

## 후판 압연공정에서의 판 선단부 형상제어 연구

천명식<sup>1</sup>, 박해두<sup>2</sup>

### Ski-end shape control based on the model in heavy plate mill

M. S. Chun, H. D. Park

#### Abstract

Studies on ski-end shape control at the top end of rolling plate in heavy thick plate mill by using FEM analysis and measuring system have been performed. Plate shape behaviour at the top-end on rolling by the two different methods in finishing rolling process has been observed. One is to minimize the height of ski-end by using pass line based on the relational model between shape factor and pick-up and the other one is to prevent turn down problem caused by the impact between table roller and down bended plate on rolling by using roll speed difference. To minimize the height of ski-end, the prediction models based on the FEM analysis and measuring data was developed. The control method of ski-end shape on finishing rolling process was applied in actual mill and the height of ski-end was reduced by about 50% compared with conventional operation.

**Key Words** : Ski-end Shape, Turn Down, Up bending, Pick-up, Roll Speed Difference, Heavy Plate Mill

#### 1. 서론

후판제품의 시장의 추세는 가혹한 환경하에서도 사용이 가능한 고강도, 고인성을 갖는 극후물 광폭화를 요구한다. 극후물재 생산을 위해서는 조압연공정은 미세조직 균일화의 확보와 차기 공정인 사상압연공정에서는 선단부 평탄도(ski-end or front-end bending)확보가 필수적이다. 따라서 이와 같은 선단부 형상을 개선하기 위한 연구가 '90 년초 일본을 중심으로 진행해 왔으나 최근 들어서는 유럽에서 활발하게 연구가 진행 중이다.[1]~[2] 선단부 평탄도라 함은 상하면 비대칭압연인자들에 의해, 압연 판 선단부가 위로 휜(상향, up bending) 또는 아래로 휜(하향, down bending)현상이며, 소재 상하면 온도차, 마찰차, 직경차, 픽업(pick-up)량 그리고 소재의 단면형상등 비대칭압연에 의해 발생하는 현상이다. 판 선단부의 상향 휜이 과다하게 발생하게 되면 후속공정인 냉각공정으로 넘어가기 전에 판 선단부의 상향 휜을 펴기 위한 추가적인 공패스 압연(dummy pass rolling)을 인위적으로 가함에 따라 압연패스 수 증가하는 문제가 있다. 이와 반대로 하향 휜이 발생하게 되면 압연기를 통과하여 나온 압연 판 끝이 아래로 휘어져 진행하다가 롤러데이블의 롤러(roller)와의 충돌을 일으키면서 압연 판 끝단이 롤러에 의해 구속을 받게 되고, 작업롤(work roll)과 압연 판 사이에서는 슬립(slip)현상과 굽임현상(turn down)이 발생하게 된다. 이와 같은 하향 휜발생은 압연 판에 휜 발생은 물론 롤 마크가 연속적으로 판에 전사되어 후속공정인 가속냉각시 분사거리의 차이에 의한 온도불균일 발생 및 판 내부의 잔류응력이 존재하여, 열간교정기를 통과한 후에도 선단부 평탄도불량의 요인으로 남게 된다. 따라서 본 연구에서는 열간 후판압연시 판 선단부 변형의 영향인자인 상하면 온도차, 압연시 판 들뜸량(pick-up)과 압연인자간의 해석적인 방법에 의해 기초분석을 실시하고, 압연조건별 선단부 휜 발생패턴 정량화하여 패스라인, 이주속제어기능을 활용하여 이를 개선하고자 한다.

1.2. 포스코 기술연구소 공정제어연구그룹  
# E-mail: mschun@posco.co.kr

## 2. 압연해석

### 2.1 압연해석

열간압연시 압연인자별 선단부 휨량을 예측하기 위하여 상용 프로그램인 MARC 를 사용하여 온도-변형간 비연계방식으로 압연해석을 실시하였다. 해석에 사용된 압연조건 Table 1과 같다. 소재의 두께방향 온도프로파일을 고려하기 위하여 유한차분해석을 이용하였는데 초기 가열로 추출시 소재의 두께방향온도를 동일하다고 가정하고 조압연, 사상압연 순의 공정을 진행하면서 유한차분법을 이용한 두께방향의 온도 프로파일을 계산하였다. 상기와 같은 소재의 두께방향온도 프로파일을 사상압연공정에서의 입력 온도 프로파일로 사용하여 압연해석을 실시하였다

Table 1 Rolling conditions used in FEM analysis

Plate Thick. [mm]	Rolling Temp. [°C]	Reduction [%]	Pick-up [mm]	Temperature diff. [°C]	Flow stress curve
20~200	800~1000	2.5~30%	2.5-12	10~30	$\sigma = 1.32 * \epsilon^{0.21}$ $\dot{\epsilon}^{0.13} \exp(3115/T(K))$

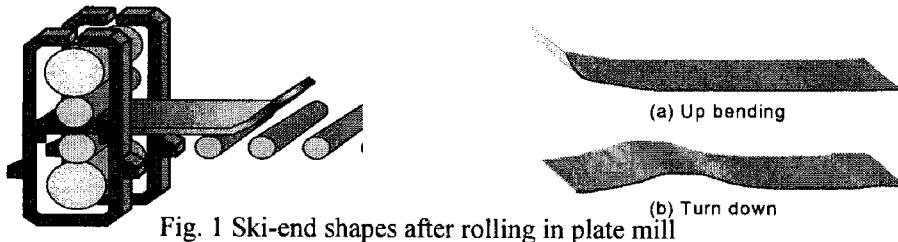


Fig. 1 Ski-end shapes after rolling in plate mill

### 2.2 휨 측정시스템

압연시 선단부 휨량을 측정하기 위하여 Fig.1 과 같이 압연기 출측과 예비교정기출측에 각각 CCD 타입의 휨측정시스템을 설치하였다. 측정시스템으로부터 압연판의 휨 형상을 취득하여 이를 영상처리프로그램을 이용하여 각각의 압연후, 교정후 휨량 데이터를 얻었다. 또한 압연패스간 선단부 휨량 분석은 압연기 입측에 설치된 간이CCD 를 이용하여 압연조건별 정량적으로 상 하향 휨발생 한계조건을 구하는데 활용하였다.

## 3. 판 선단부 휨 개선결과

### 3.1 선단부 휨예측

앞서 설명하였듯이 압연중 판 선단부 휨을 유발하는 인자는 상하면 온도차, 상하면 스케일발생정도, 압연패스별 판 들림량을 들 수 있다. 상하면 스케일 불량은 항상 일정하게 발생하는 현상이 아니고 가열로 재로시간이 부적합, 스케일 발생이 과다한 강종, 고압수 분사에 의해 미 탈락된 스케일층등 불연속적으로 발생하는 현상이므로 본 연구에서는 제외하였다. Fig.2 는 압연인자별 소재의 상하면 온도차와 선단부 휨량의 관계를 나타낸다. 상하면 온도차가 30°C 이상이 되면 선단부 휨량이 급격히 증가하고 압연 주인자인 형상비의 증가에 따라 증가하다가 어느 이상조건이 되면 다소 감소하는 경향을 보인다. Fig.3 은 판 들림량과 선단부 휨량의 관계를 나타낸 것이다. 판 들림량이 양의 방향으로 증가할수록, 형상비가 증가할수록 증가하는데, 어느 임계 형상비를 초과하게 되면 휨방향이 반대로 역전하는 하는 구간이 존재하게 된다. 즉 사상압연시 두께가 비교적 두꺼운 초기패스에서는 하향 휨이 발생하다가 두께가 얇은 압연조건에 대해서는 상향 휨으로 다시 바뀌게 되는 변곡점이 존재함을 알 수 있다.

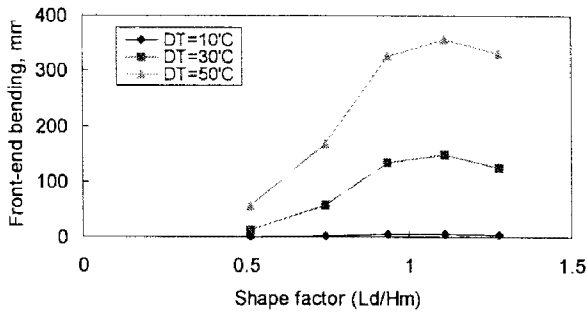


Fig. 2 Simulation results for temperature difference

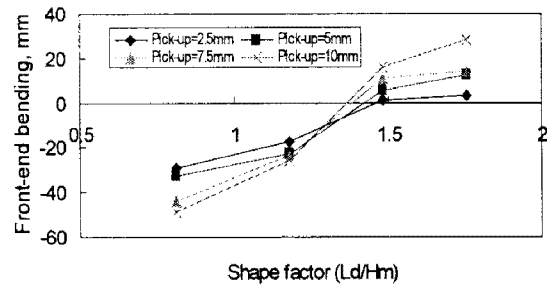


Fig. 3 Simulation results for pick-up

### 3.2 선단부 휨 개선결과

본 연구에서 사용한 압연중 판 선단부 휨량을 제어방식은 압연패스라인 제어기능과 이주속 제어기능을 사용하였다. 패스라인 제어는 압연중 매 패스별 하부롤에 설치되어 있는 자동롤갭설정장치를 이용하여 상하부 롤을 이동하면서 판 들림량을 설정해 주고, 이주속제어는 상하부롤의 주속차를 판의 선단부 휨량에 해당하는 만큼 상하롤의 속도차를 주어 매 패스별 이주속율로 설정하게 된다. 본 연구에서 개발한 선단부 휨예측 및 설정모델을 기반으로 압연중 선단부 휨발생량을 압연조건별로 미리 예측하고 이를 제어할 적정 패스라인량 도출 및 패스라인제어범위를 벗어나는 조건의 경우 적정 이주속율을 도출하는 제어로직을 개발하였다. Fig 4 는 압연 중 판 선단부 휨제어모델 적용전후의 선단부 휨량의 관계를 나타낸다.

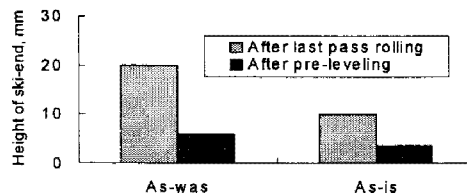


Fig. 4 Application results of ski-end shape.

## 4. 결론

극후물강판을 제조하는 후판압연공정에 있어서 판 선단부에 영향을 주는 상하온도차와 판들림량에 대한 기초분석 및 실기 측정데이터를 기반으로 판 선단부 휨예측모델을 개발하였다. 선단부 휨예측모델을 기반으로 이를 제어할 압연조건별 적정 패스라인량과 이주속율을 도출하는 프로그램을 개발하여 실기에 적용한 결과 양호한 압연형상을 얻었으나 일부 저온압연재에 대해서는 미흡한 수준이다. 금후의 과제는 저온압연재에 선단부 평탄도개선을 위해 추가적인 접근방법을 모색하여 상기의 문제를 해결하고자 한다.

## 참고 문헌

- [1] T. Kiefer, A. Kugi, 2007, Control of front-end bending in heavy plate mills based on analytical models, METEC IsSteelcon 2007, 3<sup>rd</sup> International Steel Conference on New Developments in Metallurgical Process Technologies, June 11-15, Dusseldorf, Germany, Vol. 1, pp. 208~215.
- [2] S. Dauphin, Ph. Cordier, Industrial ski-end Mastering at Arcelor Dunkerque roughing mill, Steel Rolling 2006, 4<sup>th</sup> European Steel Rolling Conference, Paris, France, Session 10.