

상용 순환유동층 보일러의 운전특성

선도원
한국에너지기술연구소

Operation characteristics of commercial circulating fluidized bed boilers

Dowon Shun
Korea Institute of Energy Research

서론

순환유동층 연소보일러는 연료의 유연성, 탁월한 공해방지 효과, 높은 열효율을 특징으로 기존의 미분탄 연소, 스토크 연소 보일러 등을 대체하여 산업용 및 발전용으로 보급되고 있다. 현재 보급중인 최대용량은 약 250MWe이며 기술은 현재까지 대개 구미의 보일러 개발사에 의해 독점되고 있다¹⁾.

국내에는 1985년 동양화학(주)에 증기량 120t/h급이 도입된 이래 현재까지 국내에 10여기의 100-250ton/hr급 산업용 열병합 보일러가 보급되었다. 가동중인 보일러들은 주로 유연탄과 petroleum coke을 연료로 사용하고 있다.

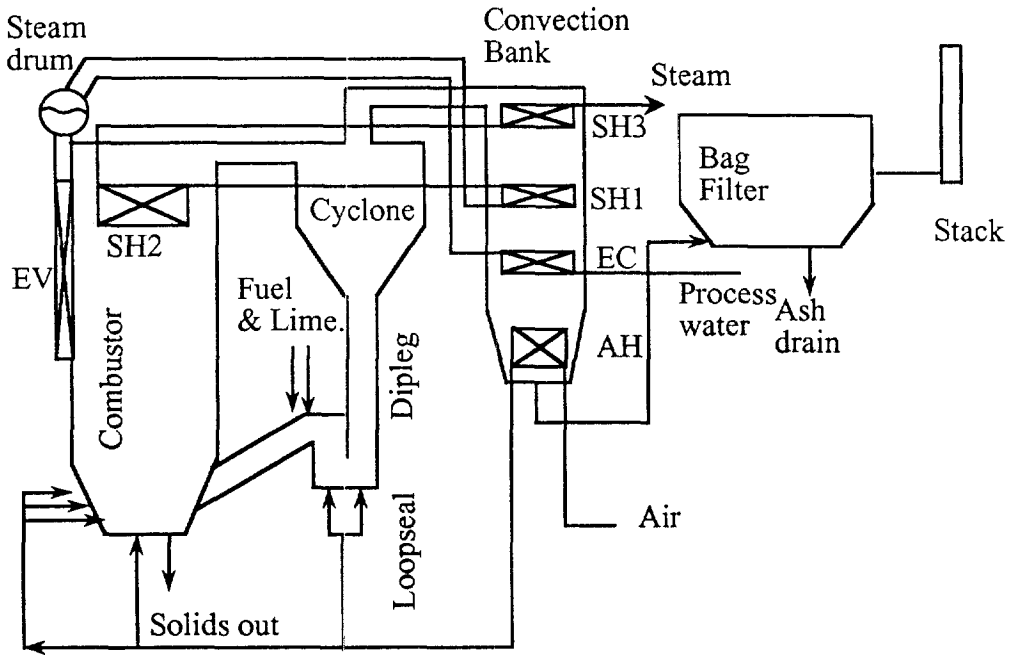
본 고에서는 상용 순환유동층의 운전특성을 소개하였다. 상용보일러의 구조와 운전특성의 개요를 소개함으로써 순환유동층 연소 및 보일러 기술에 대한 이해를 돕고 석탄의 활용촉진과 향후 국산 보일러 개발을 고무하고자 하는 것이 본 고의 취지이다.

순환유동층 보일러의 장치특성

상용 순환유동층 보일러는 대개 무연탄 및 유연탄, petroleum coke, 슬러지 등 다양한 성상의 연료를 대상으로 하고 있다. 저열량탄으로는 석탄 폐기물(culm, 1,000-3,000kcal/kg) 까지 연소가 가능하며 별도의 공해 방지시설이 없이 NOx, SOx 모두 100-200ppm 정도로(6% O₂기준) 조절이 가능하다. NOx는 850-950°C의 낮은 연소로 온도유지와 공기의 다단공급을 통해 원천제어하며 탈황을 위해서는 로내에 석회석을 첨가하여 SO₂를 흡착 제거한다. 90% 탈황을 위한 탈황제의 비율은 Ca/S 2-2.5 정도이다. 보일러는 [그림 1]과 같이 연소로(combustor), 사이클론(cyclone), 대류전열부(convection pass)로 구성되며, 열교환기는 연소로의 내벽, 사이클론 대류전열부 중, 또는 재순환 사이클 중에 구성된다. 연료인 석탄의 입경은 10mm 내외, 유속은 5-10m/s로 정해진다. 연소로 하부로부터 공급되는 1차공기는 운전상태와 질소산화물 제어특성을 고려하여 전체공기의 50% 정도로 공급하며 나머지 연소공기는 연소로 상부인 freeboard를 통해 나누어 공급한다.

<표 1>에 현재까지 보급되었거나 보급예정인 주요 보일러의 설계특징을 나타내었다¹⁾. 연소로의 폭은 연소로 벽면으로부터 연료의 최대 분사거리에 의하여 약 7.5m가 한계로 나타나며 연소단면적(연소로의 횡단면)은 방출열량

3-6MW/m²에 의거 보일러 용량증가에 비례한다. 사이클론의 직경은 약 7m가 한계이며, 보일러의 용량증가를 따라 직경대신 갯수가 증가한다.



[그림 1] 상용 CFB 보일러의 공정도

<표 1> The effect of boiler heat capacity on physical dimension

Capacity [MWth]	Feed points	Comb. breadth [m]	Comb. width [m]	Comb. height [m]	Area of comb. [m ²]	Number of cyclones	Cyclone diameter [m]
60-96	1-2	3.1-4.2	4.3-6.0	14.5-22.8	15.5-26.2	2	3-4.1
109-124	2	4.0-4.5	7.3-8.3	15.5-24.4	28.8-35.4	1-2	3.9-7.2
207-234	2-3	5.5-6.8	6.8-10.9	20.5-30	46.2-59.4	2	6.7-7
327-394	4	7.3-7.5	13.8-18.0	31-32.6	67.2-135.4	2-3	7-5.9
422-464	-	7.9-10.3	12.5-14.5	22-30	114.6-127.6	4	7.1
943	-	7.6	33.0	40.0	250.8	-	-

상용순환유동층 보일러의 운전특성

국내 조업중인 순환유동층 보일러의 주종은 [그림 1]과 같은 구조를 나타내는 Ahlstrom사의 보일러로서 열교환은 주로 연소로의 내벽과 convection pass를 이용하며 외부 열교환기는 없다. 회재순환은 loopseal을 사용하며 연소로의 층압과 loopseal과 dipleg의 고체층의 압력과의 balance로 흐름을 조절한다. 연소로의 재순환 회재 주입구는 분산판위 1-1.3m에 설치되어 있으며 회재는 loopseal로부터 overbed로 재주입된다. 연소로의 고정층 높이(bed inventory height)는 연소로 하부에서 재주입구까지의 높이의 1/2 정도로 유지된다. 그 밖에 Studvik사 보일러는 사이클론 대신 관성분리기를 이용하며 재순환 방식으로 L-valve를 이용한다.

상용보일러는 관리편의상 보일러 단면을 다단으로 분할 조업함에 따라 연소로 온도와 압력분포는 흔히 각 단마다 차이가 나타나며 연료유량의 불균일성과 혼합효과의 미흡을 나타낸다. Petroleum coke를 연소하는 보일러는 char의 반응시간이 길어 연소영역이 loopseal까지 확장되며 이 경우 전열면적 또는 과잉공기율을 높여 freeboard와 loopseal의 온도를 낮춘다.

<표 2>에 K 보일러와 Nucla보일러의 조업에 따른 물질수지를 나타내었다^(2,3). 하부회와 총괄회의 비는 K 보일러의 경우 30%, Nucla 보일러의 경우 14% 내외로 같은 사이클론 효율에서 K 보일러는 회재비산율과 층밀도, 그리고 열전달 계수도 낮게 나타난다.

<표 2> CFB 보일러 물질수지

Boiler I. D.	K	Nucla
Fuel	Pet. coke	Western Bituminous coal
Capacity, MWth	111	407
HHV, kcal/kg	8,434	5,767
% MCR	100	100
Input, ton/h		
Fuel	11.3	60.8
Sorbent	4.3	2.9
Air	157.7 @30% excess	493.5 @20% excess
Output, ton/h		
Flue gas	170.6	544.3
Bottom ash	0.8	1.8
Bagfilter ash	1.7	7.3
Loopseal ash	0.1	3.9

운전중 발생하는 문제점 및 이의 해결

상용보일러는 증기량 100T/H 이상의 대용량으로 정비와 운전을 위한 종합적 관리체계를 필요로 한다. 사소한 장애도 바로 조업중단으로 이어질 수 있으므로 예상되는 문제점에 대한 대책이 항상 필요하다. 상용 보일러의 운전자료로부터 부위별로 운전중 빈번히 발생하는 문제점을 다음과 같이 나열하였다.

1) 연소로의 부하량(bed inventory)은 재순환에 영향을 미친다. 연소로내 부하

량의 크기가 지나칠 경우, 층압이 재순환부에 전달되어 재순환부 dipleg의 balance 층압의 증가를 일으키며 원만한 재순환을 방해한다.

2) 연소로 점화시 저속유동상태에서 발생하는 국부과열과 누적된 탄소의 연소에 의한 과열로 연소로의 분산기(grid nozzles) 등 재질의 손상우려가 발생한다. 이때 수냉식 분산판이 아닌 경우 점화장치의 가동시 가동온도를 조정하여 과열을 방지하여야 한다.

3) 연소로의 소화시 분산기 기공을 통한 회재의 air plenum으로의 역류가 발생하여 노즐을 폐색함으로 차기 실험에서의 운전장애 및 청소문제를 발생시킨다.

4) 일반적으로 백필터회의 연소로내 체류시간은 층유출 고체보다 짧으므로 미반응 탈황제(석회석)는 하부회재 보다 백필터회재에 더 많이 발생한다. Ca/S 몰비 2에서 탈황효율(전환율)이 80%일 경우 석회석의 이용률은 60%가 된다. 층유출 고체는 미연분이 높으므로 단순 재주입으로 연소효율과 탈황제 이용률을 높일 수 있으며 하부회의 경우 미반응 탈황제의 분리과정이 필요하다. 그러나 모든 경우에 대하여 연료, 탈황제 입도분포, 유속 등의 최적화가 필요하다.

5) 재순환율은 연소로의 층밀도에 영향을 주며 이는 연소로내 열전달 계수를 결정 짓는다. 일반적인 상용보일러의 경우 층밀도는 $10\text{--}30\text{kg/m}^3$, 재순환 속도와 연료공급속도의 비인 재순환률은 $10\text{--}50$ 을 나타낸다.

6) 빠른 유속과 높은 회재순환율에 의해 연소로내 수관의 마모 현상이 일어난다. 그 밖에 마모에 영향을 주는 인자는 연소로의 온도, 배가스의 조성, 고체입자의 입도와 경도로 요약된다.

결론

순환유동층 운전의 관건은 연료의 특성에 적절한 설계 및 운전조건의 조절을 통한 최적화에 있다. 본 고에서 살펴본 바와 같이 순환유동층의 운전에서는 회재의 거동을 이해하고 재순환비를 조절하는 것이 중요한 문제이며 실제로 국내 보급된 보일러에서 회재흐름의 조절문제가 빈번하게 발생된다. 비정상적 고체속도(solid flux, kg/m^2)하에서의 운전은 종종 연소로의 국부과열 또는 고르지 못한 온도분포에 의하여 낮은 보일러 효율을 가져올 수 있고, 보일러 효율의 저하 외에도 조업 중단 사고를 유발한다. 또다른 문제는 장치의 마모에서 올 수 있다. 마모는 빠른 유속에서 조업하는 순환유동층의 특성상 불가피한 현상이나 refractory의 적절한 배치, 설계 및 운전 상태의 개선으로 보일러의 수명을 현저히 연장시킬 수 있다. 이러한 제반의 문제는 현장경험이 없이는 이해는 물론 해결책이 가능하지 않은 실제적 문제이며, 이러한 상황에 대한 대처를 위해서는 기초연구는 물론 장기간의 현장경험과 운전자료의 분석이 요구된다.

참고문헌

1. 선도원 외 13인, "국내 무연탄의 순환유동층 연소특성연구," 한국전력공사 기술연구원 보고서 93Y-TO3. 한국에너지기술연구소, 118pp. (1994).
2. 최정후 외 4인, "저공해 유연탄 보일러 보급확대를 위한 순환유동층 기술개발 (I)," 한국에너지기술연구소 연구보고서 KE-91009G, 149pp (1991).
3. Colorado-Ute Electric Association, Inc., "Nucla Circulating Atmospheric Fluidized Bed Demonstration Project," Final Report, DOE/MC /25-137-3046 (DE92001122), (1991).