

가열로내 Billet 의 내부온도 예측을위한 Modeling

민 광기(학), 김 영일*, 함 용희**, 남 인식(정), 장 근수(정)
포항공대 화학공학과, 지능자동화 연구센터,
산업과학기술 연구소*, 포항제철**

Modeling for Predicting The Inner Temperature of The Billet
in The Reheating Furnace System

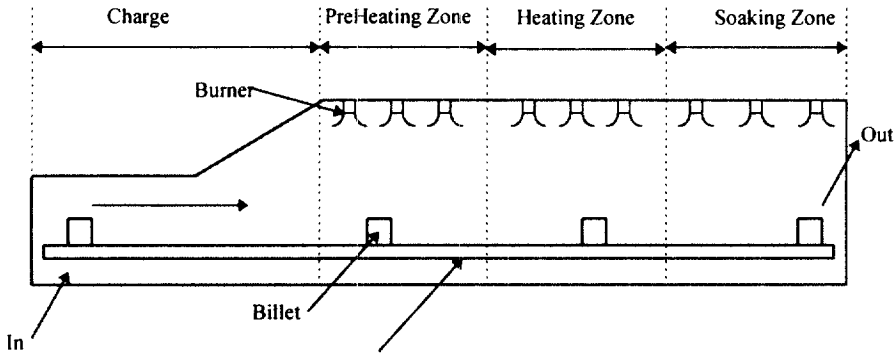
Kwang Gi Min, Young Il Kim*, Yung Hee HAHM**, In Sik Nam and Kun Soo Chang
Automation Research Center and Dept. of Chemical Eng., POSTECH,
Research Institute of Industrial Science and Technology*,
Pohang Iron & Steel Co., Ltd.**

서론

가열로내의 연소가열공정은 가열로내에 있는 Billet 의 온도를 원하는 목표치에 도달하게 하기위한 PreHeating Zone 과 Heating Zone, Billet 의 내부와 표면의 온도차를 줄이기 위한 Soaking Zone 으로 구성되어있다. 연소가열공정은 가열로밖으로 나오는 Billet 을 목표온도와 허용하는 균열도로 가열함으로써 Billet 에 원하는 연성을 부여하여 후속공정으로 있는 압연공정의 Roller 에 걸리는 부하의 변동폭을 줄임으로 안정된 조업조건을 확보함을 목적으로 하고있다. 가열로내부에 대한 기존의 열전달 수식모델은 가스속에서의 복사량측정, 고온에서의 Billet 표면에서의 산화층형성에 따른 열전도율변화등 부분적으로 이루어져 왔으므로 이에 제시하는 수식모델은 가열로내부에서의 Billet 의 위치와 체류시간에 따른 각 대에서의 Billet 내부의 온도분포를 제공하며, 또한 각 가열대의 적정 분위기온도를 제시함으로 기존의 경험에 의하여 이루어진 조업조건에대한 개선책을 제시하여 연료비의 절감을 도모한다. 가열로내부에서의 열전달 현상은 복사와 대류 그리고 전도에 의하여 복합적으로 일어난다. 가열로의 열전달현상은 두 부분으로 나눌수있는데 Bunner 로부터 연소가스층을 지나 Billet 표면으로 일어나는 복사와 대류의 열전달과, Billet 표면에서 내부로의 전도에의한 열전달현상으로 나눌수있다. 특히 Bunner 로부터 나온 연소가스속에서의 흡수율과 방사율등의 자료는 실

이론

가열로내부에서 일어나는 열전달 현상은 심한 비선형성과 시간에 의존하는 Partial Differential Equation 으로 나타내어진다. 그러므로 해석적인 방법으로 근을 구한다는것은 거의 불가능에 가깝다고 할수있으며 기존의 가열로에 대한 조업은 이론보다는 조업자들의 경험에 의하여 이루어져왔다. 본 연구는 가열로내부에 있는 Billet 의 내부온도 산출을 위하여 System 을 Billet 내부로 하고 Boundary Condition 을 Furnace 내의 Burner 로부터 Billet 으로 전달되는 열량으로 나타내어 수치적인 방법(Alternative Direction Implicit Method)을 사용하여 내부의 현상을 Modeling 하였다. 시스템에대한 개략적인 구조를 아래 그림 1 에 나타내었다.



Walking Beam
Fig. 1 Furnace Structure

가열로내에 있는 Billet 은 Walking Beam 에 의해 이동하면서 각각의 가열대를 지나면서 서로 다른 조건속으로 노출되므로 주어진 조건하에서 Billet 의 출구온도와 균열도를 계산하기 위해서는 다음과같은 하위의 Model (Tracking on TheMoving Billet, Heat Transfer from Furnace to The Surface of The Billet, Heat Transfer by Conduction in The Billet.)들이 필요하며 이에대한 구조는 그림 2 에서 나타내었다.

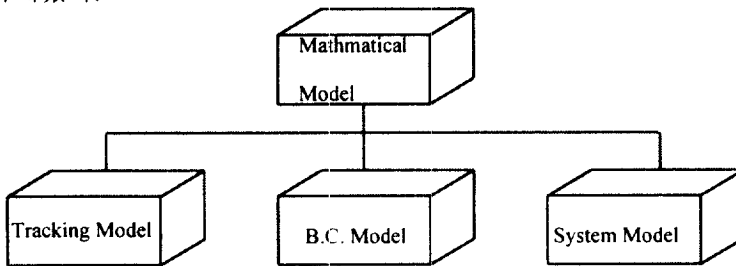


Fig. 2 Mathmatical Model

시스템에 대한 간단한 지배방정식과 경계조건은 다음과 같다.

Governing Equation :

$$\rho(T)C_p(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(k(T)\frac{\partial T}{\partial y}\right)$$

Dimensionless Variables :

$$X = \frac{x}{x_{\max}}, Y = \frac{y}{y_{\max}}, u = \frac{T - T_0}{T_{\max} - T_0}, \gamma = \frac{y_{\max}^2}{x_{\max}^2}, K = \frac{k(T)}{k(T_0)}, D = \frac{\rho(T)}{\rho(T_0)}, H = \frac{C_p(T)}{C_p(T_0)}, \tau = \frac{\alpha_0 t}{x_{\max}^2 + y_{\max}^2}, \alpha_0 = \frac{k_0}{\rho_0 C_{p0}}$$

Dimensionless Governing Equation :

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = (1 + \gamma) \left\{ \frac{K}{D^* H} \frac{\partial^2 u}{\partial X^2} + \frac{1}{D^* H} \frac{\partial K}{\partial u} \left(\frac{\partial u}{\partial X} \right)^2 \right\} + (1 + \frac{1}{\gamma}) \left\{ \frac{K}{D^* H} \frac{\partial^2 u}{\partial Y^2} + \frac{1}{D^* H} \frac{\partial K}{\partial u} \left(\frac{\partial u}{\partial Y} \right)^2 \right\}$$

Boundary Condition :

- Radiation through Gas Media :

$$q_g = \sigma \left[\epsilon_{gas} T_{gas}^4 - \alpha_{gas} T_{surface}^4 \right]$$

- Radiation from Wall Emissivity :

$$q_w = \frac{q}{A_s} = \frac{\sigma (T_{wall}^4 - T_{surface}^4)}{\frac{(1 - \epsilon_w)}{\epsilon_w A_w} + \frac{1}{A_s F_{ws}} + \frac{(1 - \epsilon_s)}{\epsilon_s A_s}}$$

- Convection caused by Gas Flow

$$q_c = h(T_g - T_s)$$

where ϵ_{gas} : gas emissivity α_{gas} : gas absorptivity σ : stephan-boltzman constant

결과 및 토론

본 연구에 대한 Simulation 결과는 Fig.3 에 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 결과는 Billet 의 내부가 가열됨으로써 비선형항이 온도 Profile 에 영향을 미침을 볼수있으며 내부온도와 균열도를 예측함으로써 적정온도제어를 위한 Model 을 제공한다. 이번 Simulation 결과는 앞으로 있을 실험을 통하여 고려하지 못한 여러 항(Oxidation layer etc.)들을 위하여 Parameter 로 Tuning 하여 보다 정확한 Model 을 구현함으로써 최적제어를 위한 기본모델을 구축할 계획이다.

감사의 글

본 연구는 포항제철의 가열로 연소제어 신경회로망 개발을 위한 Project 의 연구비에 의하여 수행된 연구결과임.

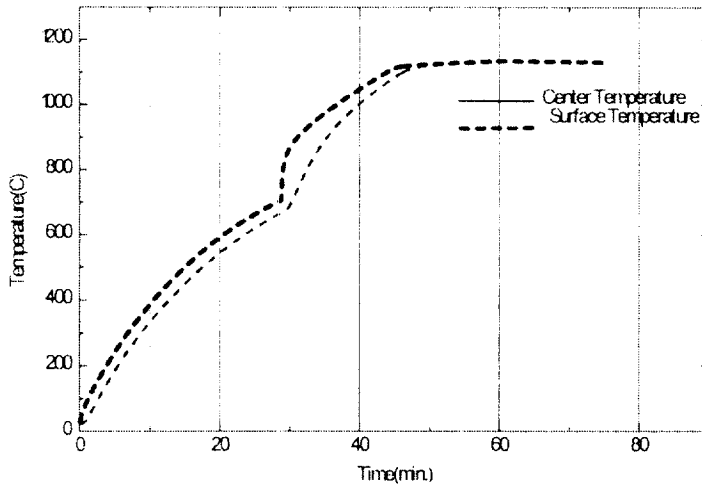


Fig. 3 Temperature Profile in the Furnace

참고문헌

1. Anthony F. Mills " Heat Transfer "
2. B. Canahan, H. A. Luther, J. O. Wilkes, "Applied Numerical Methods", John Wiley & Sons, Inc.
3. F.R. Steward and Y.S. Kocaeffe, Total Emissivity and Absorptivity for Carbon Dioxide, Water Vapor and Their Mixtures, Proc. 8th Int. Heat Transfer Conf., San Francisco, CA ,U.S.A,1986
4. B. Leckner, "Spectral and Total Emissivity of Water Vapor and Carbon Dioxide", Combustion and Flame, Vol 19, p33-p48, 1972.