

# 순환 유동층 보일러의 외부 열교환기 열 배분 설계 검토 및 성능평가 고려사항

김성일\* · 최상민\*\*

## Heat Distribution Design and Performance Evaluation Considerations of external heat exchanger of Circulating Fluidized Bed boiler

Seongil Kim\*, Sangmin Choi\*\*

현재 순환 유동층 보일러는 많은 장점으로 인해 고효율 및 대형화 추세를 가지고 있다. 하지만, 증가된 보일러 용량 및 연소로 내 온도 상승으로  $NO_x$  발생, 연소 효율 등 많은 문제들이 발생된다. 따라서 연소로 온도 조절과 적절한 전열면적 배치를 위한 열 설계가 필요하다. 여기에 대응하여 연소로 내 고온의 연소가스의 에너지를 흡수 하고자 wing wall, cross tube 등 추가적인 열교환기가 쓰인다. 하지만 연소실 내의 설치된 전열면적은 고온의 유동사 때문에 erosion 문제가 발생 될 수 있어, Fig. 1처럼 연소실 외부에 열교환기를 설치하여 유동사의 에너지를 흡수하여 필요한 열을 얻는다. 이렇듯 대용량 순환 유동층 보일러에서 열전달 면적 배치와 연소로 온도 조절을 위해서 외부 열교환기가 사용이 되고 있다.

외부 열교환기를 채택 시 크게 다음과 같은 사항들을 고려해야 한다. 전체 보일러 열배분에 있어서 외부 열교환기의 적절한 열부하를 결정해야 하고 외부 열교환기의 성능에 영향을 주는 운전 변수들을 검토해야 한다.

이러한 고려사항들을 파악하기 위해 본 연구에서 동해화력 보일러(200MW) [1]와 중국 300MW 보일러 대상[2]으로 열설계 특성과 운전변수를 파악하였다. 동해화력 보일러는 3개의 외부 열교환기가 각각 증발기, 과열기, 재열기로 사용이 되는 반면 중국 300MW보일러는 과열기 3개, 재열기 1개 총 4개의 외부 열교환기가 사용된다. Fig. 2-3에 두 설계 보일러의 부하 별 총 열 부하에서 외부 열교환기의 열배분 비율을 나타내었다. 동해 화력 보일러에서는 최대 부하일 때 외부 열교환기의 열부하 비율을 32.2%정도를 차지하고 있고 30%부하일 때는 24.5% 정도를 차지

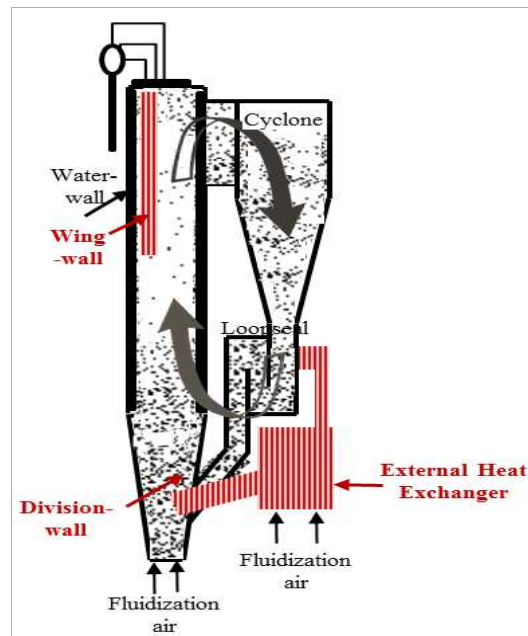


Figure 1 Schematic diagram of circulating fluidized bed boiler with external heat exchanger

하고 있다. 반면에 중국 300MWe 보일러에서는 최대 부하일 때는 34.5%정도를 차지하고 있고 50% 부하일 때는 18.7% 정도를 차지하고 있다. 동해 화력과 비교했을 때 최대 부하일 때 비율은 같지만 부하별 운전조건이 변동했을 때 동해화력의 외부 열교환기 열부하 비율이 비교적 더욱 감소한 경향을 지니고 있다. 또한 동해화력 보일러에서 각 외부 열교환기의 열 배분 비율은 비교적 균등하였고 중국 300MWe 보일러에서 최대 부하일 때는 비교적 균등 하지만 부하가 감소하면서 다소 불균등 하다.

\* 한국과학기술원 기계공학과

† 연락처자, smchoi@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-30701 FAX : (042)350-3210

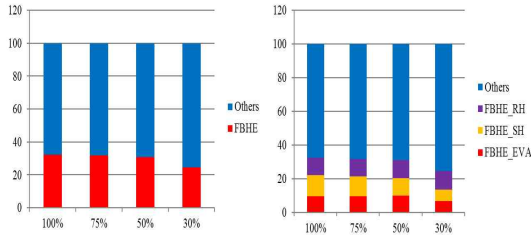


Figure 2 Heat rate of external heat exchanger of Donghae 200MWe CFB boiler

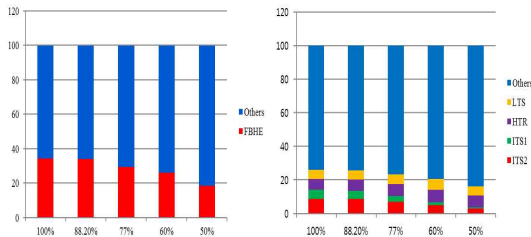


Figure 3 Heat rate of external heat exchanger of China 300MWe boiler

다음은 외부 열교환기의 성능해석에 영향을 주는 운전변수를 파악하고 외부 열교환기에 대한 성능해석 접근방법을 소개하고자 한다. 본 연구에서 열교환기의 성능해석과 고체 유량, 온도와 같은 운전 변수를 파악하기 위해 열전달 관점에서 입출입 상태량을 계산 하는 주목적을 지니고 있다. 이를 위해 성능해석 접근방법은 외부 열교환기를 잘 혼합된 하나의 반응기로 가정하고 이에 고체 및 증기 측에 대해서 0차원 에너지 방정식을 적용하였다. 외부 열교환기의 작동물질의 흐름은 Fig. 4와 같다. 외부 열교환기 유입되는 고온의 고체는 물/증기 측으로 열을 전달하고 외부 열교환기를 빠져 나간다. 가스 측은 주로 외부 열교환기 하단에서 주입되어 고체 입자를 유동화 시킨다. 한편 증기 측은 고체 측으로부터 열을 받아 외부 열교환기를 빠져 나간다. 이에 대한 각 측의 0차원 에너지 방정식은 다음과 같다.

$$\text{Solid side : } (mCT)_o = (mCT)_i - Q_s - Q_a \quad (1)$$

$$\text{Steam side : } (mh)_o = (mh)_i + Q_s \quad (2)$$

$$\text{Air side : } (mCT)_o = (mCT)_i + Q_a \quad (3)$$

여기서, 하첨자  $i, o$ 는 각각 입출입을 나타내고  $Q_s, Q_a$ 는 각각 증기 측과 공기 측으로 전달되는

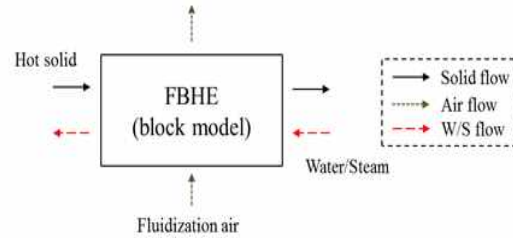


Figure 2 Material flow of each side in external heat exchanger

Table 1 Performance parameters of external heat exchanger

Property of gas	$\rho_g, \mu_g, C_g, k_g$
Property of solid	$\rho_s, d_s, C_s, k_s, \Phi_s$
Flow condition	$u_o, u_{mf}, \epsilon_{mf}$
Geometric effects	$d_b, d_t, L_{mf}, L_h$
Operation condition	$\dot{m}_s, \dot{m}_a, \rho_b$

열량이다.

여기서 고체-가스 측에서 전달되는 열량은 아래와 같은 단순한식을 적용하여 계산을 할 수 있다.

$$Q_s = hA \Delta T_{LMTD} \quad (4)$$

하지만, 외부 열교환기는 조업속도가 낮은 주로 기포 유동층에서 운전 된다. 기포 유동층의 고체 및 가스의 흐름은 아직까지 정확한 해석이 어렵기 때문에 외부 열교환기의 열전달 계수를 도출하는 것은 어렵다. 이런 조건에서, 효율적인 운전과 성능해석을 위해서 열전달 계수와 외부 열교환기의 성능에 영향을 주는 파라미터와 운전 변수를 Table 1에 정리 하였다. 외부 열교환기의 성능을 결정하는 파라미터는 작동물질의 가스와 고체의 상태량, 유동조건, 외부 열교환기의 형상 및 배치와 운전 조건이 있다. Table 1처럼 많은 변수들이 외부 열교환기의 성능과 열전달 계수에 영향을 주어 해석이 어렵지만, 기존 제시된 열전달 계수 계산방법[2-4]과 성능해석 결과, 아래 식과 같이 가스의 유동속도, 고체의 유량 및 베드 온도, 외부 열교환기의 형상과 배치가 중요한 변수로 선정 할 수 있다.

$$h_{tot} = f(T_b, \dot{m}_s, d_p, U, \text{tube arrangement}) \quad (5)$$

가스의 유동속도는 기포 유동층 형성에 영향을 주는 주요 변수로써 상용 보일러에서 안정적인

조업을 위해 부하 별 일정하게 유지한다. 동해화력 보일러와 중국 300MWe는 부하 별 동일하게 0.3m/s로 유지하고 있다. 또한 외부 열교환기로 유입되는 부하 별 고체 유량은 고체 밸브를 통해 조절되고 순환하는 고체 온도는 연소로온도에 의해서 결정된다. 고체 유량과 온도는 외부 열교환기의 열전달 계수와 출구의 고체 온도에 많은 영향을 준다. 따라서 부하 별 외부 열교환기 운전 시 이들 변수들을 효율적으로 제어해야 한다.

## 후 기

본 연구는 (주) 현대 중공업과 한국과학기술원 가치제조 기계사업단(BK21)의 지원을 받았으며, 이에 감사드립니다.

## 참고 문헌

- [1] 이시훈, 박성희, 김상돈, 최정후, 이종민, 김재성, "동해화력 순환유동층 연소로에서의 무연탄 연소 특성", *한국에너지공학회 학술발표회*, 1999, pp. 81-84.
- [2] Z. Man, W. Haibo, L. Qinggang, S. Yunkai and S. Guoliang, "Heat trnansfer characteristics of fluidized bed heat exchanger in a 300MW CFB boiler", *Powder Technology.*, Vol. 222, 2012, pp. 1-7.
- [3] P. Basu, *Combustion and gasification in fluidized beds.*, Taylor & Francis, USA, 2006, 473 pages.
- [4] J.C. Chen, J. R. Grace and M.R. Golriz, "Heat transfer in fluidized beds: design method", *Powder Technology.*, Vol. 150, 2005, pp.123-132.