

# 열연강판 선후단부 폭 정밀도 개선을 위한 최적 엷저롤 개도 제어

천명식\* · 이준정\* · 문영훈\*\*

(1998년 12월 11일 접수)

## Dynamic Edger Control for the Precise Width Control at the Head and Tail Ends of Hot Strip

Myung Sik Chun, Joon Jeong Yi and Young Hoon Moon

**Key Words:** Dynamic Edger Control(엷저롤 자동 제어), Automatic Width Control(자동 폭제어), Feed Forward Automatic Width Control(전향단계 저동폭제어), Hot Strip Rolling(열간 박판압연), Width Shortage(폭수축), Width Deviation(폭변동), Short Stroke Control(단차자동제어), Horizontal Rolling(수평압연), Dog-Bone Rolling(도그 본 압연)

### Abstract

adaption of the model predictions is highly desirable. In general, the width deviation at the head and tail ends of strip may be different from that of the steady state region. Therefore, the dynamic edger corrections can be used to compensate the width deviations which would otherwise occur. For the precise width control, the effect of edger roll gap and rolling conditions on the width deviation of head and tail ends of strip has been investigated and the effective method to decrease width deviation has been proposed. On-line application of dynamic edger control method in this study shows about 50% width compensation at the head end of the strip, and near perfect compensation at the tail end of strip.

#### 기호설명

$\eta_M$  : 정상부 폭압연 효율

$W_0$  : 폭압연 전의 폭

$W_e$  : 폭압연 후의 폭

$\Delta W_e$  : 폭압하량

$W_M$  : 도그 본(dog bone)압연 후 정상부 폭

$W_H(x)$  : 도그 본 압연 후 선단부 폭

$W_T(x)$  : 도그 본 압연 후 후단부 폭

$\Delta W_s^H$  : 선단부 폭수축량

$\Delta W_s^T$  : 후단부 폭수축량

$\Delta L_H$  : 선단부 폭수축길이

$\Delta L_T$  : 후단부 폭수축길이

$D_H$  : 선단부 개도 제어량

$D_T$  : 후단부 개도 제어량

$L_H$  : 선단부 제어위치

$L_T$  : 후단부 제어위치

$L_v^H$  : 선단부 제어길이

$L_v^T$  : 후단부 제어길이

\* 회원, 포항산업과학연구원 압연프로세스연구팀

\*\* 회원, 부산대학교 정밀정형 및 금형가공연구센터

1. 서론

열간압연의 판 폭정밀도는 전단(trimming)공정에서의 실수율을 좌우하는 최대의 요인이지만 최근 연주 스톱(continuous casting slab)의 보급에 따른 폭변경량(스라브 폭에서 코일 폭을 뺀 값)의 증대 및 에너지 저감을 위한 가열로(reheating furnace) 저온추출로 인한 스킨드 마크(skid mark) 등으로 판폭 편차 발생요인이 증가하여 판폭 정밀도를 개선시키기 위한 연구가 활발히 진행되어 왔다. 조압연(roughing mill)공정에서의 판폭제어는 압연판의 선, 후단부와 정상부의 폭제어로 구분할 수 있으며 엷저롤(edger roll)의 자동제어기능(dynamic edger control 또는 automatic width control: AWC)을 이용하여 판폭을 제어할 수 있다. 선, 후단부에 발생하는 폭수축(width shortage) 보상은 제어 전의 폭계(width gauge)실측값을 기준으로 그 다음 폭압연 패스에서 단차자동제어(short stroke automatic width control: SS-AWC) 방법을 이용하여 보상할 수 있다.

선, 후단부를 제외한 나머지 정상부의 폭변동 보상의 경우, 테이퍼(taper) 스톱(continuous casting slab)의 길이방향 폭편차, 스톱(continuous casting slab) 지지 폭과 실폭과의 폭편차, 폭퍼짐 계산값과 실측값과의 폭편차제어는 전향단계

자동제어(feed forward automatic width control: FF-AWC) 방법등에 의해, 스킨드마크(skid mark)와 같은 주기적인 폭변동보상은 압연하중 자동제어기능에 의해 제어한다.<sup>(1~9)</sup>

본 연구에서는 열간압연시 압연길이방향 폭 프로파일 중에서 폭 편차발생량이 큰 선, 후단부의 폭 정밀도 개선을 위해 선, 후단부의 폭편차 보상모델을 개발하여 폭정도를 향상시키고자 한다. 이를 위해서 폭압연 및 두께압연 공정의 반복실시에 의한 선, 후단부의 폭편차를 조압연 출력의 폭계 출력치를 이용하여 정량적으로 분석하여 선, 후단부 폭 정밀도 개선을 위한 압연조건별 적정 개도 제어량과 제어위치를 결정하고자 한다.

2. 폭압연 및 수평압연시의 폭변화 거동

폭압연 및 수평압연시의 선, 후단부 폭변화 거동을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1(a)는 수평압연 후의 판폭 변화 거동을 나타낸 것이다. 그림에 나타난 바와 같이 스톱(continuous casting slab) 선단 및 후단부의 좌우 에지부에는 후레어(flare)라 부르는 폭퍼짐(width spread)이 발생하고, 판폭 중앙부에는 혀(tongue)모양의 돌기부가 형성된다. 이러한 현상은 정상부에서는 롤 바이트(roll bite)전후의 미변형부에 의해 폭퍼짐이 구속을 받는 반면, 선, 후단부에서는 그 구속력이 상대적으로 작아져서 압연방향으로의 연신이 감소되기 때문이다.

Fig. 1(b)는 에징(edging) 후, Fig. 1(c)는 도그본(dog bone) 및 두께 압연후의 판폭 변화 거동을 도식적으로 나타낸 것이다. 일반적으로 폭압연에서는 판폭에 비해 폭압하량 (또는 edging 량)이 매우 작아 판폭 중앙부의 구속작용을 받는다. 이때 판폭 에지부에는 국부적인 소성변형이 일어나 판두께가 부풀어 오르는 소위 도그 본 모양이 형성된다. 폭압연시 발생한 도그 본은 그 다음 수평압연을 실시함에 따라 일부는 판길이 방향으로 유동하고 일부는 다시 판폭 방향으로 폭회복을 일으킨다. 조압연 공정에서의 폭압연의 실시는 판폭을 줄이고 두께압연에 의한 폭퍼짐을 없애

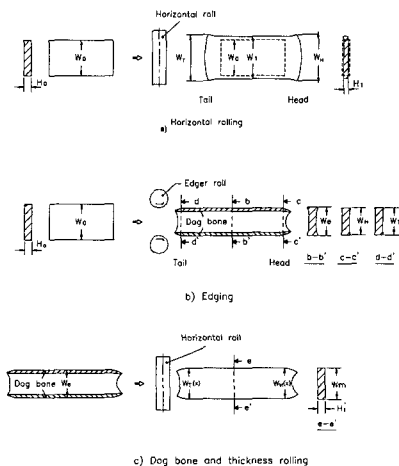


Fig. 1 Schematic drawing of width variation during edging and horizontal rolling.

목표 판폭으로 맞추는데 그 목적이 있으므로 폭 방향으로의 회복율을 최소로 해야 한다.

폭압연 효율( $\eta_M$ ) 이라 함은 “전체 도그 본 발생 부중 판 폭방향으로 회복을 일으키지 않는 율”로 정의하며 이를 정상부, 선단부, 후단부로 나누어 표현하면 다음 식으로 정의된다.

$$\eta_M = \frac{W_0 - W_M}{W_0 - W_e} = \frac{W_0 - W_M}{\Delta W_e} \quad (1)$$

$$\eta_H(x) = \frac{W_0 - W_H(x)}{\Delta W_e} \quad (2)$$

$$\eta_T(x) = \frac{W_0 - W_T(x)}{\Delta W_e} \quad (3)$$

여기서,  $W_0$  는 폭압연 전의 폭,  $W_e$  는 폭압연 후의 폭,  $\Delta W_e$  는 폭압하량,  $W_M$ ,  $W_H(x)$ ,  $W_T(x)$  는 도그 본 발생 부를 수평압연 하였을 경우의 정상부, 선단부, 후단부의 폭,  $\eta_M$ ,  $\eta_H(x)$ ,  $\eta_T(x)$  는 정상부, 선단부, 후단부의 폭압연 효율을 각각 나타낸다.

폭압연 효율은 판폭, 판두께, 패스 당 폭압하량, 압연롤의 직경, 강종 등에 따라 각각 차이를 보인다. 폭압연시 선, 후단부의 폭은 정상부를 기준으로 선단부 쪽 또는 후단부 쪽으로 갈수록 점점 작아지는 현상이 발생하는데 이를 폭수축(width shortage)이라 하며, 정상부와 비정상부간의 폭편차량을 폭수축량( $\Delta W_s$ )으로, 폭수축발생부의 길이를 폭수축길이( $\Delta L$ )라 정의한다.

$$\Delta W_s^H = W_m - W_H \quad (4a)$$

$$\Delta W_s^T = W_m - W_T \quad (4b)$$

판폭 예지부에 발생한 도그 본 양은 정상부를 기준으로 선단 또는 후단으로 향할수록 점점 작아지며, 이를 압연하게 되면 정상부와 비정상부간의 폭압연 효율의 차이에 의해 폭수축량도 더욱 증가하게 된다. 폭수축량은 선단부가 후단부보다 크고 폭압하량이 증가할수록 증가한다. 한편, 조압연 공정은 여러 패스의 폭 및 두께압연

이 실시되는 공정이므로 선, 후단부에서는 폭수축과 폭퍼짐 현상이 반복적으로 발생하며 이러한 폭수축 발생은 그 다음 수평압연시 폭퍼짐(tongue 형상)에 의해 어느 정도 보완이 될 수 있으나 폭변경(width change)량의 대소에 따라 조압연 출측에서의 선, 후단부의 형상이 바뀌게 된다.

### 3. 선후단부 판폭제어 원리

Fig. 2는 선, 후단부의 폭수축 발생에 대한 보상 원리를 나타낸 것이다. 정상적인 엿저 개도방법에서는 엿저를 갭 자동조절(AWC) 실린더의 동작을 통해 적절한 제어위치를 설정하여 선단부 또는 후단부의 폭을 보상하게 된다. 압연재에 가해지는 제어길이( $L_r$ )는 실린더 압하량, 실린더 속도 및 엿저롤을 통과하는 압연재의 속도에 따라 결정되며 이들의 관계를 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\frac{V_c}{D_c} = \frac{V_r}{L_r} \quad (5)$$

$$L_r = \frac{V_r}{V_c} D_c \quad (6)$$

Fig. 3(a)는 실린더 압하량의 변화에 따른 제어 길이를 나타낸 것이다.  $D_{c1}$ ,  $D_{c2}$ ,  $D_{c3}$  의 실린더 압하량이 주어질 때의 제어 시점을  $X_1'$ ,  $X_2'$ ,  $X_3'$  으로 나타내었다. 여기서,  $\Delta W_s$  는 폭수축량,  $\Delta L$  은 비정상부 길이를 의미한다. 압연재의 선단으로부터 제어시점이  $X$ 인 조건에서 실린더 압하량만을 변화하였을 경우, 실린더 압하량이 증가하면 제어길이도 증가하여 폭보상영역을 증가시키게 된다. 이 때 폭보상영역은 엿저롤의 폭압하량에 따라 달라지는데 폭압하량을 증가시킬수록 비정상부에 대한 보상효과도 증가하게 된다. 만일, 실린더 압하량이 폭압하량 보다 큰 경우, 실린더 압하량을 증가시키면 폭보상영역은 증가하나 실제로 압연재에 가해지는 제어길이는 감소하게 된다. 반면에 실린더 압하량이 폭압하량 보다 작은 경우, 실린더 압하량을 증가시키면 폭보상영역 뿐만아니라 압연재에 가해지는 제어길이도 증가한다.

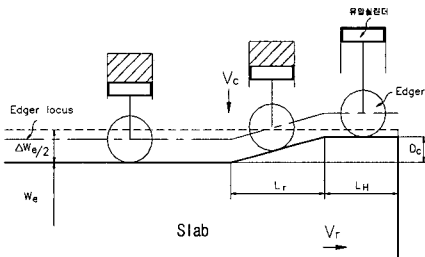


Fig. 2 Principles of width control at the head and tail ends of strip.

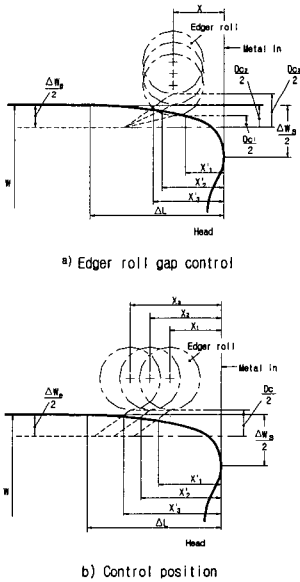


Fig. 3 The change in controlling length with respect to (a) edger roll gap control (b) control position.

즉, 선, 후단부에 대한 폭보상효과를 최대화하기 위해서는 엷저롤 갭 조절설비(AWC)의 설비능력 향상 및 엷저롤의 폭압하량을 증가시키는 것이 바람직하다. Fig. 3(b)는 실린더 압하량이 일정한 상태에서 제어위치만을 변화시켰을 경우, 각각의 제어길이를 나타낸 것이다. 실린더 압하

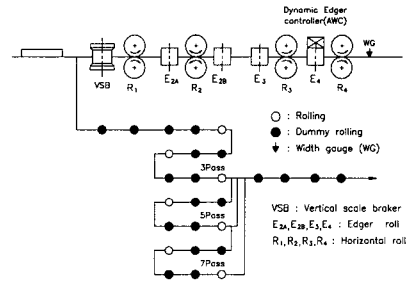


Fig. 4 Schematic lay out of roughing mill.

량이 주어질 때 임의의 제어위치  $X_1, X_2, X_3$  에서의 압연재에 가해지는 제어위치는  $X_1', X_2', X_3'$  으로 나타낼 수 있다. 그림에서 보듯이 제어위치를 증가시키면 폭보상범위는 증가하나 실제로 압연재에 가해지는 제어길이는 짧으며, 폭변경량이 큰 압연재일수록 그러한 현상은 두드러진다. 따라서 제어위치의 결정은 선단부의 경우, 수평압연 출측의 폭수축 길이에서 실린더 압하량에 의한 제어길이를 뺀 그 위치에서 제어가 시작되어야 한다. 후단부의 경우, 수평압연 출측 압연재의 끝에서 넥킹부까지의 거리와 폭수축 길이를 합한 위치에서 제어가 시작되어야 함을 알 수 있다.

#### 4. 실기실험

##### 4.1 폭실측치 분석

Fig. 4는 본 연구의 조압연 실기 시험공정을 도식적으로 나타낸 것으로 폭압연용  $E_4$  스탠드에는 엷저롤 갭 조절설비(AWC)와  $R_4$  출측에는 폭계(width gauge)가 설치되어 있다. 폭수축발생량은  $R_4$  출측의 폭계에서 출력된 기록지를 2차원 측정기인 프로파일 프로젝터(profile projector)를 이용하여 측정하였다.

Fig. 5는 협폭재에 대한 측정결과로, 폭변경량(width change)에 따른 선단 및 후단부의 폭수축 발생량을 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 폭변경량이 증가할수록 폭수축 발생량도 증가 현상을 보이는데, 이러한 현상은 폭변경량이 증가할수록 폭압연량도 증가하기 때문이다. 또한, 선단부 쪽이 후단부 쪽보다 폭수축 발생량이 커짐을 알

수 있는데, 이는 압연재가 엷저롤에 치입될 때 중립점의 방향이 서로 반대방향으로 이동됨에 따라 재료의 유동방향에 다소 차이를 주기 때문이다.

Fig. 6은 폭 변경량에 따른 폭수축 길이를 나타낸 결과로, 폭 수축량의 경우와 비슷한 경향을

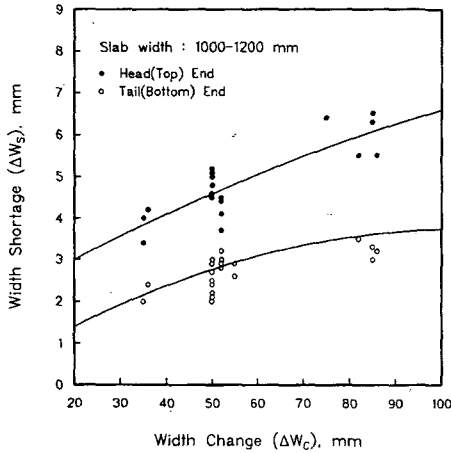


Fig. 5 Relationship between width change and width shortage.

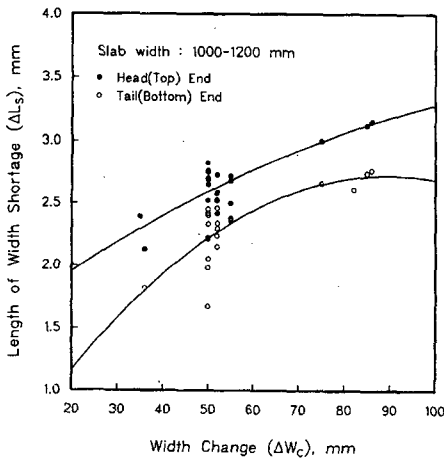


Fig. 6 Relationship between width change and length of width shortage.

보인다. 폭변경량이 증가함에 따라 폭수축 발생 발생량의 증가와 함께 폭수축길이도 증가하며 선단부가 후단부보다 크다. 중폭재(1200-1400 mm) 및 광폭재(1400-1600 mm)에 대한 측정결과를 Fig. 7에 회귀분석 곡선으로 나타내었는데, 협폭재의 경우와 유사한 경향을 보이거나 협폭에서 광폭으로 향할수록 폭수축 발생량도 증가함을 확인할 수 있다.

Table 1 Testing condition.

Width control	Control condition (mm)				Width shortage (mm)		Length of width shortage (m)	
	D <sub>H</sub>	L <sub>H</sub>	D <sub>T</sub>	L <sub>T</sub>	head	tail	head	tail
OFF	0	0	0	0	8.1	3.9	2.9	2.0
ON	10	2000	10	2000	7.0	2.0	2.6	2.0
ON	15	2000	15	2000	5.2	0.5	2.4	-
ON	20	2000	20	2000	4.2	-	2.6	-
ON	25	2000	25	2000	3.7	-	1.0	-
ON	10	2400	10	2400	5.9	1.5	2.5	1.6
ON	15	2400	15	2400	3.3	1.1	1.2	1.4
ON	20	2400	20	2400	2.3	-	1.2	-
ON	25	2400	25	2400	2.3	-	1.1	-

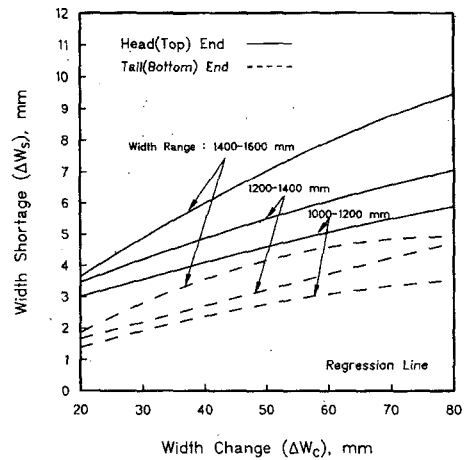


Fig. 7 Variation of width shortage with respect to width ranges.

이러한 현상은 스라브 폭이 증가할수록 도그 본 발생분포가 판 에지부에 국부적으로 집중하여 그 다음 수평압연을 실시하게 되면 폭방향으로의 회복율이 크기 때문에 정상부와 비정상부간의 폭 편차량을 크게 유발시키기 때문으로 판단된다. 한편, 폭수축길이는 위의 경우와 같은 경향을 보이나 폭수축 발생량의 경우 보다 그다지 크지 않으며, 선단부 쪽과 후단부 쪽과의 차이도 마찬가지로 경향을 보인다.

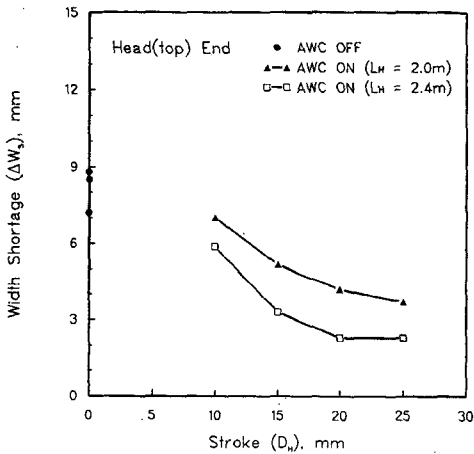


Fig. 8 Variation of width shortage with control stroke at the head ends.

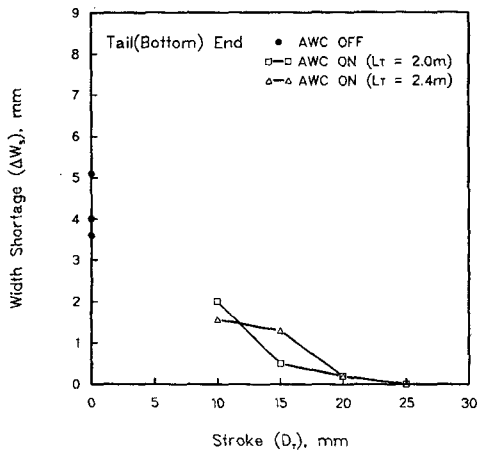


Fig. 9 Variation of width shortage with control stroke at the tail ends.

#### 4.2 개도 제어량 및 제어위치 변화

Table 1은 개도 제어량 및 제어위치가 폭변화에 미치는 효과를 고찰하기 위해 실기 실험시 사용한 제어조건을 나타낸 것으로, 개도 제어량은 선단부, 후단부 각각 5 조건 그리고 제어위치(제어시작점)는 2 조건으로 변화하였다. (스라브 폭: 1600 mm, 폭변경량: 71 mm 조건)

Fig. 8은 제어위치를 2.0 m, 2.4 m 로 두고 개도 제어량에 따른 선단부 폭 수축량을 나타낸 것이다. 결과에서 보듯이 제어 전에는 평균 8.5 mm의 폭수축 발생량을 보이지만 제어 후에는 개도 제어량의 증가에 따라 점점 감소해 감을 알 수 있다. 또한, 제어위치 2.4 m 인 경우가 2.0 m 인 경우보다 폭 수축 발생량이 감소함을 알 수 있다. 이는 제어 전의 비정상부 길이의 측정결과가 선단부의 경우, 평균 3 m 정도의 큰 값이기 때문에 제어위치도 함께 증가해야 함을 보여주는 결과이다.

Fig. 9는 위의 조건에서의 후단부에 대한 결과이다. 후단부 쪽도 선단부 쪽과 같은 경향을 보이며 개도 제어량을 증가시키면 폭수축 발생량은 감소한다. 그러나 개도 제어량이 20 mm 정도일 때 폭수축 발생량은 무시할 정도로 감소함을 확인할 수 있는데, 이러한 현상은 제어 전의 후단부 폭수축 발생량이 평균 4 mm 로 선단부와 비교하여 작은 값이기 때문이다. 한편, 제어위치의 영향은 큰 차이를 보이지 않는데, 후단부의 비정상부 길이가 2 m 정도로 작기 때문에 이 조건에서의 제어위치에 따른 폭수축 발생량의 변화는 없다. 폭수축길이( $\Delta L_T, \Delta L_H$ )도 개도 제어량에 따라 감소해 가며 폭수축 발생량 ( $\Delta W_s^H, \Delta W_s^T$ )과 마찬가지로 경향을 보였는데 이는 폭수축 발생량의 감소와 함께 폭수축길이도 비례적으로 감소함을 알 수 있다. 또한, 선단부 쪽과 후단부 쪽과의 경향에 차이를 보이는데, 선단부의 경우, 제어위치 2.4 m 인 경우가 2.0 m 인 경우보다 보상효과가 우수하나, 후단부의 경우에는 제어위치에 따라서 큰 영향을 받지 않는다. 이러한 현상은 선단부의 경우, 비정상부 길이가 3 m 정도로 큰 반면, 후단부의 경우는 2 m 정도로 제어시작점과의 비슷한 값을 갖기 때문이다. 결국, 선, 후단부의 제어시작점은 각각의 비정상부 길이에 따라

서 조절해야 함을 알 수 있다.

4.3 적정 개도 제어량 및 제어위치 결정

4.3.1 선단부

Fig. 10(a)는 선단부의 폭보상 원리를 나타내는 개념도이다. 일반적으로 폭수축 발생량은 선단부가 후단부보다 크므로 개도 제어량도 선단부가 후단부보다 크게 설정되어야 한다. 선단부의 폭을 최대로 보상하기 위해서는 엡저를 자동조절설비(AWC) 능력 한도에서 E<sub>4</sub> 스탠드의 폭압하량을 증가시키면 되나 엡저롤의 치입(roll bite), 좌굴(buckling)등의 제한조건을 감안하여 적정값을 도출한다.

선단부의 개도 제어량은 4.1절에서 구한 폭수축 발생량과 E<sub>4</sub> 엡저의 폭압하량으로부터 결정된다. 폭변경량이 작은 압연조건(~40 mm 이하)에서는 E<sub>4</sub> 엡저의 폭압하량이 대략 20 mm 이하이므로 E<sub>4</sub> 엡저의 폭압하량을 최적값으로 설정하고 폭변경량이 큰 압연조건(40 mm 이상)에서는 4.1절에서 구한 폭수축 예측값으로부터 개도 제어량을 도출한다.

제어위치는 Fig. 10(a)에서 보듯이 주어진 비정상부 영역에 대해 보상이 최대가 되는 조건이다. 그러므로 R<sub>3</sub> 출측의 폭수축길이에서 개도 제어량에 의한 제어길이를 뺀 값으로 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$D_H = \Delta W_e \tag{7}$$

$$L_H = \Delta L_H - L_r \tag{8}$$

여기서, D<sub>H</sub>는 선단부의 개도 제어량, L<sub>H</sub>는 선단부 제어위치, ΔW<sub>e</sub>는 폭압하량, ΔL<sub>H</sub>는 R<sub>3</sub> 출측의 비정상부 길이, L<sub>r</sub>은 제어길이를 나타낸다.

4.3.2 후단부

Fig. 10(b)는 후단부의 폭보상 원리를 나타낸 개념도이다. 후단부의 경우, 적정 개도 제어량은 R<sub>3</sub> 출측의 폭수축량 ΔW<sub>s</sub><sup>T</sup>를 보상하는 조건에서 도출한다. 폭압하량 조건에서 임의의 개도 제어량(또는 개도 패턴)이 압연재에 가해졌을 때, 그림에서와 같이 정상부와 비정상부에는 각각 다른 도그 본 분포가 형성된다. 이 도그 본 발생부를 수평압연을 실시하면 폭회복율의 차이에 따라 정상부와 비정상부간의 폭편차량이 발생하게 되는데, 이 때의 폭편차량이 폭수축 발생량과 동일한 값을 갖는 조건에서 폭수축 발생량이 0으로 된다. 이들의 관계를 표현하기 위해 폭압연후의 정상부(W<sub>e</sub>)와 비정상부(W<sub>e</sub><sup>T</sup>)의 판폭은 다음 식으로 표현된다.

$$W_e^T = W_0 - \Delta W_e^T \tag{9}$$

$$W_e = W_0 - \Delta W_e \tag{10}$$

여기서, ΔW<sub>e</sub><sup>T</sup>는 후단부에 대한 폭압하량을 나타낸다. ΔW<sub>s</sub><sup>T</sup>를 회복시키기 위한 조건은 식(11)로 표시될 수 있다.

$$\Delta W_e^T(\eta_T - 1) - \Delta W_e(\eta_M - 1) = \Delta W_s^T \tag{11}$$

ΔW<sub>e</sub><sup>T</sup> = ΔW<sub>e</sub> - D<sub>T</sub>의 관계로부터 개도 제어량 D<sub>T</sub>를 유도하면 식(12)로 정리된다.

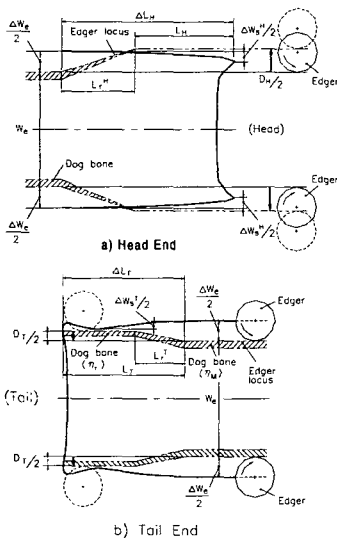


Fig. 10 Schematic drawing of width compensation at the head a tail ends.

$$D_T = \frac{\Delta W_e^T(\eta_T - \eta_M) - \Delta W_s^T}{\eta_T - 1} \quad (12)$$

폭 회복율은 판폭에 따라서 다소 차이를 보이나 정상부의 경우,  $\eta_M$  은 70~80% 정도이고, 비정상부의 경우,  $\eta_T$  는 80~90% 정도이다. 따라서 비정상부의 폭 회복율을  $\eta_T = 0.85$  로 가정하면 식(12)에 의해 후단부의 개도 제어량  $D_T$  가 근사적으로 계산된다. 또한, 후단부의 제어위치는 비정상부가 시작되는 점을 선택하는 것이 적합하다.

후단부의 판형상은 폭변경량에 따라 넥킹(necking)현상을 동반한 피쉬테일(fishtail)모양으로 전개되어 그림에서 보듯이 폭수축부와 폭퍼짐부로 나뉘어 점점 증가하게 된다. 따라서 폭수축현상이 발생하는 위치( $\Delta L_T$ )에서 후단부를 제어하면 비정상부가 시작되는 위치에서 넥킹 발생위치까지의 폭수축부( $L_r^T$ )를 보상하고, 넥킹 발생위치에서 판끝까지의 폭퍼짐부( $=L_T - L_r^T$ )를 줄여 판폭을 균일하게 할 수 있다. 그러므로 후단부의 제어위치는 식(13)과 같이 폭수축현상이 발생하는 위치로 이 값은 4.1절의 실측치 분석결과에 의해 도출된다.

$$L_T = \Delta L_T \quad (13)$$

### 5. 실험 결과 및 고찰

실측치 분석결과를 통해 폭수축 발생량과 폭수

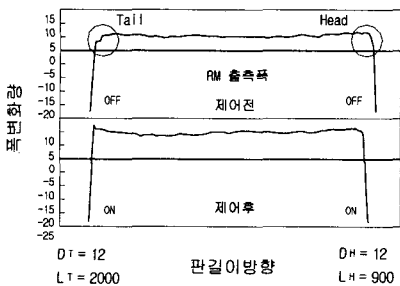


Fig. 11 Change in width profile before and after control ( $W_0=1070\text{mm}$ ,  $\Delta W_c=36\text{mm}$ ).

축길이를 예측하고  $E_4$  폭압연기의 제한조건과 도그 분 회복율을 고려하여 최적 개도 제어량과 제어위치를 도출하였으며 이를 실기에 적용하였다. 제어 적용후의 효과를 판폭별로 일례를 들어 설명하고자 한다.

Fig. 11은 협폭재에 대한 엿저 개도(gap)자동제어 적용전, 후의 판폭 프로파일을 비교한 것이다. 제어 적용조건은 선단부의 경우, 개도 제어량 12 mm, 제어위치 0.9 m 이고, 후단부의 경우, 제어량 12 mm, 제어위치 2.0 m 이다. 제어전의 선, 후단부의 폭수축 발생량은 3~4 mm 정도이며, 제어후에는 제어전의 선, 후단부 폭수축 발생량이 보상됨을 알 수 있다. Fig. 12는 스투브 폭 1430 mm, 폭변경량 86 mm, 선, 후단부 개도 제어량 20 mm, 제어위치 2.4 m 인 조건에서 제어전, 후의 결과를 나타낸 것이다. 폭변경량이 큰 조건에서도 보상효과가 양호함을 보인다. Fig. 13은 스투브 폭 1600 mm, 폭변경량 66 mm 인 조건으로 양호한 폭보상 효과를 보인다.

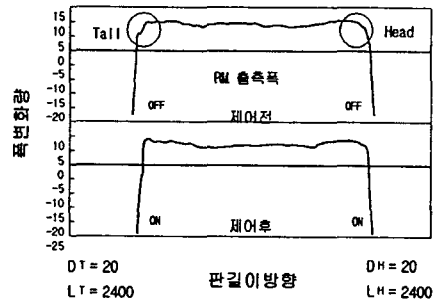


Fig. 12 Change in width profile before and after control ( $W_0=1430\text{ mm}$ ,  $\Delta W_c=86\text{mm}$ ).

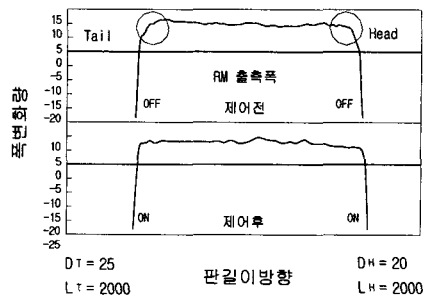


Fig. 13 Change in width profile before and after control ( $W_0=1600\text{ mm}$ ,  $\Delta W_c=66\text{mm}$ ).



## 6. 결 론

열연공정 선, 후단부 폭정도 향상을 목적으로 조압연 출축의 선, 후단부 폭수축 발생량의 정량적인 분석과 실기실험을 토대로 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 선, 후단부에 발생하는 폭수축량은 폭변경량에 따라 증가하며 협폭재로부터 광폭재로 향할수록 그 발생 정도가 크다.

(2) 개도 제어량이 증가함에 따라 폭수축 발생량 및 폭수축 길이가 감소함으로써 선, 후단부의 폭보상효과가 개선됨을 보였다.

(3) 선, 후단부 폭제어를 위해 개도 제어량과 폭압하량의 관계로부터 선, 후단부 폭정도 향상 최적방안을 도출하였고 실기 적용결과 현저한 폭정도 개선효과를 확인하였다.

## 참고문헌

(1) 芝原 隆 外, 1978, “粗壓延 板幅制御에 대하여 (熱延 板幅制御의 研究),” 第29回 塑性加工連

合講演會 論文集, pp.145~147.

(2) 芝原 隆 外, 1982, “熱延 粗壓延 先後端部 幅制御의 檢討,” 第33回 塑性加工 連合講演會論文集, pp.21~24.

(3) 久保多貞夫 外, 1983, “熱延 粗壓延 自動板幅制御 시스템의 開發,” 鐵と鋼, S1127.

(4) 芝原 隆 外, 1984, “熱延 粗壓延에 있어서 自動板幅制御”, 塑性と加工, Vol.25, No.277, pp.115~122.

(5) 浜渦修一 外, 1984, “鉛 모델에 의한 板 先,後端幅制御法 研究,” 塑性と加工, Vol.25, No.277, pp.143~149.

(6) 井端治廣 外, 1985, “熱延工場 粗壓延에 있어서 自動 板幅制御,” 鐵と鋼, S1144.

(7) 日野裕之 外, 1989, “熱間壓延에 있어서 幅制御 시스템의 開發,” 日本機械學會 論文集 (C編), 56卷 526號, pp.276~281.

(8) 守田義之 外, 1989, “熱延 粗壓延에 있어서 板幅制御의 研究,” CAMP-ISIJ, Vol.2, pp.482.

(9) Saitoh M. etc., 1991, “Development of High Accuracy Control System for Hot Strip Mill,” NKK Technical Review, No.61, pp.10~13.