

《論 文》

한국산 저질무연탄 연소용 순환식유동층 연소로 개발 (간막이벽과 내부노즐을 설치한 순환유동층내에서의 유체거동)

이 관 석

천안공업전문대학 열처리과

Technical Development for the Circulating Fluidized Bed Combustor of firing Korean Low Grade Anthracite Coals

(Particle Flow Patterns in a Circulating Fluidized-Bed with an internal Nozzle and a Partition Wall)

Kwan-Seok Khee

Dept. of Heat Treatment,

Cheonan National Junior Technical College

ABSTRACT

A Circulating Fluidized-Bed (CFB) with an internal nozzle and a partition wall was proposed. The technique of fluidization is related to operations first used commercially in the fields of metallurgical and mechanical engineering such as the heat treatment of metals and power station combustors. In the modified CFB, an internal nozzle and a partition wall were additionally set in the main bed. This cold mode CFB apparatus made of acrylic resin; the main bed is 1,500mm high and 100mm in the inner diameter, the internal nozzle is 130mm high and 10mm in the inner diameter, and the partition wall is 7mm thick and 100mm in the diameter.

Glass beads of $89\mu\text{m}$ in the mean diameter were employed as bed materials.

KEYWORDS

Circulating Fluidized-Bed, Internal Nozzle, Partition Wall

NOMENCLATURE

A_b : cross sectional area of the main bed [m²]
 D_b : inner diameter of the main bed [m]
 D_n : nozzle diameter [m]
 d_p : particle mean diameter [μm]

G_p : particle feed rate [kg·m⁻²·s⁻¹]
 P : static pressure [Pa]
 Q_n : gas flow rate in the nozzle [m³·s⁻¹]
 Q_T : total gas flow rate [m³·s⁻¹]
 Z_d : distance from the distributor [m]
 Z_i : height of a boundary line [m]
 α : slanted angle of partition wall [deg]
 ρ_p : particle density [kg·m⁻³]
 ΔP_p : particle pressure drop [Pa]

1. 서 론

유동층 연소방식은 노내에서 유동입자들의 격렬한 난류유동으로 노내온도를 균일하게 유지할 수 있고, 유동매체와 전열면의 접촉열전달로 전열효과가 증진되며, 노내에서의 용이한 온도 조절과 석회석 및 백운석을 사용하여 공해발생물을 최대한 억제할 수 있는 여러가지 특징을 갖고 있다.

그러나 기포상 유동층은 free board 영역에서 온도저하 현상이 발생하고 연소효율이 다소 떨어진다는 단점을 내포하고 있다.

순환유동층은 기포상유동층의 여러가지 단점을 보완한 새로운 개념의 유동층으로서, 층내에서의 완전혼합 난류유동으로 접촉효율을 증가시켜 연소효율을 증가시키고, 층내온도를 균일하게 유지할 수 있기 때문에 산업쓰레기를 포함한 저급연료로부터 고·액체의 연료에 이르기까지 연료의 다변화가 가능한 연소장치에 이용되고 있다.

또한, 열처리공정에서 노내온도불균일로 인하여 발생하는 불량품의 발생을 최대한으로 억제하여 열처리 제품의 신뢰도 및 품질향상을 도모할 수 있기 때문에 담금질(quenching), 뜨임(tempering) 등의 금속열처리 공정에서도 유용하게 이용되고 있다.

Shiegekatsu Mori 등¹⁾은 순환유동층에서의 수송속도는 solid inventory가 증가함에 따라 증가하고 층내에서는 3개의 유동상태 즉 회박층, 농후층, 그리고 회박층과 농후층이 혼합된 층이 존재한다 발표하였으며, T.Hirama 등²⁾은 순환유동층 riser에서 fast fluidization에 대한 연구에서 농후상 수송상태를 관찰한 결과 S-형상의 유동형태가 반드시 정의되는 것만은 아니라고 하였다.

T.Kojima 등³⁾은 가스속도 1.5~2.0m/s의 범위에서 고체입자의 체류량은 층높이와는 관계없이 거의 일정하게 유지된다고 발표하였으며, D.Bai 등⁴⁾은 가스와 유동입자의 back mixing과 축방향 분산정도는 운전조건에 따라 현격한 차이가 있다고 보고했다.

그리고 S.Nagato 등과 Lu Huilin 등^{5~7)}은 유동층내에 경사간막이벽을 설치한 결과 층내에서의 자체적인 back flow를 유발시켜 혼합난류효과 및 열전달증진효

과를 기대할 수 있으며, 순환유동층내에서 수직전열관의 반경방향 평균열전달계수는 주로 층의 밀도의 함수라고 했다.

그러나 순환유동층의 단점으로는 고속운전으로 마모가 심하다는 점과, 부식문제, 그리고 소요동력의 증가 등을 들 수 있는데, 본 연구에서는 이러한 재래식 순환유동층의 단점을 보완하기 위해 유동층내의 중앙에 노즐을 설치하여 층내에서의 입자체류를 증진시키고, 또한 유동층내에 간막이 벽을 설치하여 유동매체의 노내 자체 재순환을 일으키게 하여 혼합난류유동을 형성함으로써 연소효율을 향상시키고, 중·저속운전으로 노내마모를 방지할 수 있는 개선된 cold mode 순환유동층에서 유동매체로서 glass bead를 사용할 경우, 간막이벽의 경사각도, 그리고 총유량과 노즐유량의 비 등을 변수로 하여 유동특성을 고찰하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험조건

2. 1. 실험장치

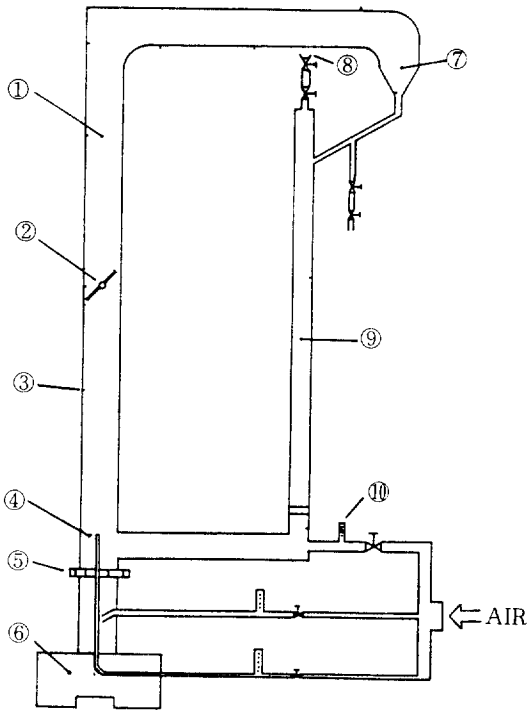
1은 본 연구에서 사용한 실험장치의 개략도를 나타낸 것이며 실험장치는 유동층 본체, cyclone, 유동화 및 순환공기 공급장치, 내부노즐, 간막이벽 등으로 구성되어 있다.

유동층 본체는 내경 100mm, 높이 1,500mm, 두께 5mm의 아크릴수지로 제작하여 동일직경의 cyclone과 연결하였으며 cyclone 출구직경은 20mm로 축소하여 순환보조층과 연결하였다.

유동화 및 순환용 공기는 압력송풍기에 의해 공기실바닥 및 순환 duct에 공급하였으며, 유동층내의 압력측정은 그림 1에서 보는 바와 같은 각지점에서 micro-manometer(0~1000mm H₂O, BEXHILL사, UK)를 사용하여 정압을 측정하였으며 유동층내 압력변동을 관찰하였다.

공기분산판은 직경 110mm, 두께 5mm인 아크릴 수지로 제작하였으며 직경 100mm원내에 한변이 15mm인 연속정삼각형을 도안하여 그 정점 및 중앙에 직경 2mm의 구멍을 뚫어 전체개방율이 2.0%가 되도록한 다공판형(perforated plate type)이다.

아크릴로 만든 내경 10mm의 내부노즐은 공기실바닥



- 1. main bed
- 2. partition wall
- 3. pressure taps
- 4. internal nozzle
- 5. distributor
- 6. air plenum
- 7. cyclone
- 8. particle feed pipe
- 9. recirculating bed
- 10. flow meter

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

중앙으로부터 공기분산판 중앙을 통과하여 공기분산판으로부터 100mm의 높이까지 설치하였다. 간막이벽은 직경 100mm, 두께 7mm의 아크릴판으로 제작하였으며 층의 정중앙위치에, 공기분산판으로부터 750mm 지점에 설치하여 축으로부터 30°, 45°로 경사작동이 가능하도록 설치하였다.

2. 2. 실험조건

Table 1은 본실험에서 사용한 유동매체의 사양을 나타낸 것이고 Table 2는 본연구의 실험조건이다.

Table 1. Properties of solid particles

particles	d_p [μm]	d_p [μm]	ρ_p [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]
glass bead	103~82	89	2503

Table 2. Operating conditions

Operating conditions	Operating ranges
Q_T	$1.08 \times 10^{-3} \sim 2.937 \times 10^{-3} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
Q_n	$0.372 \times 10^{-3} \sim 1.420 \times 10^{-3} [\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}]$
G_s	2.02 [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$]
Slanted angle of partition wall	30, 45 [deg]

3. 실험결과 및 고찰

3. 1. 압력평형상태

그림2는 본실험장치의 유동층, cyclone, 그리고 순환보조층에서의 압력분포를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 압력분포는 실험장치전반에 걸쳐서 loop를 형성하며, 순환보조층의 하부에서의 압력이 공기분산판 바로위에서의 압력보다 낮게 나타났다.

따라서 유동층본체에서의 유동화gas가 순환보조층으로 역류하지 않음을 알 수 있기 때문에 계속해서 안정된 운전을 할 수 있다.

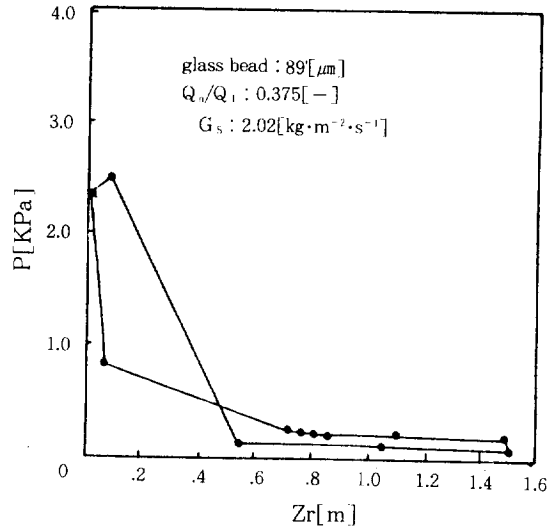


Fig. 2. Pressure balance in the experimental apparatus with an internal nozzle

3. 2. 내부노즐 설치에 따른 입자거동

그림 3은 총유량 $Q_T = 1.48 \times 10^{-4} \text{m}^3/\text{s}$, 입자공급비 $G_s = 2.02 \text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ 일때 노즐유량과 총유량의 비 Q_n/Q_T 를 0~0.508로 변화시켰을때 유동층본체에서의 유동

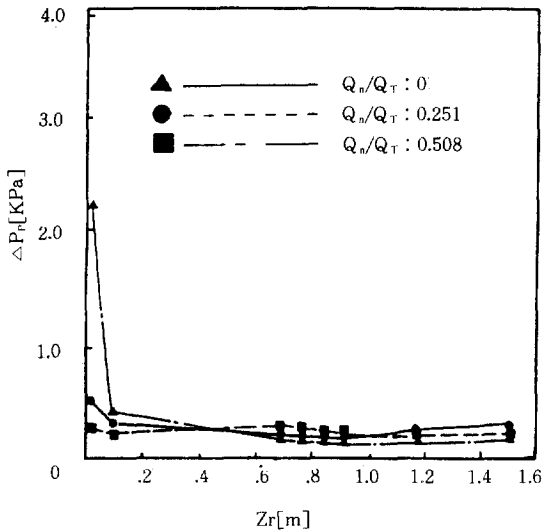


Fig. 3. Particle pressure drop in the main bed with an internal nozzle

입자의 압력강하 분포를 나타낸 것으로, 노즐을 설치하였을 경우의 ΔP_p 의 값은 공기분산판 바로위의 지점에서부터 급격히 감소한 후 유동층 전반에 걸쳐서 거의 일정한 값을 나타내고 있으나 노즐을 설치하지 않았을 경우의 ΔP_p 는 층 전반에 걸쳐서 다소 감소는 하지만 거의 일정한 값을 나타내고 있다.

따라서 내부노즐 설치로 인하여 두 개의 층, 즉 조밀층과 농후층이 구분되어 형성됨을 알 수 있다.

그림 4는 내부노즐을 설치하지 않았을 경우 총유량과 두개의 층이 구분되는 경계점의 관계를 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 경계점의 높이는 총유량 증가에 따라 단순히 감소하는 경향을 나타내고 있다.

그림 5는 내부노즐을 설치한 경우 $Q_n/Q_r=0\sim 1.0$ 의 범위에서 $G_s=2.02\text{kg/m}^2\text{s}$ 일때 유동층본체에서 Q_n/Q_r 의 비에 따른 경계점의 관계를 나타낸 것으로, 그림에서 보는 바와 같이 $Q_n=0$ 의 경우는 뚜렷한 경계점이 나타나지 않고 있으나 $Q_n/Q_r=0.25\sim 1.0$ 의 범위에서의 경계점의 높이 Z_i 는 한점(0.1mm이하 부근, 내부노즐 tip높이)으로 수렴하면서 감소하고 있다.

따라서 노즐을 설치했을 경우는 기포상을 형성한 유동입자들의 일부가 내부노즐로부터 분출된 jet분류에 의해 성장하면서 부풀려지는 효과가 있는 것으로 생각된다.

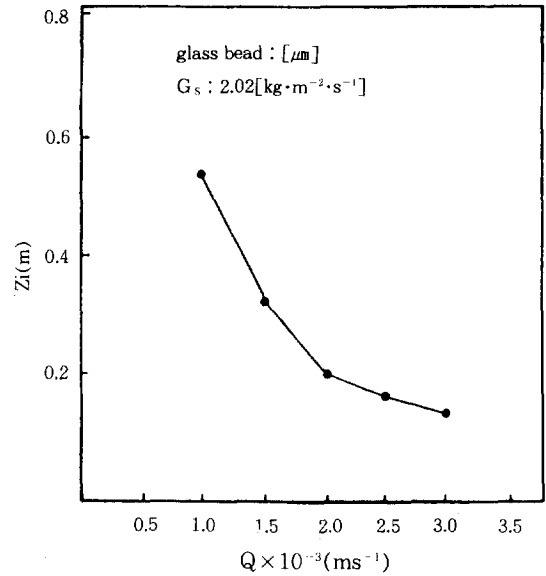


Fig. 4. Boundary line against the gas flow rate (without nozzle)

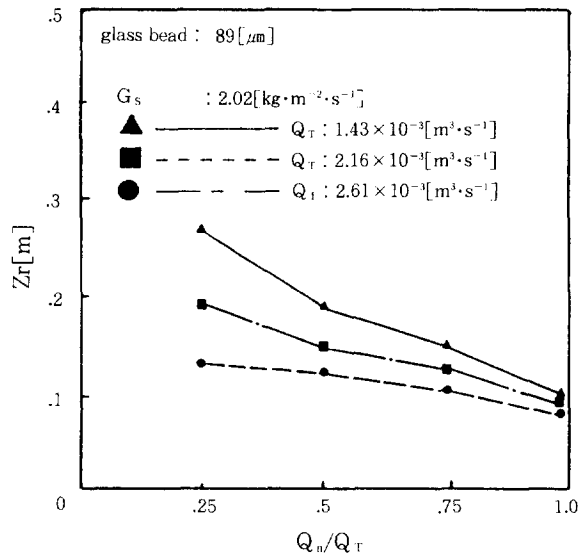


Fig. 5. Boundary line against the gas flow ratio of the nozzle to the total gas flow

3. 3. 간막이벽 설치에 따른 입자거동

그림 6은 간막이벽을 설치한 경우의 압력강하분포를 나타낸 것으로 Q_r , G_s , Q_n/Q_r 의 비 등의 실험조건은 그림 3의 경우와 동일한 값을 취했으며 간막이벽

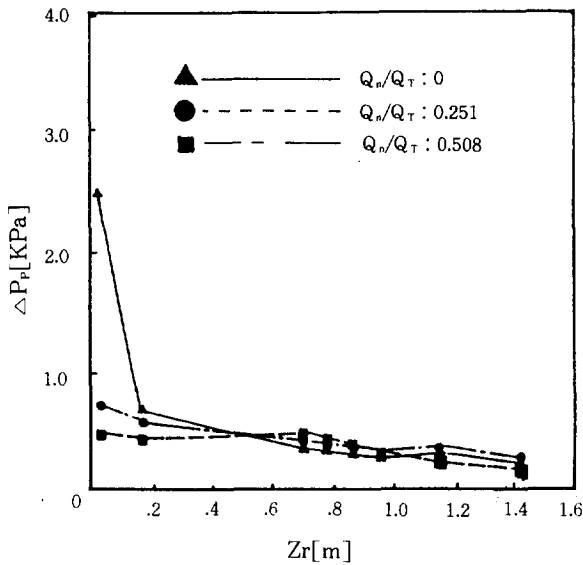


Fig. 6. Particle pressure drop in the main bed with an internal nozzle and a partition wall (α : 30°)

을 축으로부터 30° , 45° 경사지게 설치하여 고찰한 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 간막이벽을 설치한 경우의 압력강하분포는 간막이벽을 설치하지 않은 경우보다 다소 높은 경향을 나타내고 있으나 그 분포는 거의 유사하게 나타나고 있다.

그리고 층내에 간막이벽을 설치함으로써 고체유동입자의 2차 자체 재순환현상이 발생하였으며, 그 자체 재순환 강도는 30° 경사각의 경우가 45° 경사각의 경우보다 다소 크게 관찰되었다.

4. 결론

유동층내에서 입자 체류를 증진시키기 위해 층내 중앙에 노즐을 설치하고, 유동매체와 유동화 가스, 그리고 연료의 층내 완전혼합을 위해 층내의 자체 재순환기구로서 층내에 간막이 벽을 설치한 개선된 순환유동층에서 평균입자직경 $89\mu\text{m}$ 의 glass bead를 유동물질로 사용하고, 총유량 $1.081 \times 10^{-3} \sim 2.937 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 노즐유량 $0.372 \times 10^{-3} \sim 1.42 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$, 간막이 각도 30° , 45° 등을 변수로 할 경우 층내에서의 입자유동형태와 입자유동구조를 조사, 관찰한 결과 다음과 같이 결론을 얻었다.

1. 입자분포는 실험장치 전반에 걸쳐서 loop를 형성하며, 순환보조층 하부에서의 압력이 공기분산판 바로위에서의 압력보다 낮게 나타났다. 따라서 유동층 본체에서의 유동화 가스가 순환보조층으로 역류하지 않는다.
2. 층내 중앙에 내부 노즐을 설치함으로써 유동층본체에는 2개의 층(농후층과 희박층)구조를 구분하는 경계점이 나타나며, 총유량에 대한 노즐유량의 비(Q_n/Q_r)가 클수록 경계점이 낮아지고, 노즐을 설치하지 않은 경우의 경계점의 높이(Z_c)는 단순히 감소하지만, 노즐을 설치했을 경우는 $Z_c=0.1\text{m}$ (대략 노즐의 높이에 해당하는 높이) 부근의 한점으로 수렴하였다. 따라서 노즐을 설치 할 경우는 기포상을 형성한 유동입자들의 일부가 내부 노즐로부터 분출된 jet분류에 의해 성장하는 효과를 얻을 수 있다.
3. 층내에 간막이 벽을 설치함으로써 유동입자의 2차 자체재순환이 발생하였으며, 그 재순환의 강도는 30° 경사각 간막이 벽의 경우가 45° 경사각 간막이 벽의 경우보다 다소 크게 관찰되었다.

5. 후 기

이 논문은 1992년도 교육부 지원 한국 학술진흥재단의 지방대학 육성과제 학술연구 조성비에 의하여 연구 되었음.

참 고 문 헌

1. Shigekatsu Mori et.al.: Particle Hold-Up and It's Transport Velocity in a Circulating Fluidized Bed, 5th International Fluidized Combustion Conference, UK, 1991, pp.86~94
2. T.Hirama, H. Takeuchi, T. Chiba: On the definition of Fast Fluidization in a Circulating Fluidized Bed Riser, Fluidization VII, Australia, 1992, pp.313~320
3. T. Kojima, K. I. Ishihara, Y. Guilin, T. Furusawa: Measurement of Solids Behaviour in a Fast Fluidized Bed, J. Chemical Engineering, Japan, 1989, Vol.22, pp.341~346

4. D. Bai, J. Yi, Y. Jin and Z. Yu : Residence Time Distributions of Gas and Solids in a Circulating Fluidized-Bed, Fluidization VII, Australia, 1992, pp.195~202
5. S. Nagato, M. Kamisada, S. Kosugi, N. Miyoshi : Characteristics of the Internally Circulating Fluidized Bed Boiler, Fluidization '91, China, 1991, pp.56~65
6. Lu Huilin et. al : Radial Profile of the heat Transfer Coefficients for a Vertical Tube in a Circulating Fluidized Bed, 5th International Fluidized Combustion Conference, UK, 1991, pp. 95~101
7. Gao Shiqiu et.al : Solid Circulating Rate in a Fast Fluidized Bed, 5th International Fluidized Combustion Conference, UK, 1991, pp.76~85
8. 山村禮次郎 外 : 石炭利用發電 プラント 技術綜合 資料集, フツテクノシステム, 昭和 55, pp.161~190
9. A. Delebarre, T. Duplan, Y. de Lassat de Pressigny : Hydrodynamics of a two components mixture in a Circulating Fluidized Bed, Fluidization VII, 1992
10. 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
11. Yang Yonglin et. al : Particle Flow Patterns in a Dilute Concurrent Upflow and Downflow Circulating Fluidized Bed, 5th International Fluidized Combustion Conference, UK, 1991, pp. 66~75
12. L. S. Cohen : Fluidized Bed Combustion : The Advantages of the Solid Circulation Fluidized-Bed Boiler, CEP, 1984