s에서 미세입자들의 비산거동이 활발함을 알 수 있었다.
- (2) Coarse particle에 Geldart A particle을 첨가한 경우 혼합비가 증가할수록 비산 손실율이 감소하는 경향을 나타내고, 그 때 bag filter에서 포집된 미세입자의 평균입경도 감소하였다.
- (3) Coarse particle에 Geldart C particle의 혼합비에 따라 30%까지는 감소하다가 혼합비가 증가하면 다시 증가하는 경향을 나타내었다.

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. Georghiades, 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."