

동해화력 순환유동층 연소로에서의 무연탄 연소 특성

이시훈, 박성희, 김상돈, 최정후*, 이종민**, 김재성**
한국과학기술원 화학공학과 & 에너지·환경 연구센터
*건국대학교 화학공학과
**한전 전력연구원 발전연구실 연소신발전그룹

Combustion Properties of Anthracite Coal in Tonghae CFB combustor

S. H. Lee, S. D. Kim, J. H. Choi*, J. M. Lee** and J. S. Kim**

Department of Chemical Engineering and Energy and environment research center,
Korea Advanced Institute of Science and Technology, Taejon 305-701, Korea
*Department of Chemical Engineering, Kon-Kuk University, Seoul 133-701
**Power Generation Lab. Advanced Power Generation & Combustion Group KEPRI,
Taejon 305-380, Korea

1. 서론

순환유동층 (Circulating Fluidized Bed : CFB) 은 기존의 기포유동층에 비하여 높은 유속에서 조업되는 반응기로, 고속의 기체와 크기가 작은 고체 입자간의 긴밀한 접촉을 통하여 비교적 대규모의 여러 가지 화학적, 물리적 작업을 수행하는 유동층기술의 한 분야이다⁽¹⁾. 순환유동층은 1940년부터 공업적으로 이용되기 시작하였으며 현재에는 가솔린의 제조, 석탄의 연소, 가스화 등에 널리 사용되고 있다.

국내에는 10 여기의 순환유동층 연소로가 상업적으로 운전되고 있고 대부분 무연탄을 원료로 사용하고 있으며 steam 용량으로 250 ton/h 이하이다⁽²⁾. 이에 반해 국내 무연탄을 원료로 사용하고 있는 동해화력 순환유동층 연소로는 steam 용량이 600 ton/h 이상으로써 현재 상용 운전되고 있는 순환유동층 연소로 중 최대의 크기를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 국내 무연탄을 사용하는 동해화력 순환유동층 연소로의 운전 특성을 다른 연소로와 비교하여 무연탄의 연소 특성을 고찰하였다.

2. 동해화력 순환유동층 연소로의 형태

전세계적으로 상용 운전중인 순환유동층 연소로의 형태는 외부 열교환기의 설치 유무에 따라 크게 2 종류의 형태로 나누어진다. 외부 열교환기를 설치하지 않는 연소로 중 대표적인 것은 Ahlstrom 형태이며 대부분의 국내 상용 순환유동층 연소로 형태이다. 외부 열교환기를 설치하는 연소로 중 대표적인 것은 Lurgi 형태로서 국내에는 1 기가 설치되어 운전되고 있다. 동해화력 순환유동층 연소로는 3 개의 cyclone 과 sealpot 및 FBHE (Fluidized Bed Heat Exchanger) 로 이루어졌으며 bed ash 출구에 FBAC (Fluidized Bed Ash Cooler) 가 연결되어 있다.

동해화력 순환유동층 연소로 공정의 흐름을 요약하면 다음과 같다. 공기는 3 종류의 fan 에 의해서 공급된다. 연소로에 직접 공급되는 공기는 primary air fan 2 개와 secondary air fan 2 개에 의해서 공급되며 loopseal, FBHE, FBAC 에 각각 공급되는 fluidized air 는

2 개의 fluidized air fan 에 의해서 공급된다. Grid nozzle 에 primary air 가 공급되며 grid nozzle 부터 0.43 m, 2.44 m, 4.48 m 에 secondary air 가 주입되며 주입구는 총 16 개가 설치되어 있다.

3. 동해화력 순환유동층 연소로의 운전 특성

Table 1 에는 국내 주유 순환유동층 연소로에 주입되는 coal, 석회석, 공기 등의 유량을 나타내었다⁽³⁾. 동해화력 순환유동층 연소로에서 200 MWe 의 출력을 내는 경우에는 석탄의 종류에 따라 94-98 ton/h 의 석탄과 3.2 ton/h 의 석회석을 사용하고 있으며 공기유량은 약 150 Nm³/s 이다. 과잉공기량은 약 20 % 이며 Ca/S ratio 는 2.9 이상에서 조업이 이루어지고 있다. 국내에 조업중인 대부분의 유연탄 연소로에서는 황의 함유량이 적으므로 몇몇 연소로의 경우 로내 탈황을 위해 사용하는 탈황제인 석회석을 사용하지 않고 있다. 공기는 grid nozzle 에서 총괄 공기량의 약 60 % 가 들어가고 있으며 나머지는 grid nozzle 로부터 높이가 증가함에 따라 축방향으로 평균유속이 거의 동일하도록 몇단계 높이로 나뉘어 주입되었다. 동해화력에서는 다른 연소로와는 달리 loopseal 및 FBHE 에 들어가는 fluidized air 가 많이 사용되고 있으며 이는 유사한 형태를 가지고 있는 K 연소로의 경우에서도 나타나고 있다.

Table 1 Flow of materials in various CFB combustor

Sample	G	P	O	K	S	L	U	Ke
Steam [t/h]	54	80	95.1	170	166.2	180	250	620
Coal [t/h]	7.3	8.55	13.13	20	21	20	30	94
Limestone [t/h]	-	-	-	0.8	0.14	0.4	0.4	3.2
Air [Nm ³ /s]	14.41	21.22	23.95	43.51	52.95	47.23	68.6	149.58
Primary	8.13	10.59	15.94	18.72	32.33	27.78	44.6	87.22
Secondary	4.69	10.59	6.61	17.25	7.7	18.81	23	53.22
Burner	0.57		1.40		8.0			
Others	1.02	0.04		7.54	4.61	0.64	1	9.14

Table 2 에는 각각의 연소로에서 배가스에서 배출되는 SO₂, NO_x, Dust, O₂ 등을 나타내었다. 탈황제인 석회석을 사용하지 않은 연소로의 경우 탈황제를 사용한 곳보다 높게 나오며 탈황제를 사용한 경우 150 ppm 이하로 조업이 되고 있다는 것을 알 수 있다. NO_x 발생량은 순환유동층 연소로의 특징처럼 매우 적은 양이 발생되고 있으며 분진의 경우 동해화력에서는 거의 나오지 않는다는 것을 알 수 있다.

Table 2 Pollutant emissions in various CFB combustor

Sample	G	P	O	K	S	U	Ke
SO ₂ [ppm]	269	106	412	75.48	107	50	130
NO _x [ppm]		40	98.2	142.51	156	160	60
Dust [mgM]	9.2	24	57.6	12.58	7.38	12	10.8
O ₂ [%]	7.1	3.5	5.78	6.17	6.1	6	5

Fig. 1 에는 동해화력 연소로에서 채취된 bottom ash, fly ash, loopseal ash 의 입도 분포가 나타나 있다. 동해화력에서는 무연탄의 ash 함량이 높기 때문에 모래를 첨가하지 않

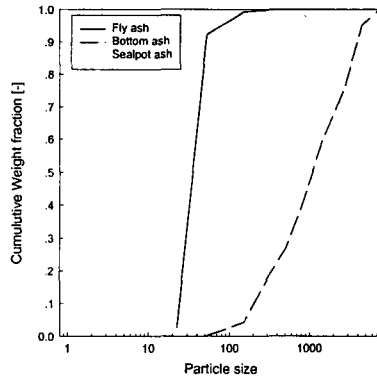


Fig. 1 Particle size distribution of discharged solids

고 ash 를 bed material 로 사용하고 있다. 동해화력의 경우 bottom ash 와 loopseal ash 와 는 매우 다른 입도분포를 가지는 것으로 알 수 있는데 이는 사용하는 석탄의 입도가 9 mm 이하의 매우 넓은 입도분포를 가지고 있어 로내의 입도가 loopseal 에 비해서 매우 크기 때문이다. 또한 fly ash 의 경우, 1 mm 이하의 입자까지 존재하는 것으로 알 수 있다. 이는 사이클론에서 입자를 포집하는 효율이 떨어지기 때문으로 생각된다. Backpass air preheater 하부 hopper 에서 잡히는 ash 의 평균 입도는 대략 60 μm 이며 bottom ash 의 경우는 750 μm 정도로 나타났다.

Table 3 에는 동해화력 순환유동층 연소로에서의 온도를 나타내었다. 연소로에서는 grid nozzle 로부터 0.74, 5.64 m 위치에 각각 12 개의 온도측정을 하고 있으며 cyclone 에서는 주입구와 배출구의 온도를 측정하고 있으며 3 개의 cyclone에서 모두 측정하고 있다. Sealpot 에서는 dipleg 온도와 sealpot 하단부의 온도를 측정하고 있으며 sealpot 에 연결되어 있는 FBHE 에서는 각각 4 개의 온도를 측정하고 있다. 또한 bed ash 배출기인 FBAC 에서는 economizer zone 에 4 개의 온도 측정과 cooler zone 에서는 2 개의 온도를 측정하고 있다.

Table 3 Temperature profile of Tonghae CFB combustor

Furnace	Lower (0.74 m)	857 861 911 890 886
	Upper (5.64 m)	840 871 912 902 867
Cyclone	1	Inlet : 915 Outlet : 946 944 943
	2	Inlet : 929 Outlet : 991 989 986
	3	Inlet : 941 Outlet : 972 972 968
Sealpot	1	901
	2	948
	3	912
FBHE	1	144 249 185
	2	645 683 723
	3	468 688 749
FBAC	economizer	303 301 272 265
	cooler	262 231

Table 3 에서 보면 bed 온도가 lower 와 upper 의 차이가 크지 않은 반면 cyclone

input 온도가 bed 온도보다 40 ~ 50 °C 이상 높다는 것을 알 수 있다. 또한 cyclone outlet 온도는 inlet 온도보다 40 ~ 50 °C 이상 높다는 것을 알 수 있다. 이는 무연탄 연소의 일반적인 경향으로 미분들이 bed 의 상부에서 후연소가 일어나고 있다는 것을 알 수 있다. Sealpot 의 온도는 cyclone input 온도와 큰 차이를 나타내지 않고 있으나 FBHE 의 경우 steam 과 열전달에 의해 온도가 sealpot 보다 매우 낮음을 알 수 있다.

Fig. 3-3 에서는 Furnace 의 grid nozzle 부터의 높이에 따른 평균 온도 profile을 boiler 와 recycle 으로 나누어 나타내었다. Furnace 의 하부 온도는 평균적으로 860 ~ 870 °C 정도로 나타났다. Furnace 높이가 증가할수록 온도는 증가하였으며 recycle 중 sealpot 의 온도가 furnace 온도보다 높게 나타났다. 그러나 열교환을 하고 있는 FBHE 는 다른 부분보다 온도가 매우 낮게 나타났다.

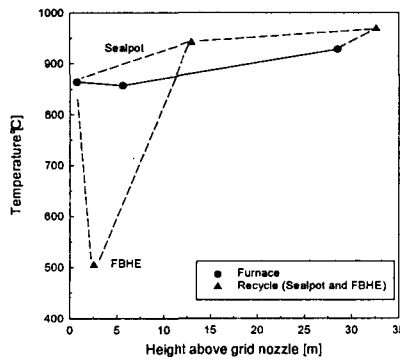


Fig. 2 Temperature profile of Tonghae CFB boiler

4. 결론

동해화력 순환유동층 연소로는 3 개의 싸이클론과 sealpot, 외부열교환기로서 3 개의 FBHE 와 1 개의 FBAC를 가지고 있으며, 기준의 상용 순환유동층 보일러보다 3 배 이상의 steam 용량을 가지고 있다. 보일러의 온도는 860~870 °C 이며 유속은 5 m/s 정도로 조업이 되고 있으며 sealpot, FBHE, FBAC 는 0.6~0.8 m/s 의 기포유동층 영역에서 조업이 이루어지고 있다. 탈황규제를 맞추기 위하여 석회석은 Ca/S 몰비로 2.9 이상 조업이 되고 있다. 주입되는 석탄 미분의 후연소로 인하여 싸이클론의 outlet 온도는 bed 온도보다 대략 80 °C 이상 높게 운전되고 있다.

5. References

- (1) Han, G.Y. and Choi, J.H., *Che. Ind. and Technol.*, 13, 20 (1995)
- (2) Sun, D.W., Park, Y.S. and Son, J.E., *Che. Ind. and Technol.*, 13, 6 (1995)
- (3) Choi, J.H. and Son, J.E., *Che. Ind. and Technol.*, 10, 20 (1992)