

4각 순환유동층의 수력학적 특성

현상열, 이관석
천안공업전문대학 열처리과

Hydrodynamic Characteristics of the Rectangular Type Circulating Fluidized Bed

Sang Yeol Hyun, Kwan Seok Rhee
Department of Heat Treatment
Cheonan National Junior Technical College

ABSTRACT

A rectangular type circulating fluidized bed (CFB) with an internal nozzle and two partition walls was proposed. In this modified CFB, an internal nozzle and two slanted partition walls were additionally set in the riser. This cold mode apparatus was made of acrylic resin; the riser was 1500mm high and $1000 \times 1000 \text{mm}^2$ in the cross sectional area, the internal nozzle was 200mm high and 10mm in the inner diameter, and the partition wall was 7mm thick. Glass beads of $91 \mu\text{m}$ in the mean diameter were employed as bed materials. In the cold mode by using the proposed CFB with an internal nozzle, it was possible to change the particle hold up by changing the gas flow ratio of the nozzle to the total (Q_n/Q_t).

It was found that the inflection point which divided the bed structure between the dense and the dilute phase in the riser varied with Q_n/Q_t .

1. 서 론

유동층은 노내에서 유동입자들의 격렬한 난류유동으로 노내온도를 균일하게 유지할 수 있고, 유동매체와 전열면의 접촉 열전달로 전열효과가 증진되며, 다양한 종류의 연료를 사용할 수 있을 뿐만 아니라 여러 종류의 연료에 대해서도 환경규제치를 만족시킬 수 있다.

그리고 열처리 공정에서 노내온도 불균일로 인하여 발생하는 불량품의 발생을 최대한으로 억제하며 열처리 제품의 신뢰도 및 품질향상을 도모할 수 있기 때문에 켄칭(quenching), 템퍼링(tempering) 등의 급속 열처리 공정에도 유용하게 이용되고 있다.

순환유동층(Circulating Fluidized Bed : CFB)

은 기포상 유동층(Bubble type Fluidized Bed : BFB)에 비해 높은 유속에서 조업되는 유동층 기술로서, 노내에서의 기체유속이 높아 격렬하게 유동하는 고체입자의 재순환 및 기체흐름이 plug flow로 유지되기 때문에 기포상 유동층에서와 같은 기포에 의한 기체의 by-passing이 없어 기체와 고체 사이의 접촉효율이 높고, 층내 전체에 걸쳐서 기체와 고체의 접촉이 균일하므로 적은 과잉공기로 99%에 가까운 연소효율을 얻을 수 있다.²⁾

그리고 순환유동층은 입자의 순환속도를 조절하여 turn down을 조절할 수 있으며 석탄, 폐목재, 슬러지 등과 같은 여러가지 종류의 연료를 사용할 수 있고, 비말동반된 입자를 싸이클론에서 포집하여 연소로의 하부로 재투입하므로써 미세입자의 노내체류를

증진시켜 줄 수도 있는 특징을 갖고 있다.⁵⁾

또한, 순환유동층에서의 수송속도는 solid inventory가 증가함에 따라 증가하고 층내에서는 3개의 유동상대 즉 회박층, 농후층 그리고 회박층과 농후층이 혼합된 층이 존재한다.⁹⁾

S. Nagato (1991), Lu Huilin (1991), Gao shiqiu (1991) 등은 유동층내에 경사간막이 벽을 설치한 결과 층내에서의 자체적인 back flow를 유발시켜서 혼합난류 효과와 열전달 증진 효과를 기대할 수 있으며, 순환유동층내에서의 수직전열관의 반경 방향 평균열전달 계수는 주로 층의 밀도의 함수라고 했다.

본 연구에서는 4각형의 순환유동층을 설계하여 유동매체를 자체적으로 재순환할 수 있는 경사간막이 벽과 농후상과 회박상을 조절하고 노내입자체류를 조절할 수 있는 내부노즐을 설치하여, 3개의 순환영역, 즉 riser 내에서의 입자의 자체순환, 열교환기 cell로의 순환, 그리고 사이클론으로부터 char의 재순환 등에 따른 4각순환 유동층의 여러가지 유동특성을 검토하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험조건

2.1 실험장치

Fig.1은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 나타낸 것으로 riser, cyclone, 내부노즐, 간막이벽 그리고 유동화공기 공급장치로 구성되어 있으며, 두께 10mm의 아크릴판으로 제작하였다. riser는 1000×1000mm의 정사각형 단면을 갖고 있으며 높이는 1500mm이다. cyclone은 관직경 50mm, 전체직경 300mm, 높이 600mm로 설계되었으며 cyclone의 출구 직경은 20mm로 축소되어 순환보조관과 연결하여 고체입자가 riser로 재순환하도록 하였다.

유동화공기는 송풍기에 의해 공기실과 내부노즐에 공급하였으며 유동층내의 압력 측정은 Manometer를 사용하여 정압을 측정하였으며 riser의 압력변동을 관찰하였다. 공기분산판은 두께 13mm, 1000×500mm의 아크릴판에 3mm의 구멍 2520개를 뚫어 개

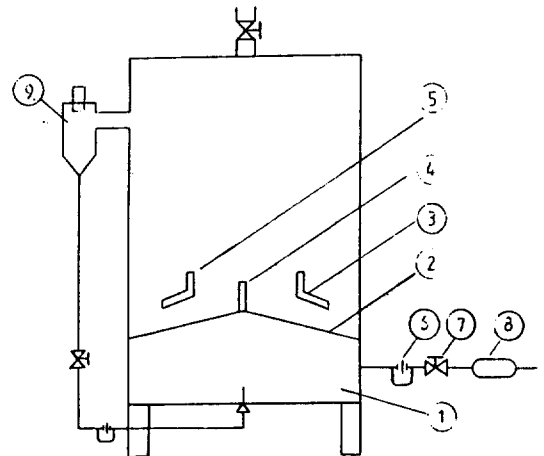
공비를 3.56%로 하여 가운데 부분이 다소 높도록 바닥과 10° 경사지게 제작한 후 고체입자의 낙하를 방지하기 위해 100mesh의 스테인리스망을 설치하였다.

내부노즐은 직경 10mm, 두께 1mm의 스테인리스판으로 제작하였으며 공기실하부 중앙으로부터 공기분산판 중앙을 통과하여 공기분산판으로부터 riser 내로 200mm의 높이까지 설치하였다.

간막이 벽은 두께 7mm의 아크릴판으로 1000×300mm의 직사각형판을 riser의 하부 좌우에 45° 경사지게 설치하였으며 상부 50mm는 riser와 평행을 유지하도록 하였다.

2.2 실험조건

Table 1은 본 실험에서 사용한 유동매체의 사양을 나타낸 것이고 Table 2는 본 연구의 실험조건을 나타낸 것이다.



- 1. air plenum 2. distributor 3. partiton wall
- 4. internal nozzle 5. riser 6. manometer
- 7. ball valve 8. blower 9. cyclone

Fig.1 Schematic diagram of experimental apparatus

Table 1 Properties of solid particle

particle	range of diameter [μm]	d_p [μm]	ρ_p [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
glass beads	100~88	91	2508

Table 2 Operating conditions

Operating conditions	Operating ranges
Q_t [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	0.0137~0.0373
Q_n [$\text{m}^3\cdot\text{s}^{-1}$]	0.0047~0.0180
Q_s [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$]	2.11

3. 실험결과 및 고찰

3.1 압력 평형상태

Fig.2는 본 실험장치의 riser, cyclone, 순환보조관에서의 압력분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 압력분포는 실험장치 전반에 걸쳐서 loop를 형성하고 있으며, 순환보조관 하부에서의 압력이 공기분산판 바로 위에서의 압력보다 낮게 나타났다. 이러한 현상은 본인이 연구를 수행한 원형 유동층에서의 압력분포와 거의 유사한 경향을 나타내고 있다. 따라서 riser에서의 유동화gas가 순환보조관으로 역류하지 않음을 알 수 있기 때문에 4각 순환유동층에서도 원형유동층에서와 마찬가지로 안정된 운전이 가능하다는 것이 확인되었다.

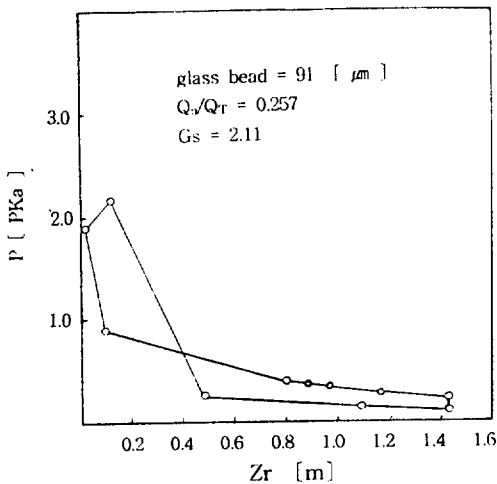


Fig.2 Pressure balance in the experimental apparatus

가능하다는 것이 확인되었다.

3.2 내부노즐의 영향

Fig.3은 총유량 $Q_t : 0.0323\text{m}^3/\text{s}$ 일 때 총유량을 일정하게 유지한 상태에서 노즐유량과 총유량의 비 Q_n/Q_t 가 0, 0.257, 0.503일 때 riser에서 유동입자의 압력 분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 고체입자의 압력차 ΔP_p 는 Q_n/Q_t 가 0일 때와 0.257일 때는 층 전반에 걸쳐 거의 일정한 값을 나타내고 있으나 0.503일 때는 공기분산판 바로 위의 지점에서부터 ΔP_p 가 급격히 감소한 후 riser 전반에 걸쳐 거의 일정한 경향을 나타내고 있다.

따라서 Fig.4에서 보는 바와 같이 내부노즐 설치로 인하여 두개의 층 즉, 농후층과 회박층이 구분되어 형성됨을 알 수 있다.

3.3 간막이 벽의 영향

riser에 두께 7mm의 간막이벽을 공기분산판 저면으로부터 45° 방향으로 양쪽에 설치한 결과 입자의 자체 재순환 현상이 관찰되었다.

따라서 순환유동층에서 간막이 벽은 입자의 층내 체류효과를 증진시켜 주는 것으로 판명되었다.

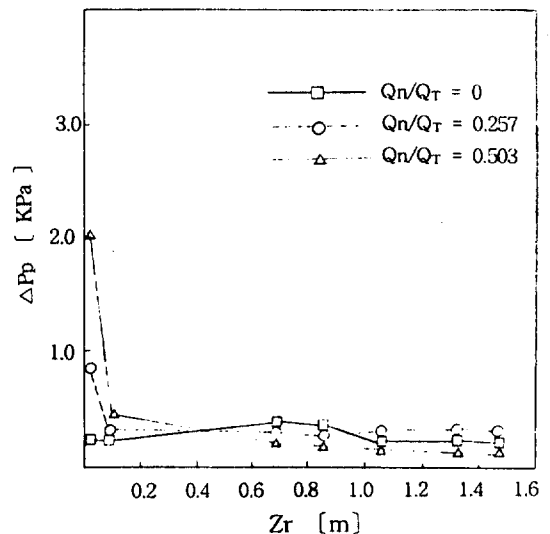


Fig.3 Particle pressure drop in the riser

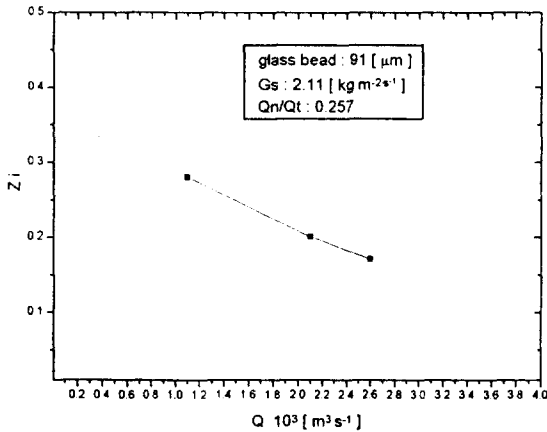


Fig.4 Height of inflection point vs total gas flow

4. 결 론

유동층 내에서 입자의 체류를 증진시키기 위해 층내중앙에 내부노즐을 설치하고, 유동매체와 유동화가스, 그리고 연료의 층내 완전 혼합을 위해 층내의 자체 재순환 기구로서 층내에 45° 경사진 간막이 벽을 설치한 개선된 4각 순환유동층에서, 평균입자직경 91μm의 glass bead를 유동물질로 사용하고 총유량을 0.0137~0.0373m³/s, 노즐 유량을 0.0047~0.0180m³/s, 그리고 입자공급비를 2.11kg·m⁻²·s⁻¹로 할 경우 층내에서의 입자유동상태와 입자유동구조를 조사 관찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 층내에서의 입자분포는 riser, cyclone, 그리고 순환보조관 등 실험장치 전반에 걸쳐서 loop를 형성하고 있으며, 순환보조관 하부에서의 압력이 공기분산판 바로 위에서의 압력보다 낮게 나타났다. 따라서 유동화가스는 순환보조관으로 역류하지 않는다.
- 2) 층내 중앙에 내부노즐을 설치함으로써 유동층 본체에는 2개의 층 즉, 농후층과 희박층이 구분되어 형성되는 경계점이 나타난다.
- 3) riser에 간막이 벽을 설치함으로써 유동입자의 2

차 자체 재순환이 발생하였으며, 간막이 벽은 순환유동층에서 입자의 층내 체류효과를 증진시켜 주는 것으로 판명되었다.

5. 후 기

이 논문은 1996년도 한국학술 진흥재단의 공모과제(연구과제명: 한국산저질 무연탄 연소 및 쓰레기 소각용 고효율 저공해 4각 순환 유동층 연소로 개발) 연구비에 의하여 연구되었음.

참고문헌

1. Ushiki K., Mizuno M., Ikai Y., Sato T., Horiuchi T., Nishio T., and Yasue K. : Observation of fluidizing behavior of ultra-fine ceramics powders at high temperature, Fluidization VIII, 1995, pp.969~976
2. Y. J. Cho : Hydrodynamics and heat transfer characteristics in a circulating fluidized bed, A thesis for the degree of Doctor of philosophy, KAIST, 1994
3. W. Namkung : Axial solid hold up distribution in a circulating fluidized bed, A thesis for the degree of Master, KAIST, 1993
4. T. Hara, H. Takeuchi, T. Chiba : On the definition of fast fluidization in a circulating fluidized bed riser, Fluidization VII, 1992, pp.313~320
5. D. Bai, J. Y. Jin and Z. Yu : Residence time distributions of gas and solids in a circulating fluidized-bed, Fluidization VII, 1992, pp. 195~202
6. A. Delbarre, T. Duplan, Y. de Lassat de Pressigny : Hydrodynamics of a two components mixture in a circulating fluidized bed, Fluidization VII, 1992

7. R. J. Dry et al : The effect of gas inlet geometry on gas solid contact efficiency in a circulating fluidized bed, Fluidization VII, 1992, pp.203~210
8. Gao shiqiu et al : Solid circulating rate in a fast fluidized bed, 5th international fluidized bed conference, 1991, pp.76~85
9. Shigekatsu Mori et al : Particle hold-up and it's transport velocity in a circulating fluidized bed, 5th international fluidized bed conference, 1991, pp.86~94
10. Yang Yonglin et al : Particle flow patterns in a dilate concurrent up-flow and down-flow circulating fluidized bed, 5th international fluidized bed conference, 1991, pp.66~75
11. Y. Kojima, K. I. Ishihara, Y. Guilin, T. Furusawa : Measurement of solid behaviour in a fast fluidized bed, Journal of chemical engineering, Japan, Vol., 22, 1989, pp.341~346
12. L. S. Cohen : Fluidized bed combustion : The advantages of the solid circulation fluidized bed boiler, CEP, 1984