

축방향 직접화염 가열방식 로터리킬른 성능모형

한택진* · 최상민**

Performance analysis modeling of axial direction direct flame rotary kiln reactors

Taekjin Hahn*, Sangmin Choi**

ABSTRACT

Rotary kiln furnace is one of the most widely used gas-solid reactors in the industrial field. Although the rotary kiln is a versatile system and has different size, approach to the reactor modeling can be generalized in terms of flow motion of the solid and gas phase, heat transfer and chemical reactions on purpose. In this paper, a performance analysis example case of axial direction direct flame rotary kiln is introduced.

Key Words : Rotary kiln design, Performance analysis, Dimensional approach, Modeling

기체-고체 반응기 중 하나인 로터리킬른 반응기는 석회 및 시멘트 제조, 각종 금속의 환원, 폐기물 처리 및 소각, 식품 가공 중 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다. Fig. 1과 같은 로터리킬른은 회전하는 원통형 용기로 수평면에 대해 약간 기울어진 형태(1-3°)로 설치되며, 축을 기준으로 느린 속도(1-2rpm)로 회전하면서 킬른의 위쪽으로부터 투입된 반응재와 원자재를 이동시킨다. 고체물질은 회전방향으로 운동하면서 서서히 축방향으로 진행하므로 시스템 내 체류시간이 길어지고, 이 과정에서 충분한 반응 정도를 얻을 수 있다. 로터리킬른은 거의 모든 원료물질에 적용가능하고, 전처리 과정을 거치지 않고 소각 및 연소가 가능하며, 처리목적에 따라 온도와 체류시간을 적절하게 조절할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 소량의 처리에 부적합하고, 내화재의 손상이 심하여 미연분과 비산분진이 많이 발생할 수 있으며, 다른 반응기에 비하여 열효율이 비교적 낮다는 단점이 있다[1].

로터리킬른은 종류와 사용목적에 따라 시스템의 크기, 공정방식, 가열방식, 운전 조건, 열전달 메커니즘 등이 상이하다. 하지만, 기체상과 고체층 사이의 열전달(Fig. 2 참조) 및 물질전달과 화학반응, 고체의 유동[2] 등 주요 물리화학적 과정들은 매우 유사하므로, 킬른 내 기체상과 고체층 사이의 반응에 대한 접근 방법을 일반화 할 수 있다.

* KAIST 기계공학과

† 연락처, E-mail: smchoi@kaist.ac.kr

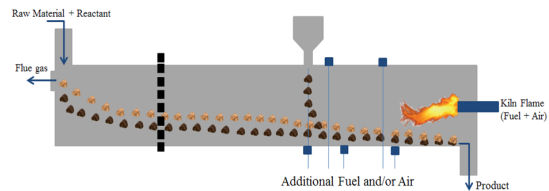


Fig. 1 Schematic of rotary kiln reactor.

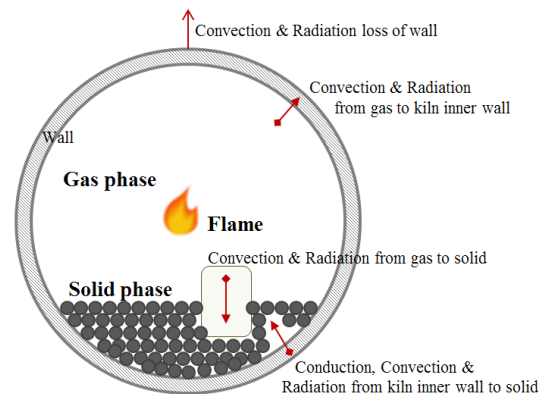


Fig. 2 Heat transfer mechanism in a rotary kiln.

기존 연구에서는 이에 대한 킬른 내의 물리화학적 현상을 이해하고 반응기 설계 접근방법과 고려사항을 정리하였다[3]. 로터리킬른의 종류와 용도에서부터 일반적인 형태, 열전달 기작, 해석차원에 따른 모형의 차이, 해당하는 수학적 모형을 살펴 보았으며, 로터리킬른 설계를 위한 성능해석 모형

개발의 일반화 과정에 대해 정리하였다. 로터리킬른 반응기를 하나의 블랙박스로 보고 접근하는 0차원 접근에서부터 입자의 유동을 고려한(2, 3차원) 접근까지 차원적 접근방법을 통해 해석차원별 성능해석 모델의 장점 및 한계점과 단계적 모델링 방법을 알아보았다. 반응기의 단계적 접근방법을 통해 연구 대상과 목적에 따라 의미 있는 결과를 얻을 수 있음을 알게 되었다[3-4].

본 연구에서는 기존 연구에서 정리한 로터리킬른 설계 및 해석 절차를 적용하여 철 등의 금속 환원을 위한 직경 5.5m, 길이 약 130m의 직접가열식 로터리킬른 반응기에 대해 해석한 사례(1차원 해석)를 소개한다. 해석의 서브모형으로 화염이 킬른의 길이방향에 대해 반응물이 지수적으로 변화한다는 단순화 된 연소모형을 적용하였다[5]. Fig. 3에서와 같이 계산하여 얻은 온도분포와 실제 킬른 내 온도 측정값을 비교한 결과, 비슷한 경향성을 보여주는 것을 통해 모형의 타당성을 확인할 수 있었다. 내부 상황을 알 수 없는 고온 반응기의 반응 경향성을 예측할 수 있으며, 이를 시스템의 지점에서 실측 가능한 결과와 비교가 가능하다는 것을 알 수 있었다.

이와 같은 일련의 공학적 해석 과정은 적절성과 조율성에서 매우 유용한 접근 방법이며, 다른 종류의 반응기 운전에도 적용하여 설계 및 해석과 관련된 아이디어 도출에 도움이 될 것으로 기대한다.

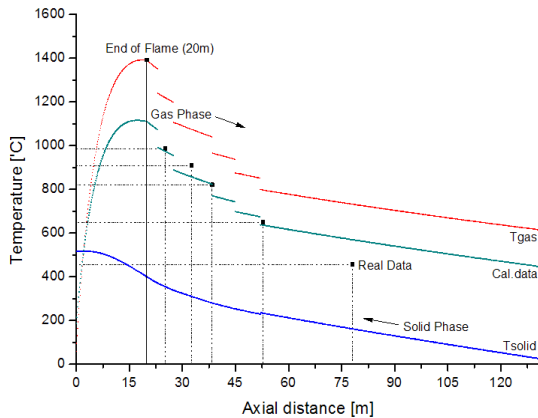


Fig. 3 Temperature profile along the axial direction of rotary kiln furnace.

후 기

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

참고 문헌

- [1] Boateng, A., "Rotary Kilns: Transport phenomena and transport processes", Elsevier, Oxford, 2008.
- [2] Li, S., Chi, Y., Li, R., Yan, J., and Cen, K., "Axial transport and residence time of MSW in rotary kilns: Part II. Theoretical and optimal analyses", Powder Technology, Vol. 126, 2002, pp. 228-240.
- [3] Eum, M., Hahn, T., Lee, H. and Choi, S., "로터리킬른 반응기 설계를 위한 성능해석 모형", 연소학회지 투고 예정
- [4] Hahn, T. and Choi, S., "1차원 기체-고체 반응기 모형의 로터리킬른 환원로 적용", 제45회 KOSCO Symposium 초록집, 2012, pp. 75-78.
- [5] Ortiz, F., "Modeling of fire-tube boilers", Applied Thermal Engineering, Vol. 31, 2011, pp. 3463-3478.