

로터리 킬른 스케일 업을 위한 열전달 특성 고찰

엄민제* · 최상민**

The Heat Transfer Characteristics Analysis of Rotary Kiln for Scale Up

Minje Eum*, Sangmin Choi**

ABSTRACT

The rotary kiln is one of the most widely used industrial reactors for contacting gases and solids. Kilns are mainly used for drying, calcining and reducing solid materials. In an indirect fired rotary kiln, heat is supplied to the outside of the kiln wall. Heat transfer in indirect fired rotary kilns encompasses all the modes of transport mechanisms, that is, conduction, convection and radiation. This paper deal with the heat transfer characteristics of indirect fired rotary kiln for scale up.

Key Words : Rotary kiln, Heat transfer, Scale up,

로터리 킬른은 전 세계적으로 많이 사용되고 있는 반응로로 석회 및 시멘트 제조, 건조, 하소, 소각 및 고체 물질의 환원에 사용되고 있다. 다양한 물질에 적용 시킬 수 있으며 전처리 과정을 거치지 않고 소각 및 연소를 시킬 수 있으며, 처리 목적에 따라 온도와 체류시간을 적절하게 조절할 수 있고, 물질의 성상 변화에 따른 적응성이 우수하다. 하지만 소량의 물질을 처리하기에 부적합하고, 내화재의 손상이 심하여 미연분이나 비산분진이 많이 배출될 수 있다. 또한 점착성이 높은 물질에 부적합하며, 열효율이 비교적 낮은 단점이 있다. 전통적인 로터리 킬른은 원통형 용기 형태로 수평에서 약간 기울어진 형태(1~3°)로 설치하여, 느린 속도로 회전시켜 원료, 원자재를 이동시키는 방식으로, 로터리 킬른의 위쪽에서 원자재를 투입한다. 가열방식은 내부를 직접 가열하는 축 방향 제트 화염 방식과 고체 연료 혼합 방식이 있고, 주입 원료나 가스에 대한 직접 가열의 위험성이 존재할 경우 전기 가열과 같이 킬른 외벽을 가열하는 간접 가열방식을 이용한다[1].

로터리 킬른 내 베드의 열전달은 베드와 가스, 벽과의 대류 열전달 및 복사 열전달로 나뉘지며, 열전달 계수 및 1차원 베드 모델에 대한 연구가

많이 진행되어 왔다[2-4].

간접 가열식 로터리 킬른에서는 벽에서 베드로의 대류 열전달 및 복사 열전달, 가스층에서 베드 층으로의 대류 열전달 및 복사열전달 현상이 일어나고, 베드에 전달된 열량으로 입자는 승온 및 건조, 소성, 환원 반응을 일으키게 된다(Fig. 1).

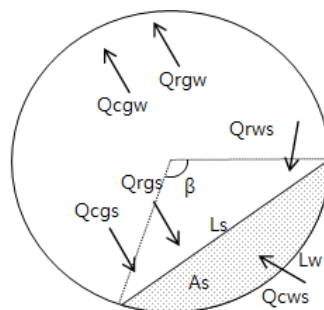


Fig. 1 Heat Transfer in Indirect Fired Rotary Kiln

$$\frac{d}{dx}(A_s V_s \rho_s C_p T) = L_s Q_s \quad (1)$$

$$Q_s = Q_{cws} + Q_{rws} + Q_{cgs} + Q_{rgs} \quad (2)$$

본 연구에서는 간접 가열식 로터리 킬른의 스케일 업에 따른 열전달 현상을 파악하기 위해 킬른 직경의 크기를 달리하며, 각 열전달 현상이 베드

* 한국과학기술원 기계공학과

† E-mail : smchoi@kaist.ac.kr

Tel : (042)350-3070

에 전달하는 열량 및 베드에 총 전달되는 열량을 파악해 보았다. 킬른의 내부는 Lifer 및 chain이 없는 형태로, 직경 및 입자의 온도 이외의 조건은 Table 1에 나타난 것과 같이 동일한 조건을 주었다.

Table 1 Operating Condition

외부 가열 온도	900℃
회전 속도	1rpm
고체 성상	Fe2O3+SiO2
고체 충전률	10%
기체 주입량	580Nm3/hr-Ton
킬른 내부 형상	Lifter, Chain 없음

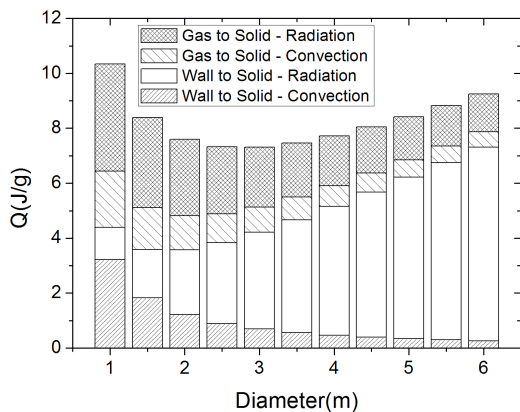


Fig. 2 Heat Flux Changes : Temperature of Solid (300℃)

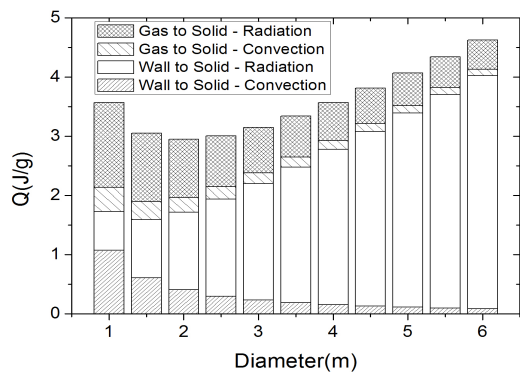


Fig. 3 Heat Flux Changes : Temperature of Solid (700℃)

킬른에는 저온의 입자가 주입되어 고온의 입자가 배출되며, 길이 방향으로 입자의 온도가 다르게 분포한다. Fig. 2-3에 주입된 고체의 온도가 300℃와 700℃일 때 베드에 단위 질량당 전달

되는 열량을 나타내었으며, 킬른의 지름이 커질수록 가스에 의한 대류, 복사 열전달량과 벽에 의한 대류 열전달량은 줄어들었지만, 벽에 의한 복사 열전달량은 크게 늘어났다. 입자가 고온일 경우에는 4~6m에서는 대부분이 벽에 의한 복사 열전달량이었다.

주입된 고체가 저온(300℃)일 때는 킬른의 직경이 2.5~3m에서 전달되는 총 열전달량이 가장 낮았고 3m이후 벽면에 의한 복사 열전달에 의해 총 열전달량이 증가하지만 직경이 1m일 경우에 비해 적은 양이 전달된다.

주입된 고체가 고온(700℃)일 때, 직경이 2m까지는 총 전달되는 열량이 줄어들지만, 그 이후에는 벽면에 의한 복사 열전달량에 의해 총 열전달량이 증가하며, 4m이후에는 직경이 1m일 경우보다 총 열전달량이 많다.

간접 가열식 로터리 킬른의 직경이 커질수록 킬른 벽에서 베드로의 복사열전달의 영향을 많이 받게 되며, 입자가 고온일 경우 가스와 벽에 의한 복사 열전달 계산만으로도 킬른 내 열전달 현상에 대한 접근을 할 수 있다. 베드에 전달된 총 열량을 통해 입자의 승온 및 건조, 소성, 환원 반응에 대한 예측을 할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 과학 기술원 가치제조 기계사업단(BK 21)의 지원을 받았습니다.

참고 문헌

- [1] A.A. Boateng, "Rotary Kilns: Transport Phenomena and Transport Processes", Elsevier Inc, 2008.
- [2] S.H. Tscheng, A.P. Watkinson, "Convection Heat Transfer in a Rotary Kiln", The Canadian Journal of Chemical Engineering, Vol. 57, 1979, pp. 433-443.
- [3] K.S. Mujumdar, V.V. Ranade, "Simulation of Rotary Cement Kilns using a One Dimensional Model", Chemical Engineering Research and Design, Vol. 84(A3), 2006, pp.165-177
- [4] E. Donskoi, D.L.S. McElwain "Estimation and Modeling of Parameters for Direct Reduction in Iron/Coal Composites: Part. Physical Parameters", Metallurgical and Materials Transactions B, Vol. 34B, 2003, pp.93-102
- [5] R.H. Perry, D.W. Green, "Perry's Chemical Engineers' Handbook", McGraw-Hill, Seven Edition, 1997,