

비 기계적 두 방향 loop seal에서 상온 입자의 흐름특성 연구

윤진경, 선도원^{*1}, 배달희¹, 이홍석¹, 최용준², 문길호², 이동규
 충북대학교 공업화학과, ¹한국에너지기술연구원, ²두산중공업
 (dshun@kier.re.kr*)

Study of cold mode flow characteristics of particles in a non-mechanical 2-directional loop seal

Jin-Kyeong Yun, Dowon Shun^{*1}, Dal-Hee Bae¹, Hong-suk Lee¹
 Young-Jun Choi², Kil-Ho Moon², Dong-Kyu Lee

Dept. of Industrial Chemistry Engineering, Chungbuk National University,
¹Korea Institute of Energy Research, ²Doosan Heavy Industries and Construction.
 (dshun@kier.re.kr*)

1. 서론

순환 유동층 보일러는 연료경제성이 탁월할 뿐 아니라 낮은 고장율, 높은 가동일수 및 운전시간 연장과 유지보수가 유류 보일러에 비해 상대적으로 저렴한 장점이 있기 때문에 열병합 발전, 소각, 또는 발전산업에 활용되는 우수한 연소기술이다[1,2]. 순환유동층 연소로의 입자는 주로 고온의 연소재로 기계적 밸브를 사용할 경우 재료의 열화나 부식, 마모, 클링커 등을 감당하기 어려우므로 비 기계적 밸브를 선호하게 된다[3,4]. 순환유동층이 여러 가지 이유로 외부 열교환기를 사용할 경우 현재까지는 전량 외부열 교환기로 보내거나 기계적 밸브를 사용하여 연소로로 직접주입되는 입자와 외부열교환기로 주입되는 입자로 분배한다[5,6]. 그러나 후자의 경우 기계적 밸브의 단점을 그대로 감수하여야 한다. 본 연구에서는 기계적 밸브의 사용 없이 사이클론 포집회를 loop seal을 통해 직접 연소로와 외부열교환기로 분배하는 새로운 개념의 입자순환 장치를 고안하여 실험하였다. 또한 상온에서 loop seal 내의 유속, 반응기내 총 고체순환량, 수평관 gap의 높이가 입자의 흐름 특성에 어떤 영향을 미치는지 고찰하였다.

2. 실험 및 방법

본 연구를 위해 고안한 새로운 개념의 입자순환 장치를 Fig. 1의 batch 실험장치와 Fig. 2의 순환유동층 연속실험장치로 나타내었다. Batch 실험장치의 크기는 150×150×650(mm)이고 입자흐름을 관찰할 수 있도록 아크릴로 제작하였다. 고체량은 hopper 하부에 설치된 rotary feeder로 조절하였다. Loop seal 하부에 세 부분으로 나누어진 공기상자를 설치하고 공기유량을 조절하기 위해 유량계를 설치하였다. 장치내부의 압력변화는 물 마노미터로 측정하였다.

순환유동층 실험장치는 공기량 200Nm³/hr 규모의 bench scale 순환유동층 실험장치에서 기존의 loop seal을 제거하고 batch 실험을 통해 새로 고안된 loop seal을 제작하여 설치하였다[7]. 각 방의 크기는 80×80×450(mm)이고 아크릴로 제작하였다. 고체 순환량을 측정하기 위하여 고체량 측정관(10)과 butterfly 밸브(9)를 설치하였고 역류에 의한 입자의 쓸림 현상을 막기 위해 Loop seal 좌우 방의 상단을 연결하는 압력균형 유도관(5)을 설치하였다. 압력은 연소로(1)와 loop seal에 물 마노미터를 설치하여 측정하였다.

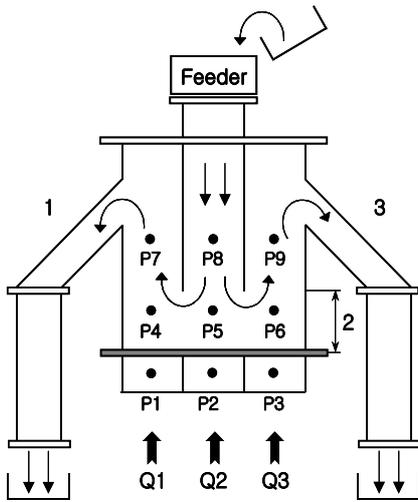


Fig. 1. Apparatus of batch experiment.

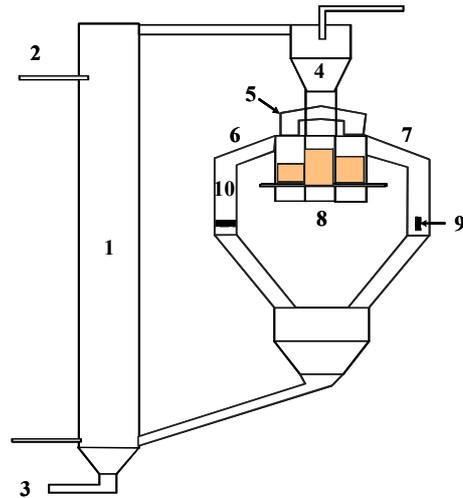


Fig. 2. Apparatus of CFB experiment.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3.은 유속 변화에 따라 EHE(1방향), Riser(3방향)로 흐르는 입자의 양을 나타낸 것이다. Loop seal의 가운데 방에 주입하는 공기의 유속 U_2 는 U_{mf} 의 3.82배로 고정시킨 상태에서 1방향의 U_1 은 일정하게 유지하고 3방향으로 입자가 흐르도록 U_3 을 변화시켰다. U_3 의 유속을 점차 증가시키면 1방향으로 흐르는 입자량은 서서히 감소하는 반면 3 방향의 고체 순환량은 서서히 증가하게 되다가 U_3 가 U_1 다 충분히 큰 어느 시점에서 고체입자는 대부분 3 방향으로 흐르게된다. 4개의 그래프를 비교해보면 U_1 이 증가함에 따라 교차점부근에서 곡선의 기울기는 점차 감소하는 경향을 나타내었다. 이것은 유속의 조절로 입자 순환량의 미세한 조절이 상대적으로 용이함을 의미한다. 따라서 입자유량의 조절을

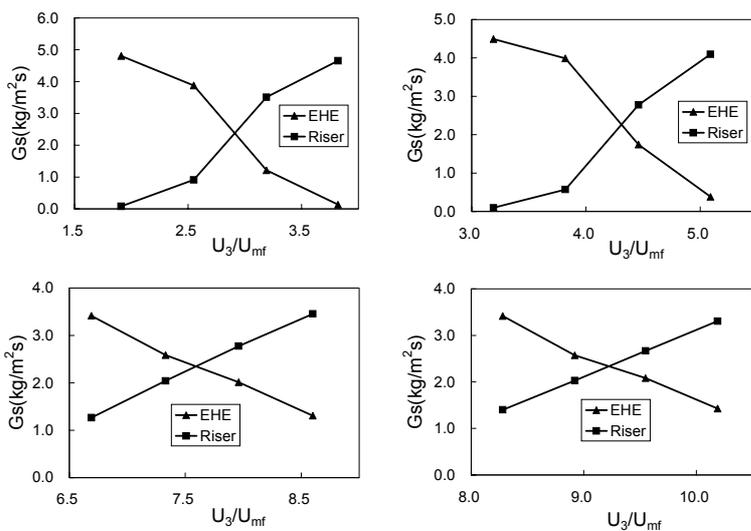


Fig. 3. Relations between solids circulation flux(G_s) and the gas velocity

쉽게 하기 위해서는 loop seal 내부 각 방에서 유동화가 충분히 이루어져야 한다.

Fig. 4는 Fig. 3에서 설명한 교점 부근에서의 기울기를 유속에 따라 나타낸 것이다. U_2 의 유속에 관계없이 U_1 이 증가하면 기울기는 감소하는 경향이 나타났다. 따라서, loop seal에 주입하는 총 공기량이 증가하여 활발한 유동화가 발생하면 교차점 부근에서 곡선의 기울기는 감소하여 입자의 공급량 조절이 용이해진다.

Fig. 5는 rotary feeder의

RPM 증가에 따른 전체 고체 순환량의 변화를 나타낸 그래프이다. 1 방향으로만 입자가 흐르도록 U_1 의 유속을 일정하게 유지하고 U_2 는 입자이동을 위해 적당량으로 유지시켰으며 U_3 는 0으로 고정하였다. Rotary feeder로부터 공급되는 총 고체 순환량이 증가할수록 1 방향으로 흐르는 고체의 양도 선형적으로 증가함을 알 수 있다.

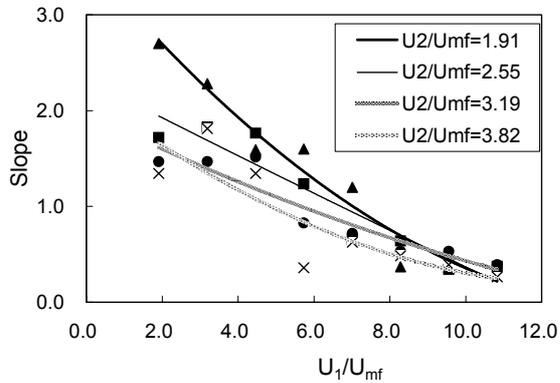


Fig. 4. Relations between gas velocity and solids circulation flux slope near the intersection point.

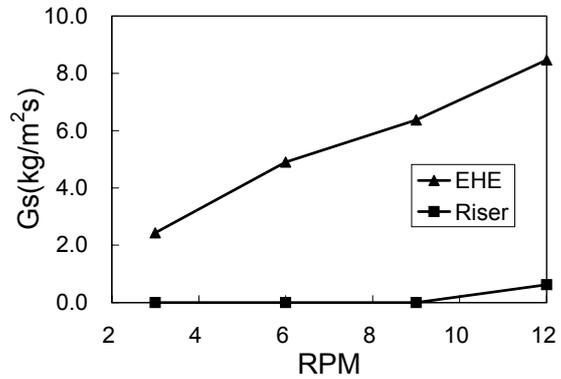


Fig. 5. Relation between RPM of rotary feeder and solids circulation flux. ($U_1/U_{mf}=2.23$, $U_2/U_{mf}=1.91$, $U_3/U_{mf}=0$)

Fig. 6은 EHE, Riser에 가하는 유속의 비와 각 방향(1,3)으로 흐르는 입자순환량의 비를 나타낸 그래프이다. U_1 과 U_3 의 유속비에 따라서 EHE(1)와 Riser(3)로 흐르는 고체순환량 비는 일정한 규칙을 가진다. Loop seal이 충분한 유동상태를 유지한 여러 실험 조건에서 $U_1/U_3=1.04$ 일 때 $Gs1/Gs3=1$ 이고, $U_1/U_3=1.12$ 일 때 $Gs1/Gs3=2$ 라는 규칙성이 나타났다. 각 방에 가하는 유량의 조절을 통해 입자를 EHE 혹은 Riser로 보낼 수 있을 뿐 아니라 원하는 비율의 입자량을 각 방향으로 흐르게 할 수 있는 것으로 나타났다.

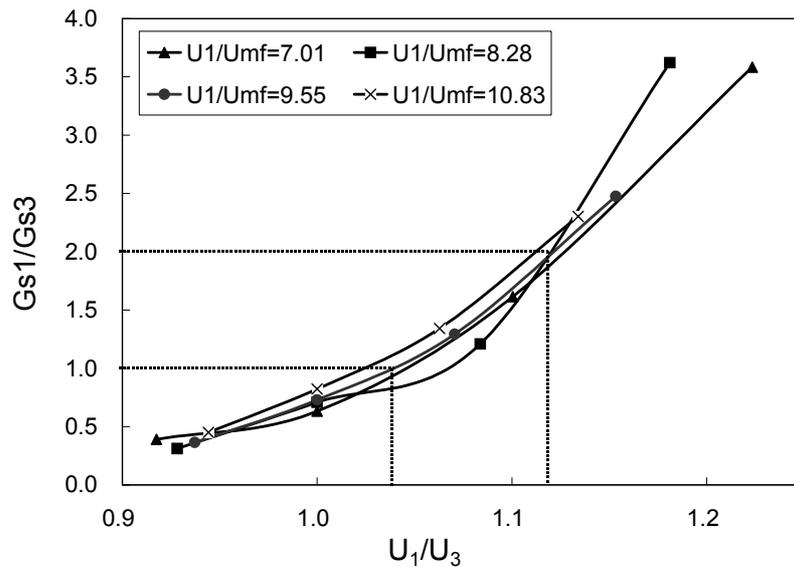


Fig. 6. Relations between gas velocity ratio(U_1/U_3) and solids circulation flux ratio($Gs1/Gs3$).

4. 결론

두 방향 loop seal에서 유속의 조절을 통한 입자의 정량 공급 특성이 나타남을 확인하였다. 총 고체 순환량의 증가에 따라 EHE, Riser로 흐르는 고체 순환량은 선형적으로 증가하였다.

유속에 따른 고체 입자의 흐름특성은 다음의 몇 가지 특성으로 나타났다. Q_1 과 Q_3 에 같은 양의 공기를 주입하였음에도 불구하고 EHE와 Riser로 흐르는 고체 순환량이 큰 차이를 나타내었다. 그러나, 유속을 증가시켜 loop seal 내의 유동화를 활발하게 한 후 고체 입자의 쓸림 현상은 거의 나타나지 않았다. EHE의 고체 순환량 곡선과 Riser의 고체 순환량 곡선이 만나는 교점 부근의 기울기는 유속이 증가하면서 감소하였다. 즉, 충분한 유동화가 일어난 loop seal에서는 유속 조절을 통한 입자의 정량 공급이 용이하지만 유속이 낮은 조건에서는 미세한 유속 조절에도 고체 순환량이 급변하여 정량 공급이 상대적으로 어려웠다. Loop seal 수평관 gap의 높이(Fig.1의 2)를 9, 25cm로 변화하여 실험한 결과 입자의 정량공급 특성에 영향을 미치지 않았고 압력을 통한 입자의 정량공급 특성은 실험 시 측정 오차가 클 뿐 아니라 일정한 경향을 나타내지 않아 규명하지 못하였다.

5. 참고문헌

1. 선도원, 박영성, 손재익 : 화학공업과 기술, 13(1), 6(1995)
2. 손재익 : 청정석탄활용기술개발, 한국에너지기술연구소 보고서, 제 3장(1994)
3. Yang, W. C. and T. M. Knowlton, "L-valve equation", Powder Technol., 77, 49~54 (1993)
4. Basu, P. and Fraser, S. A., "Circulating Fluidized Bed Boilers : design and operation", Butterworth-Heinemann, Boston (1991)
5. Makoto Kono, "Design and operation results of the MITSUI MSFB boiler", CFB combustion technology workshop, Fushun, China, UNDDSMS (1996)
6. Qinhui Wang, Zhongyang Luo, Mengxiang Fang, Mingjiang Ni, Kefa Cen, "Development of a new external heat exchanger for a circulating fluidized bed boiler", Chemical engineering and processing, 00, 1~9 (2002)
7. 선도원, 배달희, 한근희 : "국내산 무연탄의 순환유동층 연소특성 연구", HWAHAKKONGHAK, Vol. 34, No. 3 (1996)