

단순혼합 열시스템의 동특성 모델을 이용한 반응기 및 열교환기 동적거동 평가

김성일* · 최상민*†

Evaluation of Dynamic behavior of Reactors and Heat exchangers from Simplified Lumped Thermal Dynamic System

Seongil Kim*, Sangmin Choi*†

산업시설에 적용되고 있는 반응기나 열교환기는 운전조건 및 출력변화와 같은 외란으로 인해 비정상상태를 겪기 때문에, 시스템의 성능해석을 위해 정상상태 성능예측 뿐만 아니라 동적 성능예측이 필수적이다. 동적 성능예측은 초기 값에서 외란으로 인해 변화는 최종 값과 초기상태에서 최종 값에 다다른 시간으로 평가 될 수 있다. 이러한 일반적인 동적 거동을 그림 1에 나타냈다. 그림 1에서 보듯이, 제어가 없는 일반적인 시스템에서는 동적 거동이 지수적으로 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 동적거동의 주요 평가항목인 시상수 (정상상태 값에 63%되는 시점)와 시스템의 종속변수의 변화량은 시스템의 열관성 (Thermal inertia)에 의해서 지배 된다. 본 연구에서는 단순혼합시스템을 적용하여, 이 모델을 통해 시스템 열관성과 관계가 있는 시상수를 구하고, 이를 실제 모델의 동적 거동과 비교 하였다. 대상 시스템은 CFB 보일러의 연소실, 증발기, 열교환기, Flash dryer, Rotary kiln이다. 일반적인 열시스템에 대해서 그림 2에 나타냈다. 시스템 (a)는 일반적으로 입물질은 없고 열을 공

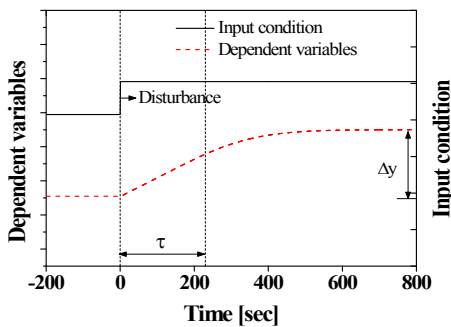


Fig. 1 General dynamic behavior of system

* 한국과학기술원 기계공학과
 † 연락처, smchoi@kaist.ac.kr
 TEL : (042)350-3030 FAX : 042-862-1284

급받아 상태가 변하는 시스템이고, 시스템 (b)

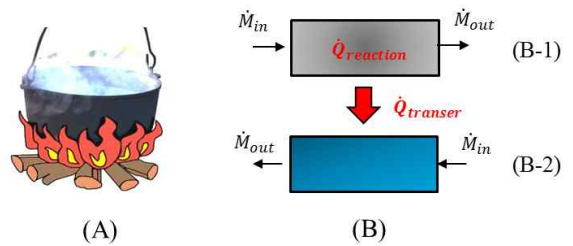


Fig. 2 General thermal system with mass and material flow

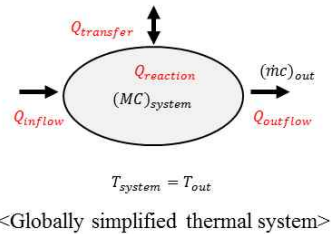


Fig. 3 Diagram of simplified lumped thermal system

는 열공급원과 입출물질이 있어 하나의 시스템에서 다른 시스템으로 열을 전달하는 열교환기 시스템이다. 이러한 시스템에 대한 단순혼합 모델을 그림 3에 나타냈다. 시스템은 입출입 현열, 열전달량, 반응에 의한 생성된 열에 의해 성능이 결정되고, 전체 시스템은 잘 혼합되어 있다고 가정하여, 시스템의 온도는 출구 온도와 같다고 가정한다. 이러한 시스템에서, 시상수는 아래 식들과 같이 에너지방정식으로부터 유도 될 수 있다.

열시스템의 에너지 방정식은 식 (1)과 같다. 여기서 외란의 크기가 작다면 입물질, 열전달량과 반응열의 크기가 온도 변화에 무시 될 수 있는 상수로 가정될 수 있어 식 (2)와 같이 단순하게 온도에 대한 1차식으로 표현된다. 또한, 각 시스템에 대한 계수 a,b를 나타냈다. 식(2)을 풀면, 식 (3)과

같은 온도에 대한 지수적인 식을 구할 수 있다.

Table 1 Time constant of thermal systems

System	Input condition	System mass [kg]	Mass flow rate [kg/s]	Time constant [sec]	Simulation time [sec]
CFB boiler furnace(300MWe)	Fuel supply	140,000	440	300	305
Drum loop (300MWe)	Heat transfer rate	700,000	274	604	-
Economizer (300MWe)	Heat transfer rate	400,000	274	240	160
Superheater (300MWe)	Heat transfer rate	200,000	274	48	35
Rotary kiln	Heat transfer rate	670,000	44	15,240	17,220
Flash dryer	Heat transfer rate	30	7	4	3

$$(MC)_{system} \frac{dT}{dt} = Q_i - Q_{out} + Q_{rea.} - Q_{trans.} \quad (1)$$

$$(MC)_{system} \frac{dT}{dt} = a - bT \quad (2)$$

$$\begin{aligned} a &= Q_{trans} & (A) \\ a &= Q_i + Q_{rea.} - Q_{trans} & (B-1) \\ a &= Q_i + Q_{trans} & (B-2) \\ b &= (\dot{m}c)_{out} & (A, B) \end{aligned}$$

$$\frac{T_{\infty} - T}{T_{\infty} - T} = \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right), \text{ where } \tau = \frac{(MC)_{system}}{(\dot{m}c)_{out}} \quad (3)$$

식(3)과 같이, 시상수는 전체 시스템의 열용량 [kJ]에서 출력의 열용량[kJ/s]에 의해 결정된다. 이러한 시상수를 실제 반응기와 열교환기에서 구한 결과를 표 1에 나타냈다. 표 1에서 볼 수 있듯이, 시스템에 동적거동을 결정하는 시상수는 시스템의 질량이 클수록 큰 것을 확인할 수 있고, 시스템의 출력에 따라서도 동적 거동이 결정됨을 알 수 있다. 즉, 열용량이 큰 장치가 전체 시스템의 동적 거동을 지배한다.

시상수를 바탕으로 본 연구에서는 단순 계단입력 조건변화에 따른 각 시스템에 대한 시뮬레이션을 진행 하였다. 이러한 시뮬레이션 시간과 입력 조건에 대해서 표 1에 나타냈다. 시뮬레이션 시간은 최종값에 63%에 다다른 시점으로 정의 하였다. 대표적인 결과로 열부하 변화량에 의한 절탄기 온도에 대한 동적 거동을 그림 3에 나타냈다. 그림 3과 표 1에서 보듯이, 시뮬레이션 시간과 에너지 방정식으로부터 얻어진 시상수의 결과 값이 타당한 범위 안에서 일치하고 있다. 따라서, 본 연구에서 제시한 단순혼합모델을 통해 실제 시스템에 대한 동적 거동을 예측할 수 있고 성능예측 모델에 대한 타당성을 검증하는 모델로 활용될 수 있을 것이라 생각된다.

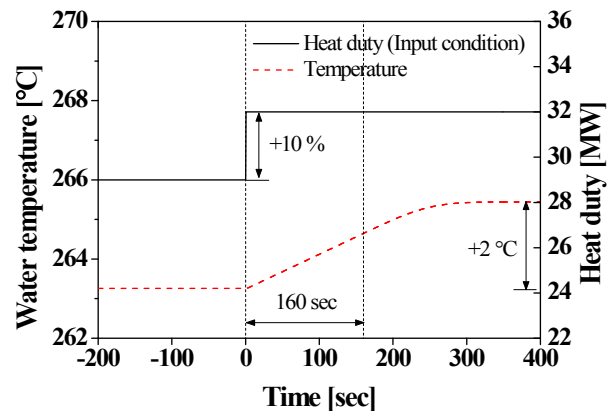


Fig. 4 Dynamic response of economizer following the step change of heat duty (+10%)

후 기

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

참고 문헌

- [1] T. Kim, S., Choi and J Kim, "Performance prediction of a large-scale circulating fluidized bed boiler by heat exchangers block simulation", J Power and Energy, Vol 229, 2014, pp. 298-308.
- [2] T. Eom and S. Choi, "Performance ecaluation of a flash dryer and a rotary kiln dryer for upgrading low rank coal", J. Korean Soc. Combust, Vol 20, 2015, pp. 1-13.

[3] S. Kim, J Yang and S. Choi, "Design evaluation of heavy duty heat exchangers for compact steam boilers", J. Korean Soc. Combust, Vol. 18, 2013, pp. 23-31.

[4] M. Eom, T Hahn, H. Lee and S. Choi, "Performance analysis modeling for design of rotary kiln reactors", J. Korean Soc. Combust, Vol. 18, 2013, pp. 23-31.