

## 열연 권취중 냉각이력 해석을 통한 재질예측 및 제어기술 개발

이중형<sup>1</sup> · 김홍준<sup>2</sup> · 김재부<sup>3</sup>

### The Prediction and Control of Plate Mechanical Properties By the Analysis of Temperature History on ROT in Hot Strip Mill

J. H. Lee, H. J. Kim, Y. R. IM, J. K. Lee

#### Abstract

The Mechanical properties of steel in hot strip mill were associated with the alloy composition, plastic deformation, cooling history and so on. In the case of the same alloy composition and deformation conditions, cooling history on ROT (run out table) is the main factor in affecting mechanical properties of steel, especially, in carbon steel. On ROT, the steel undergoes under various kinds of cooling conditions such as radiation, convection by air, water and wetting zone. The coiling temperature (CT) of the steel is also important factor in affecting mechanical properties. But with the same CT, the mechanical properties of steel can be different because the temperature history of cooling is more important factor than CT itself. In this study, we have studied the relations between temperature history and mechanical properties of steel and then the predicted mechanical properties have compared with the measured values.

**Key Words** : Mechanical property, Temperature history, Coiling temperature, Run out table, Hot strip mill

#### 1. 서론

강의 성분, 압하이력, 냉각이력 등은 제품의 최종 기계적성질을 결정하는 중요한 요소가 된다. 일반탄소강의 경우 열연제품의 재질은 냉각대(ROT)에서의 냉각이력에 크게 의존하며 냉각이력과 재질간의 상관관계를 규명 하려는 노력은 계속적으로 진행 되어져 왔다(1~8). 재질예측을 수행함에 있어 냉각이력 예측모델은 열역학,상변태 모델과 함께 연계해석 되어지며 이를 통하여 제품의 최종 기계적성질이 결정된다. 냉각이력 예측모델은 냉각대에서의 복잡한 판 상하 냉각 경계조건(수냉,체류수,복사,공냉)들을 반영하여 냉각이력을 정밀 추적할 수 있어야 하며 현장적용을 위해서는 계산속도도 빨라야 한다. 본 연구를 통해 냉각대에서의 냉각이력 예측모델을 개발하고 열역학, 상변태모델과의 연계해석을 통해 판의 재질을 정밀예측 및 제어 하고자 한다.

#### 2. 냉각이력 예측모델

냉각대에서의 냉각이력 예측은 Fig.1에서 보여 지듯이 마무리압연 종료온도(FDT)와 권취온도(CT)사이에서 판의 전장에 걸쳐 행해진다. 현장에서 판의 온도정보와 냉각정보(수냉 주수정보)는 일정한 길이단위( $l$ )로 측정이 되며 냉각모델의 적용시에 기본정보로 사용된다. 미소영역에서 판 상하 열유속과 두께방향으로 온도분포와 발열량 분포를 고려한다. 냉각모델은 수치해(FDM)과 해석해의 두가지 형태로 개발되었으며, 수치 해석해는, 미소시간( $\Delta t$ ) 동안에 판의 두께방향 열전도율( $k$ )과 열용량( $C_p$ )이 고려되며 해석해에서는 냉각도중 두께방향으로의 열전도율과 열용량은 동일하다고 가정한다.

이때, 1차원 비정상상태의 온도 지배방정식은 식(1)과 같이 표현된다.

1,2 POSCO 기술연구소

3. 포항공과대학교 기계공학과

$$\frac{\partial}{\partial y} \left( k \frac{\partial T(y,t)}{\partial y} \right) + \dot{q}(y) = \rho c_p \frac{\partial T(y,t)}{\partial t} \quad (1)$$

상하면에서의 경계조건은 식(2)와 같이 표현된다.

$$k \frac{\partial T(0,t)}{\partial y} = \dot{q}_2, k \frac{\partial T(H,t)}{\partial y} = \dot{q}_1 \quad (2)$$

초기조건은 식(3)과 같다.

$$T(y,0) = f(y) \quad (3)$$

식(1)~(3)을 이용하여 냉각대에서의 냉각모델을 유한차분법(FDM)해석과 수학적으로 표현 가능한 해석해의 형태로 구했으며 다양한 온도경계조건에 대해서 적용해 보았다.

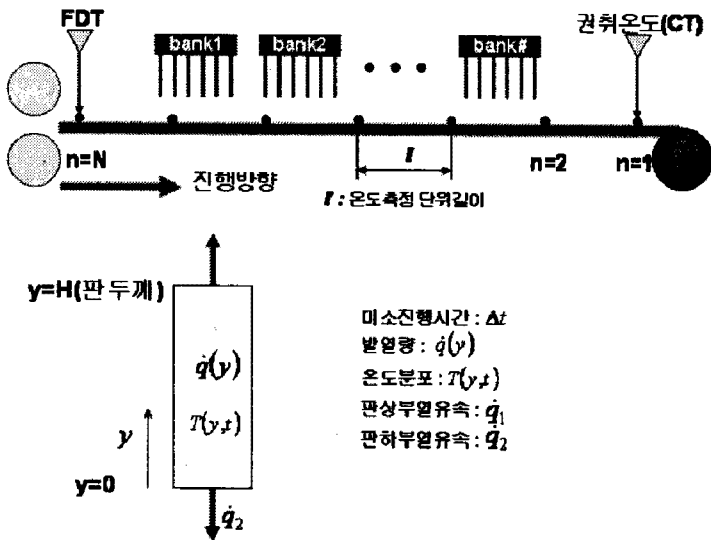


Fig. 1 The layout of run out table (ROT) and boundary conditions for temperature analysis in small region of the steel

### 3. 결과

마무리압연 종료온도(FDT)와 권취온도(CT)사이의 냉각이력은 Fig.2에 나타나 있다. 유한차분법을 기초로 한 수치해와 해석해의 차이는 거의 없으며 계산속도는 온도수렴 속도에 따라 약간 차이가 날 수 있지만 해석해가 약 1.3배정도 더 빠르다. 냉각모델 자체로만 보면 수치해의 경우 미소시간( $\Delta t$ )을 가정해야 정확하고 안정된 해를 얻을 수 있는데 반해, 해석해는 해석 진행시간에 대한 제약이 없어 한꺼번에 많은 시간을 진행할 수 있다. 이는 해석해가 가지는 큰 장점이다. 하지만

냉각도중 상변태와 연계가 되어 있어 많은 시간을 진행할 경우 상변태로 인한 발열량을 제대로 고려하지 못하게 된다. 또한 냉각구간중 판의 상하면 온도경계조건은 지속적으로 변하므로 해석시간( $\Delta t$ )을 함부로 크게 가져갈 수 없다. 결국 해석하는 시간에 대한 장점을 소실하게 된다. 수치해의 경우 두께방향으로 열전도계수와 열용량의 변화까지 고려할 수 있어 정밀한 해석이 가능하다. 수치해는 판의 물성을 정확하게 잘 반영할 수 있지만 수렴성과 구성의 복잡성 그리고 계산시간적인 측면에서 단점을 가진다. 개발된 해석해는 수렴성의 문제가 없으며 이식성과 응용성이 뛰어나고 계산시간 측면에서도 수치해에 앞선다. 본 연구에서 재질예측 및 제어를 적용함에 있어 수치해 기반의 냉각모델 대신 해석해를 사용할 수 있음을 확인했다.

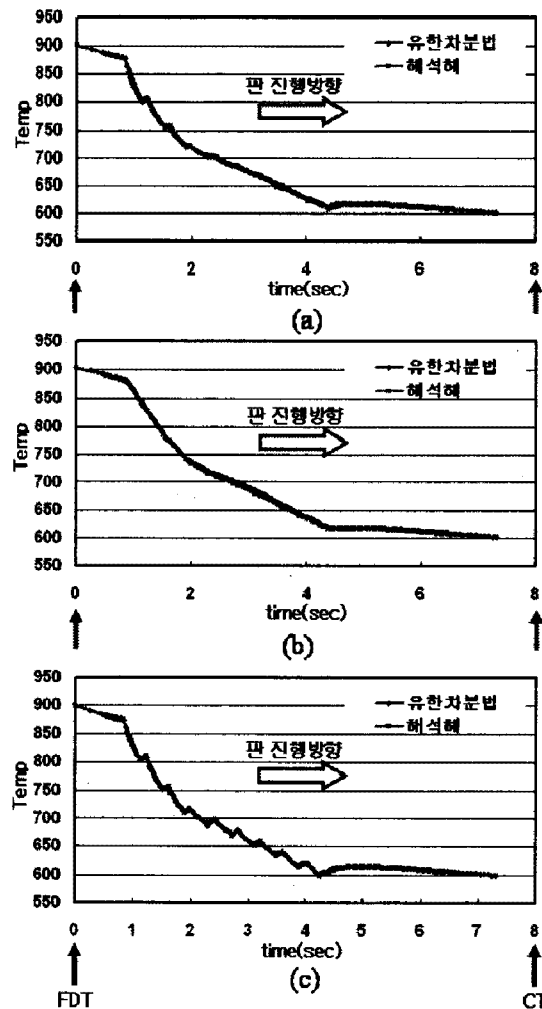


Fig. 2 The temperature history on ROT of the bottom(a),middle(b) and top(c) surface of steel.

#### 4. 정리 및 고찰

본 연구를 통해 냉각대에서의 냉각이력 예측모델을 수치해, 해석해 기반으로 개발하였으며 해석해 기반의 냉각모델이 수치해를 대신할 수 있음을 확인했다. 개발된 냉각이력 예측모델은 실시간으로 현장의 재질예측 및 제어모델의 요소모델로 활용하였다.

#### 참 고 문 헌

- [1] O.Kwon, K.J.Lee, K.B.Kang, J.K.Lee, J.H.Ryu and R.W.Chang: "Proc. Of Inter. Conf. Recrystallization in Metallic Master.", Ed.T.Chandra, TMS-AIME, pp.843(1990)
- [2] O.Kwon: ISIJ Int., vol.32, pp.350(1992)
- [3] O.Kwon et al.: HSLA Steels: "Processing, Properties and Applications", Ed.G.Tither and Z.Shouhua, pp.141(1992)
- [4] K.J.Lee, J.K.Lee, K.B.Kang and O.Kwon: ISIJ Int. vol.32, no.3, pp.326(1992)
- [5] O.Kwon, K.J.Lee, J.K.Lee and K.B.Kang: "Microalloying '95", Ed.M.Korchynsky, ISS-AIME, Pittsburgh, pp.251(1995)
- [6] J.K.Lee and O.Kwon: "Proc. of Materials Solution '97 on Accel. Cooling/Direct Quenching of Steels", Ed.R.Asfahani, ASM, Indianapolis pp.175(1997)
- [7] R.M.Guo, I&SM, pp.49-59(1993)
- [8] R.K.Kumar, S.K.Sinha, and A.K.Lahiri, IEEE, pp.2547-2554(1996)