

열연 판형상 예측 수식모델 개발

조영석*, 황상무**

Mathematical expression for the Prediction of Strip Profile in hot rolling mill

Y.S Cho, S.M Hwang

Abstract

The approach in this thesis is for prediction of deformed strip profile in hot rolling mill. This approach shows how to make an expression as a mathematical form in predicting strip profile. This approach is based on the velocity field, shear stress and material flow on the strip edge along width direction and lateral displacement and stress along width are analytically calculated. Roll force is calculated in each section and then combined together to show roll force distribution along width. All the assumptions to make equation form for this approach are supported by FEM simulation result and the result of model is verified by FEM result. So, this model will supply very useful tool to the researcher and engineers which takes less time and has similar accuracy in predicting roll force profile comparing to FEM simulation. This model has to be combined with deformed roll profile model, which include thermal crown prediction and wear prediction model to predict deformed strip profile.

Key Words : strip profile, hot rolling, mathematical expression

1. 서론

열연의 사상 압연 공정은 조 압연의 Bar로부터 최종 제품의 두께까지 압연하는 공정으로서 두께, 폭과 같은 치수 품질과 표면 품질을 결정하는 압연 공정의 핵심 공정이다.

특히, 최근의 품질 엄격화 추세와 더불어 전장, 전폭 품질 보증에 대한 요구로서 형상 품질이 더욱 중요해지고 있다. 사상 압연 공정은 고온, 고속에서 작업이 이루어지며 여러 가지 품질 인자를 함께 고려해야 하는 작업의 특성을 가지고 있으며 이를 위해서 각종 제어 장치를 갖추고 있다.

형상 제어를 위해서도 Pair Cross, Shift Mill,

CVC, Bender 및 ORG와 같은 설비들을 가지고 있는 것이 이미 일반화 되어 있고, 본 연구의 대상이 되는 광양 2열연의 경우에는 Pair Cross와 Bender등을 갖추고 있다.

현재의 형상 제어는 목표 판 크라운을 얻는데 집중되어 있어서 Pair Cross각도와 Bender Force로부터 Roll과 Strip의 Mechanical Crown을 예측하고 설정하고 있다. 또한 판의 급준도 예측치로부터 판의 평탄도를 고려하고 있으나 통계적인 기법을 사용함으로써 압연 현상과 부합하지 않는 결과가 나온 경우에도 미세한 조정을 사실상 하기 힘들다.

따라서, 본 과제에서는 Roll과 Strip의 형상을

* (주)POSCO 광양제철소

** 포항공과대학교

다항식으로 표현함으로써 수치적인 해석을 시도하였고, FEM Simulator를 통하여 이를 간략화 함으로써 On-Line상에서 유용한 모델을 개발 하였다.

2. 이론적 배경

2.1 Total Roll Force 모델

전,후방 장력이 부가 되어 있을 때의 Roll force는 무장력 상태의 Roll Force와 다음과 같은 관계가 있다. [1]

$$F \approx F^*(1 + a_b t_b + a_f t_f) \quad (2.1)$$

여기에서,

F = Roll Force per Unit Width, under plane strain condition

F^* = Roll Force per Unit Width, no tension is applied

t_b = non-dimensional back tension

t_f = non-dimensional front tension

a_b, a_f = constant

a_b, a_f, F^* 는 압연 조건에 따라 다음과 같이 Friction Coefficient (μ), Shape Factor(s), 압하율(r)의 함수이다. [1]

2.2 Roll Force Profile 모델

본 연구에서는 Strip을 폭방향으로 N 개 ($N=10000$)로 나누어 각 Section에서의 Roll Force를 계산하였다.

정의로부터 폭방향 위치 x 에서의 roll force는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} F(x) &= \bar{\sigma}_y(x)l = [\bar{\sigma}_z(x) - kf_1(\alpha)]l \\ F(x) &= \bar{\sigma}_y(x)l = [\bar{\sigma}_x(x) - kf_2(\alpha)]l \end{aligned} \quad (2.2) \quad (2.3)$$

따라서, 각 Section에서 $\bar{\sigma}_z(x)$ 또는 $\bar{\sigma}_x(x)$ 를 알면 Roll Force를 계산할 수 있고, 각 Section에서의 Roll Force로부터 Roll Force Profile을 계산할 수 있다.

식(2.1)과 (2.2), (2.3)을 결합하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} F(x) &= F^*(1 + a_b t_b + a_f t_f) = [\bar{\sigma}_z(x) - kf_1(\alpha)] \cdot l \\ &= [\bar{\sigma}_x(x) - kf_2(\alpha)] \cdot l \end{aligned}$$

2.3 τ_{zx} 의 계산

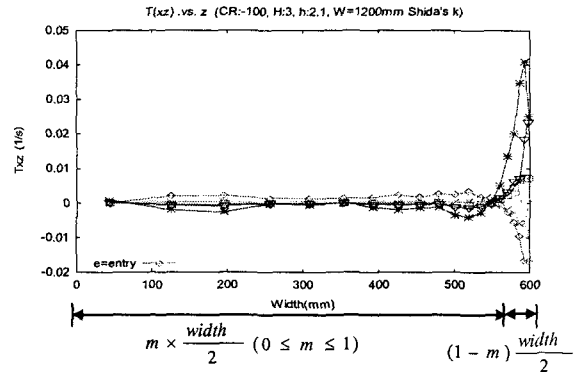


Fig. 1 τ_{zx} distribution along width direction

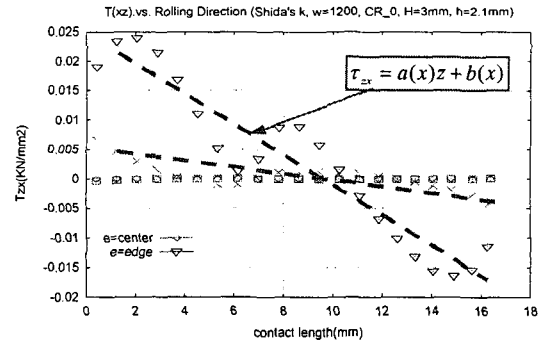


Fig. 2 τ_{zx} distribution along rolling direction

폭방향 center부터 $m \times \text{width}/2$ ($0 \leq m \leq 1$)까지의 τ_{zx} 는 매우 작으므로 0이라고 가정하였으며, $m \times \text{width}/2$ 에서 Edge까지는 선형적으로 증가하며 Edge ($x=\text{width}/2$)에서 최대값을 갖는다고 가정하였다.

한편, 압연 길이 방향의 τ_{zx} 는 길이 방향(z)에 대해 선형적인 관계가 있다고 가정하였으며 1차항과 상수항의 $a(x)$ 과 $b(x)$ 는 압연 길이방향(z)에 독립적이라고 가정하였다.

Fig.1과 Fig.2는 τ_{zx} 의 압연 길이방향 및 폭방향 분포를 FEM Simulator로 확인한 결과이며 선형에 가까운 값을 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

$$\tau_{zx} = a(x)z + b(x)$$

2.4 Calculation of Frictional Force $F_x(x)$

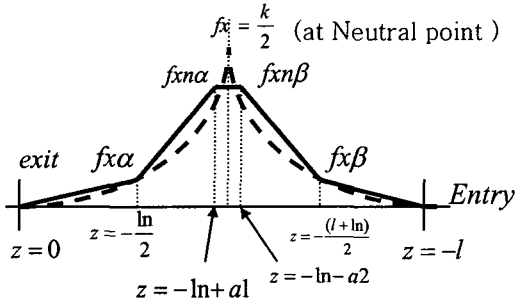


Fig. 3 Frictional force distribution along rolling direction at strip edge(-- assumption — original)

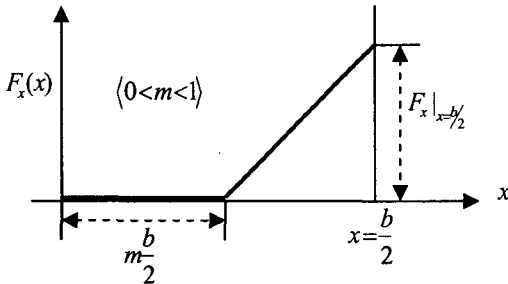


Fig. 4 Frictional force distribution along x-direction.

Fig.3 의 가정으로부터 Edge 에서의 Frictional Force 를 계산하고, Fig.4 로부터 폭방향으로 Friction Force $F_x(x)$ 를 계산하여 $F(x)$ 를 계산한다.

무한히 작은 직육면체의 힘의 평형으로부터 $\bar{\sigma}_x(x)$ 를 계산하면,

$$\frac{d\bar{\sigma}_x}{dx} = -\frac{1}{H(x)l(x)(1-\frac{2}{3}r(x))}(-2F_x(x)+M(x))$$

이때 $M(x)$ 는 τ_{zx} 의 함수, 즉 m 의 함수이며, $F_x(x)$ 도 m 의 함수이므로 m 값에 따라서 strip 폭방향 위치 x 에서의 stress 분포가 결정됨을 알 수 있다.

공정조건별로 FEM Simulation 을 실시하여 다음과 같은 m 값의 함수를 구하였다.

$$f(m) = -0.125 - 0.375r + 0.0372s + -0.000510\frac{W}{H} + 0.123\ln(r) - 0.339\ln(s) + 0.320\ln\left(\frac{W}{H}\right)$$

3. 실험 방법 및 결과

Strip Profile 예측 모델의 정도를 확인 하기 위하여 다음과 같은 공정조건을 부여하여 Strip Profile 예측 모델 결과와 FEM Simulation 결과를 비교하였다.

Table. 1 Simulation condition for comparing results between FEM and Model

	Roll Crown	Roll Force	m	Common
Crown 0	0.0	800	0.90	H=3.0, r=0.3 W=1200
Crown-100	-100	835	0.92	
Crown+100	+100	789	0.87	No ension

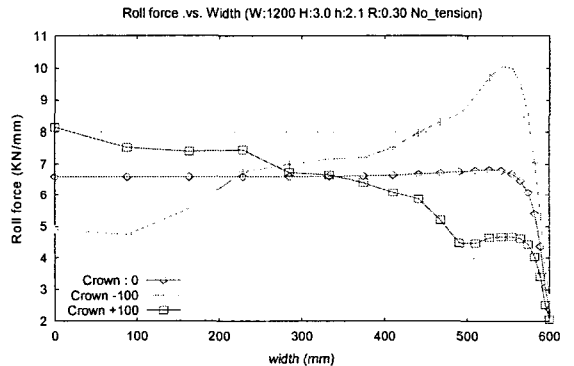


Fig. 5 Roll force distribution by FEM simulation at various crown condition

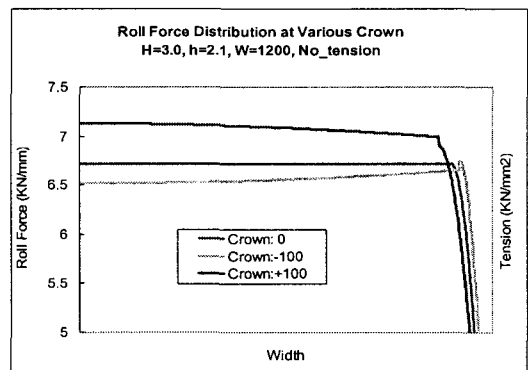


Fig. 6 Roll force distribution by Model simulation at various crown condition

4. 결 론

Strip의 폭방향 유동은 크게 Pre-Spread Zone과 Bite-Spread Zone으로 나누어 생각할 수 있으며, 두개의 Zone으로 나누는 기준점이 $mb/2$ 이다.

($0 \leq m \leq 1$)

Friction Force와 Shear Stress(τ_{zx})는 모두 m 과 선형적인 관계를 갖고 있으며, m 이 작을수록 Friction Force(f_x)와 α 가 모두 크게 된다. m 값이 크면 소성유동이 Edge에만 집중적으로 일어나고 Roll force와 장력편차도 Edge에 집중된다. 이때 m 값은 Strip의 Shape Factor와 판폭(또는 판폭비)등의 Strip Geometry와 전후방장력, 압하율등 압연 조건에 따라 달라진다.

본 연구에서 개발한 Strip의 폭방향 Roll Force 예측 모델에 Roll Profile을 결합하면, 좀 더 완전한 열연 관형상 예측 모델이 될 것이며 열연의 관 Profile 예측 및 형상에 관련된 다양한 문제들을

예측 및 해결하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) W.J.KWAK, Y.H.KIM, J.H.LEE and S.M.HWANG, "A Precision On-Line Model for the Prediction of Roll Force and Roll Power in Hot-Strip Rolling", Metallurgical and Materials Transactions A, Vol. 33A, October 2002.
- (2) Hiromi MATSUMOTO, "2-Dimensional Lateral-Material-Flow Model Reduced from 3-Dimensional Theory for Flat Rolling", ISIJ International Vol.31, No.6, pp.550-558. 1991
- (3) M.S.Joun and S.M.Hwang, "An Approximate Analysis of Hot-Strip Rolling-A New Approach", Int.J.Mech.Sci, Vol.34, No.12, pp.985-998, 1992.