

원추형 유동층에서 기포의 흐름특성

최상혁, 손승용, 이동현*, 김상돈¹
 성균관대학교, ¹한국과학기술원
 (dhlee@skku.edu*)

Hydrodynamic Characteristics of Bubble Flow in the Conical Fluidized Beds

Sang Hyuk Choi, Seung Yong Son, Dong Hyun Lee*, Sang Done Kim¹

Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University

¹Department of Chemical and Biomolecular Engineering and Energy & Environment Research Center, Korea Advanced Institute of Science and Technology

(dhlee@skku.edu*)

서론

유동화 공정은 식품 및 화학공업에서 널리 이용되어지고 있는 공정으로, 기-고, 액-고 등의 이상 및 기-액-고 삼상 유동층 반응기는 다른 반응기에 비해 고체표면에서 액상과 기상간의 혼합과 반응을 증대시키는데 효과가 커 최근 산업적으로 많이 이용되고 있다 [Suh *et al.*, 1993]. 유동층의 안정조작에 대한 문제점의 하나로 편석 (segregation)이 있다. 이것은 입경, 밀도가 균일한 유동화 입자 중에 상대적으로 큰 입자나 고밀도 입자가 섞여 있거나 혹은 생성되는 경우, 이것들이 분배기 위에 퇴적되어 유동화를 저해하거나 전열 등의 이동특성을 저하시키게 되는 것을 말한다 [Toyohara *et al.*, 1989]. Conical spouted bed는 입자 사이즈가 다른 고체 혼합물들을 다룰 때, 편석이 잘 일어나지 않는 장점이 있고, 또한 입경이 크고 균일한 입자의 유동화에 적합하고, 슬러깅 경향의 방지 등의 점에서 우수하다고 알려져 있다 [San Jose *et al.*, 1995; Nishi, 1979]. 그러나, 유동층에 대해서는 수많은 연구결과가 보고되고 있으나 그 대부분이 층 단면적이 일정한 칼럼에 대한 연구에 치중되어 있다. 층 단면적이 일정하지 않은 원추형 유동층 장치가 널리 실용화되어 있음에도 불구하고 그 이점에 대해서는 이론적으로 충분히 해명되어 있지 않다. 본 연구에서는 위와 같은 장점을 가진 원추형 유동층에서 기체 유속과 고정층높이, H_s 의 변화에 따른 기포의 흐름 특성을 optical probe를 사용하여 측정하였다.

실험

1. 실험 장치

본 연구의 실험에 사용된 원추형 유동층(conical fluidized bed)의 column은 원추각이 20° 이고 air의 inlet부 diameter가 0.1m, 높이가 0.6m인 아크릴 칼럼을 사용하였다. 원추형 유동층은 controller에 의해 유량이 조절되는 air blower와 bypass부, $8 \sim 40\text{m}^3/\text{h}$ 의 유량 범위를 가지는 flowmeter, 그리고 hole직경이 4.1mm이고 F_{open} 은 3.87인 uniform한 가스분배기를 사용하였다. 또한 아크릴 칼럼 내에는 평균 직경이 $339\mu\text{m}$, 밀도가 $2,500\text{kg}/\text{m}^3$ 인 유리입자가 채워져 있다.

2. 실험 방법

장치에서 air blower로 칼럼의 하부에 air를 공급하고 controller로 air의 유속을 조절하

였다. 칼럼내부의 낮은 rpm에서 갖는 불안정성을 해소하기 위해 bypass 배관을 설치하여 높은 rpm을 유지하면서도 낮은 유량의 공급이 가능하도록 하였다. 또한 기포의 안정화 상태에서 데이터를 얻기 위해 기체유속을 공급한 후 일정 시간이 지난 후에 데이터를 얻었다. 유속의 조절범위는 0.28m/s에서 1.41 m/s이며 H_s 을 0.20, 0.25, 0.30m로 변화를 주어 steady state가 된 후 optical probe를 이용하여 데이터를 얻었다. Fig. 2는 optical probe를 이용해서 1,000 Hz 속도로 10초간 얻은 데이터이다. 본 실험에 사용되는 optical probe는 two channel optical fiber probe이며 H_{probe} 는 0.15m이고 optical probe의 팁 간격은 4.3 mm이다. 일정 기체유속에서 optical probe를 사용하여 얻어진 데이터를 분석하여 기포상승속도, 기포의 수직 길이, 기포의 빈도수 등을 측정하였다.

결과 및 고찰

1. 유속에 변화에 따른 기포의 흐름 특성

우선 Fig. 3은 기체유속에 변화를 주어 기포의 특성을 파악한 그래프이다. Fig. 3-(a)는 기체유속에 따른 기포의 상승속도 그래프이다. 실험결과에 의하면 기체유속이 증가함에 따라 버블의 상승속도도 증가하는 경향이 있다. 그러나 기체유속이 1.13m/s 이상이 되면 기포의 상승속도가 일정해지는 경향이 있음을 알 수 있다. Fig. 3-(b)는 기체유속에 따른 기포의 수직 길이 그래프이다. 실험결과에 의하면 기포의 수직 길이는 기체유속이 증가함에 따라 증가하는 경향이 있음을 알 수 있다. 그리고 유속이 0.85m/s 이상이 되면 기포의 수직 길이의 증가량이 더욱 커짐을 알 수 있다. 이는 기포의 수직 길이가 유속에 큰 영향을 받는다는 것을 보여준다. Fig. 3-(c)는 유속에 따른 기포의 빈도수 그래프이다. 그래프에서 보는 바와 같이 기체유속이 0.28~0.84 m/s까지는 기포의 빈도수가 증가하는 경향을 갖지만 그 이상의 유속에서는 오히려 빈도수가 감소하는 경향을 갖는다. 이는 일정유속까지는 기체유속의 증가가 기포의 수직 증가를 가져오지만 일정유속 이상이 되면 기포와 기포가 합쳐지는 현상 때문에 수적으로는 감소를 가져온다고 생각되어진다.

2. H_s 변화에 따른 기포의 흐름 특성

Fig. 4는 원추형유동층에서 고정층높이, H_s 의 변화에 따른 기포의 상승속도, 수직 길이, 빈도수를 측정한 그래프이다. Fig. 4-(a)는 H_s 의 변화에 따른 기포의 상승속도에 관한 결과 그래프이다, 그림에서 알 수 있는 바와 같이 H_s 가 증가하면 기포의 상승속도가 작아지는 경향이 있음을 알 수 있다. 그래프에서 H_s 에 따른 기포의 상승속도의 감소량을 관찰해 본 결과 유속이 0.28m/s~0.42m/s 구간에서 H_s 가 커짐에 따라 기포의 상승속도 감소량이 급격히 커짐을 알 수 있다. 이는 기포의 상승속도는 일정유속까지 H_s 에 영향이 크지만 일정 유속 이상이 되면 H_s 의 영향을 상대적으로 많이 받지 않음을 보여준다. Fig. 4-(b)는 H_s 의 변화에 따른 기포의 수직 길이 그래프이다. 이 그래프에서는 H_s 가 클수록 기포의 수직 길이가 크다는 것을 알 수 있다. 이는 칼럼 안에 들어간 유리입자의 상대적인 양이 칼럼내부에 존재하는 기포의 크기를 조절하는 역할을 한다는 것을 보여준다. Fig. 4-(c)는 기체유속에 따른 기포의 빈도수 그래프이다. 이 그래프에서는 칼럼내부의 유리입자의 양이 기포의 빈도수에 영향을 주며 유리입자의 양이 많은 경우에 기포의 빈도수가 상대적으로 커지는 경향이 있음을 알 수 있다. 그래프

에서 H_s 에 따른 기포의 빈도수의 감소량을 관찰해 본 결과 유속이 0.28 m/s~0.42 m/s 구간에서 H_s 가 커짐에 따라 기포의 빈도수 감소량이 급격히 커짐을 알 수 있다. 이는 일정유속에서는 기포의 빈도수가 상대적으로 H_s 에 영향을 크게 받는다는 것을 보여준다.

결론

Optical probe를 사용하여 기포의 특성을 알아본 결과 유속이 증가함에 따라 기포의 상승속도는 일정유속까지는 증가하며 일정유속이상에서는 일정해지는 경향이 있음을 알았다. 그리고 기포의 수직 길이는 유속이 증가함에 따라 증가하고 기포의 빈도수는 일정한 유속까지는 증가하다 일정유속 이상에서는 감소하는 경향이 있다는 것을 알았다. 이는 일정유속 이상이 되면 기포의 합체현상이 발생하여 기포의 크기는 커지지만 기포의 빈도수는 감소되는 경향이 있다는 것을 알 수 있다.

원추형유동층의 고정층높이, H_s 를 변화시켜 실험한 결과 기포의 상승속도는 H_s 가 작을수록 커지고 수직 길이와 빈도수는 H_s 가 커질수록 커지는 경향이 있음을 알았다. 그리고 기포의 상승속도와 빈도수의 감소량은 일정 유속에서 상대적으로 더 크다는 것을 알 수 있었다.

Nomenclature

F_{open}	opening fraction of the distributor, [-]
H_{probe}	height of the optical probe, [m]
l_B	bubble chord length, [m]
H_s	static bed height, [m]
N_B	bubble frequency, [1/s]
U_B	bubble rising velocity, [m/s]
U_g	gas velocity through the bottom of the bed, [m/s]

참고문헌

1. Son, S. Y., Lee, D. H. and Kim, S. D., "Effect of Air Distributor on the Fluidization Characteristics in Conical Gas Fluidized Beds," *Korean J. Chem. Eng.*, in press (2005).
2. Han, J. H. "Hydrodynamics Characteristics of Three Phase Fluidized Beds", Department of Chemical Engineering, KAIST (1990).
3. San Jose, M. J., Olazar, M., Penas, F. J., Arandes, J. M. and Bilbao, J., "Correlation for Calculation of the Gas Distribution Coefficient in Conical Spouted Beds," *Chem. Eng. Sci.*, **50**, 2161-2172 (1995).
4. Toyohara, H. and Kawamura, Y., "Fluidization Characteristics of Tapered Bed," *Kakagu Kagaku Ronbunshu*, **15**, 773-780 (1989).

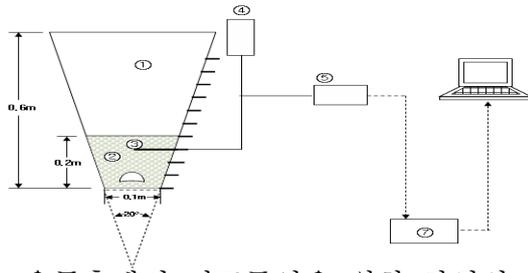


Fig. 1. 유동층에서 기포특성을 위한 장치의 개략도.

1. Laser source
2. Two tip optical probe
3. Photo sensor
4. Amplifier
5. A/D converter
6. Computer

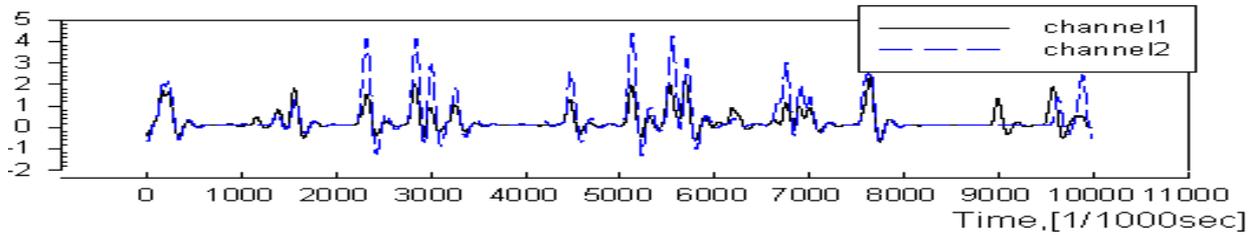


Fig. 2. Optical Probe를 사용하여 얻은 데이터.

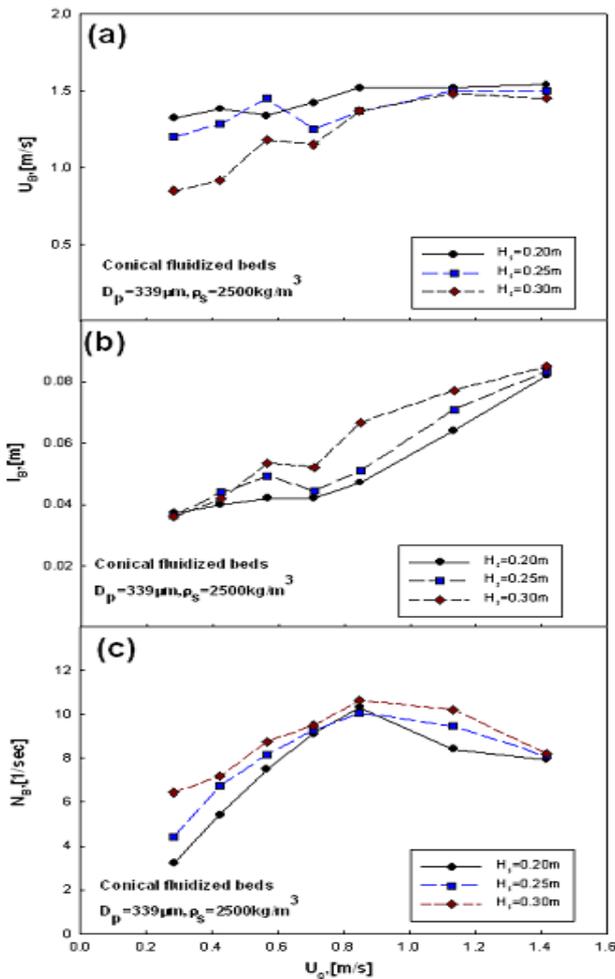


Fig.3 U_g 에 따른 기포의 (a)상승속도, (b) 수직 길이, (c) 빈도수의 변화.

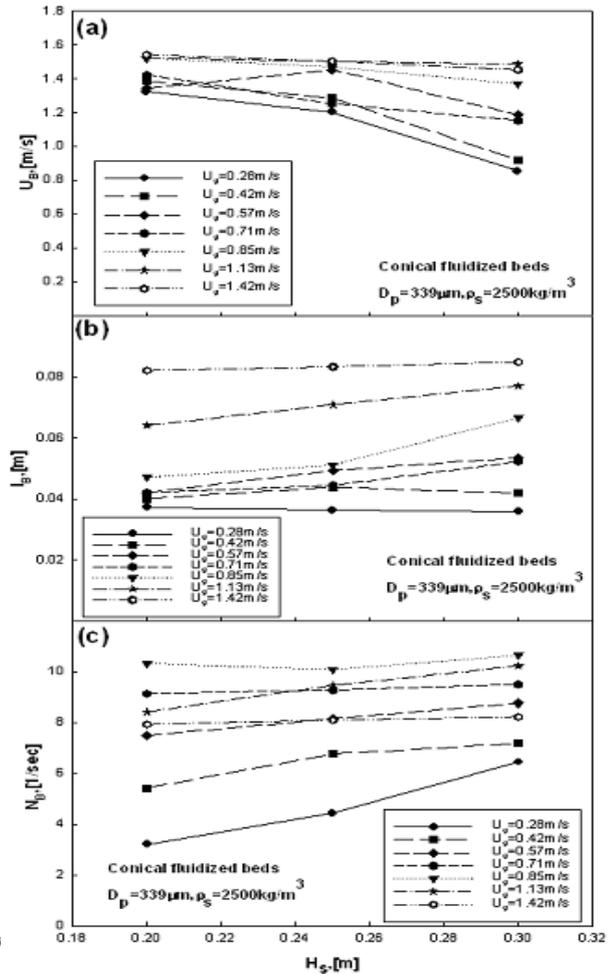


Fig.4. H_s 에 따른 기포의 (a)상승속도, (b) 수직 길이, (c) 빈도수의 변화.