

# 순환유동층 석탄 연소특성 연구

선도원<sup>1</sup>, 배달희<sup>1</sup>, 한근희<sup>1</sup>, 손재익<sup>1</sup>, 위영호<sup>2</sup>, 이정수<sup>2</sup>, 김종영<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>한국에너지기술연구소 에너지환경 연구부  
<sup>2</sup>한국전력(주) 기술연구원

## Study of Circulating Fluidized Bed Coal Combustion

Dowon Shun<sup>1</sup>, Dal-Hee Bae<sup>1</sup>, Keun-Hee Han<sup>1</sup>, Jae-Ek Son<sup>1</sup>,  
Young-Ho Wee<sup>2</sup>, Jung-Su Lee<sup>2</sup>, Chong-Young Kim<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Energy & Environment Research Dept., Korea Institute of Energy Research,  
Taejon 305-343, Korea

<sup>2</sup>Korea Electric Power Corporation, Taejon 305-764, Korea

### 서론

순환유동층 연소기술은 다양한 성상의 연료를 저공해 고효율로 연소할 수 있는 우수한 연소방식으로 재래의 기포유동층 연소방식에서 부터 고효율, 대용량으로 확장되어 발전 및 열병합, 소각, 또는 복합발전에 적용되는 차세대 연소기술이다 [1,2]. 국내에는 1980년 중반이후 현재까지 약 10여기의 보일러가 도입되었으며, 경제성 및 관리체계의 우수성을 인정받아 확대 보급될 전망이다.

한편 국내의 기술은 외국기술의 직수입 및 이에따른 국내기술의 미비로 활용 및 개선에 있어서 많은 문제점을 발생시켰으며 국내 기술확립 및 지명도 유지에서 부정적으로 작용하여 보일러 확대보급을 위한 장애로 작용해왔다. 석탄의 활용증진 및 청정활용기술을 확보하기 위해서는 저공해 고효율 연소기술인 순환유동층 연소기술이 연구와 설계기술의 국산화 개발이 필요하다.

본 연구팀은 순환유동층 보일러 설계 및 운전기술 개발을 목표로 기초연구부터 공정개발까지 단계적 연구를 추진중이다. 연구의 취지는 저공해 연소기술의 개발로 제2 에너지원으로서의 석탄의 안정적 활용기술을 개발하고, 또한 국내무연탄의 순환유동층 연소기술 개발하여 활용을 증진시키는데 있다. 본고에는 이 중 일부인 국내무연탄 연소에 따른 연소시험과 개념설계 연구내용을 수록하였다 [3]. 본 연구에서는 국내무연탄의 순환유동층에서의 연소가능성을 타진해 보았으며 공정변수를 도출하였고, 설계 기초자료로써 연소특성, 물질 및 열수지를 고찰하였다.

### 실험

연소시험에 사용된 연소로의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다. 공정의 주요구성은 석탄 및 석회석의 공급장치, 연소로(combustor), 사이클론 및 회재 재순환장치(loopseal)로 되어 있다. 연소로는 원통형 스테인레스 재질로 제작되어 있으며, 하부는 내경 0.2m 높이 1m, 상부는 0.25m 높이 10m로 되어있다. 연소로의 용량은 석탄 공급량 기준 0.1-0.3MWth이다. 실험에 사용된 석탄은 우리 나라 삼척 지역에서 채광한 무연탄으로 석탄의 발열량과, 회재분율, 유황 함유량을 국내 무

연탄 석탄사양과 유사하게 설정하였다. 발열량은 4,529kcal/kg이다. 석탄의 성분 분석과 연소에 필요한 이론공기량을 계산한 결과를 Table 1에 나타내었다. 석탄의 특징은 회재함량이 37%, 탄소성분이 53%, 유황 함유량은 0.68%이다. 석회석은 국내 단양산으로 국내 유동층 연소설비[1]에 공급되는 제품 그대로 입수하여 전처리 없이 사용하였다. 석회석은 무게비 88%가 입경 0.53~0.11mm 범위에 속한다. Table 1에 석탄과 석회석의 분석결과를 나타내었다[4].

Table 1 Analysis of fuel and limestone

Analysis	Fuel	
	Samchuk coal	Limestone
<b>Composition, wt%</b>		
CaO	0.38	49.26
MgO	0.63	1.23
SO <sub>3</sub>	0.22	
CO <sub>2</sub>	0.87	40.0
C	52.89	
H	0.18	
N	0.46	
S	0.57	
O	4.51	
Moisture	3.53	
Inert	36.77	9.51
HHV*, kcal/kg	4,529	
Mean diameter, mm	0.39	0.06

\* High heating value

\*\* Assumed

실험은 연소로의 점화 및 예열과정을 거쳐 연소로의 온도와 압력분포, 석탄 공급유량, 공기유량을 설정조건에 맞춘 뒤 정상상태에서 석탄의 연소상태를 고찰하였다. 연소특성은 온도 및 압력분포, 연소효율, 배연특성으로 나타나며 해석결과를 물질 및 열수지로 표현하였다[5].

### 결과 및 고찰

Fig. 2에 연소로내 축방향 온도분포를 나타내었다. 연소는 분산판위 1m까지의 농후층에서 주로 일어나며 가열된 회재는 유동화 공기에 의해 비산된다. 층내 유속은 회재의 평균입도를 중심으로 난류영역에 속하여 평균입도보다 매우 작은 입경의 회재는 비산하면서 열전달을 수행하고 굵은 입경의 회재는 층하부에 남아 연소영역을 형성한다. 연소로의 온도는 층하부에서 최고의 온도를 나타내었고 상부로 올라감에 따라 연소분율이 줄었으며, 또한 연소로 외부로의 열손실이 발생하여 감소하였다.

Fig. 3에는 과잉공기 공급에 따른 연소효율을 나타내었다. 연소효율은 공기의 양이 증가함에 따라 혼합효과가 높아져서 증가하게 된다. 다만 공기의 증가에 따라 연소로의 냉각현상과 사이클론 입구유속이 설계치 보다 높아지게 되어 미연탄소의 비산율 증가가 나타나 일정하고 이상에서는 오히려 감소하게 된다. 연소효

율은 과잉공기 15% 까지 증가하였으며 그 이상의 증가는 나타나지 않았다. 또한 순환유동층연소 고유의 특징인 뛰어난 혼합효과로 인하여 과잉공기 변화에 따른 연소효율의 현저한 변화는 나타나지 않았다.

Table 2에는 전형적인 연소실험 결과를 해석하여 물질 및 열수지의 관계를 나타내었다. 공급물질은 석탄과 석회석 그리고 연소공기로 구성되며 배출물질은 회재와 연소가스로 나누어진다. 주입열량은 석탄의 연소열이 전부이며 미연탄소, 회재를 통한 열손실, 연소로 외부로의 열손실, 그리고 수관을 통한 열교환으로 나누어진다. 본 실험장치에서는 열교환량을 실험값과 계산을 통해 도출하였고 회수 가능한 열량은 주입열량의 최대 78%로 예상된다.

<표 2> CFB 연소시스템의 물질 및 열수지

Mass balance		Heat balance	
		Input, kcal/h	
		- Combustion of fuel	199,276
		- Sensible heat of fuel	-181
		- Sensible heat of feed air	-1,571
		- Fan power	979
		- Latent heat of air moisture	2,021
		- Sulfation credit	832
		- Decomposition of limestone	-774
		Total	196,540
		Output, kcal/h	
		- Unburned carbon loss	9,494
		- Bed removal	3,344
		- Flue gas + solid mixture (after air preheater)	11,802
		- Radiation loss	17,974
		- Latent heat of moisture	153,926
		- Extractable heat	
		Total	196,540
Input, kg/h			
- Fuel	44		
- Sorbent	2		
- Air	271		
Total	317		
Output, kg/h			
- Solid waste	20		
- Flue gas	297		
Total	317		

### 참고문헌

1. 선도원, 박영성, 손재익 : "유동층 연소보일러의 현황과 전망," 화학공업과 기술, 13(1), 6(1995).
2. 손재익 : 청정석탄활용기술개발, 한국에너지기술연구소 보고서, 제3장, (1994).
3. 최정후, 손재익, 한근희, 배달희, 조성호: "저공해 유연탄 보급확대를 위한 순환유동층 기술개발(I)," 한국에너지기술연구소 연구보고서 KE-91009G, (1991).
4. 선도원, 손재익, 지평삼, 위영호: "국내무연탄의 순환유동층 연소특성 연구," 한국에너지기술연구소 보고서, 한국전력공사 기술연구원 93Y-TO3, (1994)
5. 선도원, 손재익, 박영성, 구철호, 한근희, 배달희, 임정환, 최정후: "저공해 유연탄보일러 보급확대를 위한 순환유동층 기술개발(II)," 한국에너지기술연구소 보고서 KE-92050G, (1992).

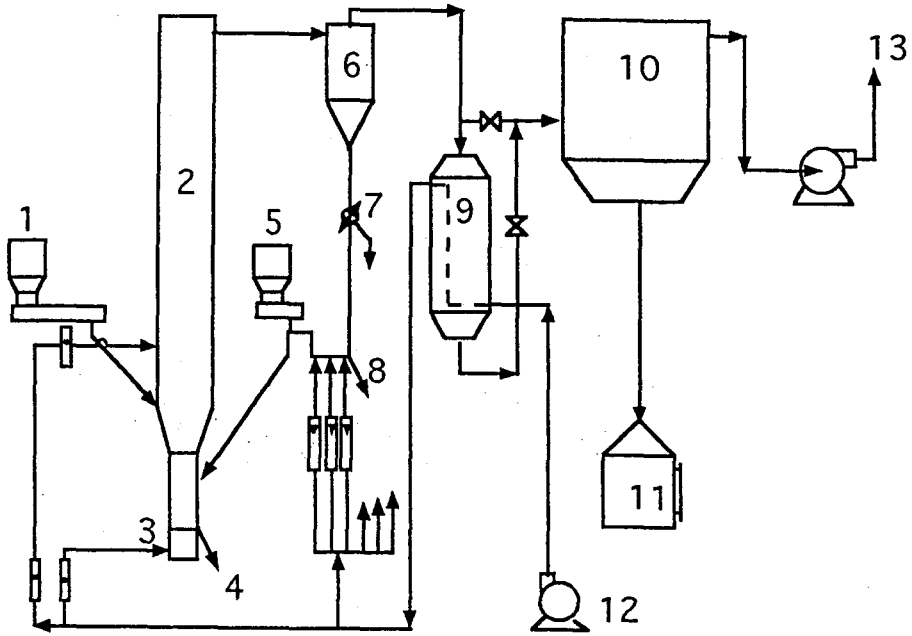


Fig. 1 KIER 순환유동층 시험연소로 공정도

(1: Coal feeder, 2: Combustor, 3: Air line, 4: Bed ash drain, 5: Limestone feeder, 6: Cyclone, 7: Solid diverter, 8: Loopseal ash drain, 9: Air heater, 10: Bag filter, 11: Bag filter ash hopper, 12: F.D. fan, 13: To stack)

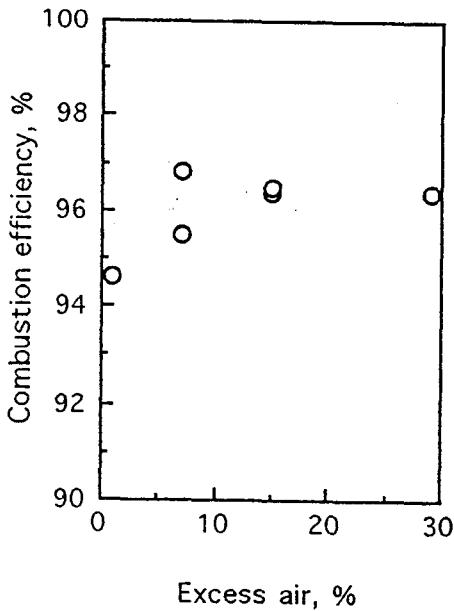


Fig. 2 연소로 축방향 온도변화

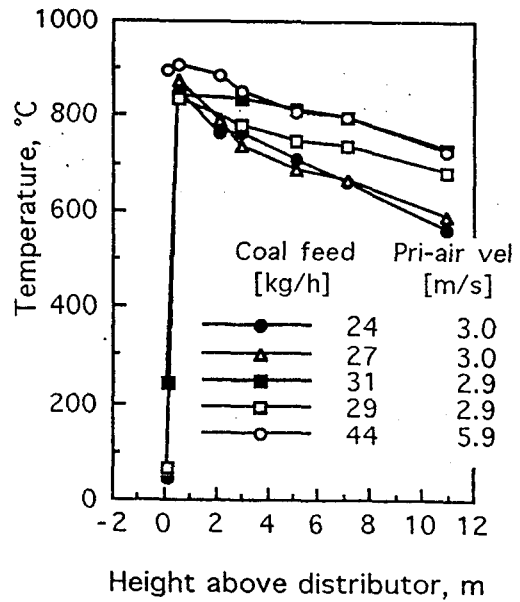


Fig. 3 과잉공기에 따른 연소효율 변화