

2段 旋回流 流動層 燃燒爐의 履歷에 대한 設計 및 操業變數의 影響

李 起 浩*

Effect of Design and Operating Parameters on the Performance
of a Two-Stage Swirl-Flow Fluidized Bed Coal Combustor

Lee Ki-ho*

Summary

A new combustion technique, called the two-stage swirl-flow fluidized bed combustion process, was recently developed to improve the combustion efficiency and to reduce the elutriation of fines. Several tests on overall performance and hydrodynamics of the gas-particle flow behavior in the two-stage swirl-flow fluidized bed combustor have been already performed. Nevertheless, more data is needed for the complete evaluation of its performance.

In this paper, operating and design parameters which can affect the combustion performance of the two-stage swirl-flow fluidized bed combustor are discussed. Combustion experiments of anthracite coal with a wide size distribution were carried out to investigate the influence of the various parameters on the combustion performance in a laboratory scale combustor. The parameters considered were swirler nozzle diameter, number of swirler nozzles, fluidizing air velocities of lower and upper stage and fly ash recycling. Experimental results and discussions are also presented.

서 론

석유 대체 에너지원으로서 석탄의 활용에 대한 기술개발은 국내 부존 자원의 활용도를 높이고 값싼 에너지를 공급할 수 있다는 점에서 국가적으로 적극 추진됨과 동시에 여러가지 석탄 연소기술이

도입되고 있다(KAIST, 1985).

이러한 석탄 연소기술들 중에서 유동층 연소법은 연료의 종류에 제약이 거의 없어 국내 석탄 매장량의 절반을 차지하는 저열량 무연탄의 연소에 적합할 뿐 아니라 단위용적당 열발생량이 크기 때문에 장치의 소형화를 이룰 수 있으며, 비교적 저온에서 연소되므로 thermal NO_x가 적게 배출되고, 동시에 르내에서의 회재의 소결이나 fouling

* 海洋科學大學 海洋環境工學科

현상을 방지할 수 있는 등의 많은 장점이 있어 각광을 받고 있다. (Geldart, 1986; Radovanovic, 1986). 그러나 유동층 연소로는 다량의 미세입자들이 미연소된 상태로 비산유출되기 때문에 연소 효율이 낮아질 뿐 아니라 본진에 의한 대기오염 문제를 야기시키는 등의 문제점을 안고 있다. (Baeyens and Geldart, 1978; Chen and Saxena, 1978; Tomita et al., 1984; Delong et al.; 1987).

이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연소기술이 개발되고 있으며, 그 중에서도 기존 유동층 연소에서 나타나는 미세입자의 비산유출로 인한 미연소분 손실 문제와 freeboard부에서의 연료와 공기의 부적절한 혼합문제를 동시에 개선하여 연소효율을 증대시키기 위한 방안으로서 Lee 등 (1988, 1990)이 2단 선회류 유동층 연소로를 고안하여 이를 무연탄 연소에 적용하여 그 기본적인 연소특성을 일부 밝힌 바 있다. 그러나 2단 선회류 유동층 연소장치의 성능을 보다 정확하게 평가하기 위해서는 일반 유동층 연소로에 영향을 미치는 변수들은 물론 2단 선회류 유동층 연소장치의 상단 freeboard부에서 발생하는 선회류의 선회강

도에 큰 영향을 줄 수 있는 설계 및 조작변수들의 영향도 고려되어야 하므로, 보다 많은 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 2단 선회류 유동층 연소장치의 성능에 대한 설계변수 및 조작변수의 영향에 대해서 고찰하고자 했다. 그리고 연소로의 성능 평가에 대한 지표로써는 상단 freeboard에서의 미세입자 포집율(trapping rate)과 총괄연소효율(overall combustion efficiency)을 선정하였다.

설계 및 조작변수

일반 유동층 연소장치를 설계 또는 운전함에 있어서, 일반 유동층 연소로의 연소에 영향을 미치는 여러가지 인자들에 대해서 많은 연구자들(Keairns, 1984; Radovanovic, 1986)에 의해 논의되었으며, 이들 인자들을 Table 1과 같이 몇가지 항목으로 분류할 수 있다.

다중 입경분포를 가진 석탄의 유동층 연소공정에서, 미연소분(가연성 성분) 손실은 가연성분을 다량 함유한 상태로 배출가스와 함께 유출되는 비

Table 1. Influential factors on the fluidized bed combustion

Main group	Factors
fuel parameters	physical and chemical composition heating value, etc.
design parameters	feeding system configuration of distributor inbed surface configuration fly ash recycling
operating parameters	air-fuel ratio bed temperature fluidizing air velocity bed depth bed material fuel and sorbent

산화재(fly ash)에 의한 것이 대부분을 차지한다. 이는 로내에 주입되는 석탄층에 함유된 미세입자가 유동화 공기에 의해 미연소된 상태로 제빨리 비산유출되어 버리기 때문이다.

2단 선회류 유동층 연소장치에서 미세입자를 함유한 1차 연소가스는 상단공기분산판의 선회노즐을 통해 상단 freeboard부로 꺾선방향으로 유입되기 때문에 선회류(swirling flow)를 형성하며, 연소로를 벗어나기 이전에 상단 freeboard부에서 몇 바퀴 회전하게 된다. 이러한 선회류 효과때문에 하단층으로부터 비말등반된 미세입자들은 상단 freeboard부의 연소로 내벽을 따라 움직이게 된다. 그 중 일부가스는 가스흐름으로부터 분리되어 벽면을 따라 상단층내로 떨어지게 된다. 그러므로, 미세입자의 비산유출량은 동일 형태의 단단 유동층 연소로에 비해 현저하게 감소된다. 상단층내에 포집된 미세입자들은 2차 공기에 의해 다시 유동화되면서 연소된 후, 상단 일류배출관을 통해 연소로 밖으로 배출된다. 그 결과 상단층으로부터 일류배출되는 회재중의 가연분함량은 매우 낮아진다. 또한 가스 흐름으로부터 분리되지 못한 미세 입자들은 선회류 흐름을 따라 연소로 상부로 이동하여 결국은 배출가스와 함께 비산유출되지만 그들의 로내 체류시간은 길어진다. 결과적으로 비산유출되는 입자중의 가연분 함량은 단단 유동층 연소로에 비해 더욱 낮아진다. 이로써 2단 선회류 유동층 연소장치는 연소효율을 증진시킬 수 있으며, 연소로의 높이를 더욱 낮출 수 있게 된다. 그러므로 2단 선회류 연소장치에서 연소효율을 더욱 증진시키기 위해서는 미세입자의 포집율을 최대로 증가시키는 방법이 고려되어야만 한다.

종전의 연구(Lee et al., 1988, 1990)에서, 상단 freeboard내에서 미세입자의 포집율은 선회강도(swirling intensity)에 따라 증가하며, 선회강도는 선회류 유도노즐에서의 속도와 선회원경에 비례한다는 사실을 알았다. 선회류의 선회강도는 통상 선회수(swirl number)로 설명되며, 이는 선운동량의 축방향 전달량에 대한 각운동량의 축방향 전달량의 비로 나타낸다(Beer and Chigier, 1983; Gupta et al., 1984). 이를 Morihara 등(1986)

은 선회류형 가스화로(swirling flow gasifier)에 대해서 다음과 같이 단순화시켰다.

즉,

$$S = \frac{V_o \cdot R_u}{U_z \cdot R} \quad (1)$$

여기서 V_o 와 U_z 는 각각 선회노즐에서의 분사속도와 가스화로내의 총축방향 유속이며, R_u 와 R 은 각각 선회반경 및 로반경이다. 본 실험에서 이용한 연소장치의 상단부 형상은 선회류형 가스화로의 형상과 동일하므로, 본 연구에서는 위 식을 이용하여 선회수(선회강도)를 고찰하였다.

이상에서 언급된 변수들 이외에도 본 2단 선회류 유동층 연소장치의 상단 freeboard부에서 발생하는 선회류의 선회강도에 큰 영향을 미칠 수 있는 변수들로는 선회노즐의 내경, 선회노즐의 갯수 및 상, 하단 유동화 공기속도 등을 생각할 수 있다.

실험장치 및 방법

1. 실험장치

실험장치의 흐름도 및 크기는 Fig. 1과 같으며, 본 실험에 이용된 실험설비는 유동층 소각로, 연료 공급기, 압축공기 공급기, 공기에일장치와 압력 및 온도 측정계기 등으로 구성되어 있다. 실험장치에 대한 자세한 형상 및 치수는 문헌(Lee et al., 1988, 1990)에 이미 발표한 바 있다. 본 연구에서는 선회류 효과가 연소로의 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해 Fig. 2와 같은 3가지 형태의 상단공기분산판을 실험목적에 따라 각각 이용하였다. 또한 2단 선회류 유동층 연소장치에서 상단공기분산판을 제거하면 단단 유동층 연소장치가 될 수 있도록 설계하였다.

2. 실험방법

본 연소실험에서는 하단 층매질로는 석탄회재(coal-derived ash)를 이용하였으며, 조업 시작시

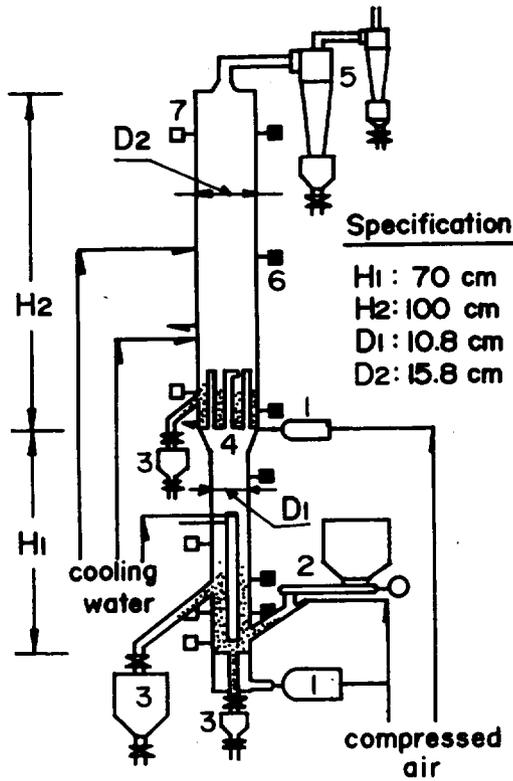


Fig.1. Schematic flow diagram of experimental apparatus.
 1. Air preheater; 2. Screw feeder and hopper; 4. Upper stage air distributor; 5. cyclones; 6. Thermocouple; 7. Pressure tap.

최초에는 상단층내에 층물질을 미리 투입하지 않고 비워 두었다. 연소용 공기는 공기 압축기로부터 1, 2차로 나누어 예열기에서 각각 예열한 후, 상, 하단 공기 분산판을 통해 각각 공급함과 동시에 하단 층온도가 700°C가 될 때까지 연소로 외벽에 감겨 있는 전열선을 가동하였다. 하단 층온도가 700°C에 도달되면, 이 때부터 하단공기분산판의 상부 5cm지점에 설치한 석탄 공급기를 통해 석탄을 주입하였다. 연소가 시작되고 나면 석탄 공급량을 점차로 증가시켜 하단 층온도를 원하는 작업온도에 도달하도록 하고, 냉각수 주입량을 조절하여 하단 층온도가 미리 설정된 온도에서 일정하게 유지되도록 하였다.

하단 층내의 회재는 하단공기분산판 상부 20cm에 설치된 일류배출관을 통해 연속적으로 배출되거나, 하단공기분산판 중앙에 설치한 하부 배출관을 통해 단속적으로 배출되었다. 상단 층으로부터의 회재배출은 상단공기분산판 상부 10cm지점에 설치한 일류 배출관을 통해 연속적으로 배출된다. 따라서 층높이는 각각 20, 10cm로 일정하게 유지하였다.

연소로 각 높이별로 측정되는 온도가 변화없이 일정하게 유지될 때, 즉 정상적인 연소상태가 되었을 때, 연소로 온도분포 및 가스성분을 측정하였다. 상하단으로부터 배출되는 회재와 원심력 집진에 의해 포집된 회재를 한 시간동안 포집하여 무게를 정량하고, 공기분석을 행하였다. 이 자료

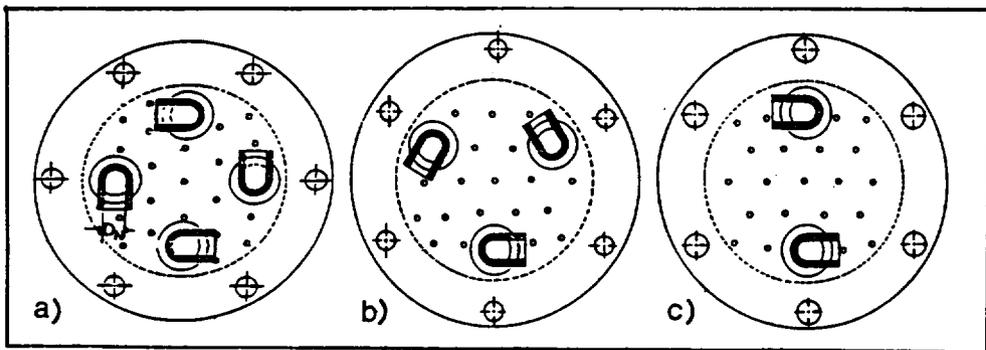


Fig.2. Geometry of upper stage air distributors.
 a) $D_N = 1.28, 1.46, 1.85, 2.55$ cm.
 b) $D_N = 1.48$ cm; c) $D_N = 1.61$ cm

로 부터, 발열량 기준으로 연소효율을 계산하였다.

또한 비산화제의 재순환이 연소로 성능에 미치는 영향을 파악하기 위해, 비산화제를 재순환시킬 경우에는 2개의 사이클론에서 포집된 비산화제를 스크류 공급기로서 하단공기분산판의 상부 5cm 지점으로 재공급하였다.

3. 실험조건

본 연구에서의 조업조건을 변수별로 Table. 2에 나타냈으며, 여기서 사용한 석탄시료는 저품위 고회분 무연탄으로서 성분 및 입경분포는 Table. 3에 나타냈다.

Table 2. Experimental conditions

Variables	Conditions
Swirler nozzle diameter (D_N), cm	1.28, 1.46, 1.85, 2.25
Number of swirler nozzles (n_N), -	2, 3, 4
Lower bed temperature (T_{b1}), $^{\circ}\text{C}$	900
Upper bed temperature (T_{b2}), $^{\circ}\text{C}$	900
Air-fuel ratio (λ)*, -	1.20
Lower stage superficial air velocity (U_{o1}), m/s	0.9 -1.5
Upper stage superficial air velocity (U_{o2}), m/s	0.015 -0.27
Recycle ratio (R/C)**, -	0.0, 0.5, 1.0, 1.5

$$* \text{ Air-fuel ratio } (\lambda) = \frac{\text{actual feeding air flow rate}}{\text{theoretical air flow rate}}$$

$$** \text{ Recycle ratio } (R/C) = \frac{\text{recycled fly ash}}{\text{coal feed rate}}$$

결과 및 고찰

1. 설계변수의 영향

Fig. 3은 선화노즐 내경(D_N)에 따른 trapping rate(W_T)와 carry-over rate(W_C)의 변화를 보여준다. 여기서 W_T 와 W_C 는 다음과 같이 정의된다.

$$W_T = \frac{W_2}{W_0} \times 100$$

$$W_C = \frac{W_3}{W_0} \times 100$$

여기서 W_0 , W_2 , W_3 는 각각 주입된 석탄, 상단 층으로부터 일류배출된 입자, 사이클론에서 포집된 입자들중에 함유된 회분의 무게이다. Fig. 3에서 보는 바와 같이 상단 freeboard내에서 미세입자의 포집율은 선화노즐 내경이 감소함에 따라 증가한다. 이러한 경향은 다음과 같이 설명할 수 있

Table 3. Compositions and size distribution of the Korean anthracite coal used

Items	Content
Proximate analysis(%)	
Moisture	1.12
Volatile matter	6.71
Fixed carbon	34.88
Ash	57.29
Ultimate analysis(%)	
C	33.61
H	0.72
N	0.23
O	2.21
S	2.21
Ash	57.29
H ₂ O	1.12
Calorific value(cal/g)	2850
Particle size range(mm)	
	(wt. %)
2.00-0.84	36.56
0.84-0.50	17.78
0.50-0.30	13.31
0.30-0.21	6.53
0.21-0.15	5.80
0.15-0.10	2.40
<0.10	12.80
men diameter (dp)	0.114

다. 주어진 1차 공기량에서, 선회노즐 내경이 감소하면 노즐유속(V_0)이 증가하고, 따라서 식(1)에서 보는 바와 같이 선회강도가 증가한다. 그러므로 2단 선회류 유동층 연소장치에서 상단 freeboard부에서 발생된 선회류의 선회강도가 커져 미세입자의 포집율을 더욱 증진시키게 된다. 이러한 결과들은 사이클론에서도 동일한 경향을 나타냄을 볼 수 있는 데, 원심력 집진기(cyclone collector)에서 가스 유입구의 높이가 감소할 때

outer vortex내 회전수는 증가하여 부분집진 효율이 증가하는 결과를 초래하게 된다(Cooper and Alley, 1986).

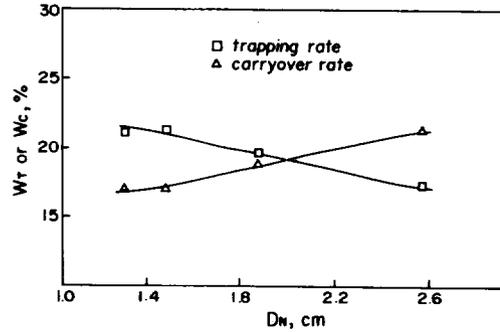


Fig. 3. Variations of trapping rate and carryover rate with the swirler nozzle diameter :

$$U_{01} = 1.1m/s, n_N = 4, U_{02} = 0.27m/s.$$

이와 유사한 이론을 본 연구결과에서도 적용할 수 있다. 즉, 상단 freeboard부 내에서 가스 회전수는 선회노즐 내경이 작아질 수록 증가하게 될 것이다. 따라서 상단 freeboard내에서 선회류의 유효 회전수는 증가하게 되고, 그 결과 상단 freeboard부에서 미세입자의 포집율은 증가할 것이다. 또한 2단 선회류 유동층 연소장치에서 상단 freeboard부 내에서 상층내로 포집되지 않고 carry-over되는 미세입자는 선회류에 따라 나선운동을 하면서 움직이게 되므로 그들의 체류시간은 더욱 길어지게 된다. 이러한 선회효과로 인해 Fig. 4에서 보는 바와 같이 선회노즐 내경이 감소함에 따라 연소효율(η)은 증가한다.

본 연구에서, 노즐갯수(n_N)를 4, 3, 2개로 변화시키더라도 동일한 1차 공기량하에서는 노즐유속은 일정하게 유지하도록 노즐내경을 미리 조절하여 제작하였다. 즉, 노즐갯수가 적을 때에는 노즐내경을 증가시켰다. 이때 상단 freeboard부내에서의 가스회전수는 노즐갯수가 줄어들 때 감소한다. 또한 주어진 1차 공기량에서 선회노즐 내경이 증가할 때 선회류 유도노즐에서 분사되는 가스흐름의 실제 점선방향 속도성분은 감소되는 반면에

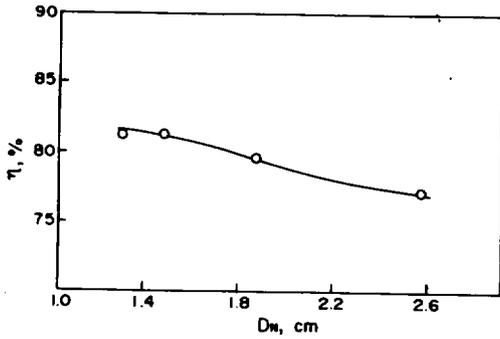


Fig. 4. Variations of combustion efficiency with the swirler nozzle diameter :

$U_{01} = 1.1 \text{ m/s}$, $n_N = 4$, $U_{02} = 0.27 \text{ m/s}$.

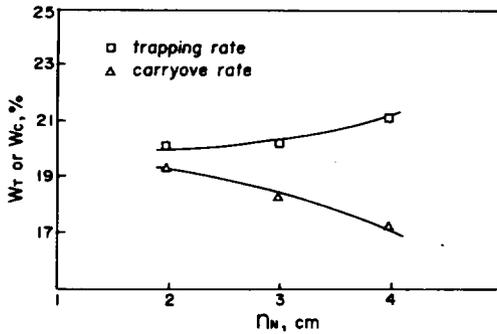


Fig. 5. Variations of trapping rate and carryover rate with the number of nozzles :

$U_{01} = 1.1 \text{ m/s}$, $n_N = 1.28 \text{ cm}$, $U_{02} = 0.27 \text{ m/s}$.

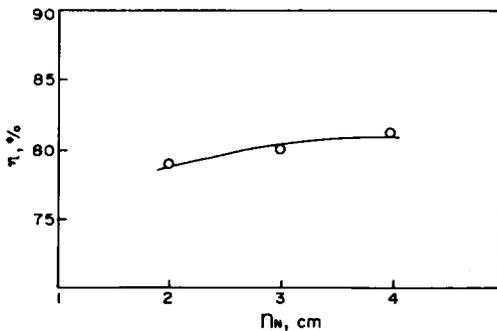


Fig. 6. Variations of combustion efficiency with the number of nozzles :

$U_{01} = 1.1 \text{ m/s}$, $D_N = 1.28 \text{ cm}$, $U_{02} = 0.27 \text{ m/s}$.

실제 축방향 속도성분은 증가하게 된다. 결과적으로, 선회노즐 갯수가 줄어감에 따라 선회강도는 감소한다. 따라서 Fig. 5와 6에서 보여주는 바와 같이 미세입자 포집율과 총괄 연소효율은 노즐갯수가 많아짐에 따라 증가한다.

2. 조작변수의 영향

2단 선회류 유동층 연소장치에서 하단 유동화 공기속도(U_{01})를 파악하기 위하여, 주입되는 석탄량을 일정하게 유지하면서 하단 유동화 공기속도(U_{01})를 1.0-1.4m/s로 변화시켰다. 이러한 일련의 연소실험을 통해 각 부분에서 채취한 입자들의 입경, 즉 상단층내로 포집된 회재와 사이클론에서 포집된 비산회재의 평균입경(\bar{d}_p)을 Fig. 7에 나타냈다.

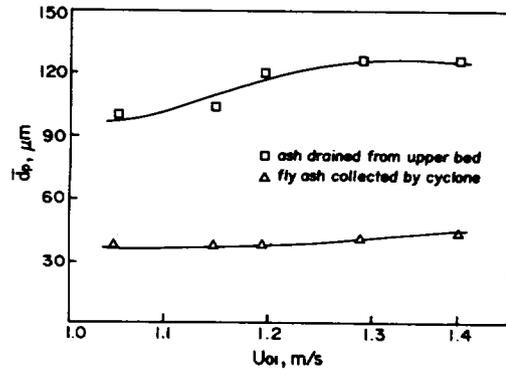


Fig. 7. Mean particle diameter with U_{01} :

$D_N = 1.28 \text{ cm}$, $n_N = 4$, $U_{02} = 0.27 \text{ m/s}$.

Fig. 7에서 보면 하단 유동화 공기속도(U_{01})가 증가함에 따라 사이클론에서 포집된 비산 회재의 평균입경과 상단층내로 포집된 회재의 평균입경은 다소 증가하는 경향을 보이고 있다. 이는 하단 유동화 공기속도가 증가하면, 이로 인해 입자에 작용하는 항력(drag force)이 커지게 되므로 비교적 큰 입자까지 하단층으로 부터 비산유출될 수 있기 때문이며, 또한 하단 유동화 공기속도가 증

가하면 노즐유속이 증가하여 선회강도가 커지므로 상단에서의 미세입자의 포집율이 증가하기 때문이다.

하단 유동화 공기속도 변화에 따른 carryover rate 및 미세입자의 포집율의 변화를 Fig.8에 나타냈다. Fig.8에서 보는 바와 같이 하단 유동화 공기속도가 증가하면 하단으로부터 연소가스와 함께 비탈동반된 입자의 carry-over rate는 미소한 증가를 보이며, 미세입자의 포집율도 역시 증가함을 볼 수 있다. 이는 상단 유동화 공기속도가 일정할 때, 하단 유동화 공기속도가 증가하면 하단 유동층으로부터 보다 많은 양의 미세입자가 연소가스에 함유되어 연소로 상부로 비탈동반되고, 이 연소가스가 상단 분산판에 부착된 선회노즐을 통과하여 상단 freeboard부로 분사될 때 선회노즐 분사속도가 증가하게 되므로 가스흐름의 접선방향의 유속이 커져 상단에서의 선회강도가 증가하게 되므로 가스흐름 내의 입자 분리효율이 커지기 때문이다.

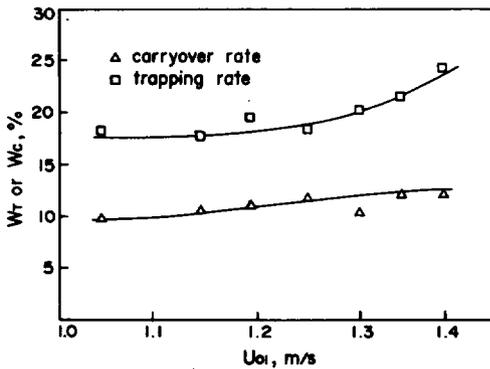


Fig. 8. Variations of W_T and W_C with U_{o1} : $D_N = 1.28\text{cm}$, $n_N = 4$, $U_{o2} = 0.155\text{m/s}$.

2단 선회류 유동층 연소로에서는 상단에서의 선회효과에 의해 상단 유동층내로 떨어진 입자들은 상단 공기 분산판을 통해 축방향으로 유입되는 2차 공기에 의한 상단 유동화 공기속도(U_{o2})에 따라 그 유동 및 연소의 특성이 바뀌게 되므로, 상단 유동화 공기속도의 영향을 파악하여 최적 2차 공기 주입량을 결정하기 위해 2차 공기 주입량을

변화시키면서, 즉 상단 유동화 공기속도를 변화시키면서 연소실험을 행하였다.

Fig. 9는 상단 유동화 공기속도(U_{o2}) 변화에 따른 미세입자의 포집율 및 carry-over rate를 나타낸 것으로서, 본 조업조건외의 범위내에서 상단 유동화 공기속도가 증가함에 따라서 미세입자의 포집율이 점차 감소하는 경향을 보인다. 그런데 상단 유동화 공기속도가 0.09m/s 이상으로 증가하면 미세입자의 포집율은 큰 변화를 보이지 않고 거의 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 이러한 결과를 나타내는 이유는 본 연소로의 상단에 형성된 상단 유동층에서도 일반적인 유동화 원리와 마찬가지로 입자의 종말속도가 유동화 공기속도 보다 작은 미세입자들은 유동화 공기와 함께 유동층으로부터 비산유출 되기 때문이다. 따라서 carry-over rate는 미세입자의 포집율과 반대로 상단 유동화 공기속도가 증가함에 따라 증가하지만 상단 유동화 공기속도가 0.09m/s 이상일 때에는 거의 일정한 경향을 나타냄을 볼 수 있다. 이 결과로부터 선회효과에 의해 상단 유동층내로 떨어져 포집되는 입자의 실제량과 유동화 공기에 의해 상단 유동층 표면에서 상단 freeboard부로 비산유출되는 입자의 양은 상단 유동화 공기속도에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

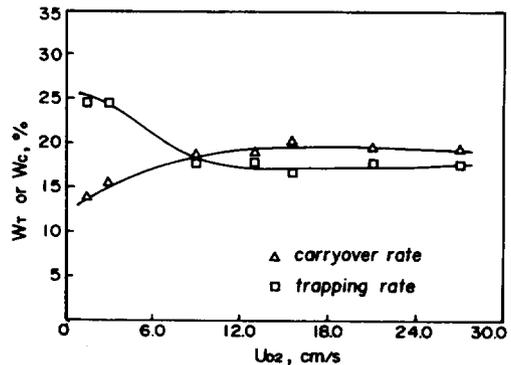


Fig. 9. Variations of W_T and W_C with U_{o2} : $U_{o1} = 1.2\text{m/s}$, $D_N = 1.28\text{cm}$, $n_N = 4$.

Fig.10은 하단 유동화 공기속도 1.2m/s 의 조건에서 상단 유동화 공기속도를 변화시키면서 연소

실험을 행하여 각 부분에서 배출되는 화재의 입경 분포를 측정하여 나타낸 결과이다. Fig. 10에서 보면 연소로내에 공급된 석탄 입자들중 입자 자체의 종말속도가 하단 유동화 공기속도보다 커서 하단 층내에 머물면서 연소가 일어나는 입자군과 입자의 종말속도가 비교적 작아, 하단으로부터 1차 연소가스와 함께 비말동반되어 상단으로 유입되는 입자군 사이에는 뚜렷한 입경차이가 있음을 알 수 있다. 상단 층내에 포집된 후 연소로 밖으로 일류 배출된 입자들의 입경분포를 보면 상단 유동화 공기속도가 증가함에 따라 화재의 입경이 다소 증가함을 알 수 있다. 이와같은 결과는 기-고(gas-solid) 유동화 이론에서 잘 알려진 바와 같이 유동화 공기속도가 증가할수록 유동화 조건이 양호해지고 작은 입자들은 freeboard부로 재비산되어 버리기 때문이다.

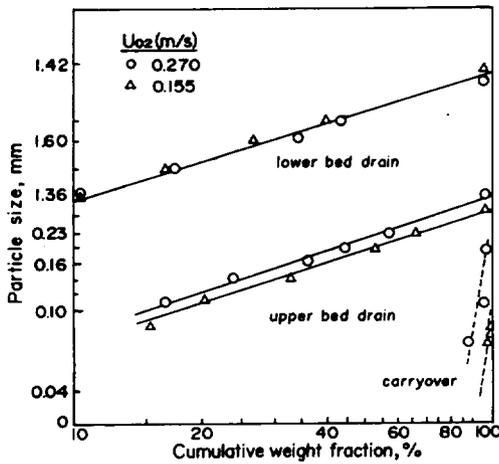


Fig. 10. Size distributions of ash in outflow streams :

$$U_{01} = 1.2 \text{ m/s}, D_N = 1.28 \text{ cm}, n_N = 4.$$

따라서 본 2단 선회류 유동층 연소로에서는 상단 유동화 공기속도가 연소로 성능에 영향을 미치므로, 미세입자의 포집율을 초대로 할 수 있도록 하면서도 상단층내로 떨어진 입자들이 충분한 산소 농도하에서 양호한 유동화 상태를 유지하면서 재연소가 일어날 수 있도록 2차 공기주입량을 설

정하는 것이 가장 바람직 할 것이다. 그러므로 이에 대한 보다 정량적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

Fig. 11은 싸이클론에서 포집된 비산화재를 하단 유동층내로 재순환시킬 경우 재순환비(recycle ratio, R/C)의 변화에 따른 연소로의 수직 온도분포를 나타낸 것이다. 여기서 재순환비(R/C)는 석탄의 공급량에 대한 재순환되는 비산화재의 양의 비로써 정의하였다. 그림에서 보는 바와 같이 비산화재의 재순환이 없는 경우에는 연소로의 출구의 온도가 700°C 정도였다. 그러나 비산화재를 재순환시킬 경우에는 상단 freeboard에서의 연소가 활발해지므로 인해 동일한 하단층 온도에서도 출구의 온도가 높아지고, 재순환비가 클수록 연소로의 출구의 온도가 더욱 증가함을 알 수 있었다. 더우기 재순환비가 1.0보다 클 경우에는 freeboard부의 온도가 1000°C를 넘게되어 화재의 소결로 인한 정상운전이 어렵게 되므로, 상단 연소로 외벽에 감은 냉각관을 통해 냉각수를 공급하여 하단 공기분산판으로부터 120cm 상부에서의 온도를 900°C가 되도록 조절해야만 했다.

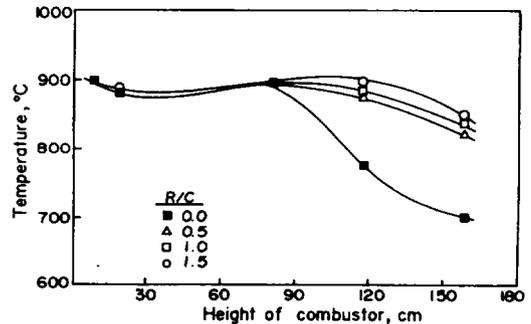


Fig. 11. Axial temperature profiles with respect to R/C :

$$U_{01} = 1.1 \text{ m/s}, n_N = 4, D_N = 1.85 \text{ cm}.$$

Fig. 12는 재순환비 변화에 따른 비산화재중의 가연성분 함량(C₂)의 변화를 나타낸 것으로서, 재순환이 없는 경우에는 비산화재중의 가연성분 함량은 높으나, 재순환비가 클수록 가연성분 함량은 낮아짐을 알 수 있다. 이는 재순환비가 클수록

freeboard부의 온도가 높아지므로서 freeboard에서의 연소속도가 커지기 때문이다. 이러한 결과로 인해 Fig. 13에서 보는 바와 같이 재순환비가 클수록 총괄연소효율(η)은 증가하게 된다. 연소온도가 증가하면 연소속도상수가 지수적으로 증가함은 이미 알려진 사실이고, 특히, 휘발분 함량이 낮은

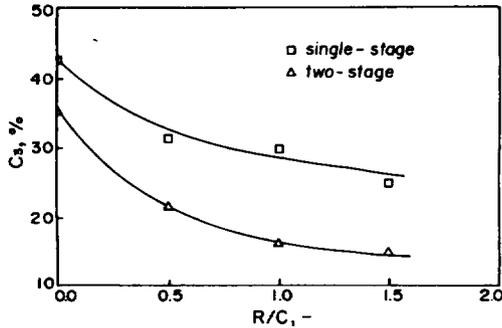


Fig. 12. Variations of C_3 with R/C :
 $U_{01} = 1.1m/s, n_N = 4, D_N = 1.85cm.$

적 요

본 연구의 실험 결과들로부터 선회강도에 영향을 미치는 설계 및 조작변수들이 2단 선회류 유동층 연소장치에서 성능평가의 지표로 선정된 미세입자의 포집율 및 연소효율에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다. 이러한 일련의 실험으로부터 얻은 결과들을 요약해 보면,

1. 노즐내경이 감소함에 따라 상단층내로의 미세입자의 포집율은 증가하고, 이에 따라 연소효율도 증가하게 된다.

석탄의 경우에 있어서 층 및 freeboard의 온도가 연소효율에 미치는 영향은 대단히 중요하다고 보고된 바 있다. (Jixiang et al., 1987). 그러므로 휘발분이 낮은 석탄의 연소에 있어서 비산회재의 재순환은 더욱 효과적임을 알 수 있다.

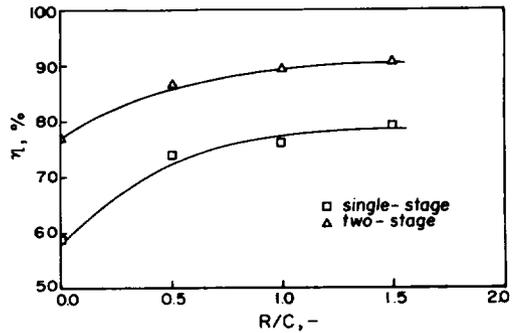


Fig. 13. Variations of combustion efficiency with R/C :
 $U_{01} = 1.1m/s, n_N = 4, D_N = 1.85cm.$

2. 노즐갯수가 많아짐에 따라서 선회강도가 커져 상단층내로의 미세입자의 포집율과 연소효율은 증가한다.

3. 하단 유동화 공기속도가 증가함에 따라 하단으로부터 비산유출된 입자들의 상단층내 포집율은 증가한다.

4. 본 실험조건 범위내에서 상단 유동화 공기속도가 증가함에 따라 미세입자의 포집율은 감소하지만 0.09m/s이상에서는 거의 변화를 보이지 않음을 알 수 있다.

5. 비산회재를 재순환시킬 경우 상단 freeboard부의 온도가 높게 유지되며, 연소효율 또한 증가한다.

참 고 문 헌

Baeyens, J. and D., Geldart, 1978. Fluidized Bed Incineration-A Design Approach for Complete Combustion of Hydrocarbons,

Proc. of the second Eng. Found. Conf., Cambridge, 264-269.

Beer, J.M. and N.A. Chigier, 1972. Com-

- bustion Aerodynamics 100-146, Applied Science Publishers Ltd., London.
- Chen, T.P. and S.C. Saxena, 1978. A Theory of Solids Projection from a Fluidized Bed Surface as a First Step in the Analysis of Entrainment Processes, Proc. 2nd Eng Found. Conf. on Fluidization Eng. Found., 151-156.
- Cooper, C.D. and F. C., Alley, 1986. Air Pollution Control: A Design Approach, 100-103, PWS Engineering, Boston, U.S.A.
- Geldart, D., 1986. Gas Fluidization Technology, 4-8, Wiley and Sons, New York, U.S.A.
- Gupta, A.K., D.G. Lilley and N. Syred, 1984. Swirl Flow, 1-15, Abacus Press, Kent.
- Jixiang, L., R. Zheng, J. Baosheng, Z. Mingyao, T. Huifen, C. Xiangyong, Z. Changsui, L. Yong, X. Yuenian and Y. Zhibiao, 1987. The Experimental Investigation of Fine Ash Recycle in an AFB Burning Lean Coal, Proc. of the 9th Int. Conf. on FBC, ASME, 1096-1100.
- KAIST, 1985. 유동층 연소로에서의 석탄의 연소 특성에 관한 연구, 21-23, 한국동력자원연구소.
- Keairns, D.L., R.A. Newby and N. H. Ulerich, 1984. Fluidized Bed Boilers: Design and Application 101-129, Pergamon Press, Ontario, Canada.
- Lee, J.K., C.G. Hu, Y.S. Shin and H. S. Chun, 1989. Characteristics of a Two-Stage Swirl-Flow Fluidized Bed Combustor, Proc. of the 10th Int. Conf. on FBC, ASME, 1199-1203.
- Lee, J.K., C.G. Hu, Y.S. Shin and H. S. Chun, 1990. Combustion Characteristics of a Two-Stage Swirl-Flow Fluidized Bed Combustor, *Can. J. of Chem Eng.*, 68(5).
- Morihara, A., S. Koyama and S. Nogita, 1986. Particle Residence Time in a Swirling Flow Entrained Bed Gasifier, *Kagaku Kogaku Ronbunshu*, 12(4), 427-432.
- Radovanovic, M., 1986. Fluidized Bed Combustion, 3-4, Hemisphere Publishing Corp., New York, U.S.A.
- Tomita, M., T. Adachi and H. Yamaguchi, 1984. Studies on Fluidized Bed Combustion of Coal, ISBN 0385-194X, Hokkaido, Japan.