

열간 조압연에서 선·후단부 캠버를 저감하기 위한 사이드 가이드에 관한 연구[§]

변 상 민^{*†}

* 동아대학교 기계공학과

Study of Side Guide to Reduce Top and Tail Camber in Hot Roughing Rolling

Sang Min Byon^{*†}

* Dept. of Mechanical Engineering, Dong-A Univ.

(Received June 25, 2012 ; Revised October 23, 2012 ; Accepted November 1, 2012)

Key Words: Side Guide(사이드 가이드), Camber(캠버), Hot Roughing Rolling(열간 조압연)

초록: 본 논문에서는 열간 조압연에서 사용되는 사이드 가이드가 소재의 선·후단부 캠버에 미치는 영향에 대해서 고찰한다. 먼저 실제 열간 압연된 소재의 표면 온도 분포를 열화상 카메라로 측정한다. 이 온도 측정 결과를 유한요소해석에 반영하여 열간 소재의 비대칭 열변형 거동을 고찰한다. 사이드 가이드에 관련된 변수로써 사이드 가이드의 설치 위치, 사이드 가이드의 길이, 사이드 가이드와 소재 사이의 측면 갭을 선택하였다. 캠버의 크기가 더 큰 쪽에 사이드 가이드를 설치하는 것이 더 효과적이라는 정량적인 결과를 도출하였다. 사이드 가이드가 길면 길수록 캠버를 줄이는데 더 효과적이며, 사이드 가이드와 소재 사이의 갭을 줄이면 줄일수록 캠버의 크기를 비례적으로 줄일 수 있다는 결과도 정량적으로 입증하였다.

Abstract: This paper presents the results of a numerical study on the effects of a side guide on the top and tail camber. The temperature distribution on the surface of an actual hot-rolled bar was measured using a thermal imager. The measured temperatures were incorporated with finite element analysis, and the thermomechanical behavior of the hot bar was examined. The installation location of the side guide, length of the side guide, and gap between the bar and the insides of the side guide were selected as the parameters to be investigated. The results show that it is more effective to install the side guide at the position where the magnitude of the camber is larger. It is noted that a longer side guide is more effective than a shorter one in reducing the camber. It is also found that the camber decreases in proportion with the guiding gap.

1. 서 론

열연 판(Hot rolled strip)을 생산하는 열연 공정은 크게 조압연(Roughing rolling) 공정과 사상압연(Finishing rolling) 공정으로 나누어 진다. 조압연 공정은 가열로에서 가열된 두께가 두꺼운 슬래브(Slab)의 두께와 폭을 점차적으로 줄여서 사상압연 공정으로 보내는 역할을 수행한다. 조압연 중에 소재의 폭 방향으로 온도 편차가 존재하게 되면 롤갭(Roll gap)에서 소재의 변형 편차가 발생하게

되어 소재가 오른쪽 혹은 왼쪽으로 휘게 된다. 이런 종류의 휨 현상을 캠버(Camber)라고 한다. 특히, 압연방향의 선두에 있는 소재의 캠버를 선단부 캠버(Top camber)라고 하고 후미에 있는 소재의 캠버를 후단부 캠버(Tail camber)라고 한다.

캠버의 발생은 열연 판의 생산성을 크게 저해한다. 캠버는 수직롤(Edger)과의 충돌을 유발하고, 소재 이동 컨베이어로부터 이탈을 발생하게 한다. 특히, 조압연에서 발생된 캠버는 후단 사상압연에서 판의 접힘(Folding)을 유발하기 때문에 조업 트러블의 주 원인이 된다. 따라서, 캠버를 줄이기 위해 설치된 사이드 가이드(Side guide)에 대한 고찰은 압연공정 연구에 필수적이다.

과거에 열간 압연공정에서 캠버의 거동에 대한 연구는 몇몇 연구자들에 의해 수행되어 왔다.

[§] 이 논문은 2012년도 대한기계학회 생산 및 설계공학부문 춘계학술대회(2012. 6. 26.-27., 대전컨벤션센터) 발표논문임.

[†] Corresponding Author, smbyon@dau.ac.kr

© 2013 The Korean Society of Mechanical Engineers

Shiraishi 등⁽¹⁾은 캠버와 웨지(Wedge; 폭 방향으로 발생한 소재의 두께 변동) 사이의 관계를 연구하였다. Biggs 등⁽²⁾은 캠버 발생에 가장 영향을 주는 압연인자를 파악하기 위해 실험 계획법을 도입하였다. Hardy 등⁽³⁾은 캠버 유발인자(폭 방향 온도 편차, 슬래브 비대칭, 롤갭 비대칭)의 연계효과를 유한요소모델을 개발하여 고찰하였다. 그리고, 판의 폭 방향 온도를 측정하고 제어하기 위한 시스템 개발에 관한 연구⁽⁴⁾도 있었다.

그러나, 위의 연구는 주로 압연인자와 캠버 사이의 상관 관계의 고찰에 한정되어 있었고 캠버를 줄이기 위한 방법에 대한 연구는 이루어 지지 않았다. 캠버의 양을 실질적으로 줄이기 위한 능동적인 장치인 사이드 가이드의 설계 변수와 공정 변수가 어느 정도 캠버에 영향을 주는지 정량적으로 고찰하는 것은 매우 중요한 시도이다. 이것이 본 연구를 수행하게 된 배경이다.

먼저 실제 열연공장에서 열화상 카메라로 소재의 폭 방향 온도 분포를 측정하였다. 측정된 소재의 폭 방향 온도 분포는 유한요소해석 프로그램에 연계되었다. 이것에 기초하여 사이드 가이드의 설계 변수와 공정 변수 변화에 따라 선·후단 캠버량을 해석하였다. 본 연구에서 선택한 사이드 가이드의 설계 변수는 사이드 가이드의 길이와 사이드 가이드의 설치 위치이고 공정 변수는 사이드 가이드와 소재 사이의 측면 갭이다.

2. 문제 정의

2.1 열간 조압연

Fig. 1은 열간 조압연 공정을 위한 스탠드(Stand)의 개략도와 치수를 나타내고 있다. 그림에 사용된 모든 단위는 미터(Meter)이다. 여기서, 스탠드는 수평롤(Work roll), 수직롤(Edger)로 이루어진 한 벌의 단위 압연 시스템을 의미한다. 가열로에서 재가열된 슬래브가 조압연 스탠드로 진입하면 목표 두께와 폭으로 가역적으로 점차 압연된다. 소재의 두께는 수평롤에 의해 목표 두께로 압하되고

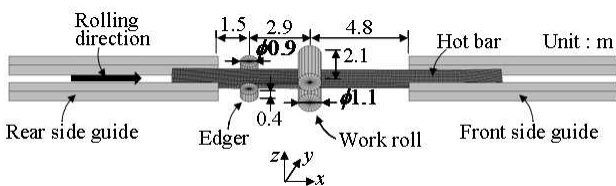


Fig. 1 Schematic and dimensions of a hot roughing rolling mill. The side guide can be installed in front of or in rear of the stand

소재의 폭은 수직롤에 의해 압하된다.

2.2 선·후단부 캠버의 정의

Fig. 2는 실제 발생할 수 있는 캠버(즉, 소재의 폭 방향 휨)의 두 가지 가능한 형태를 나타내고 있다. Fig. 2(a)는 선단부와 후단부가 다른 방향으로 휘어진 경우를 나타내고 Fig. 2(b)는 소재의 선단부와 후단부가 같은 방향으로 휘어진 경우를 나타낸다. 휘어진 방향을 나타내기 위해 압연진행 방향에 왼쪽 방향(Fig. 2에서 양의 y 방향)으로 휘어진 경우를 양의 캠버방향으로, 오른쪽 방향으로 휘어진 경우를 음의 캠버방향으로 설정하였다. Fig. 2(a)에서 선단부는 양의 캠버방향을 그리고 후단부는 음의 캠버방향을 나타내고 있고, Fig. 2(b)는 선단부와 후단부가 모두 양의 캠버방향을 나타내고 있다.

소재의 중심축(Center line of bar)은 휘어진 소재의 폭을 양분하는 선으로 정의한다. 스탠드에서 압연되고 있는 소재의 움직임을 추적하기 위해서 원점을 수직롤의 중심에 두고 소재의 선단부 중심점이 원점에서 이동한 압연방향 거리를 소재의 위치(Position of bar)로 정하였다.

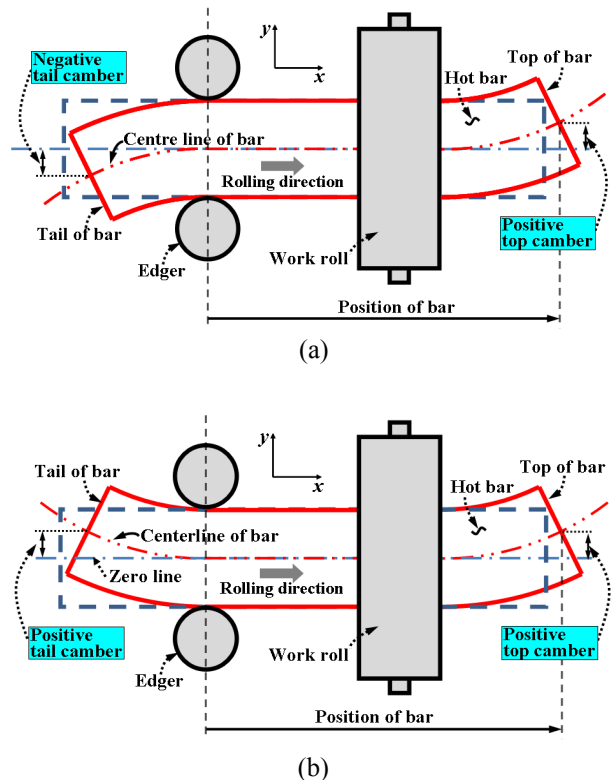


Fig. 2 Geometric definitions of top and tail camber: (a) top and tail of bar are bended in the opposite width direction, (b) top and tail of bar are bended in the same width direction

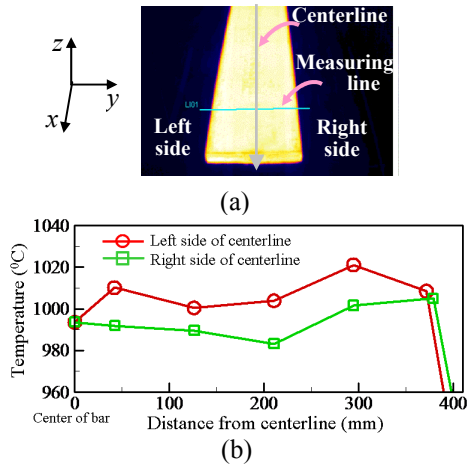


Fig. 3 Measured temperature distribution of the hot bar using a thermal imager: (a) an actual scene that the bar is being rolled in a hot roughing rolling mill, (b) the temperature distribution of the bar surface across the width

3. 소재 온도 측정

Fig. 3(a)는 실제 열연 조압연 공정에서 소재가 압연되고 있는 장면을 보여주고 있다. 압연 방향의 반대 방향으로 바라 보면서 소재의 표면을 FLIR사의 열화상 카메라(ThermaCAM[®] S40)으로 측정하였다. 열화상 카메라는 실제 열연 조압연 라인에서 소재 폭 방향으로 넘어 갈 수 있도록 설치되어 있는 브릿지(Bridge) 위에 고정되어 측정되도록 설치되었다.

Fig. 3(b)는 폭 방향으로 측정된 소재의 온도분포를 나타내고 있다. 폭 중심을 기준으로 왼쪽에 최고 온도인 1020°C 가 있고 오른쪽에 최저온도인 980°C 가 있는 것이 관찰된다. 폭 중심을 기준으로 소재의 좌·우 온도가 대칭이 아닌 것을 확연히 알 수 있다. 이 비대칭 온도 분포의 원인은 가열로에서 버너(Burner)의 비대칭 연소, 소재 이송 중에 발생하는 공랭과 수냉 불균일 등 다양하다.

4. 유한요소해석

사이드 가이드의 설계변수와 공정변수가 선·후단부 캠버에 미치는 영향을 고찰하기 위해서 삼차원 유한요소해석을 수행하였다. 본 해석을 수행하기 위해 탄-소성으로 변형하는 소재의 비선형 거동 유한요소해석에 큰 강점을 가지고 있는 Abaqus/Explicit 을 사용하였다. 캠버가 폭 방향 휨 현상이므로 폭 방향으로 실제 크기로 모델링

Table 1 Process conditions used in the finite element analysis of a hot roughing rolling

Initial thickness of bar (mm)	191
Initial width of bar (mm)	1220
Initial length of bar (m)	13.1
Reduction in flat rolling (%)	27
Reduction in edger rolling (%)	5
Roll speed of flat roll (m/min)	193
Roll speed of edger (m/min)	193
Mean friction coefficient	0.3

하였고 두께 방향으로 계산시간을 절약하기 위해서 두께 중심을 기준으로 절반 크기로 모델링하였다. 수평롤(Work roll), 수직롤(Edger), 사이드 가이드(Side guide)는 강체로 처리하였다. 소재의 치수와 압연조건은 Table 1 에 요약하였다.

본 연구는 비대칭 요인(즉, 폭 방향 온도 편차)이 입력으로 주어졌을 때 압연 중 소재의 폭 방향 변형률 량을 예측하고 사이드 가이드와의 상호 작용을 파악하는 것이 목적이다. 실제 열연 조압연 공정에서 측정된 소재의 폭 방향 온도 분포(즉, Fig. 3)를 소성변형 해석에 입력으로 줄 수 있기 때문에 별도의 온도해석은 본 유한요소모델에 포함되지 않는다.

소재 내에서 온도 편차에 의한 압연 후 소재의 형상변화를 고찰하기 위해서 각 요소마다 온도 값을 지정하도록 모델링 하였다. 본 연구에서의 소재는 0.4% 탄소강을 대상으로 하였다. 식 (1)은 온도변화에 따라 소재의 변형저항 거동이 나타나도록 도입된 Shida의 유동응력식($\bar{\sigma}$)⁽⁶⁾이다. 이것은 탄소함량($C < 1.2\%$), 온도($700^{\circ}\text{C} < T < 1200^{\circ}\text{C}$), 변형율속도($0.1 < \dot{\epsilon} < 100\text{s}^{-1}$)에 따라 소재의 응력($\bar{\sigma}$)-변형율($\bar{\epsilon}$) 거동을 나타내는 탄소강의 재료물성곡선이다. 본 식을 유한요소해석모델에 반영함으로써 소재내의 비대칭 온도분포가 존재할 때 구속조건이 같더라도 온도 차이로 인한 유동응력 변화에 의해 변형량 및 압력값이 변화하여 비대칭 변형을 유발한다.

$$\bar{\sigma} = 9.81 \cdot \sigma_f \cdot f \cdot \left(\frac{\dot{\epsilon}}{10} \right)^m \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma_f = 0.28 \exp\left(\frac{5}{t} - \frac{0.01}{C+0.05} \right) \quad (t \geq t_d) \quad (1)$$

$$\sigma_f = 0.28 g(C, t) \exp\left(\frac{5}{t_d} - \frac{0.01}{C+0.05} \right) \quad (t \leq t_d)$$

$$g(C, t) = 30.0(C+0.9) \left(t - 0.95 \frac{C+0.49}{C+0.42} \right)^2 + \left(\frac{C+0.06}{C+0.09} \right)$$

$$f = 1.3 \left(\frac{\bar{\epsilon}}{0.2} \right)^n - 0.3 \left(\frac{\bar{\epsilon}}{0.2} \right)$$

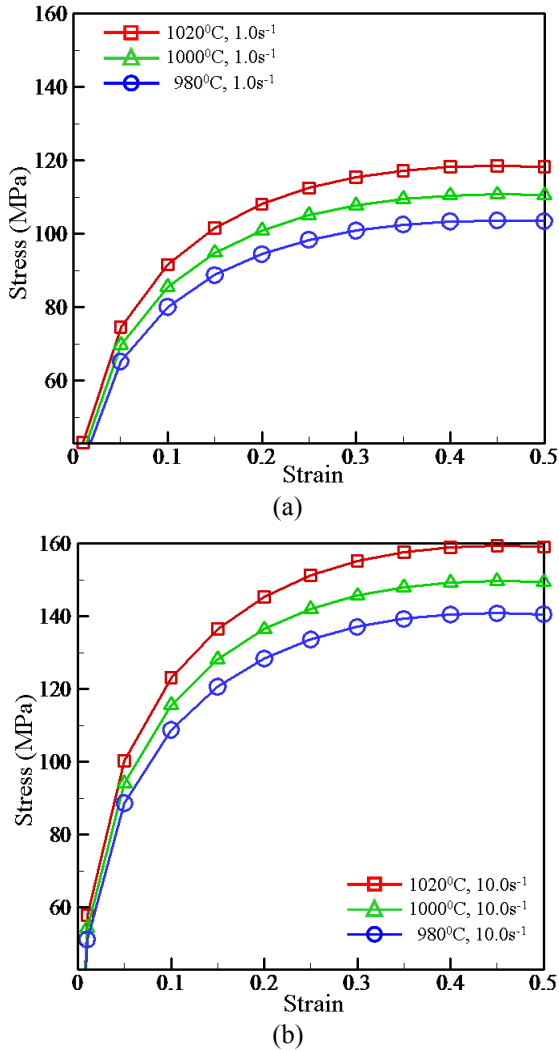


Fig. 4 Flow stress curves calculated by Shida's formula under various temperatures when (a) strain rate is 1.0/sec and (b) strain rate is 10.0/sec

식 (1)에서, $t=(T+273)/1000$, $t_d=0.95(C+0.41)/(C+0.32)$, $n = 0.41 - 0.07C$ 를 나타내고 또한, $m = (-0.019C + 0.126)t + (0.075C - 0.050)$ ($t \geq t_d$), $m = (0.081C - 0.154)t + (-0.019C + 0.207) + 0.027/(C + 0.320)$ ($t < t_d$) 를 나타낸다. C 는 등가 탄소함유량 퍼센트(%)를 나타낸다. Fig. 4 는 소재가 0.4% 탄소강이고 변형율속도($\dot{\epsilon}$)가 $1.0s^{-1}$ 과 $10.0s^{-1}$ 일 때, 온도에 따른 유동응력-변형율 선도를 보여주고 있다. 작은 온도 차이에도 불구하고 비교적 큰 유동응력 차이를 유발하는 것을 알 수 있다.

본 해석에 사용된 유한요소해석 모델은 크게 세 가지 경우로 나누어진다. 첫번째로 사이드 가이드가 전혀 사용되지 않은 스탠드의 경우(Case A)이고 두번째는 소재가 스탠드를 빠져 나온 후의 위치에 사이드 가이드가 설치된 경우(Case B) 즉, 선단

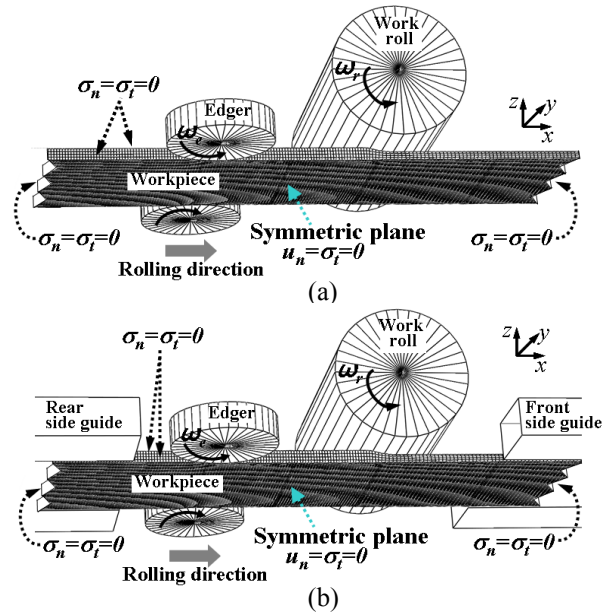


Fig. 5 Finite element meshes and boundary conditions used for the analysis of a hot roughing rolling: (a) no side guide is installed, (b) side guide is located in front of or in rear of stand

사이드 가이드(Front side guide)이고 세번째는 소재가 스탠드에 진입하기 전의 위치에 사이드 가이드가 설치된 경우(Case C) 즉, 후단 사이드 가이드(Rear side guide)이다. Fig. 5 에 공정 기하학, 격자, 경계조건을 포함하여 유한요소해석 모델을 나타내었다. Fig. 5(a)는 Case A 에 해당되고 Fig. 5(b)는 Case B 혹은 Case C 에 해당된다(그림에서 선단 혹은 후단 사이드 가이드 중 하나가 없는 경우에 해당). σ 는 응력, u 는 변위를 나타내고 n 은 수직방향 t 는 접선방향을 나타낸다.

5. 결과 및 논의

5.1 선·후단부 캠버(Top and tail camber)에 미치는 사이드 가이드 설치의 효과

Fig. 6 는 사이드 가이드가 없는 경우(Fig. 6(a)), 선단 사이드 가이드가 설치된 경우(Fig. 6(b)), 후단 사이드 가이드가 설치된 경우(Fig. 6(c))에 유한요소해석을 각각 실시하여 얻은 소재의 폭 방향 변형 형상을 보여주고 있다. 그림에 나와 있는 소재의 위치(Position of bar; PB)는 세가지 경우 모두 12.5m 으로 같다. 이 상태에서 소재는 수직롤과 수평롤에 모두 물려있어 소재의 전체 움직임은 없고 순수 소성변형 횡만 존재한다.

소재의 길이와 폭에 비해 폭 방향 휨량이 작아서 파악하기 힘들기 때문에 세가지 경우에 대해

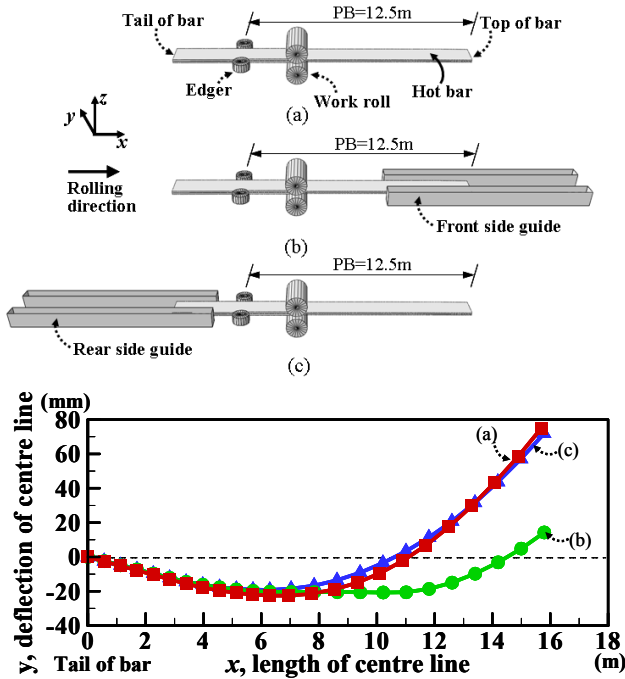


Fig. 6 Deformed shape of bar when position of bar (PB) is 12.5m: (a) no side guide is installed, (b) side guide is located in front of stand, (c) side guide is located in rear of stand

전체 폭 방향 휨의 차이를 중심축 (Fig. 2 에서 정의됨)으로 비교하여 나타내었다. 사이드 가이드가 없는 경우에 비해 선단 사이드 가이드가 설치된 경우에 현저히 휨량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 이에 비해 후단 사이드 가이드는 휨량을 줄이는데 큰 영향을 주지 못하는 것으로 나타나고 있다.

Fig. 7 은 사이드 가이드 설치 유무 및 설치 위치에 따른 선·후단부 캠버량의 변화를 나타낸 그래프이다. Fig. 7(a)가 선단부의 캠버량(Top camber)을 나타내고, Fig. 7(b)가 후단부의 캠버량(Tail camber)을 나타내고 있다. 네모 기호는 사이드 가이드를 설치하지 않았을 때 소재의 선·후단부 캠버량이고 삼각형 기호는 사이드 가이드를 후단쪽에 설치하였을 때, 그리고 원형 기호는 사이드 가이드를 선단쪽에 설치하였을 때 선·후단부 캠버량을 나타낸다. 사이드 가이드가 설치된 해석에서 가이드 길이와 가이드 갭은 각각 10m 와 20mm 이었다.

실측한 판의 폭 방향 온도 편차가 40°C 정도 (Fig. 3)로 완만하게 발생한 경우임에도 불구하고 사이드 가이드가 존재하지 않을 때 400mm 정도의 선단부 캠버가 존재함을 Fig. 7(a)에서 알 수 있다. 선단부에 캠버가 발생했기 때문에 후단부 사이드 가이드는 캠버 저감에 큰 효과를 주지 않음을 알

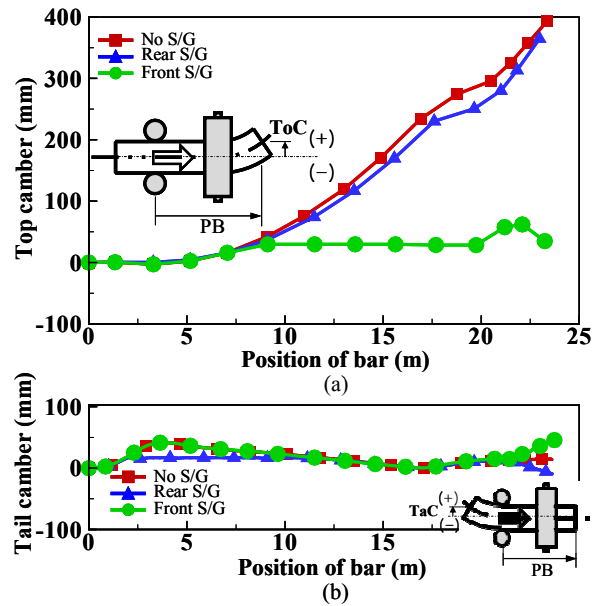


Fig. 7 Variation of the camber under various installation positions of side guide as the bar moves from the center of edger: (a) top camber, (b) tail camber

수 있다. 이에 비해, 선단부 사이드 가이드는 캠버의 크기를 현저히 저감시켜 거의 영에 가까운 구속이 되도록 하는 것을 알 수 있다.

Fig. 7(b)에서 사이드 가이드가 설치되어 있지 않은 경우에 후단부 캠버는 원래부터 값이 크지 않음을 알 수 있다. 따라서, 후단 혹은 선단 사이드 가이드에 의한 후단부 캠버 저감 효과는 거의 없음을 알 수 있다. 이것으로부터 캠버가 발생하는 위치에 따라 사이드 가이드는 작용할 때 그 효과가 차이가 있고 캠버량이 클 수록 사이드 가이드의 효과는 현저함을 알 수 있다. 가역식(Reversible) 압연기의 경우에 선단과 후단에 모두 사이드 가이드가 설치되면 캠버의 위치에 관계없이 캠버 저감에 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 고찰된다. 가이드는 발생한 선·후단부 캠버량이 설정한 가이드 갭 이상을 벗어나지 못하도록 제한하는 역할을 한다. 최대한 발생할 수 있는 선·후단부 캠버량은 소재를 중심으로 양측 가이드 갭 이상 발생할 수 없다. 따라서, 가이드 갭을 줄일수록 그 만큼 캠버량의 크기를 좀 더 낮은 수준으로 유지할 수 있을 것이다.

5.2 선·후단부 캠버(Top and tail camber)에 미치는 사이드 가이드 길이의 효과

Fig. 8 은 선단부의 사이드 가이드의 길이가 5m 및 10m 인 경우에 대해 유한요소해석을 각각 실시하여 얻은 선·후단부 캠버량(Fig. 2 에서 정의됨)의

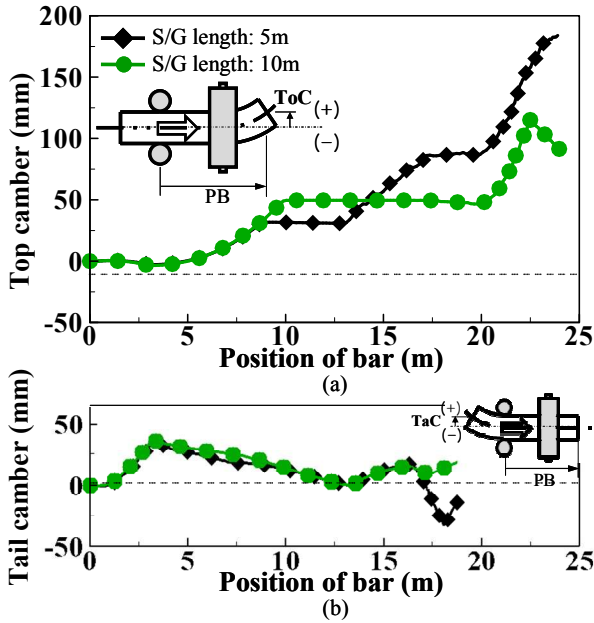


Fig. 8 Variation of the camber under various lengths of side guide as the bar moves from the center of edger: (a) top camber, (b) tail camber

변화를 나타낸 그림이다. Fig. 8(a)가 선단부의 캠버량(Top camber)을 나타내고, Fig. 8(b)가 후단부의 캠버량(Tail camber)을 나타내고 있다. 마름모 기호는 사이드 가이드의 길이가 5m 인 경우를 나타내고 원형 기호는 사이드 가이드의 길이가 10m 인 경우를 나타내고 있다. 본 효과의 고찰에서 가이드링 갭은 모두 40mm으로 같게 설정하였다.

Fig. 8(a)는 사이드 가이드의 길이가 긴 쪽이 선단부 캠버가 훨씬 저감되는 것을 보이고 있다. 최대 선단부 캠버 기준으로 볼 때, 사이드 가이드의 길이가 10m 인 경우가 5m 인 경우에 비해 약 40% 정도 선단부 캠버량이 더 적은 것을 알 수 있다. 이것은 압연 중에 폭 방향 휨에 저항하는 힘을 유지하는 시간이 사이드 가이드 길이가 긴 쪽이 훨씬 더 길기 때문일 것으로 파악된다. 후단부 캠버는 대부분의 소재의 위치(Position of bar)에서 사이드 가이드 길이에 따른 변화가 없고 소재가 압연기를 거의 빠져 나올 때 효과가 있는 것으로 나타났다. 선단부에 사이드 가이드가 장착되어 있기 때문에 소재가 많이 빠져 나와 소재가 선단부 사이드 가이드에 접촉하는 시점에서 후단부의 캠버량 저감에 영향을 주는 것으로 파악된다.

Fig. 9는 선단부의 사이드 가이드의 길이가 5m 및 10m 인 경우에 대해 사이드 가이드 지지력의 변화를 나타낸 그래프이다. 사이드 가이드의 길이가 10m 에서(Fig. 9(b))는 사이드 가이드 지지력의 크기 및 변화가 적은데 비해, 길이가 5m 에서(Fig.

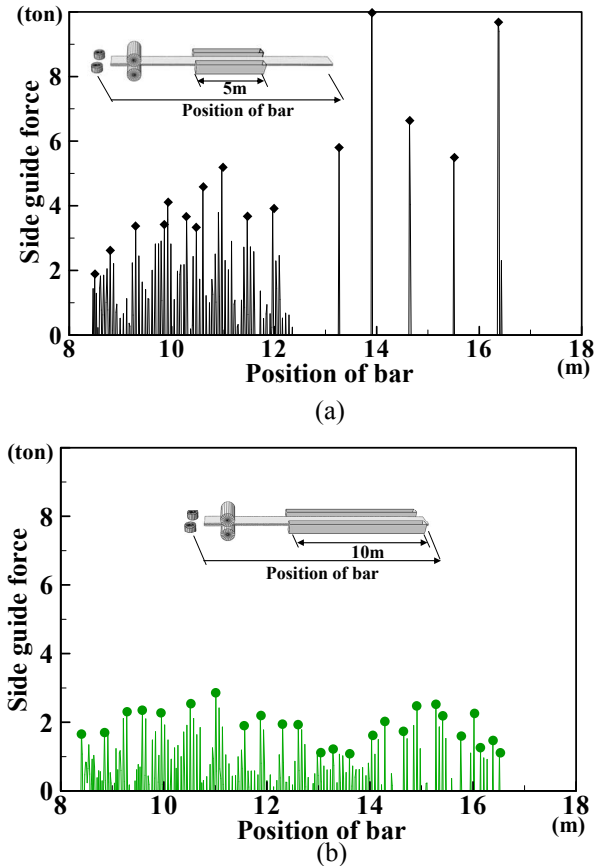


Fig. 9 Variation in guiding forces when the length of side guide is different: (a) the length of the front side guide is 5m, (b) the length of the front side guide is 10m

9(a))는 사이드 가이드 지지력의 크기 및 변화가 큰 것을 알 수 있다. 특히, 지지력의 변화가 현저한 소재의 위치가 존재하는 것을 알 수 있는데, 이 위치는 소재의 선단부가 선단 사이드 가이드를 벗어나는 소재의 위치이다. 사이드 가이드가 선단부 캠버를 지탱하고 있는 중에는 사이드 가이드 지지력이 비교적 적고 크기의 변화도 적은데 비해, 소재의 선단부가 사이드 가이드를 벗어나면 선단부 캠버가 큰 변형 반발력을 사이드 가이드에 가하는 것을 알 수 있다.

5.3 선·후단부 캠버(Top and tail camber)에 미치는 사이드 가이드링 갭의 효과

선·후단부 캠버에 미치는 사이드 가이드링 갭(Gap)의 효과를 고찰하기 위해서 20mm 와 40mm의 두 가지 갭을 선택하였다. Fig. 10(a)는 두 가지 사이드 가이드링 갭으로 소재를 압연했을 때, 소재 선단부의 캠버를 보여주고 있다. 그리고 Fig. 10(b)는 소재 후단부의 캠버를 보여주고 있다. 초기에

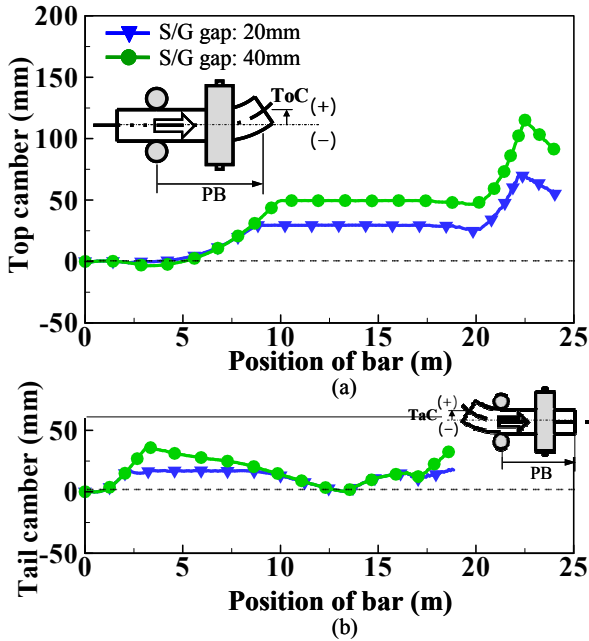


Fig. 10 Variation of the camber under various guiding gaps of side guide as the bar moves from the center of edger: (a) top camber, (b) tail camber

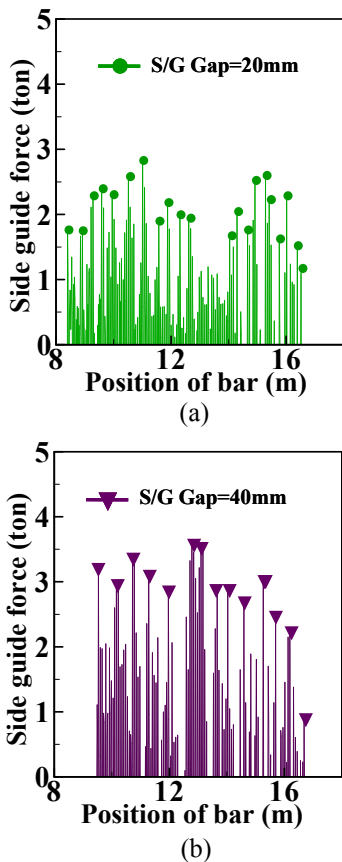


Fig. 11 Variation in guiding forces when the guiding gap of side guide is different: (a) the guiding gap of the front side guide is 20mm, (b) the guiding gap of the front side guide is 40mm

발생한 선후단부 캠버가 점차 성장하다가 설정한 사이드 가이드 갭으로 인해서 더 이상 성장하지 못하고 구속됨을 알 수 있다. 소재의 선단부가 선단 사이드 가이드를 빠져나가는 시점에 변형 반발에 의해 순간적으로 캠버량이 커지지만 일부 회복되는 것을 알 수 있다. 사이드 가이드 갭이 적으면 적을수록 압연 중 및 압연 후에 캠버량이 비례적으로 적어짐을 알 수 있다. 이것으로부터 캠버량을 엄격히 관리하기 위해서는 사이드 가이드 갭을 최대한 적게 설정해야 하는 것을 알 수 있다.

Fig. 11 은 두 가지 사이드 가이드 갭에 대해서 선단부 사이드 가이드에 걸리는 지지력을 나타낸 것이다. 그림에서 가이드 갭이 40mm 일 때(Fig. 11(b)) 소재의 위치가 10m 에서 사이드 가이드의 지지력이 시작되는 반면, 가이드 갭이 20mm 일 때(Fig. 11(a)) 소재의 위치가 8m 에서 사이드 가이드의 지지력이 시작된다. 또한, 소재 위치에 따른 지지력을 받는 빈도가 가이드 갭 40mm 의 경우보다 가이드 갭 20mm 의 경우가 더 높기 때문에 사이드 가이드에 걸리는 전체 손상 에너지(소재가 사이드 가이드 지지력을 받으면서 움직인 거리 즉, 그래프 상의 x, y 축으로 이루어지는 면적)는 가이드 갭이 20mm 일 때가 40mm 일 때 보다 더 높은 것으로 파악된다.

6. 결론

본 연구에서는 열간 조압연에서 사용되는 사이드 가이드가 소재의 선·후단부 캠버에 미치는 영향에 대해서 고찰했다. 사이드 가이드에 관련된 변수로써 i)사이드 가이드의 설치 위치, ii)사이드 가이드의 길이, iii)사이드 가이드와 소재 사이의 가이드 갭을 선택하였다. 일련의 유한요소해석을 통해서 소재의 선·후단부 캠버를 줄이기 위한 다음과 같은 방안을 도출하였다.

(1) 캠버가 발생하는 주된 위치에 사이드 가이드가 설치되어 가이드 역할을 할 때 그 효과가 현저하다. 또한, 캠버량이 클 수록 사이드 가이드의 역할이 중요하다. 가역식 압연기의 경우에 선단과 후단에 모두 사이드 가이드가 설치되면 캠버의 위치에 관계없이 캠버 저감에 큰 효과를 볼 수 있을 것으로 판단된다.

(2) 사이드 가이드가 길면 길수록 캠버를 줄이는데 더 효과적이며 이는 압연 중에 폭 방향 힘에 저항하는 힘을 유지하는 시간을 늘리는 효과가 작용하기 때문이다. 사이드 가이드를 설치할 수 있

는 공간이 허용하는 최대 길이를 사이드 가이드의 설계길이로 선택하는 것이 바람직하다.

(3) 사이드 가이드와 소재 사이의 가이드링 갭을 줄이면 줄일수록 선·후단 캠버의 크기를 비례적으로 줄일 수 있다. 그러나, 사이드 가이드에 미치는 전체 손상에너지는 증대하므로 이를 고려하여 사이드 가이드의 갭량을 제어하는 것이 필요하다.

후 기

이 논문은 동아대학교 교내연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- (1) Shiraishi, T., Ibata, H., Mizuta, A., Nomura, S., Yoneda, E. and Hirata, K., 1991, "Relation Between Camber and Wedge in Flat Rolling Under Restrictions of Lateral Movement," *ISIJ International*, Vol. 31, No. 6, pp. 583~587.
- (2) Biggs, D. L., Hardy, S. J. and Brown, K. J., 2000, "Influence of Process Variables on Development of Camber During Hot Rolling of Strip Steel," *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 27, pp.55~62.
- (3) Hardy, S. J., Biggs, D. L., Brown, K. J., 2002, "Three-Dimensional Hot Rolling Model for Prediction of Camber Generation," *Ironmaking and Steelmaking*, Vol. 29, pp. 245~252.
- (4) Choi, J. C., Lee, S. J. and Park, B. S., 1996, "Development of Control System for Transversal Temperature of Strips in Hot Strip Mills," *Trans. Korean Soc. Mech. Eng. A*, Vol. 20, No. 4, pp. 1202~1215.
- (5) Shida, S., 1969, "Empirical Formula of Flow Stress of Carbon Steels – Resistance to Deformation of Carbon Steels at Elevated Temperature – 2nd Report," *Journal of the Japan Society for Technology of Plasticity*, Vol. 10, pp. 610~617.