

순환유동층보일러 외부열교환기의 열전달 특성에 관한 수치해석적 연구

황문경* · 김정래*

A Numerical Study of the Characteristics of Heat Transfer in External Heat Exchanger of CFB Boiler

Moonkyeong Hwang*, Jungrae Kim*

ABSTRACT

With the increasing trend in CFB(Circulating Fluidized Bed) boiler scale, the EHE(External Heat Exchanger) must be adopted to the large-scale boilers to recover insufficient heat transfer surface. In this study, the numerical analysis model for EHE in commercial 300MWe CFB boiler was developed with the inclusion of mechanistic model, which enables the heat transfer prediction. Finally, the calculated absorbed heat and derived heat transfer coefficient are evaluated through the verification with experimental data.

Key Words : Circulating Fluidized Bed, External Heat Exchanger, Heat Transfer Coefficient

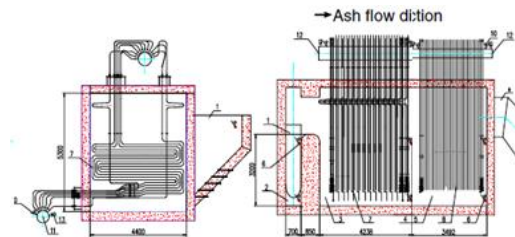
순환유동층 보일러는 NO_x 및 SO_x 등의 공해 배출이 적고 다양한 연료 사용이 가능하여 차세대 연소기술로 인정받고 있다. 이러한 순환유동층 보일러는 중소형 규모 발전 시스템의 기술적 신뢰를 바탕으로 단위 용량의 대형화가 이루어지고 있는데 용량 증대 시 열수력학적 이유로 단면적과 높이에 제한이 생긴다. 이로 인해 온도 균일성과 높은 열전달 특성을 이용하는 기포 유동층 형태의 외부열교환기를 순환유동층 보일러의 재순환부에 연결하여 부족한 전열면을 확보한다.

기포 유동층 형태의 외부열교환기는 전체공정에서 20-60%의 열을 회수할 수 있어, 열전달에 있어 매우 중요한 역할을 차지하지만 아직까지 기포 유동층의 물리적 거동에 대한 정확한 해석이 어려워 열전달 특성 파악에 많은 어려움이 따른다. 이러한 상황에서 기포 유동층의 물리적 현상과 열전달 메커니즘에 대한 고찰 및 이를 바탕으로 한 해석 모델은 외부열교환기의 성능 해석 및 설계를 위해 반드시 필요하다. 본 연구에서는 순환유동층 보일러 외부열교환기 내 전열관에서의 열전달특성을 mechanistic model[1]을 적용한 수치해석 연구를 통해 살펴보았다.

본 연구는 참고문헌상[2]의 중국 300MWe급 순

환유동층 보일러의 외부열교환기를 대상으로 Fig.1과 같이 외부열교환기의 단면을 모델링하였고 사각격자 약 15000개로 해석을 수행하였다. 상용 소프트웨어 FLUENT를 이용하여 외부열교환기 내부의 열/유동을 2차원 과도상태, 비압축성 난류유동으로 가정하였고, 지배방정식은 연속, 운동, 에너지 방정식을 사용하였다. 난류는 RNG k-ε모델, 순환 고체물질을 모사하기 위해 Granular model을 사용하였고, 외부열교환기의 전열관에서 열전달을 계산하기 위해 Mechanistic model을 UDF로 적용하였다.

Mechanistic model은 기포 유동층의 열전달 현상을 입자의 대류/전도 열전달, 가스 층의 열전달 현상, 복사 열전달 현상으로 나누어 계산한다. 전체 열전달 계수는 식(1)과 같이 입자의 대류/복사 열전달 요소와 가스 대류 열전달 요소, 복사 열전달 요소의 합으로 표현된다.



(a)

* 현대중공업 기반기술연구소

† 연락처, mkhwang@hhi.co.kr

TEL : (052)203-9461 FAX : (052)-250-9588

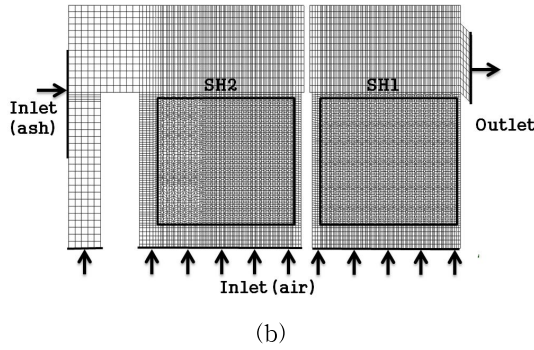


Fig.1 Scheme of external heat exchanger

$$h_o = h_{cond} + h_{conv} + h_{rad} \quad (1)$$

기포 유동층에서 베드와 열전달 표면의 열전달은 기포(bubble)와 에멀전(emulsion) 상에 의해서 일어나므로 식(2)와 같이 표현된다.

$$h_{cond} = f_b h_b + (1 - f_b) h_e \quad (2)$$

where

$$(Nu)_b = 0.664 \sqrt{\frac{((U_b + 3U_{mf})\rho_g d_p)}{\mu}} Pr^{0.33} \sqrt{\frac{d_p}{L}} \quad (3)$$

$$f_b = 0.19 \left[\frac{U^{2mf} \left(\frac{U}{U_{mf}} - \alpha \right)^2}{d_p g} \right]^{0.23} \quad (4)$$

$$\frac{1}{h_e} = R_w + 0.45 R_c \quad (5)$$

유동층에서 가스의 대류 열전달은 고정층과 같은 메커니즘을 지닌다. 따라서 고정층에서 사용되는 에멀전상의 대류 열전달 식(8),(9)를 이용할 수 있다.

$$(Nu)_{conv} = \frac{h_{conv} d_t}{K_g} = 0.05 Re Pr, Re < 2000 \quad (8)$$

$$(Nu)_{conv} = \frac{h_{conv} d_t}{K_g} = 0.18 Re^{0.8} Pr^{0.33}, Re > 2000 \quad (9)$$

복사 열전달은 일반적인 식을 이용한다.

Fig 2는 본 수치해석 결과를 바탕으로 계산된 외부열교환기 전열면에서의 흡열량(a)과 열전달 계수(b)를 나타낸 것으로, 수치 해석 결과의 검증에 대해 실험결과[2]와 함께 도시하였다. 흡열량(a)의 경우 SH1,SH2 각각에서 보일러 부하량이 증가함에 따라 증가하는 경향으로 실험값과 비슷하게 나타났다. 열전달계수(b)는 흡열량으로부터 계산하였으며, 실험값과 비교시 대체적으로 15% 오차범위내에 드는 것을 확인할 수 있었다.

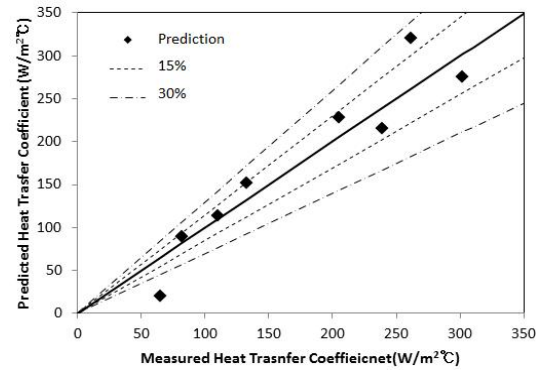
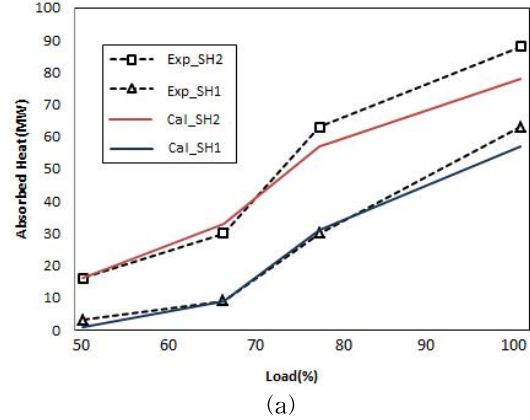


Fig.2 Comparison of predicted results and experimental data:(a)Absorbed heat;(b)Heat transfer coefficient

50% 부하에서 실험값보다 열전달계수가 낮게 예측되는 것은 낮은 부하에서 공기 현열의 영향이 커지면서 열전달 민감도가 증가하여 생긴 차이로 판단된다.

본 연구에서 300MWe급 순환유동층보일러의 외부열교환기 수치해석 모델을 구축하여 열전달 메커니즘을 고찰하고 실험값과 비교하여 타당성을 검증하였다. 이는 추후 대용량 순환유동층보일러 내 외부열교환기 성능 해석 및 최적설계를 위해 사용될 것이다.

참고 문헌

- [1] P. Basu, 2006, Combustion and gasification in fluidized beds, Taylor & Francis, USA, 473 pages.
- [2] Z. Man, W. Haibo, L. Qinggang, S. Yunkai and S. Guoliang, 2012, "Heat transfer characteristics of fluidized bed heat exchanger in a 300MW CFB boiler", Powder Technology 222, pp. 1-7.