

기체유속의 단계변화에 따른 삼상유동층 내부구조의 변화

우광재, , 고명한, 강 용, 김상돈*
충남대학교 화학공학과
한국과학기술원 화학공학과*

Variation of Inner Structure of Three-Phase Fluidized Bed
with Step Change of Gas Velocity

K.I.Woo, M.H.Ko, Y. Kang and S.D.Kim*
Department of Chemical Engineering Chungnam National University,
Taejon, 305-784
Department of Chemical Engineering, KAIST*

서론

삼상유동층을 다상 반응기나 다상의 접촉, 혼합, 수송공정 등에 응용할 경우 매우 우수한 장치로 알려져 있으며 그 운전비용도 저렴하게 나타나고 있어서 이들 반응기의 공업적 응용은 날로 증폭되어 가고 있다.

이와 같은 다상 유동층반응기의 운전 및 제어의 측면에서 이들 반응기 및 접촉기 등 공정운용을 위한 조작변수의 조절 및 제어가 용이하고, 정상적인 공정운용의 이상여부를 감지하고, 이상이 발생할 경우 어떤 조작 변수인지를 쉽게 판단할 수 있기 위해서 뿐만 아니라 이들 유동층 반응기의 정확한 설계를 위해서는 유동층내에서 다상들간의 접촉현상과 흐름거동에 대한 정보와 이의 해석은 필수적이라 할 수 있다[1,2]. 그러나, 삼상유동층 내부구조의 동력학적 해석에 대한 연구는 국내의를 막론하고 매우 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 기체유속의 단계변화(step change)시 삼상유동층의 내부구조의 변화에 대한 검토를 통하여 분산상으로 존재하는 고체 유동입자의 거동해석을 하고자 하였으며 이로부터 삼상 유동층에서의 다상의 접촉현상과 고체 입자의 혼합 특성을 고찰하고자 하였다.

이론

삼상 유동층의 유동입자의 크기와 액체 유속이 일정할 경우 기체유속의 변화에 따라 유동층은 팽창과 수축이 일어나는데, 층 팽창과 수축이 일어나는 비 정상상태(unsteady state)의 과정을 해석하므로써 삼상유동층의 동력학적 거동을 해석할 수 있다. 일정 조업 조건에서 정상상태(steady state)로 운전되고 있는 삼상 유동층은 기체의 유속이 계단함수(step function)로 변화하면 새로운 유속의 유동 조건에 알맞는 새로운 정상상태에 도달하게 되는데, 이 변화 과정에서 유동층의 거동의 변화는 유동층 내부의 일정 시험 영역에서의 압력변동을 측정함으로써 해석할 수 있고, 또 이같은 정보를 기초로 하여 유동층 내부에서의 상들의 거동의 변화를 예측할 수 있다. 즉, 정상상태로 조업되고 있는 삼상유동층에서 기체의 유속을 계단함수로 증가시킬 경우 이에 따라 유동층의 팽창이 이루어지고 유동층내의 일정시험영역에서의 층 공극률 및 유동입자의 체류량의 변화가 나타난다. 유동층의 팽창과정은 기체유속이 변화한 후 일정시간까지는 유동층내의 기포와 유동입자와 같은 분산상들의 분포가 불균일한 불균일 팽창(heterogeneous expansion)이 일어나나 일정시간 이후에는 기포와 유동입자가 층 내부에 균일하게 분포되는 균일 팽창(homogeneous expansion)이 일어나며 서서히 새로운 정상상태로 수렴해간다.

유동층의 비 정상상태 팽창 과정에서 유동층이 불균일 팽창 형태에서 균일 팽

창 형태로 변환되는 지점을 층 팽창 이완 지점(relaxation point)이라 하는데, 이와 같은 층 팽창 이완 방법으로 유동층의 팽창 특성을 해석하여 유동 입자들의 분산 거동을 해석하기 위해서는 각 조업 변수에 따라 유동층 내부 시험영역에서의 압력 변동을 측정된 후 그 histogram으로 부터 시간의 변화에 따른 유동입자의 체류량이나 유동층 내부의 층 공극률의 변화를 구하여야 한다. 정상상태로 조업되던 삼상유동층의 층 팽창이 일어나는 과정에서 기체의 처음 유속과 관계없이 변화한 최종 유속이 동일하면 유동층의 팽창이 균일하게 일어나기 시작하는 시점인 층 팽창 이완 지점이 동일한 것을 알 수 있으며, 이와 같은 특성을 이용하여 실험결과 구한 유동층 공극률의 시간에 따른 변화 값들로부터 층 팽창 이완 지점을 구할 수 있고 또 이 지점에서의 층 공극률을 구할 수 있다[1,3].

실험 방법

유동층의 주탑으로는 내경이 15.2 cm 이고 높이가 2.5 m 인 Acryl 관을 사용하였고, 유동층내의 정압(static pressure)강하를 측정할 수 있도록 분배기(distributor)로 부터 층벽면에 15 cm 의 일정간격으로 12 개의 마노미터 탭(manometer tap)을 설치하여 액체 마노미터에 연결하였다. 이로부터 얻은 정압을 사용하여 층 공극률(bed porosity)과 유동입자의 체류량, 그리고 층 높이 (bed height)를 결정하였다. 액체를 균일하게 분배하기 위하여 삼각피치(triangular pitch) 방법으로 perforated 된 plate를 사용하여 분배기(distributor)를 설치하였다.

압력변동을 측정하기 위해 각각 실험조건에서 유동층내의 압력 변동을 압력변화기 (pressure transducer)를 사용하여 volt-time signal로 바꾸고 이를 pressure-time signal 을 증폭기와 연결하고 oscilloscope, filter, A/D converter 및 computer에 연결하여 압력 변동특성을 측정하여 통계적으로 해석하였다.

유동층내의 압력변동을 측정하기 위해 분배기로부터 0.1와 0.2 m 지점에 2개의 tap 을 내어 압력변환기(Pressure transducer)에 연결하여 80초 동안 2500 개의 data 를 받은 후 이 data 를 통계 처리하였다.

본 연구의 실험변수로는 기체의 유속, 액체의 유속, 고체 유동입자의 크기로 하였다. 기체로는 압축공기, 액체로는 물, 그리고 고체 유동입자는 유리 구슬을 사용하였고, 기체의 유속범위로는 0.01~0.07 m/s, 액체의 유속범위로는 0.08~0.12 m/s, 고체입자의 크기는 1~6 mm 범위로 하였다. 이들 실험조건들을 요약 하면 Table 1 과 같다.

결과 및 고찰

Fig. 1은 삼상유동층에서 기체유속의 단계변화(step change)에 대한 압력 변동을 나타낸 것이며, 이와 같은 압력변동의 평균값을 구하여 Fig. 2 에서 보는바와 같은 기체유속의 변화에 따라 나타나는 비정상 상태에서의 압력변동 응답곡선 구하였다.

Fig. 2A는 1 mm 단일입자인 경우 초기 기체유속이 각각 1, 2, 3, 7 cm/s 이고 최종 기체유속이 5 cm/s 인 경우를 나타낸 것이고, Fig. 2B는 초기 기체 유속이 1, 3, 5 cm/s 이고 최종 기체 유속이 7 cm/s 인 경우를 나타낸 것인데, 압력의 단계변화 응답곡선은 최종유속의 정상상태에 도달되면서 거의 같은 값을 나타내는 지점을 통과하는 것을 알 수 있다. 이로부터 각 실험조건에서 응답 시간의 변화에 따른 유동층 내의 층 공극률 및 층팽창 이완점을 찾을 수가 있었다.

결론

본 연구의 결과 삼상유동층에서 기체유속이 단계변화에 따른 유동층 내부구조

의 변화를 해석할 수 있었으며, 삼상유동층에서의 유동입자의 유동과 혼합특성을 예측할 수 있었다.

참고문헌

1. Kang, Y. and Kim, S.D.: *Chem. Ind. Technol.*, **13**, 27(1995).
2. Yashima, M., Nassar, R., Fan, L.T. and Kang, Y.: *AIChE J.*, **38**, 629(1992).
3. Kang, Y., Ko, M.H., Kim, S.D., Yashima, M. and Fan, L.T.: *AIChE Annual Meeting*, San Francisco, CA, November 13-18 (1994).

Table 1. Experimental conditions

Fluidized bed	0.152(m-I.D.) x 2.5(m-H)
Distributor	perforated plate
Particle	glass beads
density	2500 (Kg/m ³)
size	1.0~6.0 x 10 ³ (m/s)
Gas phase	Compressed air
flow rate	1~7 x 10 ² (m/s)
Liquid phase	water (1.0 x 10 Pa · s)
flow rate	8~12 x 10 ² (m/s)
Sample number	2500 points
Sampling time	80 sec
Prove height	0.1, 0.2 (m)
Digital 신호처리	PCL812 (Lab Card)
압력변동 신호처리	PCLS-805 SNAPSHOT

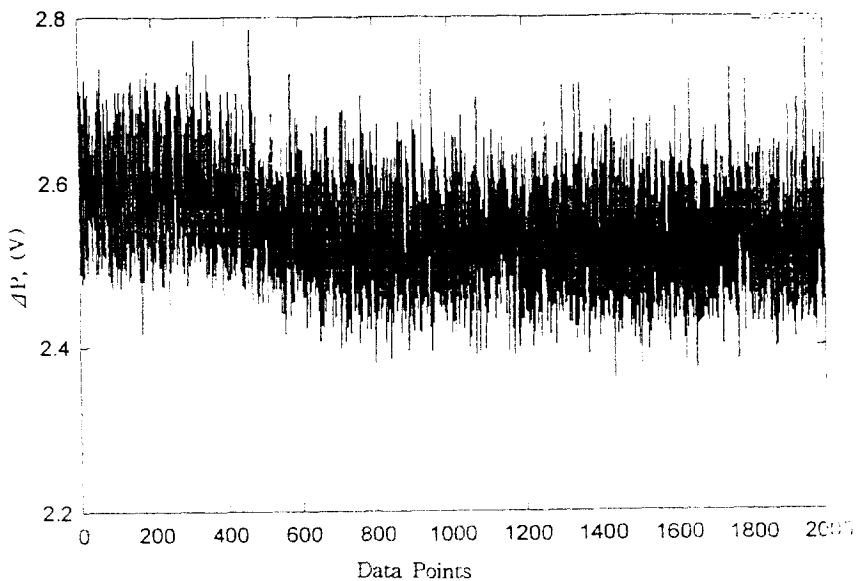


Fig. 1. Unsteady state pressure fluctuation signals with step change of gas velocity in three-phase fluidized beds :

($d_p=1$ mm, $U_g=0.1$ m/s, $U_{g,r}=0.02$ m/s, $U_{g,r}=0.05$ m/s).

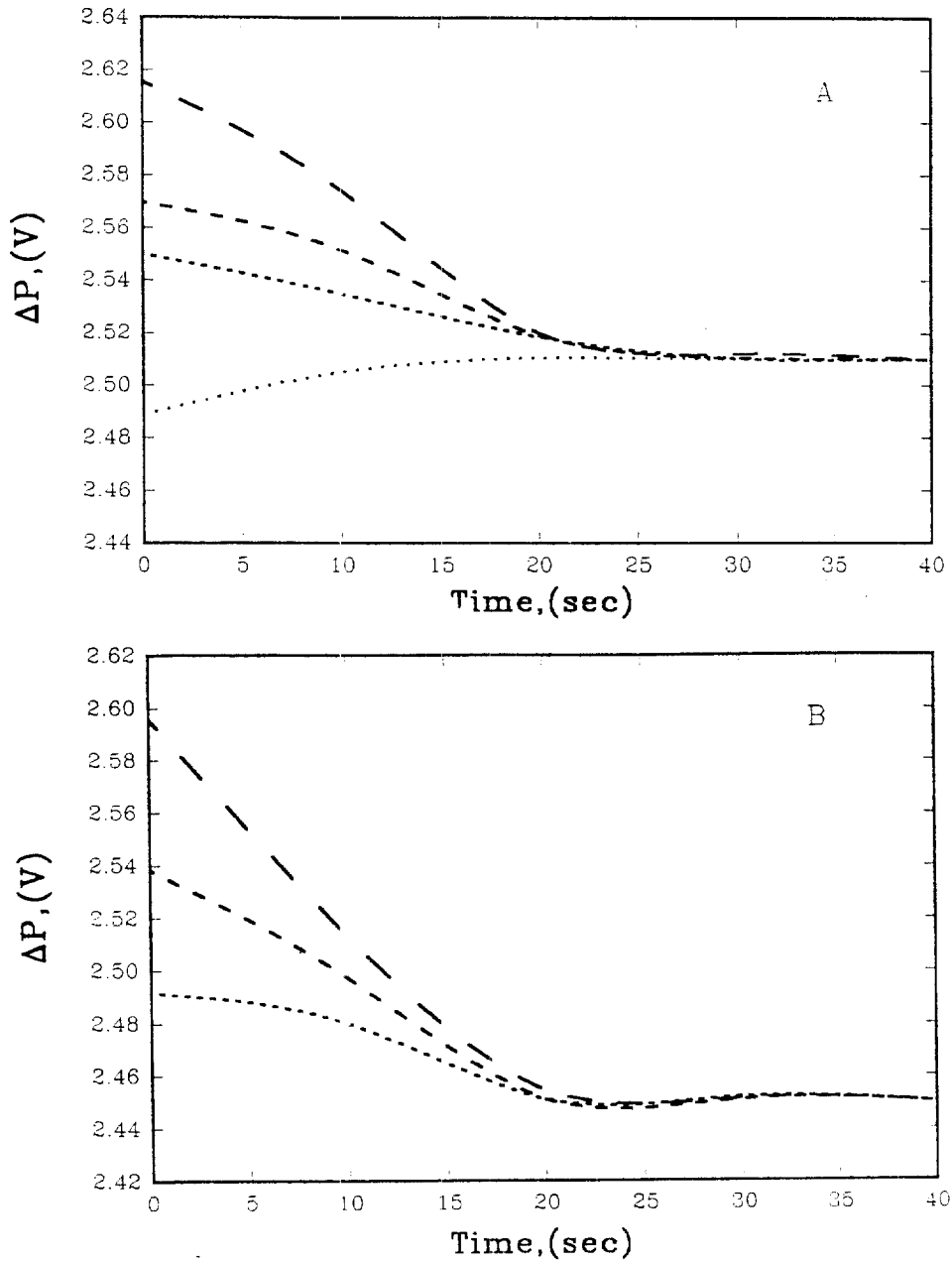


Fig. 2. Variation of pressure fluctuation with time in three-phase fluidized beds ($U_i=0.1$ m/s):

	A		B	
$d_p(\text{mm})$:	1		3	
symbol :	$U_{g,i}(\text{m/s}), U_{g,i}(\text{m/s})$		$U_{g,i}(\text{m/s}), U_{g,i}(\text{m/s})$	
— — — :	0.01	0.05	0.01	0.07
- - - - :	0.02	0.05	0.03	0.07
. . . . :	0.03	0.05	0.05	0.07
· · · · :	0.07	0.05		