

2MWe 순환유동상 보일러의 부분 부하 운전 성능 모사

김태현* · 최상민** · 현주수**

Performance Simulation of Part Load Operation for 2MWe Circulating Fluidized Bed Boiler

Taehyun Kim*, Sangmin Choi**, Ju-soo Hyun**

ABSTRACT

Part load operation usually covers large periods of the total operation time on the economic ground and electricity demand in small-scale boilers. Performance analysis of part load behavior is very important for the purpose of boiler operation optimization. A simple thermal calculation approach is applied to predict performance of a pilot-scale circulating fluidized bed (CFB) boiler at part load operation. Verification has been carried out by comparing between calculation results and operation data of the boiler.

Key Words : Circulating fluidized bed boiler, Part load operation, Performance simulation

일반적으로 보일러는 100% 부하 운전을 기준으로 설계되지만, 소형 보일러의 경우 경제적 이윤이나 전력 요구량에 따라 오랜 시간 동안 부분 부하로 운전 되는 경우가 많다. 또한 실제 운전 중에 설비 개조나 연료 전환 등의 설계 조건과는 다른 조건에서 운전되기도 한다. 변화된 상황에 따라 적절하게 운전 조건을 조절해야 하며, 그렇지 않을 경우 보일러 전체 효율의 감소와 운영비의 증가를 가져올 수 있다. 변화된 운전 성능을 미리 예측 하고 최적의 운전 조건을 찾는 것이 필요하다.

성능 예측 시뮬레이션은 보일러의 운전이나 연소과정 등의 이해를 도와주며, 보일러의 연료 전환, 설비개조 등의 탈설계점에서 성능 변화를 예측 할 수 있어 효과적으로 활용이 가능하다[1]. 실제 운전 성능 모사를 위해서는 빠른 응답속도와 많은 운전 사례를 다뤄야 하기 때문에 주로 단순 블록 모델이 많이 사용되고 있다. 순환유동상 보일러의 시스템 해석의 경우에는 물-증기 계통, 공기-가스 계통은 물론 고체 순환 계통을 동시에 고려해야 한다. 따라서 성능 예측 시뮬레이션은 열교환기의 조합의 순차적인 접근 방법과 더불어 고체의 순환이 일어나는 순환유동상 루프를 고려한 동시적인 접근 방법이 필요하다.

지난 연구에서 이를 고려한 성능 예측 프로그램

램을 개발했으며, 대형 규모의 보일러를 대상으로 프로그램을 검증해보았다[2,3]. 본 연구에서는 운전 중인 소형 발전용 순환유동상 보일러를 대상으로 기존에 구성된 성능 예측 프로그램을 이용하여 부분 부하에서 운전 성능을 예측하고 측정 자료를 바탕으로 검증을 수행하였다.

실험에 사용된 설비는 상용 발전소의 약 1/100 규모로서, 최대 전력 생산량은 2MWe 로, 최대 증기 발생량은 12.0t/h이고, 4.6MPa, 453℃ 의 과열증기를 생산한다. 하지만 실제 운전 시에는 경제성을 이유로 대부분의 운전시간을 60% 부하로 운전하며, 1.2MWe의 전력을 생산하고 있다. Table 1에 최대 부하와 60%의 부분 부하의 운전 조건을 나타내었다.

Table 1. Operation condition at full load and part load condition

Item	Full load	Part load
Boiler rating(MWe)	2	1.2
Coal feed rate(kg/hr)	1440	800~900
Exit oxygen content(%)	4	3~5
Excess air ratio(%)	20	10~40
Steam rate(ton/hr)	12	6.5~8.5

* 한국과학기술원 기계공학과

** 한국에너지기술연구원

† 연락처, smchoi@kaist.ac.kr

TEL : (042)350-3030 FAX : (042)-350-3210

보일러는 최소 일 주일 이상의 연속운전을 수행하며, 전력 생산량, 석탄 투입량, 온도, 압력, 유량, 가스 조성 등을 측정한다. 가스 온도는 연소실 농후상, 희박상, 최종과열기, 1차 과열기 그리고 절탄기에서 측정되며, 물/증기 온도는 절탄기 전, 후단, 드럼, 최종 과열기 그리고 터빈 입구에서 측정된다. 전력 생산량, 석탄 투입량, 공기 유량, 연소실의 온도, 압력 그리고 후단 산소 농도는 1시간 마다 측정되고, 백패스 및 전체 시스템의 온도, 유량, 압력의 측정 결과는 하루에 한 번씩 기록한다.

보일러 시스템 해석은 대상 보일러의 기능적 특성에 따라 몇 개의 하부 시스템으로 나뉘고 각각 하부 시스템을 하나의 열교환기 블록으로 가정하여 접근을 시도한다. 대상 설비는 순환유동상 연소 방식의 연소실, 사이클론 그리고 고체 재순환부로 이뤄지는 1차 루프(Primary loop)와 튜브 뱅크로 이루어진 대류전열관부로 이루어진 백패스(Back pass)로 나눌 수 있다. 본 연구에서는 1차 루프에서 연소실을 농후상(Bed zone)과 희박상(Dilute zone)으로 구분하고, 사이클론, 스탠드파이프 그리고 립실을 더하여 1차 루프의 하부 모델로 총 5개의 블랙박스를 구성하였다. 백패스는 최종재열기, 1차 과열기 그리고 절탄기의 순서로 구성하였다. 하부 시스템의 열 및 물질 정산 계산식은 일부 필요한 가정 하에 열역학적 제 1법칙에 의거한 에너지 보존 식으로 구성한 후, 최종 적으로 각 하부 시스템 모델을 연결하여 전체 시스템 모델을 구성하여 정상상태에서 성능 모사를 수행하였다.

Figure 1 에서 60% 부하 운전 조건에서 증기 발생량에 따라 연소실 농후상(Bed zone)과 희박상(Dilute zone)의 온도 측정값과 계산값을 비교하였다. 계산 결과는 측정값과 큰 차이를 보이지 않고 유사한 경향을 보임을 확인하였다. 또한 증기 발생량, 즉 보일러의 일부 부하 증가에 따라 온도 상승 경향을 확인 할 수 있었고, 농후상의 경우 온도 상승 폭이 좁고, 희박상의 경우 온도 상승 정도가 농후상에 비해 컸다. 연소실 내부의 고체 순환에 의한 영향으로, 농후상의 경우 고체 농도가 높기 때문에 부하 변화에 둔감하고, 희박상의 경우 고체 농도가 낮기 때문에 부하 변화에 따라 나타난다. Figure 2 에서는 60% 부하 운전 조건에서 전체 시스템의 온도 측정값과 계산값을 비교하여 나타내었다. 측정값은 유사한 부하 조건에서 최대값과 최소값으로 표현했으며, 계산값을 측정 범위 안에서 확인할 수 있었다.

최대 발전량이 2MWe인 순환유동상 보일러를 대상으로 60%의 부분 부하에서 가스 계통의 운전 측정 자료와 성능 예측 값과 비교하였다. 계산결과와 측정자료는 유사한 경향을 보였으며,

부분 부하 조건에서 성능 예측 및 성능 모사의 신뢰성을 확인하였다.

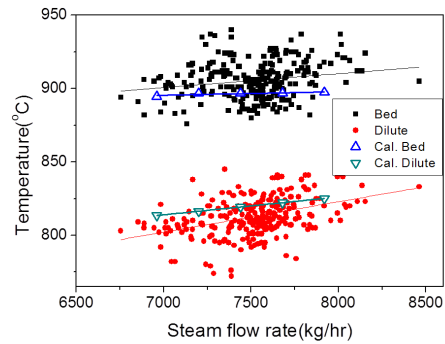


Figure 1 부분 부하 조건 하 연소실에서의 측정값과 계산값의 비교 결과

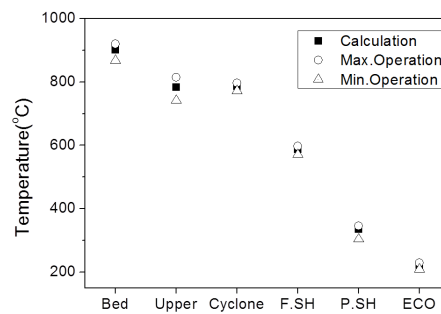


Figure 2 부분 부하 조건 하 전체 시스템에서의 측정값과 계산값의 비교 결과

후 기

본 연구는 한국에너지기술연구원에서 근거자료를 제공받았으며, 한국과학기술원 가치제조기사업단 (BK21)의 지원을 받았습니다.

참고 문헌

- [1] P. Basu, "Combustion of Coal in Circulating fluidized-bed boilers: a review", Chemical Engineering Science, Vol. 54, No. 22, 1999, pp. 5547-5557.
- [2] 김태현, 최상민, 현주수, "2MWe 규모 순환유동상 보일러의 성능 예측에 관한 접근 방법", 제 42회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2011, pp. 243-250.
- [3] 김태현, 최상민, 김재성, "300MW 순환유동상 보일러의 성능 예측을 위한 시스템 시뮬레이션", 제 43회 KOSCO SYMPOSIUM 논문집, 2011, pp.319-328.