

열간 조압연에서 비대칭압연 해석

박해두* · 정진환* · 배원병**

Analysis of Asymmetric Plate Rolling in Roughing Mill

H. D. Park, J. H. Chung and W. B. Bae

Abstract

In the hot strip mill, a bad threading and shape of strip strip in the finishing mill was caused by asymmetric rolling in roughing mill. Mathematical analysis for camber control of roughing mill in hot strip rolling has been developed. Each equation in the camber control model was derived from geometrical characteristics of camber mechanism. The model can predict variables such as wedge, side slippage and roll force difference etc. from a measured camber value and then find an optimum roll gap condition for minimizing camber in the next pass.

Key Words : Asymmetric, Finishing mill, Roughing mill, Hot rolling mill

1. 서 론

열간압연에서 캠버란 압연소재가 비대칭 압연중에 판 폭 방향으로의 연신율차가 발생하여 압연판이 평면상에서 휘게되는 현상을 말한다. 이러한 캠버현상은 열간압연뿐만아니라, 후판압연, 냉연압연등에서도 많이 발생하는 문제이다. 열간압연의 사상압연기와 냉간압연에서는 선단부에서 캠버가 발생되더라도 권취가 시작되면 압연판에서 적정 장력이 걸리게 되어 비교적 제어가 쉽게 된다. 그러나 열연 조압연에서는 캠버를 제어 할 수 있는 장력을 부과할 수 없으므로 금속유동(Metal flow)이 자유로와 캠버 발생빈도가 상당히 높다. 열연 조압연에서

발생된 캠버는 후공정의 사상압연에서 편파발생, Miss-roll의 발생, 그리고 판꼬임, 열연 코일의 Telescope 등의 원인이 되며, 작업성에 크게 영향을 준다. 그러므로, 열연 조압연에서의 캠버제어는 두께정도 및 평탄도 등의 형상제어 못지 않게 제품의 품질을 좌우하는 중요한 인자이며, 캠버의 발생은 제품생산의 실수율을 감소시킬 뿐만아니라 심한 경우 Miss-roll이 되거나 후공정의 작업에 영향을 미치게 되어 생산성을 떨어뜨리는 원인이 된다. 압연도중 캠버가 발생되면 발생된 캠버를 없애주기 위해 다음 Pass 압연시 압연기 좌우(Work-side, Drive-side)의 롤 갭편차를 주어 압연을 행하고 있다. 이때 캠버의 발생량은 물론, 캠버제거를 위해 조절되는 롤

* POSCO 기술연구소광양압연연구그룹

** 부산대학교 기계설계학과

캠퍼차량은순전히 작업자의 목적과 사상압연 조업자의 정보에 의존하고 있어 그다지 큰 효과를 기대하기는 힘든 실정이다.

본 논문은 비대칭압연 현상을 Computer simulation 은 물론 모델 압연 실험 및 Pilot plant 압연기를 통해 기초 수식모델을 작성하고 이들을 현장에 적용하였다. 기초 수식모델이라 함은 여러 가지 압연 조건에 따른 캠발생량, 발생된 캠버를 다음 Pass에서 없애주기 위한 롤 갭 편차량 등의 수식화를 의미한다.

2. 이론적 고찰

2.1 조압연기 압연기의 롤 탄성변형

앞에서는 Roll Barrel중심에 대해서 좌,우 대칭압연이 행해질때 Roll변형을 구하는 식을 유도했다. 한편 최근에는 WR 혹은 Strip을 Roll축방향으로 이동시켜 판 Crown혹은 판 평탄도의 제어를 행하는 압연기가 개발 실용화 되고 있다. 이와같은 압연기의 Roll변형을 구할경우 혹은 통상 4단 Mill의 경우에도 판폭 중심과 Roll Barrel중심이 쏠린 상태에서 압연되는 경우의 Roll변형을 구하려면 좌,우 비대칭 압연시의 Roll변형을 구할 필요가 있다^{6),7)}. 이하에서는 Roll Barrel을 분할하는 계산수법을 이용한 좌,우 비대칭 압연에 있어서 Roll축심변위를 구하는 식을 나타냈다. 또한 앞의 경우와 같은 형태로 기본 식을 도입하면 압연재로 부터 WR이 받는 압연하중 분포는 주어지게 된다. Fig.2.1 에 나타낸 바와같이 Barrel 길이를 (2m+1)등분한 p(i), q(i)는 각 분할 구간에서는 같은 값으로 생각한다. 통상의 경우 m=15~20으로 충분한 精度가 얻어진다.

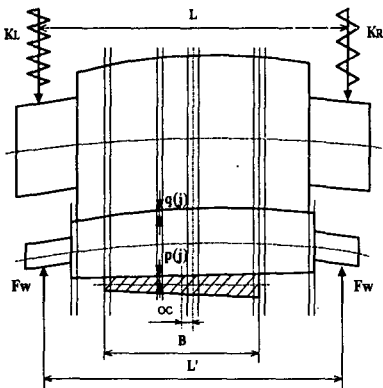


Fig. 1 Development of mathematical model for camber simulation

가. Roll에 걸리는 상하방향의 힘의 평형방정식

1) WR

$$\sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \cdot \Delta z - \sum_{j=N_L}^{N_R} p(j) \cdot \Delta z = J_L + J_R \quad (1)$$

2) BUR

$$K_3 (Y_{BL} + Y_{BR} - \frac{\Delta S_L + \Delta S_R}{2}) = \sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \cdot \Delta z \quad (2)$$

여기서 J:WR bender력,

L,R : 좌측, 우측값 표시

N : 판단(端)의 분할구간번호

ΔS : 압하 Screw개도량

Y_B : BUR축 중심의 y방향변위

(Roll Gap열림방향 +)

K_3 : 축 · Screw Housing부의

연신에 기인하는 강성

나. WR 과 BUR접촉부 변위의 적합조건식

다음식은 $i=1 \sim (2m+1)$ 까지 성립한다.

$$Y_B(i) - Y_W(i) + q(i)/K_1 = -[R_{CW}(i) + R_{CB}(i)] / 2 \quad (3)$$

여기서,

$Y_B(i)$: 제 i분할구간에서의 BUR축심변위

$Y_W(i)$: WR축심변위

또한, 각 Roll의 축심변위의 기준점은 무부하시의 Roll의 좌측 축 중심으로 한다.

$$Y_B(i) = \sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \Delta z \alpha_B(i, j) + (Y_{BR} - Y_{BL}) [L_5 + (i-0.5)\Delta z] / L_4 + Y_{BL}$$

$$Y_W(i) = - \sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \Delta z \alpha_W(i, j) + \sum_{j=N_L}^{N_R} p(j) \Delta z \alpha_W(i, j) + (Y_{WR} - Y_{WL}) [L_5' + (i-0.5)\Delta z] / L_4' + Y_{WL} \quad (4)$$

여기서,

Y_{WR} : 우측 WR축중심 위치의 y방향변위

Y_{WL} : 좌측 WR축중심 위치의 y 방향변위

(Roll열림방향+)

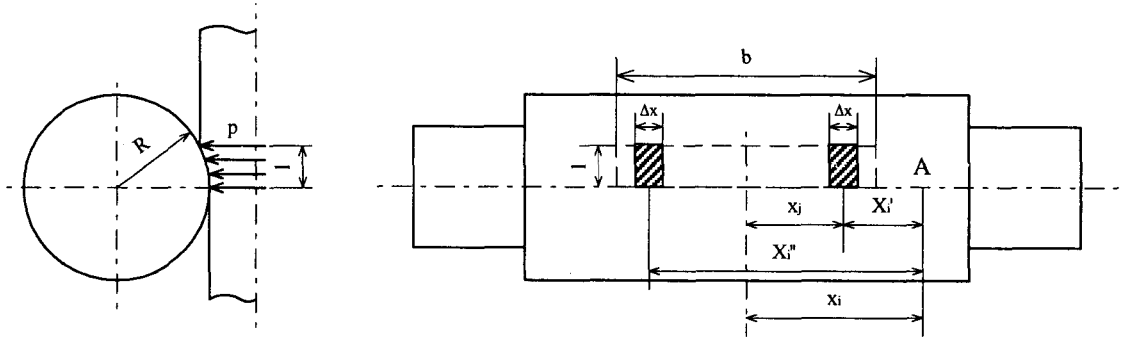


Fig. 2 Calculation model of flattening of roll surface

다. Moment평형 방정식

1) WR

$$\sum_{j=N_L}^{N_R} p(j) \Delta z [L_{S'} + (j-0.5) \Delta z] + L_{A'} \cdot J_R$$

$$= \sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \Delta z [L_{S'} + (j-0.5) \Delta z] \quad (5)$$

2) BUR

$$K_3 L_4 [Y_{BR} - \Delta S_R / 2]$$

$$= \sum_{j=1}^{2m+1} q(j) \Delta z [L_5 + (j-0.5) \Delta z] \quad (6)$$

이상 (1)~(6)식에서 미지수 $q(i) \sim q(2m+1)$,

Y_{BL} , Y_{BR} , Y_{WL} , Y_{WR} 에 대한 연립1차 방정식을 풀면 $q(j)$ 등이 구해지고 ((2)식에 의해 WR축심변위 $Y_W(i)$ 가 구해진다.

$\alpha_R(i, j)$: 물의 축심 변형 영향계수 이다.

라. 각 물의 편평량 계산

작업롤과 중간롤 사이의 편평량 및 중간롤과 보강롤 사이의 편평량은 (7)식과 같이 Hertz식에 의해 구하고, 판재와 작업 롤 사이의 편평량은 반무한 탄성체 해에 의해 구한다.

$$\delta_{WR} = \frac{2(1-\nu^2)}{\pi E} q(j) \ln \left[\frac{\pi E}{2(1-\nu^2)} \frac{R_w + R_I}{6} e^{2/3} \right] \quad (7)$$

마. 압연재와 작업롤 사이의 편평량

Fig. 2에서 보는 바와 같이 접촉투영길이 L_d , j 는 압연하중이 작용되는 점이라 할 때, 롤 길이의 중앙에서 X_i 만큼 떨어진 점 A의 편평량을 다음과 같이 반무한체의 가정으로 계산한다.

$$\delta(i, j) = \frac{1-\nu_W^2}{\pi E_W} p(j) [F(Y_i) + F(Z_i)] \quad (8)$$

여기서, $F(Y_i)$, $F(Z_i)$ 는 반무한체 표면의 집중하중 함수이고, 하중 작용점의 위치 Y_i 와 Z_i 는 각각 아래와 같다.

3. 비대칭압연 계산결과

비대칭압연의 주된 요인은 비껴압연(Off-center) 되는 현상, 좌우 Gap편차압연, 좌우 온도편차압연, 입측소재의 좌우 편차압연등이 있다. 이를 해석하기위해 압연온도 1100℃, 판폭 1100mm, 두께 50mm인 slab를 비대칭압연 한 결과를 각각 나타내었다.

가. Off-center에의한 계산 결과

Fig.3은 비대칭압연 중에서 정중앙에서 비껴서 압연한 결과로서 그양이 25, 50, 75 mm일때의 압연후의 출측 판 프로파일을 나타내고 있다.

외쪽으로 쏠릴수록 Wedge의 값이 크게 나타나고 있다. 이때 캠버의 발생량은 22.5, 45, 67.5mm가 발생됨을 나타내고 있다.

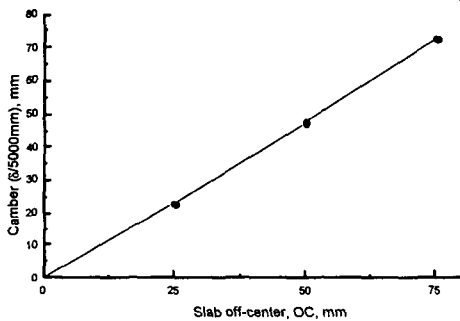
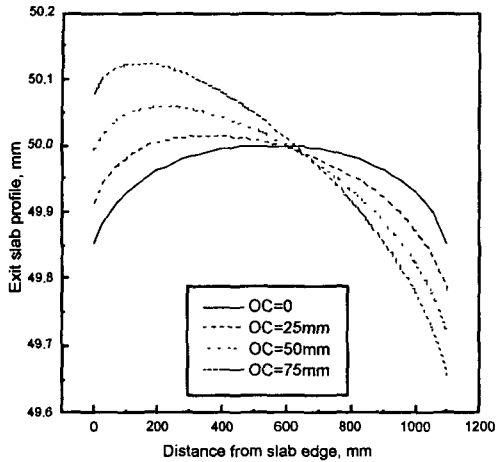


Fig. 3 Calculation results of off center rolling (25, 50, 75 mm)

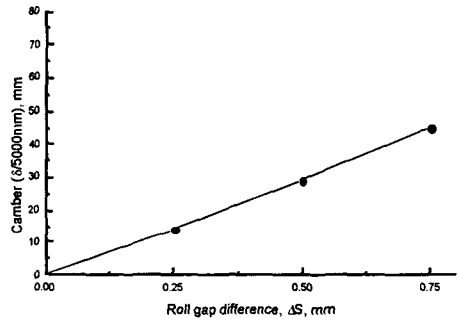
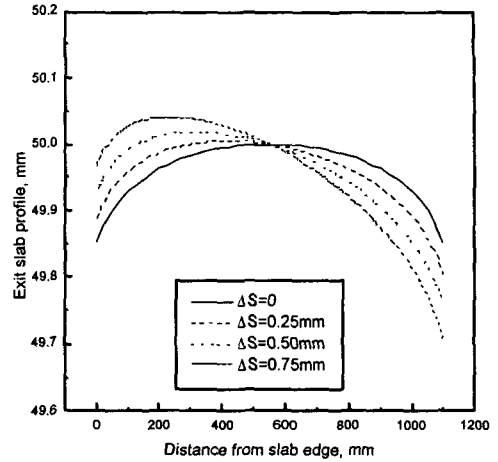


Fig. 4 Calculation results of roll gap different rolling (0.25, 0.50, 0.75 mm)

나. 압연기를 gap의 편차에 의한 계산 결과

Fig.4는 비대칭압연 중에서 압연기를 gap의 편차에 따른 계산 결과로서 그양이 0.25, 0.50, 0.75 mm일 때의 압연후의 출측 판 프로파일을 나타내고 있다. Gap이 클수록 Wedge의 값이 크게 나타나고 있다.

이때 캠버의 발생량은 14, 28, 42mm가 발생됨을 나타내고 있다를 나타내고 있다.

4. 결론

- (1) 압연중의 비대칭압연에 따른 압연후의 판 프로파일을 계산하였고
- (2) 또, 압연후 캠버량을 계산하였다.

참고 문헌

- (1) 川竈高雄, 松本紘美, 1983, "薄鋼板 壓延において各種の形状および Crown制御法の發展", 鐵と鋼, Vol.69, No.3, pp. 348~356.
- (2) 日本 鐵鋼協會 壓延理論部會篇: '板 壓延理論と實際', 1983
- (3) 安田健一, 志田 茂, 1980, "冷間 Tandemの形状制御 Simulation", 塑性と加工, Vol.21, No.230, pp. 225~233.
- (4) 西 英俊, 芳村泰嗣, 吉本健一, 1982, "板形状特性の解析法と従來型 壓延機の制御技能", 塑性と加工, Vol.23, No. 236, pp. 1209~1251.
- (5) 河野輝雄, 美坂佳助, 1981, "Cold Tandemにおいて板 Profile, 板形状 豫測 Model", 鐵と鋼, 第15號, pp. 286~294.