

## SPM

## A study of rolling force prediction model in hot strip SPM

\*#<sup>1, 2</sup>, H. J. Kim<sup>1</sup>(ykhj0311@posco.com), J. T. Oh<sup>2</sup>, Y. J. Choi<sup>2</sup>, S. J. Lee<sup>2</sup>  
<sup>1,2</sup>포스코 기술연구원

Key words : Skin Pass Mill, rolling force prediction model, ATOS

## 1.

Skin pass mill(SPM)은 strip의 기계적 성질을 향상시키고, 불균일한 표면을 감소시켜 미려하게 하며 적당한 표면조도를 부여한다. 또한 소둔된 강판의 항복점 연신을 제거하여 가공 중 나타나는 stretcher strain(Lurder's band)을 방지하고 전 공정에서 발생하는 각종 mark의 방지 및 기타 다른 이점들을 부여해 준다[1]. 이러한 SPM은 2종류로 구분한다. 첫 번째는 냉연 SPM으로 주로 연신 제거에 사용되며 두 번째는 열연 SPM으로 형상보정에 많이 사용된다. 현재 국내의 경우 열연 SPM의 압연 하중 예측은 Table을 사용하는 반면, 해외에서는 하중 예측모델을 사용하고 있다[2]. 현재 국내에서는 SPM의 압연하중 예측모델에 대한 연구가 활발하지 않기 때문에, 본 연구에서는 열연 고급강인 ATOS강을 이용하여 열연 SPM의 압연하중에 따른 예측모델을 개발하였다.

## 2.

이번 연구에서는 압연하중 예측모델의 구성을 위하여 열간압연 하중모델, 냉간압연 하중모델, non-circular arc model의 3가지 방법에 대하여 검토하여 이 중에서 냉간압연 하중모델을 선택하였다. 그 이유는 분석하려는 ATOS강의 두께가 3.2t 정도이지만, 2% 이하의 경압하를 하며 circular arc type의 형태를 가질 것으로 추측되기 때문이다[3]. 냉간압연 하중모델의 경우 예측하중 계산에 iteration이 포함되어 있지만, error bound를 고려하여 iteration을 최소화시키면 조업에서도 사용이 가능하다.

하중예측 검토에 사용된 냉간압연 하중모델(Bland & Ford equation)은 다음과 같다.

$$Pr^+ = \frac{2kh}{h_f} \left( 1 - \frac{\sigma_f}{2k_f} \right) \exp \mu H \quad (1)$$

$$Pr^- = \frac{2kh}{h_0} \left( 1 - \frac{\sigma_b}{2k_0} \right) \exp \mu (H_0 - H) \quad (2)$$

$$P = bR' \left( \int_0^\beta Pr^+ d\theta + \int_\beta^\alpha Pr^- d\theta \right) \quad (3)$$

이 식에서  $\sigma_f$ 는 출측장력,  $\sigma_b$ 는 입측장력,  $P$ 는 압연하중,  $k$ 는 전단항복응력,  $h_0$ 는 입측두께,  $h_f$ 는 출측두께,  $b$ 는 판폭,  $\mu$ 는 마찰계수를 나타낸다. 이번 연구에서는 조업 데이터와 식(3)을 통하여 구해진 예측 하중의 차이를 보정하는 식을 도출하였다.

데이터 샘플은 광양 제철소 3 열연의 ATOS 강 데이터('09년 10월) Target 연신율의 실측값인 0.6 ~ 1.2%안에 있는 10개를 추출하였다. 또한 냉간압연 하중모델에 사용되는 두께, 폭, 연신율, 입·출측장력은 조업데이터의 값을 사용하였으며,  $Y_p$  값은 ATOS 강 시편을 직접 실험하여 얻은 값의 평균을 사용하였다.

먼저 조업데이터에 나와있는 압연하중 값과 냉간압연 하중모델을 이용하여 계산한 압연하중 값의 차이를 비교해 보았는데, 그 결과 압연하중의 차이가 약 330 tonf 차이가 나며 계산 횟수가 6번 발생하였다. 이러한 결과는 하중 차이가 크기 때문에 조업에서 사용하기 부적절하며 수렴을 위한 계산 횟수도 많아서 자동 조업을 위한 시간적 제한에 걸릴 위험이 있다. 따라서 이러한 단점을 보완하기 위하여 마찰계수와 로울 평평화( $R'$ )의 2가지 변수에 대하여 추가적인 연구를 수행하였다.

일반적으로 냉간 압연에서 마찰계수는 0.1 정도로 알려져 있지만 SPM와 같은 경압하에

대한 값과는 차이가 있을 수 있기 때문에 마찰 계수를 0.2, 0.1, 0.05, 0.02로 변화시키며 이에 따른 압연하중을 비교하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 마찰계수가 커짐에 따라 압연하중도 커지는 경향도 있지만 조업 데이터와의 하중 차이가 크게 줄어들지 않으며, 마찰 계수 변화에 따른 압연하중의 변화도 크지 않기 때문에 마찰계수는 중요한 변수가 아니라고 판단하였다.

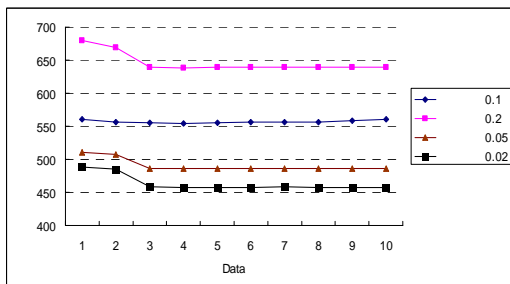


Fig. 1 Graph of Cold rolling force model result of changing coefficient of friction

따라서 기존 냉간압연 모델에서 하중 값을 추정하기 위하여 iteration을 통하여 구해지는 R'의 수식[4] 중에서 실험값에 근거한 C값에 대한 검토를 수행하였다[4].

식(4)와 (5)에 R'에 관한 식을 나타내었다.

$$R' = R \left[ 1 + \frac{CP}{b(h_0 - h_f)} \right] \quad (4)$$

$$C = K \frac{16(1 - \nu^2)}{\pi E} \quad (5)$$

이 식은 실험 데이터를 기반으로 압연 시 압연률이 평평해지는 정도를 예측하는 것으로 다양한 압연 형태에 따라 그 값의 변화가 생긴다. 따라서 이번 연구에서는 상수 K의 값을 변화시켜 가며 냉간압연 모델식을 수정하여 그 결과를 확인해 보았고, K값이 1/16일 경우 조업 데이터와 비교적 잘 일치하는 것을 확인하였다 [Fig. 2]. Fig. 2의 결과에서 연신율 target이 0.6인 경우에는 두 값의 차이가 약 10tonf이고, 하중 예측을 위한 iteration이 2번 안에 완료되는 결과를 보였다.

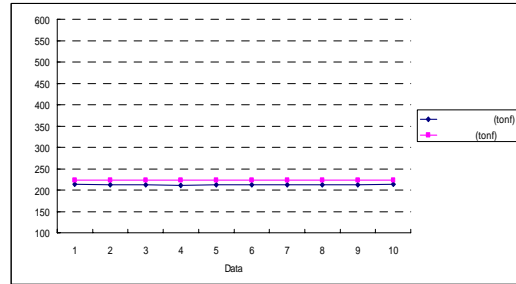


Fig. 2 Graph of comparing measured data and calculated data

이 결과로부터 예측 하중의 오차가 ±50tonf 이내이고 계산 시간이 빠르기 때문에 이번 연구에서 제시한 모델을 이용하여 Coil의 초기 set-up모델의 설정이 가능하다.

### 3.

열연 고급강인 ATOS강의 경압하 하중모델을 분석한 결과 iteration의 원인인 R'의 수식 중에서 실험값에 근거한 C값을 수정하여 On-line 모델의 특성에 맞는 Set up 모델을 제시하였다. 하지만 이번 연구 결과는 ATOS강에 적합한 모델이기 때문에 다른 강종에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

1. W.L. Roberts, Cold Rolling of Steels, Chapters 9 and 10, Sections 9.19 and 10.12.
2. E. Orowan, The calculation of roll pressure in hot and cold rolling process, Proc. Inst. Mech. Eng. 150 . 140-167. 1943
3. D.R. Bland, H. Ford, The calculation of roll force and roll torque in cold strip rolling with tension, Proc. Inst. Mech. Eng. 159. 144-153. 1948.
4. U.S. DIXIT, A Finite element analysis of flat rolling and application of fuzzy set theory, department of mechanical engineering, Ins. of India technology, 947-969, 1996