

<論 文>

강판의 열간압연 선진율 예측모델의 개발

문영훈* · 천명식* · 이상혁* · 이준정*

(1994년 9월 3일 접수)

Development of Forward Slip Model in Hot Strip Mill

Young Hoon Moon, Myeong Sik Chun, Sang Hyeok Lee and Joon Jeong Yi

Key Words : Finish Mill(마무리압연), Forward Slip(선진율), Hot Strip Mill(열간압연), Neutral Point(중립점), Coefficient of Friction(마찰계수), Angle of Bite(바이트각도), Neutral Angle(중립각)

Abstract

A prediction model on forward slip has been developed for presetting rolling speed of each finish mill stand in the continuous hot strip production. Those factors such as neutral point, friction coefficient, volume fractions undergoing width spread, shape of deformation zone at each side of entry and delivery of the rolls were taken into account. To reduce the speed unbalance between adjacent stands a refining method of adjusting friction coefficient has also been developed. On-line application of the model showed a good agreement in rolling speeds between the predictions and the actual measurements, and gave an outstanding improvement in the travelling stability of strip passing through the finishing mill train.

기호설명

h_i	: i -스탠드의 판두께	W_F^*	: FM 출측 폭
Δh_i	: i -스탠드 압하(Draft)량	W_R	: 열간폭계 설정폭(RM 출측)
V_i	: i -스탠드의 판속도	W_F	: 열간폭계 설정폭(FM 출측)
V_{Ni}	: i -스탠드 중립점에서의 판속도	ΔW_R	: RM 출측폭 편차
V_i^o	: i -스탠드의 롤 주속도	ΔW_F	: FM 출측폭 편차
f_i	: i -스탠드의 선진율	ΔW	: 사상압연 폭변화량
R_i	: i -스탠드의 작업롤 반경	H	: Bar두께
RE_i	: i -스탠드의 압하율	h	: 코일두께
$A_1 \cdot A_3, C_1 \cdot C_4$: 계수	W	: 코일폭
h_{Ni}	: i -스탠드 중립점에서의 두께	S	: 스탠드번호
W_{Ni}	: i -스탠드 중립점에서의 판폭	L_p	: 롤 접촉장
α	: 바이트각도(angle of bite)	μ	: 마찰계수
δ	: 중립각(neutral angle)		
W_R^*	: RM 출측 폭		

I. 서 론

성분계의 강종이 투입되고 있고 압연치수에 대한 수요가의 요구 또한 엄격, 다양화됨에 따라 열간 마무리압연(finish rolling)이 보다 중요시 되고 있다. 사상압연 조업 전반을 설정해 주는 마무리압연 설정모델(finish mill set-up model)을 구성하고 있는 여러 요소모델들 중 선진율 예측모델은 연속 압간압연 스텠드 사이의 mass balance를 통해 압연통 판성을 직접 영향을 미치고 있으나, 실측의 어려움 때문에 다른 조업 실적으로부터 예측하여 사용하고 있다. 선진율은 롤주속 대비판 속도의 비율로 정의되는데 본 연구에서는 이 선진율 모델의 정도를 향상시킴으로써 압연시 인접 스텠드간의 속도균형을 유지하고 통판안정을 기할 수 있도록 하였다. 현재 사용되고 있는 여러 형태의 선진율 예측식⁽¹⁾은 사용 조업변수가 각 모델별로 다르며 예측정도 또한 차이가 나므로 해당 압연기의 기계적 특성 및 압연조건에 맞는 식이 필수적으로 요구되고 있다. 본 연구에서는 롤 입, 출측에서의 변형거동 등이 종합적으로 고려된 정도높은 선진율 모델을 개발함으로써 선진율에 의해 계산되는 압연속도의 예측편차를 감소시키고 사상압연시 판의 통판성을 개선시키고자 하였다. 본 연구에서 개발된 모델은 포항제철(주) 광양제철소 열연공장을 대상으로 하여 그 적용성 및 개선효과를 평가하였다.

2. 이론적 배경

압연판과 롤표면 사이의 상대적 슬링(relative slip)은 중요한 압연현상 중의 하나이다. 일반 압연상태에서 선진율은 후진율(backward slip)과 함께 압연롤과 판 사이의 상대적 슬링을 나타내는 척도로 볼 수 있는데, 롤바이트(roll bite) 내에서 이러한 상대적 슬링은 가변적이고 측정이 용이하지 않으며 특히 열간압연의 경우 판이 고온상태이므로 판의 속도를 실측하는데 여러 제한이 따른다. 따라서 대부분의 선진율 계산식은 판이 평면변형(plane strain)을 하고 체적균형(mass balance)이 유지된다는 가정하에서 식(1)에 근거한 계산식으로부터 선진율을 구한다. (Fig. 1)

$$\begin{aligned} h_1 V_1 &= h_2 V_2 = \dots = h_i V_i \\ h_1 V_i^o (1+f_i) &= h_2 V_2^o (1+f_2) = \dots \\ &= h_i V_i^o (1+f_i) \end{aligned} \quad (1)$$

선진율은 위 식으로부터 다음과 같이 정의된다.

$$f_i = V_i / V_i^o - 1 = (V_i - V_i^o) / V_i^o \quad (2)$$

선진율은 식(2)의 정의로부터 판속도, V_i 와 롤 주속, V_i^o 를 알면 구할 수 있으나 열연판의 속도, V_i 를 측정하기가 용이하지 않으므로 계산을 통해 선진율을 구하는 연구가 많이 행해져 왔다.^(1~3)

3. 연구내용

3.1 해석적 방법에 의한 선진율 모델의 개발

압연속도 모델은 선단부두께에 미치는 영향뿐 아니라 사상압연 전반의 작업성(통판성)에 영향을 미치게 되므로 정확한 속도의 예측이 필요하다. 실제 열간압연시 판의 속도를 롤의 주속도로부터 계산하므로 선진율 예측식의 정확도에 의해 압연속도 모델의 정확도가 영향을 받는다. 따라서 본 연구에서는 스텠드별 특성과 선진율 영향인자를 폭넓게 고려하고, 압연중 판폭변화시 이로 인한 오차유발 가능성이 크므로⁽²⁾ 마무리압연시 판폭변화를 고려한 정도 높은 선진율 모델을 개발하고자 하였다.

Fig. 1의 입, 출측소재의 mass balance로부터,

$$h_{i-1} \cdot V_{i-1} \cdot W_{i-1} = h_i \cdot V_i \cdot W_i \quad (3)$$

식(3)을 선진율을 포함하는 식으로 표현하면,

$$h_{i-1} \cdot V_{i-1}^o \cdot W_{i-1} \cdot (1+f_{i-1}) = h_i \cdot V_i^o \cdot W_i \cdot (1+f_i) \quad (4)$$

i -스탠드의 선진율은 식(2)로 정의된다. 식(2)에서 V_i 를 실측으로 알 수 없으므로, 롤바이트내에 존재하는 중립면을 이용하여 선진율, f_i 를 계산한다. 식(1)의 mass balance는 롤바이트 내에서도 성립하므로

$$\begin{aligned} h_{i-1} \cdot V_{i-1} \cdot W_{i-1} \\ = h_{Ni-1} \cdot V_{Ni-1} \cdot W_{Ni-1} \end{aligned}$$

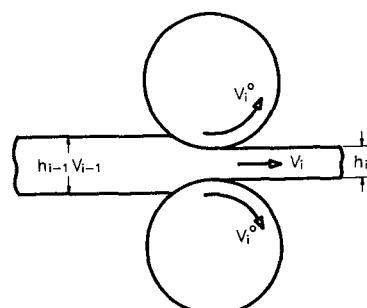


Fig. 1 Mass flow

$$\begin{aligned} &= h_{Ni} \cdot V_{Ni} \cdot W_{Ni} \\ &= h_i \cdot V_i \cdot W_i \end{aligned} \quad (5)$$

식(5)로부터

$$V_i = \frac{h_{Ni} \cdot V_{Ni} \cdot W_{Ni}}{h_i \cdot W_i} \quad (6)$$

식(6)을 식(2)에 대입하면

$$f_i = \frac{h_{Ni} \cdot V_{Ni} \cdot W_{Ni}}{h_i \cdot V_i^o \cdot W_i} - 1 \quad (7)$$

Fig. 2에 나타낸 기하학적 관계로부터

$$h_{Ni} = h_i + 2 \cdot R_i \cdot (1 - \cos \delta_i) \quad (8)$$

중립점에서는 슬립(slip)이 없으므로, 판속도는 롤 주축의 수평방향 속도분만 취하면 된다.

$$V_{Ni} = V_i^o \cdot \cos \delta_i \quad (9)$$

따라서 식(7)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$f_i = \frac{h_{Ni} \cdot W_{Ni}}{h_i \cdot W_i} \cdot \cos \delta_i - 1 \quad (10)$$

따라서 W_{Ni} 를 알면 식(10)을 통해 선진율을 계산할 수 있다. W_{Ni} 를 알기 위해서는 롤바이트 내에서의 판폭변화 거동을 알아야 하는데 본 해석에서는 Fig. 3과 같이 선형적 판폭증가를 가정한

후 스텐드별 판폭변화량을 계산하였다.

기하학적으로,

$$\begin{aligned} \tan \alpha &= (\Delta h / R)^{0.5} \\ L_p &= (\Delta h \cdot R)^{0.5} \\ \tan \theta &= \frac{W_i - W_{i-1}}{2 \cdot L_p} \end{aligned} \quad (11)$$

따라서, i -스텐드의 판폭은 식(11)로부터,

$$W_i = W_{i-1} + 2 \cdot L_p \cdot \tan \theta \quad (12)$$

위 식(12)의 정확한 값을 계산을 통해 얻기는 용이하지 않으므로 본 연구에서는 현장측정을 통해 얻어진 사상압연 전후의 전체 폭변동량(ΔW)으로부터 각 스텐드에서의 압하량(Δh_i)으로 분배하는 방법을 사용하여 각 스텐드에서의 폭을 계산하였다. 즉,

$$W_i = W_{i-1} + 2 \cdot L_p \cdot \tan \theta \quad W_{i-1} + \Delta W \cdot \Delta h_i / (\sum \Delta h_i) \quad (13)$$

판폭이 롤바이트 내에서 선형적으로 증가한다고 가정하였으므로, 중립점에서의 판폭 W_{Ni} 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

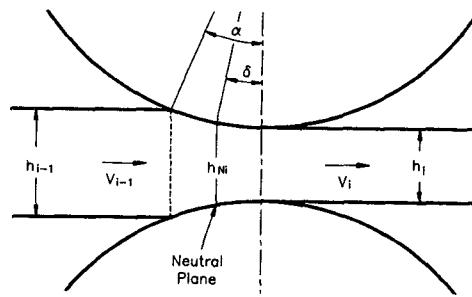


Fig. 2 Geometry of roll bite

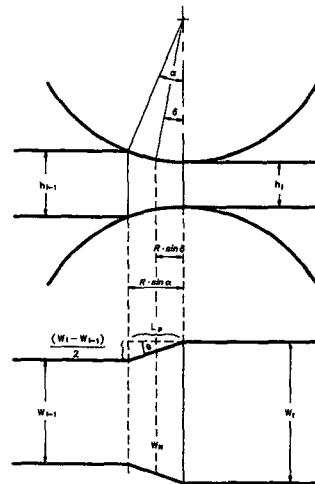


Fig. 3 Schematic drawing of change in strip width during finish mill rolling

$$\begin{aligned} W_{Ni} &= W_{i-1} + (W_i - W_{i-1}) \cdot (1 - \sin \delta_i / \sin \alpha_i) \\ &= W_{i-1} + \Delta W \cdot \Delta h_i / (\sum \Delta h_i) \cdot (1 - \sin \delta_i / \sin \alpha_i) \\ &= W_i - \Delta W \cdot \Delta h_i / (\sum \Delta h_i) \cdot (\sin \delta_i / \sin \alpha_i) \end{aligned} \quad (14)$$

$(\sin \delta_i / \sin \alpha_i)$ 값을 통해 식(14)의 W_{Ni} 를 구할 수 있으므로, Oncewicz⁽¹⁾의 이론을 도입하여 전·후방 장력을 무시할 때 평형방정식으로 $\sin \alpha_i$ 와 $\sin \delta_i$ 의 관계를 유도하였다.

Fig. 4로부터

$$\begin{aligned} \int_0^\alpha P_i \cdot W_i \cdot R \sin \varphi \cdot d\varphi + \int_0^\delta P_i \cdot W_i \cdot \mu \cdot R_i \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi \\ - \int_\delta^\alpha P_i \cdot W_i \cdot \mu \cdot R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi = 0 \end{aligned} \quad (15)$$

식(15)의 계산을 위해서는, 롤바이트 내에서의 판폭과 마찰계수(μ)의 각도(φ)에 따른 변화를 알아야 하나, 본 모델에서는 롤바이트 내에서 마찰계수가 일정하다고 가정하였고 판폭 또한 각도에 무관

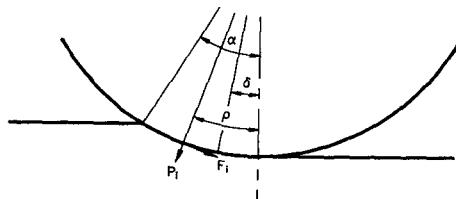


Fig. 4 Forces acting on the arc of the roll contact

하다고 가정하여 식(15)를 푼 후 미세조정과정에서 조업실적을 통해 일정량을 보상해 주도록 하였다. 즉, 판폭과 마찰계수가 일정하다고 가정하여 식(15)를 풀면,

$$\sin \delta_i = 0.5 \cdot [\sin \alpha_i - (1 - \cos \alpha_i) / \mu] \quad (16)$$

식(16)을 $\sin \alpha_i$ 로 나누면,

$$\begin{aligned} \sin \delta_i &= / \sin \alpha_i \\ &= 0.5 \cdot [1 - (1 - \cos \alpha_i) / \mu \cdot \sin \alpha_i] \end{aligned} \quad (17)$$

Seregin⁽³⁾은 판폭변화에 의해 선진율 및 중립점 위치가 변한다고 하였는 판폭퍼짐이 증가할수록 mass balance로부터 선진율은 감소하는 경향을 갖는다. 따라서 식(17)은 실제 존재하는 폭퍼짐을 없다고 가정한 것이므로 $(\sin \delta_i / \sin \alpha_i)$ 의 최대치로 생각할 수 있다. 따라서 식(17)의 영향인자 중 마찰계수의 최소치를 사용해 줌으로써 식(17)의 $(\sin \delta_i / \sin \alpha_i)$ 가 실제값에 근접할 수 있다. 판이 롤에 치입되기 위한 한계조건으로부터,

$$\begin{aligned} F_i \cdot \cos \alpha_i &\geq P_i \cdot \sin \alpha_i \\ F_i / P_i &\geq \sin \alpha_i / \cos \alpha_i \end{aligned} \quad (18)$$

$F_i = \mu_i \cdot p_i$ 이므로

$$\mu_i \geq \tan \alpha_i = (\Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (19)$$

따라서

$$\mu_{min} = (\Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (20)$$

식(20)을 식(17)에 대입하면,

$$\begin{aligned} \sin \delta_i / \sin \alpha_i &= 0.5 \cdot \{1 - (1 - \cos \alpha_i) \\ &/ [(\Delta h_i / R_i)^{0.5} \sin \alpha_i]\} \end{aligned} \quad (21)$$

또한,

$$\begin{aligned} \sin \alpha_i &= L_p / R_i \\ &= (\Delta h_i \cdot R_i)^{0.5} / R_i \end{aligned} \quad (22)$$

$$= (\Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (23)$$

$$\cos \alpha_i = (1 - \Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (24)$$

식(22), (23)를 식(21)에 대입하면,

$$\begin{aligned} \sin \delta_i / \sin \alpha_i &= 0.5 \cdot \{1 - [1 - (\Delta h_i / R_i)^{0.5}] \\ &/ (\Delta h_i / R_i)\} \end{aligned} \quad (24)$$

따라서, 식(24)로 식(14)의 W_{Ni} 를 구하고, 식(10)을 통해 선진율을 구한다.

3.2 사상압연 중 판폭변화량(ΔW) 예측식

사상압연 중의 판폭변화량을 계산하기 위해 조업 실적을 이용하여 각 스텐드별 판폭변화량을 예측할 수 있는 식을 만들었다. 조압연(roughing mill) 및 사상압연(finish mill) 출축에서의 폭을 열간 폭계 설정치와 폭편차의 합으로 잡아 사상압연 전후의 폭변동량을 다음식으로 계산한 후 회귀분석을 통해 폭변동식을 계산하였다. 사상압연 전후의 폭변동량은 다음의 식(25)를 이용하여 구하였다.

$$\begin{aligned} \Delta W &= W_R^* - W_F^* \\ &= W_R + \Delta W_R - (W_F + \Delta W_F) \end{aligned} \quad (25)$$

위의 방법으로 구한 폭변동량을 Bar두께, 코일두께, 코일폭 등의 함수로 회귀분석한 후 얻어진 폭변동식은 다음과 같다.

$$\Delta W = C_1 H + C_2 h + C_3 W + C_4 \quad (26)$$

Fig. 5에 폭변동식과 실적 폭변동량의 상관성을 보였다.

3.3 선진율 모델 미세조정 (Refine)

각 스텐드별로 신선진율 모델을 사용하여 얻어진 속도, $V_{i,NEW1}$ 은 식(27)과 같이 나타낼 수 있다.

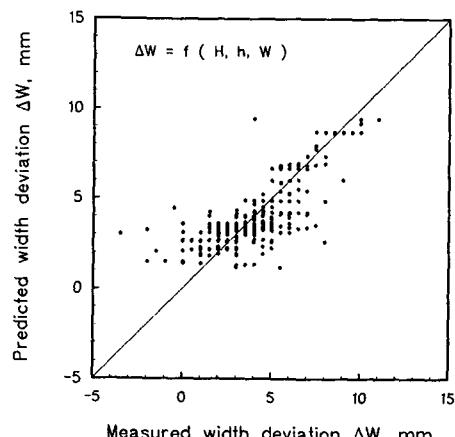


Fig. 5 The prediction accuracy of width change model

$$V_{i,\text{NEW1}} = \frac{h_6 V_{6,\text{NEW1}} (1 + f_{6,\text{NEW1}})}{h_i (1 + f_{i,\text{NEW1}})} \quad (27)$$

반면, 미세조정 후 얻어질 속도, $V_{i,\text{NEW2}}$ 는 다음의 식(28)과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_{i,\text{NEW2}} = \frac{h_6 V_{6,\text{NEW2}} (1 + f_{6,\text{NEW2}})}{h_i (1 + f_{i,\text{NEW2}})} \quad (28)$$

신 선진율 모델을 사용하여 구한 압연속도, $V_{i,\text{NEW1}}$ 와 실적속도, $V_{i,\text{ACT}}$ 의 예측정도를 α_i 를 사용하여 식(29)과 같이 표현하면,

$$\alpha_i = \frac{V_{i,\text{ACT}} - V_{i,\text{NEW1}}}{V_{i,\text{NEW1}}} \quad (29)$$

실적속도와 예측속도 사이에는 식(30)의 관계가 성립된다.

$$V_{i,\text{ACT}} = V_{i,\text{NEW1}} (1 + \alpha_i) \quad (30)$$

따라서 신선진율 모델을 미세조정한 후에 얻게 되는 최종예측 압연속도, $V_{i,\text{NEW2}}$ 가 실적속도와 동일한 값을 가져야 하므로 식(31)과 같은 관계를 만족시켜야 한다.

$$V_{i,\text{NEW2}} = V_{i,\text{ACT}} \quad (31)$$

식(30)과 식(31)로부터 식(32)의 관계를 얻을 수 있다.

$$V_{i,\text{NEW2}} = V_{i,\text{NEW1}} \quad (32)$$

식(32)에 식(27), 식(28)을 대입하면 식(33)을 얻게 되는데 신선진율 $f_{i,\text{NEW1}}$ 을 미세조정한 후에 얻게 되는 최종 선진율 모델, $f_{i,\text{NEW2}}$ 는 식(33)을 만족시켜야 한다.

$$\begin{aligned} & \frac{h_6 V_{6,\text{NEW2}} (1 + f_{6,\text{NEW2}})}{h_i (1 - f_{i,\text{NEW2}})} \\ &= \frac{h_6 V_{6,\text{NEW1}} (1 + f_{6,\text{NEW1}})}{h_i (1 - f_{i,\text{NEW1}})} (1 + \alpha_i) \end{aligned} \quad (33)$$

식(33)은 동일항목을 소거하면 식(34)와 같이 된다.

$$\frac{V_{6,\text{NEW2}} (1 + f_{6,\text{NEW2}})}{(1 - f_{i,\text{NEW2}})}$$

$$= \frac{V_{6,\text{NEW1}} (1 + f_{6,\text{NEW1}})}{(1 - f_{i,\text{NEW1}})} (1 + \alpha_i) \quad (34)$$

식(34)를 최종(6번) 스텐드에 적용시킬 경우 식(35)의 관계가 얻어지고,

$$\begin{aligned} & \frac{V_{6,\text{NEW2}} (1 + f_{6,\text{NEW2}})}{(1 - f_{i,\text{NEW2}})} \\ &= \frac{V_{6,\text{NEW1}} (1 + f_{6,\text{NEW1}})}{(1 - f_{i,\text{NEW1}})} (1 + \alpha_6) \end{aligned} \quad (35)$$

식(33), 식(35)로부터 스텐드별로 다음과 같은 관계를 구할 수 있다. 즉

$$\frac{(1 + \alpha_6) (1 + f_{6,\text{NEW2}})}{(1 + f_{i,\text{NEW2}}) (1 + f_{6,\text{NEW1}})} = \frac{(1 + \alpha_i)}{(1 + f_{i,\text{NEW1}})} \quad (36)$$

식(36)을 정리한 후, K (stand characteristic factor)를 식(37)과 같이 정의하여 사용할 수 있다.

$$K = \frac{(1 + \alpha_6)}{(1 + \alpha_i)} = \frac{(1 + f_{i,\text{NEW2}}) (1 + f_{6,\text{NEW1}})}{(1 + f_{6,\text{NEW2}}) (1 + f_{i,\text{NEW1}})} \quad (37)$$

이상의 기본식을 이용하여 신모델의 적용 후 발생할 수 있는 스텐드간 속도불균형을 미세하게 조정하였다. K 값은 실제 조업을 통해 스텐드별로 얻어진 속도 예측편차, α_i (식(29))를 이용하여 식(37)로부터 구하며 이때의 K 값을 만족시키는 마찰계수식을 만들기 위해 신선진율 모델에서 쓰고 있는 마찰계수식인 식(38)을 식(39)과 같이 F 라는 보상인자를 사용하여 조정 가능하게 한다.

$$\mu_{\text{NEW1}} = (\Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (38)$$

$$\mu_{\text{NEW2}} = F (\Delta h_i / R_i)^{0.5} \quad (39)$$

따라서 식(37)을 만족시키는 식(39)의 F 값을 구하고, 이때의 마찰계수값을 통해 압연속도를 재계산하면 실적 압연속도에 더욱 근접하게 된다.

4. 연구결과

4.1 신모델의 개선효과

본 연구에서 개발된 선진율 모델을 사용하여 예측된 선진율 값을 Table 1 나타내었다. 신모델의

Table 1 The comparison of forward slip (2000 coil)

	Stand 1	Stand 2	Stand 3	Stand 4	Stand 5	Stand 6
Old model	0.08380	0.08589	0.07451	0.06938	0.05830	0.04511
New model	0.04230	0.04539	0.03140	0.02651	0.01865	0.01130

예측정도의 비교평가를 위해 현재 마무리압연 설정 용모델로 사용되고 있는 식(40) 형태의 선진율 모델과 예측정도를 비교하였다.

$$f_i = (A_1 \cdot RE_i + A_2)^{1/2} + A_3 \quad (40)$$

Table 1의 스텠드별 선진율값을 비교해 보면 본 모델의 선진율 값이 기존 선진율 값에 비해 낮음을 알 수 있고 후단 스텠드로 갈수록 기존모델과 신모델 선진율차가 증가하여 최종 스텠드의 경우 기존 모델의 25% 수준밖에 되지 않는다. 이는 기존모델의 선진율 예측이 단순히 압하율의 합수만으로 계산 되었기 때문에 압하량에 크게 좌우되는 선진율을 정확하게 예측해 주지 못하기 때문이다. 본 선진율 모델의 속도예측 개선효과를 확인해 보기 위해 현장조업 모델을 신모델로 교체한 후 각 스텠드별 속도편차 증감 양상을 점검해 본 결과 전 시험 강종에 걸쳐 속도편차가 감소하는 효과를 보였다. Fig. 6에 국저탄소강의 예를 들어 강종별 속도편차 감소량을 나타내었는데, 본 연구의 선진율 모델이 기존의 모델에 비해 예측정도가 우수함을 잘 보여주고 있다.

4.2 미세조정후의 최종모델 개선효과

이상의 신모델을 적용하였을때 전반적인 속도편차는 크게 감소하였으나 인접스텐드별 속도불균형에 의해 발생될 수 있는 통판 불안정성을 방지하고

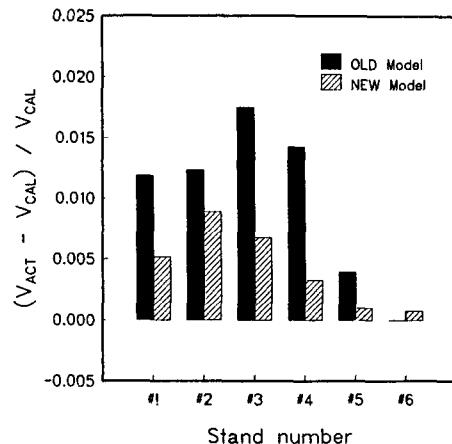


Fig. 6 Prediction accuracy of rolling speed

자 '3.3'절에서 설명한 미세조정을 실시하였다. 극 저탄소강을 대상으로 두께 그룹별로 발생된 속도편차를 이용하여 속도편차 미세조정을 위한 보상식을 얻었는데 Table 2에 신모델을 이용해 현장 조업실적으로부터 얻어진 구분별 K 값을 보였다.

K 값은 실제 조업을 통해 스텠드별로 얻어진 속도 예측편차, α_i (식(29))를 이용하여 식(37)로 부터 구했다. Table 2의 구분별 K 값의 변화양상이 스텠드별로 비슷하고 강종별 특이 사항이 없으므로 강종구분없이 스텠드별 평균치를 기준으로 하여 미세조정을 실시하였다. Table 2의 K 값을 만족시

Table 2 K-value for ultra low-C steel

Thickness range Stand no.	2.5~3.0 (mm)	3.0~3.5 (mm)	3.5~4.0 (mm)	4.0~4.5 (mm)	Above 4.5
Stand 1	0.9848	0.9810	0.9983	0.9983	0.9972
Stand 2	0.9813	0.9778	0.9954	0.9956	0.9913
Stand 3	0.9835	0.9817	0.9991	0.9943	0.9910
Stand 4	0.9936	0.9871	0.9980	0.9980	0.9919
Stand 5	0.9968	0.9962	0.9943	1.0018	0.9970
Stand 6	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Table 3 Average F-value for ultra low C-steel

Stand 1	Stand 2	Stand 3	Stand 4	Stand 5	Stand 6
0.8321	0.8180	0.8040	0.3121	0.3100	0.2998

키는 마찰계수식을 만들기 위해 식(39)의 F 값을 조정을 통한 통판성 개선효과를 확인하였다. 실제 압연을 통해 구하였다.

Table 3의 F -value를 식(41)의 형태로 신모델에 보완시켜 인접 스템드간의 속도균형(speed balance)에 의한 통판성 개선효과를 얻었고 예측정도가 크게 향상된 열연 조업모델로 활용할 수 있게 되었다.

$$F\text{-value} = 0.83 - 0.5S$$

$$S = \begin{cases} 0 & \text{for stand \# 1, 2, 3} \\ 1 & \text{for stand \# 4, 5, 6} \end{cases} \quad (41)$$

5. 결 론

(1) 를바이트(bite) 내에서의 판의 변형거동에 영향을 미칠 수 있다고 판단되는 영향인자 즉, 작업 틀경, 중립점, 압연중의 폭변동, 마찰계수, 틀입, 출축에서의 변형거동등이 종합적으로 고려된 정도높은 선질을 모델의 개발을 통해 스템드별 속도편차가 약 30~50% 감소하는 효과를 얻었다.

(2) 선진율 예측모델의 on-line 미세조정(refine)용 기본수식을 개발하여 마찰계수 보상인자(F)의

후 기

본 논문은 포항제철(주)의 연구비(POSCO-93A070) 지원에 의해 수행된 연구결과의 일부로써 이에 감사의 뜻을 표합니다.

참고문헌

- (1) Koncewicz, S., 1991, "Investigation on the Forward-Slip and the Neutral Angle in Flat Rolling," *Archives of Metallurgy*, Vol. 36, pp. 115 ~130.
- (2) Bakhtinov, Yu. B., 1988, "Forward and backward slip during rolling," *Steel in the USSR*, Vol. 18, pp. 364~367
- (3) Seregin, S. A., 1989, "Relation Between Forward Slip and Spread in Rolling," *Steel in the USSR*, Vol. 19, pp. 438~440