

고체연료 매체순환연소기를 위한 회재분리기에서 분리속도 및 분리효율에 미치는 조업변수들의 영향

류호정^{1†} · 이동호¹ · 윤주영¹ · 장명수¹ · 배달희¹ · 박재현¹ · 백점인²
¹한국에너지기술연구원, ²한국전력공사 전력연구원

Effects of Operating Variables on Separation Rate and Separation Efficiency in Ash Separator for Solid Fuel Chemical Looping Combustor

HOJUNG RYU^{1†}, DONGHO LEE¹, JOOYOUNG YOON¹, MYOUNGSOO JANG¹,
DALHEE BAE¹, JAEHYEON PARK¹, JEOMIN BAEK²

¹Korea Institute of Energy Research, Daejeon, 34129, Korea

²Korea Electric Power Corporation (KEPCO) Research Institute, Daejeon, 34056, Korea

Abstract >> To develop an ash separator for the solid fuel chemical looping combustion system, effects of operating variables such as solid injection nozzle velocity, diameter of solid injection nozzle, gap between solid injection line and vent line, vent line inside diameter, and solid intake height on solid separation rate and solid separation efficiency were measured and discussed using heavy and coarse particle and light and fine particles mixture as bed material in an acrylic fluidized bed apparatus. The solid separation rate increased as the solid injection nozzle velocity and the diameter of solid injection nozzle increased. However, the solid separation rate decreased as the gap between solid injection line and vent line, the vent line inside diameter, and the solid intake height increased. The solid separation efficiency was in inverse proportion to the solid separation rate. In this study, we could get high solid separation rate up to 2.39 kg/hr with 91.6% of solid separation efficiency.

Key words : Chemical looping combustion(매체순환연소), Solid fuel(고체연료), Ash separator(회재분리기), Solid separation rate(고체분리속도), Solid separation efficiency(고체분리효율)

Nomenclature

H_G : Gap between solid injection line and vent line, m
 H_i : Solid intake height, m

1. 서론

매체순환연소(CLC, chemical looping combustion) 기술은 공정 내에서 별도의 분리설비 없이 CO₂를 원천적으로 분리할 수 있고 발전효율이 높아 차세대 저공해-고효율 발전기술로 관심을 얻고 있다¹⁻³⁾.

Fig. 1은 매체순환연소기술의 기본 개념을 나타내고 있다. 그림에 나타난 바와 같이 전체 시스템은 두

[†]Corresponding author : hjryu@kier.re.kr

Received: 2016.2.2 in revised form: 2016.3.3 Accepted: 2016.4.30

Copyright © 2016 KHNES

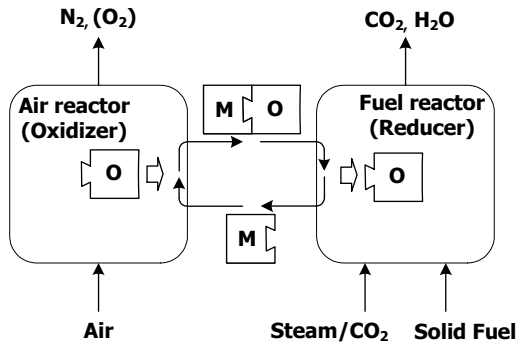


Fig. 1 Conceptual diagram of solid fuel chemical looping combustion

개의 반응기로 구성되어 있으며 한 반응기에서는 산화반응이, 다른 반응기에서는 환원반응이 이루어지고 두 반응기 사이를 금속산화물(산소전달입자)이 순환하면서 산소를 전달하게 된다.

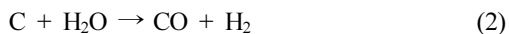
공기반응기에서는 식 (1)과 같이 금속입자(Me_xO_{y-1})가 공기 중의 산소와 반응하여 금속산화물(Me_xO_y)로 산화된 후 연료반응기로 순환되고 연료반응기에서는 고체연료가 유동화기체로 주입되는 H_2O 또는 CO_2 와 반응하여 식 (2)부터 (4)에 나타난 바와 같은 가스화반응이 일어나며, 이때 생성된 기체들과 금속산화물(Me_xO_y)이 반응하여 CO_2 와 H_2O 를 생성하고 금속산화물은 금속으로 환원되어 다시 공기반응기로 재순환되는 과정을 반복하게 된다^{4,7)}.

산화반응 :

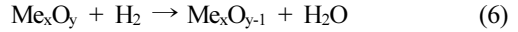
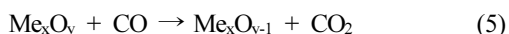


환원반응 :

주요 가스화 반응



산소전달입자와의 반응



이와 같은 별개의 환원-산화반응에 의하면 직접 연소에 비해 여러 가지 장점을 얻을 수 있다.

공기와 산소전달입자의 반응은 기체-고체 반응이며 연료와 공기가 섞이지 않고 비교적 낮은 온도에서 반응이 일어나기 때문에 저 NO_x 연소가 가능하다. 한편, 환원반응기의 기체 생성물은 CO_2 와 수증기(H_2O)뿐이므로 수증기를 응축하여 제거하면 고농도의 CO_2 를 공정 내에서 원천적으로 분리할 수 있다.

최근에는 고가의 기체연료 대신 저가 연료인 석탄을 이용하는 고체연료 매체순환 연소기술에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으며 기체연료에 비해 에너지밀도가 높은 장점이 있어 기체연료 매체순환연소기술에 비해 규모격상 연구가 활발하게 진행되고 있으며 현재 1 MW 급 및 3 MW 급 실증 연구가 진행 중이다. 석탄을 연료로 이용하는 매체순환연소에 대한 연구는 우리나라 및 스웨덴, 미국, 스페인, 중국 등에서 수행되어 오고 있으나 아직 초기단계(조업조건 선정, 공정개선, 산소전달입자 개발)에 머물러 있는 실정이며^{8,11)} 석탄에 포함된 회분과 황성분에 의한 반응성 저하, 고체연료의 연소 후 남은 회의 처리 문제 등 해결해야 할 애로사항이 남아있다. 특히, 석탄을 연료로 하는 매체순환연소기를 장기적으로 운전하는 경우 지속적으로 석탄이 공급되어야 하며, 운전시간이 경과함에 따라 환원반응기에 남게 되는 회분이 증가하여 고체량이 지속적으로 증가하게 되고 연속운전을 불가능하게 만들며, 산소전달입자와 연료의 접촉효율 및 반응성을 저하시키는 원인이 되고 있다.

본 연구에서는 이와 같은 단점을 극복하기 위해 Fig. 2와 같이 연료반응기에 회재분리기(ash separator)를 설치하는 방법을 고려하였다. 그림에 나타난 바와 같이 연료반응기에는 공기반응기 사이클론에서 포집된 산소전달입자(oxygen carrier)와 고체연료가 함께 주입되며, 환원반응 후에 연료반응기 내에는 회재와 산소전달입자가 함께 존재하게 된다. 이 회재 및 산

2. 실험

2.1 입자

본 연구에서는 매체순환식 연소기의 연료반응기를 모사하기 위해 실제 산소전달입자(OCN706)를 사용하였다. OCN706 입자의 벌크밀도는 1655 kg/m^3 이었으며 비중병을 이용하여 측정한 apparent density는 3516 kg/m^3 이었고 $106\sim 212 \mu\text{m}$ 의 입자를 사용하였다. 한편, 석탄의 연소 후 연료반응기에 남게 되는 작고 가벼운 회재를 모사하기 위해 CO_2 흡수제(P-110)를 사용하였다. P-110 입자의 벌크밀도는 719 kg/m^3 이었으며 $45\sim 75 \mu\text{m}$ 의 입자를 사용하였다. P-110 입자의 경우 조해성이 있으므로 mercury porosimeter를 이용하여 skeletal density를 측정하였으며 1745 kg/m^3 으로 나타났다. OCN706 입자와 P-110 입자는 무게 기준으로 2.3:1로 혼합하여 유동층에 장입하였다. 혼합된 입자의 벌크밀도는 1279 kg/m^3 이었으며 최소유동화속도는 상온, 상압 조건에서 0.007 m/s 였다.

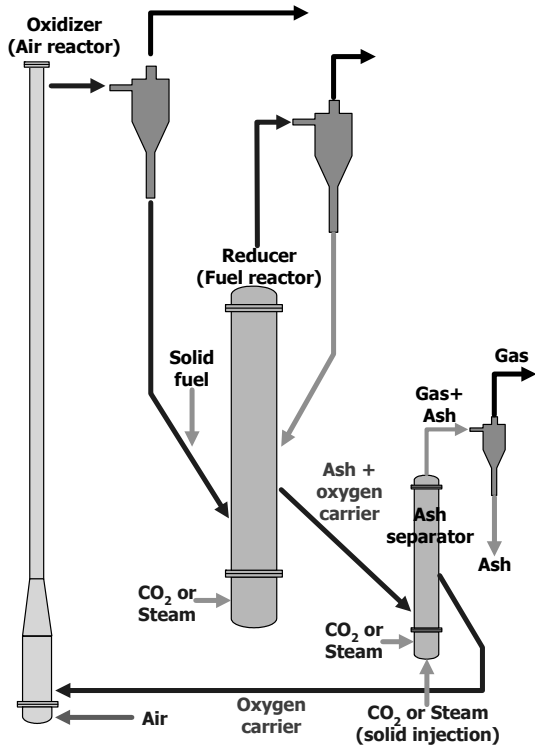


Fig. 2 Conceptual diagram of solid fuel chemical-looping combustion equipped with ash separator

산소전달입자의 고체혼합물은 회재 분리기로 도입되며, 회재분리기의 유동화기체에 의해 유동화 되고, 고체분사를 위한 기체에 의해 회재분리기 상부로 분사되어 회재는 회재분리기 사이클론으로 도입되어 별도로 분리되며, 회재분리기 외부로 유출되지 않은 산소전달입자는 산화반응기로 재순환되는 공정을 고려하였다.

본 연구에서는 석탄 연소 매체순환 연소기에서 발생하는 회분을 연속적으로 제거할 수 있는 회재분리기를 개발하기 위한 기초실험을 수행하였다. 산소전달입자로는 실제 매체순환연소기에 사용되는 Ni계 산소전달입자를 사용하였으며 회분을 모사하는 입자로는 입자밀도가 낮고 입자크기가 작은 CO_2 흡수제를 사용하여 회재분리기의 고체분리속도 및 고체분리효율에 미치는 조업변수의 영향을 측정 및 고찰하였다.

2.2 실험장치 및 고체분사 방법

Fig. 3에는 본 연구에 사용된 회재분리기 실험장치의 개략도를 나타내었다. 전체 실험장치는 기포유동층 형태의 유동층(fluidized bed), 유동화기체의 주입을 위한 질량유량계(MFC), 주입된 기체의 고른 분산을 위한 플레넘(plenum)과 기체분산판(gas distributor), 고체입자의 분사를 위한 고체분사관(solid injection line), 고체분사관을 통해 고체를 분사하기 위한 고체분사기체용 질량유량계, 분사된 고체와 기체의 배출라인, 비산된 고체의 포집을 위한 삼각플라스크 및 고체와 기체의 분리를 위한 필터(filter) 등으로 구성되어 있다.

유동층(Fig. 3의 1)은 내경 0.15 m , 총 높이 1.0 m 의 아크릴로 제작하였으며, 유동화 기체는 가스미터로 보정된 질량유량계(Fig. 3의 9)를 통해 유동층 하

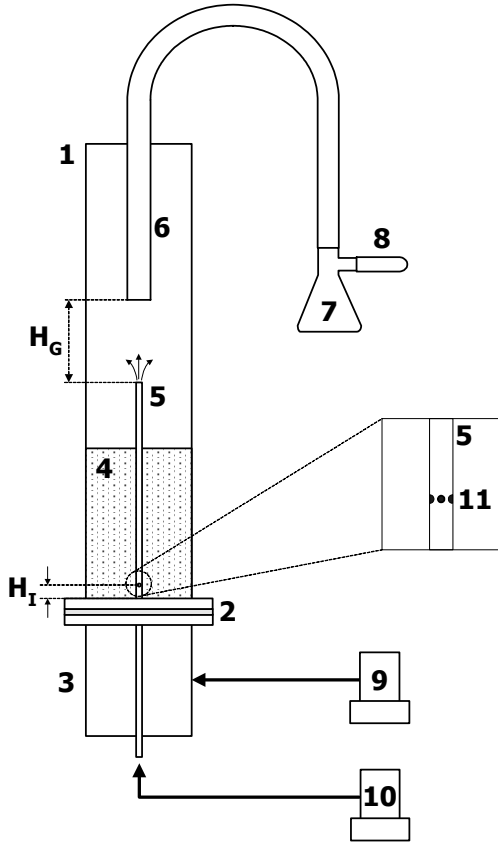


Fig. 3 Schematic of ash separator apparatus
 1. fluidized bed, 2. gas distributor, 3. plenum, 4. solid mixture, 5. solid injection line, 6. gas and solid vent line, 7. flask, 8. filter, 9. mass flow controller, 10. mass flow controller, 11. solid intake hole

부의 플레넘(내경 0.15 m, 높이 0.152 m, Fig. 3의 3)을 통해 분산판 하부 0.06 m에서 주입하였다. 유동층 내부에 존재하는 고체혼합물(Fig. 3의 4)을 상부로 분사하기 위해 유동층 중앙에 고체분사관(Fig. 3의 5)을 설치하였으며 고체분사관 아래쪽 외부에 고체유입구멍(solid intake hole, Fig. 3의 11)을 뚫어 유동화된 고체가 고체분사관으로 유입되게 하였다. 고체분사관으로 도입된 고체는 고체분사관 하부에서 주입되는 고체분사용 기체(Fig. 3의 10)에 의해 고체분사관 상부로 이동하게 되며, 고체분사관 끝에서 유동층 상부로 분사된다. 고체분사관을 이용한 고체의 이송 방법은 기존 보고에 자세히 설명되어 있다¹²⁾.

Table 2 Summary of operating conditions and variables

Item	conditions and variables	
Particles	OCN706 + P-110	
Fluidization gas	Air	
Minimum fluidization velocity [m/s]	0.007	
Static bed height [m]	0.5	
Fluidization velocity [m/s]	0.0181	
Vent line inside diameter [m]	0.020, 0.024	
Gap between solid injection line and vent line, HG, [m]	0.15, 0.20, 0.25	
Solid injection nozzle size	1/4 inch O.D.	3/8 inch O.D.
Solid intake hole	4 mm, 2 ea	4 mm, 4 ea
Height of solid intake hole, HI, [m]	0.15, 0.20, 0.25, 0.30, 0.35	0.15, 0.25, 0.35
Solid injection nozzle velocity [m/s]	1.65, 2.42, 3.20, 4.08	1.61, 2.42, 3.23, 4.04

분사된 고체혼합물 중 무거운 입자는 유동층 내부의 고체혼합물 층으로 낙하하며 가벼운 입자는 배출라인(Fig. 3의 6)을 통해 기체와 함께 배출된다. 배출된 기체와 고체 혼합물은 고체분리를 위한 필터(Fig. 3의 8)에 의해 분리되어 고체는 삼각플라스크(Fig. 3의 7)에 남게 되며 기체는 필터를 통해 배출된다.

본 실험에서 유동층 내부 고체혼합물의 높이는 0.5 m로 유지하였으며 유동화속도는 충분한 유동화를 확보하기 위해 고체 혼합물의 최소유동화속도 (0.00696 m/s)의 2.6배 유속인 0.0181 m/s 조건에서 실험을 수행하였다. 고체분사관으로는 외경 기준 1/4 인치 튜브(6.35 mm)에 4 mm의 고체유입구멍이 2개 뚫려있는 경우와 외경 기준 3/8 인치 튜브(9.525 mm)에 4 mm의 고체유입구멍이 4개 뚫려있는 경우의 두 가지 형태를 사용하였다.

본 연구에서 실험변수로는 고체분사관의 직경, 고체분사관을 통한 유속, 고체분사관과 배출관 사이의 거리(Fig. 3의 H_G), 배출관의 직경, 고체유입구멍의 높이(Fig. 3의 H_I) 등을 고려하였다. 본 연구의 실험 조건 및 변수를 요약하여 Table 2에 나타내었다.

2.3 실험 및 해석 방법

각 실험 조건에서 고체를 분사하기 전 필터가 장착된 플라스크의 무게를 측정하였다. 고체분사가 없는 조건에서 유동층 내부를 유동화 시킨 후 플라스크를 배출관에 연결하였다. 고체분사관을 통해 기체를 주입하여 고체혼합물을 유동층 상부로 분사시켰으며 유동층 상부에서 무겁고 큰 입자와 가볍고 작은 입자가 분리된 후 플라스크에 입자가 포집되기 시작하였으며 포집된 입자량이 무게측정이 가능한 범위에 도달하면 고체분사관으로의 기체주입을 멈추고 플라스크를 배출관으로부터 분리하여 무게를 측정하였고 초기 무게와의 차이를 계산하여 포집된 총 고체무게를 계산하였다. 주어진 조건에서 고체분사관을 통해 기체를 주입하여 고체분리를 수행한 시간 (t)과 플라스크에 포집된 총 고체무게(W)를 바탕으로 고체분리속도(Solid separation rate)를 식 (7)과 같이 결정하였으며 플라스크에 포집된 고체를 체 분리하여 OCN706 입자와 P-110 입자로 분리한 후, 전체 입자의 무게 중 회재를 모사하는 P-110 입자의 무게 (W_{ash})를 측정하여 식 (8)에 의해 고체분리효율(solid separation efficiency)을 결정하였다.

$$\text{Solid separation rate} = \frac{W}{t} \quad [\text{kg/hr}] \quad (7)$$

$$\text{Solid separation efficiency} = \frac{W_{\text{ash}}}{W} \times 100 \quad [\%] \quad (8)$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 4에는 1/4 인치의 고체분사노즐을 사용하고, 배출관의 내경이 0.024 m이며 고체유입구멍의 높이가 0.15 m 인 경우에 대해 고체분사관을 통한 유속과 고체분사관과 배출관 사이 거리(H_G)의 변화에 따라 측정된 고체분리속도와 고체분리효율의 변화를 나타

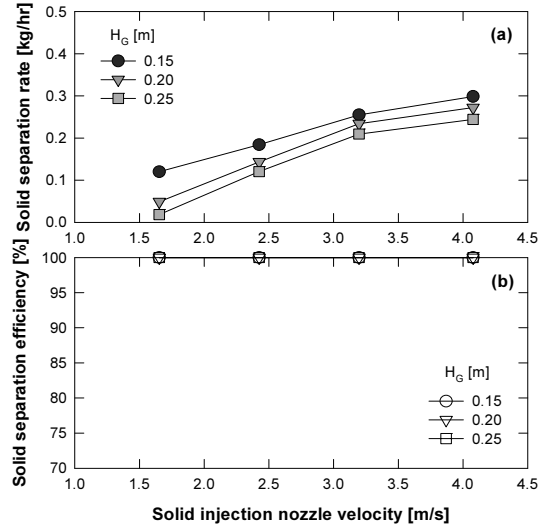


Fig. 4 Effects of solid injection nozzle velocity and gap between solid injection line and vent line on solid separation rate and solid separation efficiency (solid injection nozzle = 1/4 inch, vent line diameter = 0.024 m, solid intake height = 0.15 m)

내었다. Fig. 4(a)에 나타난 바와 같이 고체분사관을 통한 유속이 증가함에 따라 고체분사관을 통해 분사되는 고체량이 증가하므로 고체분리속도가 증가하는 경향을 나타내었다. 한편, 고체분사관과 배출관 사이의 거리가 증가함에 따라 고체분리속도가 감소하는 경향을 나타내었는데 이와 같은 경향은 고체분사관과 배출관 사이의 거리가 증가함에 따라 분사된 고체가 배출관으로 배출되지 못하고 유동층으로 다시 낙하하는 확률이 증가하기 때문으로 사료되었다. Fig. 4(b)에 나타난 바와 같이 그림의 모든 실험조건에서 고체 분리효율은 100%로 나타나 분리되어 포집된 고체에 산소전달입자는 존재하지 않았으며 모든 입자가 회재를 모사하는 P-110 입자임을 알 수 있었다.

Fig. 4에 나타난 고체분리속도는 0.0182~0.299 kg/hr 였으며, 고체분리속도를 더욱 증가시키기 위한 방법으로 배출관의 직경을 감소시켜 배출관을 통해 배출되는 기체유속을 증가시키는 방법을 시험해보고자 하였다. Fig. 5에는 Fig. 4에 나타난 실험조건과 동일

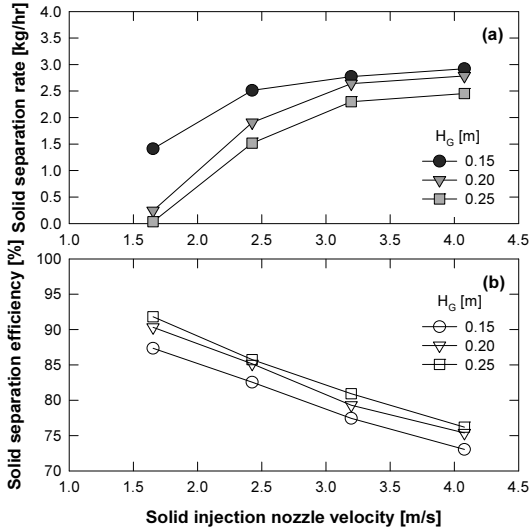


Fig. 5 Effects of solid injection nozzle velocity and gap between solid injection line and vent line on solid separation rate and solid separation efficiency (solid injection nozzle = 1/4 inch, vent line diameter = 0.020 m, solid intake height = 0.15 m)

한 조건에서 배출관의 직경을 0.024 m에서 0.020 m로 변경시킨 경우에 고체분사관을 통한 유속과 고체분사관과 배출관 사이 거리(H_G)의 변화에 따라 측정된 고체분리속도와 고체분리효율의 변화를 나타내었다. Fig. 5(a)에 나타난 바와 같이 고체분사관을 통한 유속이 증가함에 따라 고체분리속도가 증가하고 고체분사관과 배출관 사이의 거리가 증가함에 따라 고체분리속도가 감소하는 동일한 경향을 나타내었다. 또한 Fig. 4(a)에 비해 고체분리속도가 급격하게 증가(0.035~2.922 kg/hr)한 것을 확인할 수 있었으며 이와 같은 경향은 유동화기체의 유량과 고체분사관의 유량이 동일한 조건에서 배출관의 직경을 감소시키는 경우 배출관을 통한 기체유속이 증가하여 분사된 고체가 배출될 수 있는 확률이 증가하기 때문인 것으로 사료되었다. 한편, Fig. 5(b)에 나타난 바와 같이 배출관의 직경을 감소시킨 경우 Fig. 4(b)의 경우에 비해 고체분리효율이 급격히 감소하였다(73.0~91.8%). 고체분리효율은 고체분사관을 통한 유속이 증가함에 따라 감소하고 고체분사관과 배출관 사이의 거리가

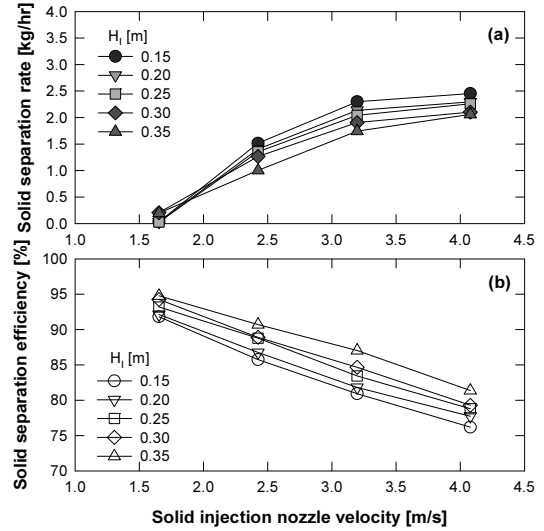


Fig. 6 Effects of solid injection nozzle velocity and solid intake height on solid separation rate and solid separation efficiency (solid injection nozzle = 1/4 inch, vent line diameter = 0.020 m, gap between solid injection line and vent line = 0.25 m)

증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었으며 고체분리속도와 고체분리효율은 반비례 관계에 있음을 알 수 있었다.

Fig. 4와 Fig. 5를 함께 고려하면, Fig. 4의 경우에는 고체분리효율은 높으나 고체분리속도가 낮았으며, 이를 개선하기 위해 배출관의 직경을 감소시킨 Fig. 5의 경우 고체분리속도를 크게 증가시킬 수 있었으나 고체분리효율이 급격히 감소하는 결과를 나타내었다. 또한 Fig. 5(b)의 결과에서 고체분리속도와 고체분리효율이 반비례 관계, 즉 고체분리효율을 증가시키기 위해서는 고체분리속도를 다소 감소시켜야 한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 본 연구에서는 고체분리속도의 큰 감소 없이 고체분리효율을 증가시키기 위해 고체분사관 외부에 설치된 고체유입구멍의 높이를 변화시키는 방법을 검토하고자 하였다.

Fig. 6에는 Fig. 5에 나타난 실험조건 중 고체분리효율이 높은 조건인 고체분사관과 배출관 사이의 거리(H_G)가 0.25 m인 경우에 대해 고체분사관을 통한 유속과 고체유입구멍의 높이(H_I) 변화에 따라 측정된

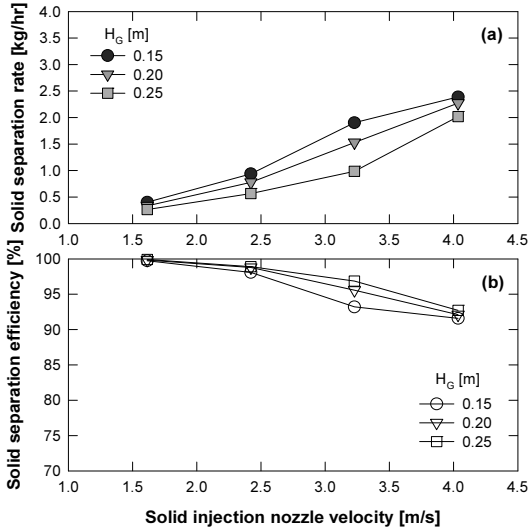


Fig. 7 Effects of solid injection nozzle velocity and gap between solid injection line and vent line on solid separation rate and solid separation efficiency (solid injection nozzle = 3/8 inch, vent line diameter = 0.024 m, solid intake height = 0.15 m)

고체분리속도와 고체분리효율의 변화를 나타내었다. Fig. 6(a)에 나타난 바와 같이 고체유입구멍의 높이가 증가함에 따라 고체유입구멍 상부에 존재하는 고체층의 높이가 감소하므로 하부로 가해지는 압력이 감소하여 고체분사노즐로 유입되는 고체량이 감소하고, 이로 인해 고체분사량이 감소하므로 고체분리속도가 감소하는 경향을 나타내었다. 한편, Fig. 6(b)에 나타난 바와 같이 동일한 조건에서 고체유입구멍의 높이가 증가함에 따라 고체분리효율은 증가하는 경향을 나타내었으며 고체유입구멍의 높이를 증가시키는 경우 고체분리속도의 감소량에 비해 고체분리효율의 증가효과가 크게 나타나는 것으로 사료되었다.

Fig. 4부터 6에 나타난 결과를 바탕으로 고체분리속도와 고체분리효율을 함께 증가시키기 위한 또 다른 방법으로 고체분사관의 직경을 증가시키는 경우에 대해 동일한 실험을 수행하였다. Fig. 4와 5의 비교에서 나타난 바와 같이 고체분리효율을 증가시키기 위해서 배출관의 직경은 0.024 m 인 경우를 고려하였으며 고체분사관을 통한 유속, 고체분사관과 배

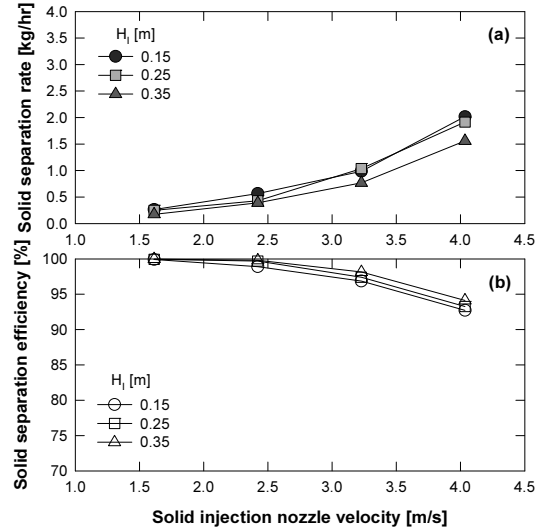


Fig. 8 Effects of solid injection nozzle velocity and solid intake height on solid separation rate and solid separation efficiency (solid injection nozzle = 3/8 inch, vent line diameter = 0.024 m, gap between solid injection line and vent line = 0.25 m)

출관 사이의 거리(H_G), 고체유입구멍의 높이(H_I)를 실험변수로 고려하였다.

Fig. 7에는 3/8 인치의 고체분사노즐을 사용하고, 배출관의 내경이 0.024 m이며 고체유입구멍의 높이가 0.15 m인 경우에 대해 고체분사관을 통한 유속과 고체분사관과 배출관 사이 거리(H_G)의 변화에 따라 측정된 고체분리속도와 고체분리효율의 변화를 나타내었다. Fig. 4, 5와 마찬가지로 고체분리속도는 고체분사관을 통한 유속이 증가함에 따라 증가하고 고체분사관과 배출관 사이의 거리가 증가함에 따라 감소하였으며 고체분리효율은 고체분리속도의 경향과 반비례 하는 경향을 나타내었다. 한편, Fig. 5와 7을 비교하면 유사한 조건에서 고체분사노즐의 직경을 증가시킨 경우(실제로는 고체유입구멍의 개수도 증가하였음)에 고체분리속도는 다소 감소하였으나 고체분리효율은 크게 개선되는 경향을 나타내었다.

고체분사노즐 직경이 1/4 인치인 경우와 마찬가지로 고체분리효율을 더욱 증가시키기 위해 고체유입구멍의 높이(H_I)를 증가시키는 경우의 실험을 수행하

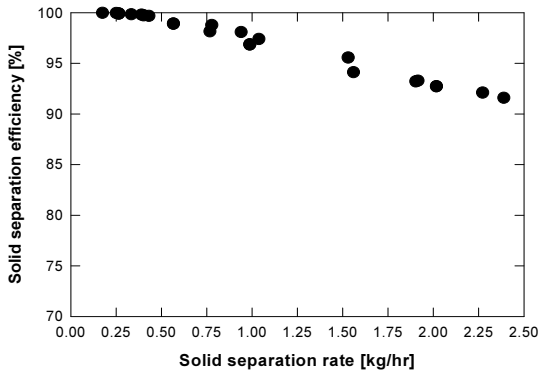


Fig. 9 Relationship between solid separation efficiency and solid separation rate

였다. Fig. 8에 나타난 바와 같이 고체유입구명의 높이가 증가함에 따라 동일한 조건에서 고체분리속도는 감소하였으며 고체분리효율은 증가하는 경향을 나타내었으나 Fig. 6(b)의 경우에 비해서 고체유입구명의 높이가 증가에 따른 고체분리효율의 증가는 크게 나타나지 않았다.

Fig. 4부터 8까지를 함께 고려하면 고체분리속도와 고체분리효율을 동시에 높게 유지하기 위해서는 고체분사관의 직경이 1/4 인치인 경우에 비해 3/8 인치인 경우가 유리한 것으로 나타났으며 고체분리속도가 증가하는 경우 고체분리효율은 감소하는 경향을 나타냈다. 본 연구에서는 고체분리속도와 고체분리효율의 관계를 보다 세밀하게 고찰하기 위해 Fig. 7과 8에 나타난 실험결과를 고체분사속도 변화에 따른 고체분리효율의 변화로 표시하여 Fig. 9에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 고체분리속도가 증가함에 따라 고체분리효율은 직선적으로 감소하는 경향을 나타내었다. 따라서 회재의 분리량을 증가시키는 경우(즉, 고체분리속도를 증가시키는 경우)에는 고체분리효율이 필연적으로 감소하게 되므로 고체분리속도와 고체분리효율 중에서 중요한 변수를 기반으로 회재분리기를 설계할 필요가 있다.

고체분리속도를 기반으로 회재분리기를 선정하는 경우를 예로 들면, Fig. 9에서 고체분리효율이 가장

낮은 경우(91.6%)에 고체분리속도는 2.39 kg/hr이므로 분리된 고체 중 회재는 2.19 kg/hr ($=2.39 \times 0.916$)이다. 이와 같은 회재 분리속도를 실제적인 석탄 매체순환연소기의 경우와 비교하기 위해 회재 함량 2.32 wt.%, 저위발열량(LHV) 5,650 kcal/kg인 Roto 석탄을 연료로 사용하는 경우를 고려하면 약 620 kW-thermal의 용량을 갖는 매체순환연소기에서 3/8 인치의 고체분사관 1개로 회재를 모두 분리할 수 있는 것으로 나타났다. 한편, 이 경우 고체분리효율이 91.6%이므로 분리된 고체 중 8.4%는 산소전달입자이며 산소전달입자의 회수를 위해서는 Fig. 2와 같이 연속 공정에 연계된 회재분리기 이외에 별도의 회재분리기를 사용하여 분리하는 것이 유리한 것으로 사료된다.

고체분리효율을 높게 유지하면서 고체분사속도를 증가시킬 수 있는 또 다른 방법으로 Fig. 3에 나타난 회재분리기 내부에 고체분사관을 여러 개 설치하는 방법이 사용될 수 있으며, 이 경우에 고체분리속도와 고체분리효율에 미치는 조업변수의 영향에 대해서는 추가적인 연구가 필요하다.

4. 결 론

고체연료 매체순환 연소기에서 발생하는 회분의 연속제거를 위한 회재분리기의 고체분리속도 및 고체분리효율에 미치는 조업변수의 영향을 측정 및 고찰하였다. 본 연구에서 얻어진 결론을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 고체분사관을 통한 유속, 고체분사관의 직경이 증가함에 따라 고체분리속도가 증가하는 반면 고체분리효율은 감소하는 경향을 나타내었다.
- 2) 고체분사관과 배출관 사이의 거리, 배출관의 직경, 고체유입구명의 높이가 증가함에 따라 고체분리속도가 감소하는 반면 고체분리효율은 증가하

는 경향을 나타내었다.

- 3) 본 연구의 실험범위 내에서 고체분리속도와 고체 분리효율을 동시에 높게 유지하기 위해서는 고체 분사관의 직경이 1/4 인치인 경우에 비해 3/8 인치인 경우가 유리한 것으로 나타났으며 고체분리 속도가 증가하는 경우 고체분리효율은 감소하는 경향을 나타냈다.
- 4) 고체분리속도를 증대시키는 경우 고체분리효율이 감소하므로 분리된 고체 중 산소전달입자의 회수를 위해서는 별도의 회재분리기를 사용하여 분리하는 것이 유리한 것으로 사료되었다.

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다(20152010201840).

References

1. H. J. Ryu, S. S. Park, D. H. Lee, W. K. Choi and Y. W. Rhee, "Method for Improvement of Reduction Reactivity at High Temperature in a Chemical-looping Combustor", Korean Chem. Eng. Res., Vol. 50, No. 5, 2012, pp. 843-849.
2. S. S. Park, D. H. Lee, W. K. Choi, H. J. Ryu and Y. W. Rhee, "Syngas Combustion Characteristics of Oxygen Carrier Particle in a Pressurized Fluidized Bed Reactor", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 23, No. 1, 2012, pp. 83-92.
3. H. J. Ryu, Y. J. Kim, Y. S. Park and M. H. Park, "Reaction Characteristics of Coal and Oxygen Carrier Particle in a Thermogravimetric Analyzer", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 22, No. 2, 2011, pp. 213-222.
4. H. J. Ryu, K. S. Kim, Y. S. Park, and M. H. Park, "Reduction Characteristics of Oxygen Carrier Particle for Chemical-looping Combustor with Different Fuels", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 1, 2009, pp. 45-54.
5. H. J. Ryu, and G. T. Jin, "Reactivity and Attrition Resistance of Three Oxygen Carrier Particles for Chemical-Looping Combustor", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 15, No. 3, 2004, pp. 208-219.
6. H. J. Ryu, K. S. Kim, Y. S. Park, and M. H. Park, "Natural Gas Combustion Characteristics of Mass Produced Oxygen Carrier Particles for Chemical-Looping Combustor in a Batch Type Fluidized Bed Reactor", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 2, 2009, pp. 151-160.
7. H. J. Ryu, S. Y. Lee, H. K. Kim, and M. H. Park, "Effect of CO₂ concentration on Reduction Reactivity of Oxygen Carriers for Chemical-looping Combustor", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 20, No. 3, 2009, pp. 245-255.
8. A. Lyngfelt, "Oxygen Carriers For Chemical-Looping Combustion-Operational Experience", 1st International Conference on Chemical Looping, March 17-19, IFP-Lyon, France, Available on CD, 2010.
9. L. S. Fan, "Chemical Looping Processes", 1st International Conference on Chemical Looping, March 17-19, IFP-Lyon, France, Available on CD, 2010.
10. J. Adanez, "Oxygen Carrier Materials for Chemical-looping Processes-Fundamentals", 1st International Conference on Chemical Looping, March 17-19, IFP-Lyon, France, Available on CD, 2010.
11. H. J. Ryu, Y. J. Kim, Y. S. Park, and M. H. Park, "Reaction Characteristics of Coal and Oxygen Carrier Particle in a Thermogravimetric Analyzer", Trans. of the Korean Hydrogen and New Energy Society, Vol. 22, No. 2, 2011, pp. 213-222.
12. H. J. Ryu, Y. C. Park, S. H. Jo, and M. H. Park, "Development of Novel Two-interconnected Fluidized Bed System", Korean Journal of Chemical Engineering, Vol. 25, No. 5, 2008, pp. 1178-1183.