

## 원추형 기-고 유동층에서 유동특성에 대한 기체분배기의 영향

손승용, 정성욱, 이동현\*, 김상돈<sup>1</sup>  
 성균관대학교 화학공학과  
<sup>1</sup>한국과학기술원 생명화학공학과  
 (dhlee@skku.edu\*)

**Effect of Air Distributor on the Fluidization Characteristics in  
 Conical Gas-Solid Fluidized Beds**

SeungYong Son, SungWook Jung, DongHyun Lee\*, and Sang Done Kim<sup>1</sup>

Department of Chemical Engineering, SungKyunKwan University,

<sup>1</sup>Department of Chemical Engineering and Energy & Environment Research Center, Korea  
 Advanced Institute of Science and Technology  
 (dhlee@skku.edu\*)

### 서론

일반 원통형 유동층(cylindrical fluidized beds)에서 고체 입자의 유동을 행할 때, 직경 이니 비중이 다른 고체 입자가 함유되어 있을 경우, 편석(segregation)에 의해 이 입자들이 분산관상에 퇴적되어 유동하나 열전달 등의 이동특성 저하를 불러 올 수가 있다<sup>1)</sup>.

이와 같은 편석 현상을 방지하기 위해 예전부터 유동층 하부를 원추형으로 만들어서 축 방향에 따라 유속이 변화하도록 하는 원추형 유동층(conical Fluidized Beds)이 널리 사용되어 왔다. 원추형 유동층은 현재 폐수의 생화학적 처리, 쓰레기 소각, 석탄의 기, 액화 등 다방면에서 널리 이용되고 있다. 그 외에 유동층에서 사용되고 있는 가스분배기도 유동층의 설계 및 조작에 있어서 중요한 인자 중의 하나이다. 본 실험에서는 위와 같은 장점을 가진 원추형 유동층에서 가스 분배기가 유동화 특성에 미치는 영향을 알아보기 위해 opening fraction은 동일하나 홀의 직경과 배열위치가 다른 두 종류의 가스 분배기, 그리고 홀의 배열 위치는 동일하나 직경을 달리해서 opening fraction을 다르게 한 4종류의 가스 분배기를 사용하여 실험을 실시하였다. 또한 일정한 직경을 가진 고체입자를 이용하여 유동을 실시하면서 압력 손실을 측정하였고 optical probe를 이용하여 버블의 거동 등의 유동화 특성도 조사하였다.

### 실험

본 실험 장치는 Fig.1에서 나타내었다. 원추각이 20°이고 inlet부의 직경이 0.1m, 전체 높이는 0.6m인 아크릴 칼럼 내에  $d_p$ 가 1mm이고 밀도가 2500kg/m<sup>3</sup>인 glass beads를  $H_b=0.2m$ 의 높이만큼 채운다. 분산판 바로 위쪽과 칼럼의 0.25m 높이 사이에 걸리는 압력 강하를 측정하기 위해 pressure transducer를 설치하였고 bubble의 거동을 살피기 위

해서 분산판 위로 각각 5cm, 10cm, 15cm의 높이에 optical probe를 설치하였다. 이 optical probe의 tip은 칼럼의 center부에 위치하도록 고정시켜 놓았다.

장치에서 air blower로 칼럼의 하부에 air를 공급하고 controller로 air의 유속을 조절한다. Air의 유속범위는 0.28m/s에서 1.42m/s이다. 칼럼과 air blower사이에 8m<sup>3</sup>/h ~ 40m<sup>3</sup>/h의 유량범위를 가지는 flowmeter를 설치하였고 air blow가 낮은 rpm에서 가지는 불안정성을 해소하기 위해 bypass배관을 설치하여 높은 rpm을 유지하면서도 낮은 유량의 공급이 가능하도록 하였다.

Table 1은 본 실험에서 사용된 5종류의 가스분배기의 dimension을 나타낸 표이다.

각각을 No.1에서 No.5로 명명하였는데 No.1과 No.2는 opening fraction은 동일하고 홀의 크기와 배열이 서로 다를 때 나타나는 유동특성의 차이를 알아보기 위해 사용된 가스 분배기이다. No.2, No.3, No.4, No.5는 side쪽의 홀의 배열과 직경은 동일하나 center쪽의 홀 직경을 달리 해서 opening fraction에 변화를 주었을 때 어떠한 유동특성의 변화가 일어나는 지를 알아보기 위해 사용된 가스 분배기이다. 각각의 opening fraction은 No.2가 0.93%, No.3가 1.73%, No.4가 2.63%, No.5가 3.73%이다.

본 실험에서는 air의 유속을 높은 쪽에서 낮은 쪽으로 감소시켜 가면서 각 유속에서의  $\Delta P$ 와 bubble의 거동을 측정 한 후, 다시 유속을 증가시켜 가면서 동일한 방법으로  $\Delta P$ 와 bubble의 거동을 측정하였다.

## 결과 및 고찰

Fig.2는 No.1과 No.2 가스 분배기에서의 bubble의 생성, 소멸 영역을 나타낸 그림이다. Opening fraction은 둘 다 0.9%로 동일하지만 No.1 가스 분배기는 2mm 직경을 가지는 23개의 홀이 일정한 간격으로 뚫려있고, No.2 가스 분배기는 직경 3mm의 10개의 홀이 중앙에, 직경 1mm의 13개의 홀이 바깥쪽에 위치해 있다. 다시 말해서 No.1 가스 분배기의 경우 air가 전체적으로 고르게 분산되도록 설계된 반면 No.2 가스 분배기는 air가 중앙 쪽으로 집중해서 지나가도록 설계되었으며, 이 경우 동일 유속에서의  $-\Delta P$ 와 bubble 영역이 어떻게 달라지는가를 실험하였다. Fig.2에서 optical probe를 이용해서 bubble이 생성·소멸되는 영역을 조사한 결과, decreasing velocity에서 No.1의 경우  $U_g$ 가 최대유속에서 0.72m/s까지 bubble이 존재함을 알 수 있었고 No.2의 경우  $U_g$ 가 최대유속에서 0.64m/s범위까지 bubble이 존재함을 알 수 있었다. Decreasing velocity 실험 직후, increasing velocity로 변환한 실험에서는 No.1 가스 분배기와 No.2 가스 분배기 둘 다  $U_g$ 가 0.78m/s일 때부터 bubble이 생성되기 시작하였다. 이는 decreasing velocity조건에서 실시한 실험과 비교할 때 bubble이 생성되기 시작하는 유속이 increasing velocity 조건에서 bubble이 소멸되기 시작하는 유속보다 현저히 높다는 것을 알 수 있었다. 이는 decreasing velocity 조건에서는 고체입자들이 loose packing에서 compact packing으로 이행되고 increasing velocity 조건에서는 compacting packing에서 loose packing으로 이행되는 데 따른 결과라고 생각할 수 있다.

Fig.3는 No.5 distributor에서 측정 한 각 유속에서의  $-\Delta P$ 값을 그래프로 나타낸 그림이다. Fixed bed 영역에서 increasing velocity일 때의  $-\Delta P$ 값과 decreasing velocity일 때의  $-\Delta P$ 값이 서로 겹치는 영역이 있는데 이 영역이 끝나서 그래프가 둘로 나누어지기 시작하는 점을  $U_{mf}$ , 즉 maximum velocity of full defluidization이라 하고 둘로 나누어 졌

다가 increasing velocity 그래프에서 나타나는 hysteresis 영역의 최고 피크점을  $U_{mpf}$ , 즉 minimum velocity of partial fluidization이라 한다. 그리고  $U_{mf}$  이상의 fluidized bed 영역 이상에서 두 그래프가 다시 합쳐지는 지점을  $U_{mff}$ , 즉 minimum velocity of full fluidization, [m/s]라 한다<sup>2)</sup>. 그리고 실제로 optical probe를 이용하여 bubble을 측정해서 얻은 fixed bed 영역과 fluidized bed 영역을 이것들과 비교해서 함께 나타내었다.

Fig.4는 각 가스분배기에서 decreasing velocity에서의 와 increasing velocity에서의  $-\Delta P$ 를 측정한 후,  $-\Delta P_{inc.} - (-\Delta P_{Dec.})$ 해서 얻은  $\Delta P$ 를 그래프로 나타낸 그림이다. 그래프에서 hysteresis 영역보다 낮은 유속과 그 이상이 영역에서의  $\Delta P$  값이 거의 0를 나타내고 있다는 것을 알 수 있다. No.2를 제외한 나머지 가스분배기의  $\Delta P$ 는  $U_g$ 가 0.54m/s일 때 급격히 증가하고 이 지점이  $U_{mfd}$ 라는 것을 알 수 있다. 또한  $\Delta P$  값이 다시 급격히 감소하여  $U_g$ 가 0.88m/s인 지점에서 0에 가깝게 떨어지는데 이 지점이  $U_{mff}$ 이다. No.2는  $U_{mfd}$ ,  $U_{mff}$ 가 다른 가스분배기보다 현저히 낮은 유속에 위치해 있다는 것을 알 수가 있다.

한 편,  $-\Delta P_{inc.} - (-\Delta P_{Dec.})$ 해서 얻은  $\Delta P$ 가 가장 높은 점에서의  $U_g$ 가  $U_{mpf}$ 이고  $U_{mpf}$ 는 각 가스분배기의 opening fraction이 증가함에 따라 증가하는 경향을 알 수 있다.

## 결론

가스분배기의 opening fraction이 동일하더라도 홀 직경이 상대적으로 큰 부분이 가스분배기의 중앙에 몰려 있으면 기체는 그 부분에 집중되어서 균일한 직경의 홀을 가진 가스분배기보다 층의 중심부에 기포가 일찍 생기면서 부분유동화가 먼저 일어난다. 중심부에서 유동화가 일어나면 중심부에서 상승되어 올라온 고체입자가 베드의 벽 쪽에 공급되어 벽 쪽의 고체입자는 아래쪽으로 하강하면서 유동화된다는<sup>3)</sup>.

가스 분배기의 opening fraction을 달리 했을 때, 장치 내의  $\Delta P$ 값은 opening fraction에 따라 큰 차이를 보이지 않았으나  $U_{mfd}$ ,  $U_{mpf}$ ,  $U_{mff}$ 는 약간의 차이를 나타냄을 알 수 있었다.

## 참고문헌

1. Toyohara, H. and Kawamura, Y., "Fluidization Characteristics of Tapered Bed," *Kagaku Kogaku Ronbunshu.*, 15, 773-780(1989)
2. Peng, Y. and Fan, L.T., "hydrodynamic characteristics of fluidization in liquid-solid tapered beds," *Chem. Eng. Sci.*, 52, 2277-2290(1997).
3. Toyohara, H. and Kawamura, Y., "Circulation of Particles in the Side Regions of a Tapered Fluidized Bed," *Int. Chem. Eng.*, 33, 525-537(1993)

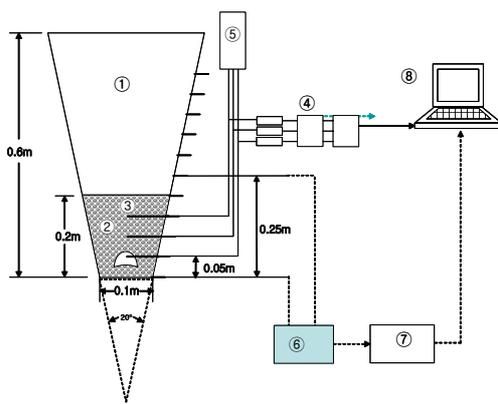


Fig.1 Schematic diagram and dimension of experimental setup

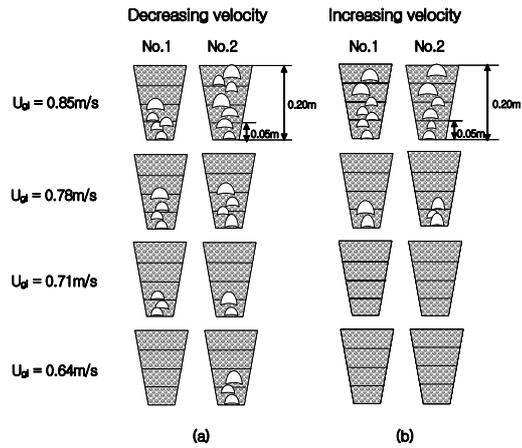


Fig.2 Comparison of axial bubble passage between distributor No.1 and No.2

Table.1 Five types of Distributor Properties of this experiment

Distributor No.	Holes Dimension		Opening ratio (%)	Remarks
	Center side	Wall side		
No.1	Ø 2mm x 23 EA		0.9	Uniform distributor
No.2	Ø 3mm x 10 EA	Ø 1mm x 13 EA	0.93	
No.3	Ø 4mm x 10 EA	Ø 1mm x 13 EA	1.73	
No.4'	Ø 5mm x 10 EA	Ø 1mm x 13 EA	2.63	
No.5'	Ø 6mm x 10 EA	Ø 1mm x 13 EA	3.73	

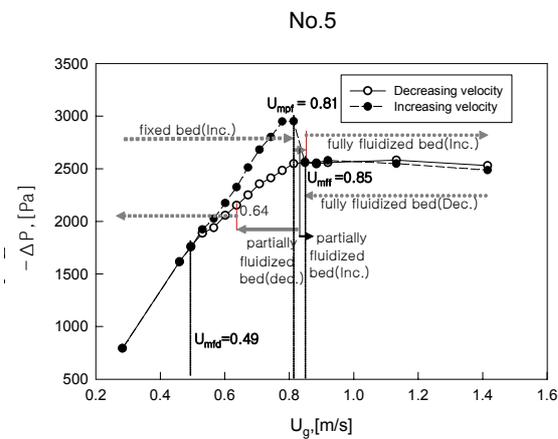


Fig.3  $U_{mfd}$ ,  $U_{mpf}$ ,  $U_{mff}$  at the No.5 distributor

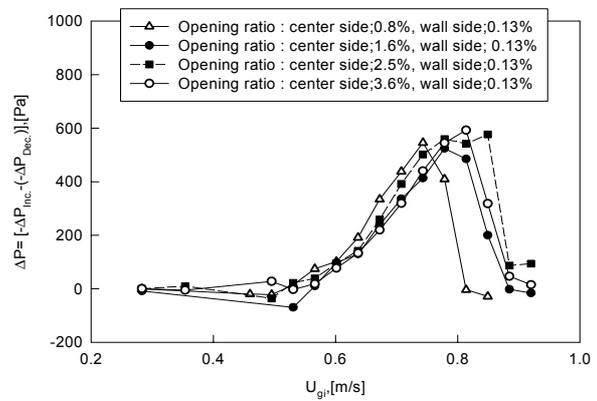


Fig.4  $-\Delta P_{Inc.} - (-\Delta P_{Dec.})$  of No.2-No.5 distributor