

## 후판 선후단에서의 비정상변형부 폭제어기술

장 대 섭, 남 구 원, 천 명 식  
(주)포항제철, 후판부, 후판기술팀  
포항산업과학연구원, 압연프로세스연구팀

### Width Control of the Top and Bottom Ends of Steel Plate by Using Short-Stroke edging in Plate Mill

D. S. Jang, K. W. Nam and M. S. Chun  
Plate Dept., POSCO  
Rolling Process Research Team, RIST

#### Abstract

Width variation of the top and bottom ends of steel at finishing rolling in a plate, has been investigated. It was found that width variation after finishing rolling is affected by edging, broadside rolling ratio, longitudinal rolling ratio, width shape after broadside rolling, temperature, width-to-thickness ratio, and so on. A neural network modelling of back propagation has been conducted on the width variation during rolling. Based on these prediction models, a width control system, by which the roll opening and closing of the hydraulic AWC edger can be adjusted during edge rolling in finishing rolling passes, has been developed. Compared to conventional width model, the neural network model is much more accurate in a model. The width control system is applied to a newly built production mill.

**Key words** : Plate mill, Width variation, Edge rolling, AWC, Neural network

#### 1. 서 론

후판압연에서 폭정도를 나타내는 지표는 판내 폭편차와 판간 폭편차로 나뉘어 지며 이에 대한 제어방법은 압연방법(rolling sequence)에 따라 다르다. 후판압연은 대부분 폭내기 압연을 포함하기 때문에 폭내기압연시 선후단부의 비 정상변형부가 길이내기 압연시 폭방향으로 전환하게 되므로 길이내기압연이 추가됨에 따라 폭 프로파일은 다양한 패턴을 갖는다. 특히, 판내 폭 프로파일은 폭내기 종료후의 판의 평면형상에 영향을 미치게 되는데 길이내기 압연공정을 거치게 되면 길이내기비, 에징량 등에 따라 중앙부에 비해 선후단부가 폭이 작은 폭빠짐 현상이 발생하거나 또는 선후단부(top and bottom)가 폭이 큰 폭퍼짐 현상이 발생하게 되어 폭정도 하락의 요인이 된다. 이와 같은 폭빠짐 또는 폭퍼짐 현상은 폭정도 뿐만 아니라 측면크롬을 유발하여 전단손실을 가져 오게 되므로 이에 대한 제어가 필요하다.<sup>1)~5)</sup> 따라서 본 연구에서는 판내 폭정도를 확보할 목적

으로 수평압연기 전면에 설치된 유압 AWC를 활용하여 길이내기종료후의 판폭변화량을 엄밀 예측하여 압연조건에 부합한 선후단부의 폭제어량을 도출하고 폭보상 제어기능(short-stroke AWC)에 의해 정상부와의 편차를 줄이고자 한다.

## 2. 판폭변화에측 모델링

### 2.1 판 폭프로파일 수집 및 분석

압연기 전후면의 입 출측 폭계를 이용하여 패스별 폭 프로파일 데이터를 수집하였다. PLC 주 콘트롤러에 노트 북 P/C를 연결하고 A/D 전환기를 통해서 약 600매의 폭 실적데이터를 수집하였다. 폭내기패스 에징(edging)은 압연방향을 기준으로 에지부에 국부적인 재료유동현상으로 선후단부에는 피쉬테일(fishtail) 모양이 형성되고 통상적인 수평압연을 실시하면 에지부에는 폭퍼짐량이 증가하여 혀(tongue)모양을 유지하게 된다. Fig. 1 은 폭내기비에 따른 폭내기종료 후의 폭 프로파일 나타낸 것이다. 중앙부와 비교하여 에지부에는 에징에 의한 국부적인 소성변형으로 판내 폭변동이 발생한다. 폭내기종료후의 폭 프로파일은 폭내기 비와 폭내기패스 에징량에 따라 다르나 통상적인 에징패턴에서는 대부분 중앙부의 폭보다 선후단부의 폭이 큰 음의 폭편차를 갖는다. 폭내기 종료후의 음의 폭편차량은 길이내기 압연공정을 거치면서 에징압연과 수평압연이 중첩되어 폭 프로파일이 변화한다. Fig. 2 는 길이내기종료 후 폭 프로파일을 측정된 것이다. 후물재의 경우에는 에징으로 인한 소성변형 정도보다 두께압하에 의한 소성변형 정도가 상대적으로 작기 때문에 선후단부에서 폭빠짐현상을 나타내는 반면, 박물재의 경우는 이와 반대로 선후단부에서 폭퍼짐현상을 나타낸다.

### 2.2 판내 폭변동량 예측

압연조건에 따라 판폭변화량에 대한 예측은 역전과 신경망을 이용하여 모델링을 실시하였다. 신경망의 구조는 6개의 입력뉴런, 12개의 은닉뉴런 그리고 1개의 출력뉴런으로 구성되어 학습계수를 변화시키며 최적 값을 도출하였다. 입력항은 판내 폭변동에 영향을 주는 인자들을 고려하였는데 폭내기비, 폭내기패스 에징량, 폭내기전후 온도비, 폭/두께비, 길이내기비, 길이내기패스 에징량이 그들이다. 에징압연에 의한 폭빠짐량은 선단부가 후단부 보다 크며 수평압연에 의한 폭퍼짐량은 선단부 보다 후단부가 더 크므로 선단부와 후단부로 구분하여 모델 식을 구성하였다. Fig. 3 ~ 4 는 선단부 및 후단부의 신경망에 의한 모델링 결과이며 예측정도가 양호함을 보인다.

## 3. 선후단부 폭보상 제어시스템 개발

### 3.1 폭제어시스템 개요

AWC(Automatic width control) 제어시스템은 압연재의 폭을 측정하는 폭계(width meter), 압연소재의 위치검출센서(pulse generator), 유압 실린더의 위치를 검출하는 서보밸브(servo valve) 와 위치센서 그리고 에지압연시 압연하중을 측정하여 선단부 통과(metal-in)를 검출하는 로드 셀(load cell)로 구성된다. AWC를 이용한 폭제어기능 중 후관압연공정에서는 선후단부를 제어하기 위한 폭보상제어(short-stroke AWC) 기능과 폭 측정값과 예측모델을 이용하여 패스간 폭제어를 실시하는 피드 포워드(feed forward AWC) 기능이 주로 사용된다. 그 중 폭보상방법에 대해서 소개하고자 한다. 선후단부 폭보상제어는 정상부(middle)와 선단 또는 후단부 간 판내 폭변동을 제어하는 방법으로 길이내기 에징패스시 유압실린더에 의해 선단부와 후단부의 롤갭(roll gap)을 열거나(open) 또는 오므려(close) 중앙부와의 폭편동을 줄이는 방법이다. Fig. 5 는 선후단부의 폭보상 제어방법의 개

넘도를 나타낸 것이다. 선후단부 폭이 정상부 폭보다 작은 경우 판의 폭빠짐에 상당하는 만큼 예정패스시 롤갭을 벌려 폭을 보상하고, 반대로 선후단부 폭이 정상부 폭보다 큰 경우, 폭퍼짐 만큼 예정패스에서 롤갭을 오므려 폭을 보상하게 된다. Table 1 은 후판공장에 설치된 AWC 제어기의 설비능력을 나타낸다. 유압실린더의 최대 행정은 40mm/side, 실린더의 속도는 압연하중 200톤을 기준으로 120mm/sec 로써 기본유주를 기준으로 +20 ~ -20mm 범위의 에저롤 갭을 변화한다..

### 3.2 폭제어로직 설계

폭제어의 효율을 높이기 위해서는 제어패스, 제어시점 등을 고려하여 로직을 설계해야 한다. 제어패스 설정은 스라브 길이가 짧은 단계의 길이내기 예정 초기패스에 실시하는 것이 유리하다. 길이내기 초기패스의 경우 설정 예정량이 크기 때문에 폭보상범위가 증가하고 압연재 길이가 짧아 롤 속도와 재료유동속도간 오차가 작아 후단부 제어정도가 양호하게 된다. 제어시점은 선단부의 경우 압연재가 압연기에 치입되어 기준 압연하중이 걸리는 시점부터이며 후단부의 경우는 압연재길이에서 선단부의 제어종료길이를 뺀 위치에서 롤갭의 변화를 준다. Fig. 6 은 선후단부의 폭 제어에 대한 개략적인 흐름도를 나타낸 것이다. 폭내기공정과 길이내기공정의 압연조건으로부터 선단 및 후단부의 폭 변동량을 계산한 후 양의 변동량과 음의 변동량으로 구분하여 제어량을 도출한다. 날판 형상이 양의 변동량을 갖는 경우, 제어가능 범위내의 제어량을 설정하고 제어가능 범위를 초과하는 경우에는 제어패스 수를 증가시킨다. 날판 형상이 음의 변동량을 갖는 경우, 설정 롤갭보다 선후단부의 롤갭을 오므리므로 치입가능 예정량과 예정후 도그 본 회복량을 고려하여 제어량을 도출한다. 한편 제어부 길이는 날판 에지부의 비정상부 길이( $\Delta L_i$ ) 로부터 계산한다.

$$\Delta L_i = -\frac{R}{a_1} \ln\left(\frac{\Delta W}{a_2 \sqrt{R}} \cdot \frac{H_i^m}{\Delta H_i}\right) \quad (1)$$

$$\Delta L_f = \sum_{i=1}^n \Delta L_i \quad (2)$$

여기서, R 은 수평 롤반경,  $\Delta W$  는 정상부와 비정상부간의 폭변동 차,  $H_i$  는 입측두께,  $\Delta H_i$  는 압하량,  $a_1$ ,  $a_2$ , m 은 상수, i 는 길이내기 패스 수를 각각 나타낸다. (1)식을 이용하여 길이내기 종료 후 비정상영역을 계산한 후 제어패스 길이( $\Delta L^*$ )로 환산한다.

$$\Delta L^* = 1/\lambda_3 (\Delta C + \Delta L_f) \quad (3)$$

여기서,  $\Delta C$  는 선후단부 평균 크롭길이를 나타낸다.

## 4. 선후단부 폭보상 제어시스템 적용 결과

Fig. 7 은 실기에 적용한 AWC 제어 예를 나타낸 것이다. 압연재가 에저에 치입되어 기준하중을 초과하는 시점부터 롤갭이 변화하여 정상 롤갭을 유지하다가 후단부 제어시작점에서 롤갭이 다시 변화함을 보인다. Fig. 8 은 폭 제어시스템 제어 적용전, 후의 선후단부 폭 프로파일을 나타낸 결과 예이다. 제어적용전에는 폭퍼짐에 의한 후래어 발생량이 큰 편이었으나 제어적용후 제어전에 비해 감소함을 보인다. Fig. 9 는 제어시스템 가동전, 후 판내 폭편차량을 폭내기비에 따라서 나타낸 결과이다. 제어적용전과 비교하여 약 25%의 폭편차 감소효과를 보인다.

## 5. 결 론

후관압연시 압연관의 선후단부 판내 폭변동량 예측과 폭 프로파일 형태에 따른 제어로직을 설계하여 실기에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

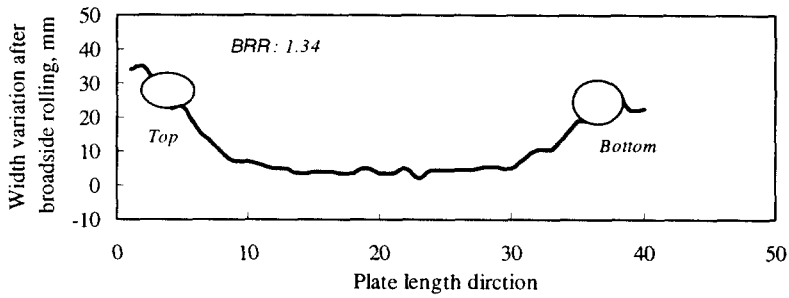
- 1) 판내 폭변동량을 선단부와 후단부로 나누어 모델링을 실시한 결과 선후단부 모두 양호한 예측 정도를 얻었다.
- 2) 선후단부 폭제어는 폭 프로파일에 따라 양의 폭변동을 갖는 경우와 음의 폭변동을 갖는 경우로 구분하여 패스별 제어량, 제어길이 및 제어패스 수를 결정하는 로직을 설계하였다.
- 3) 폭 제어시스템을 온라인에 적용하여 분석한 결과 적용전과 비교하여 약 25%의 판내 폭편차 감소효과를 얻었다.

## 참고문헌

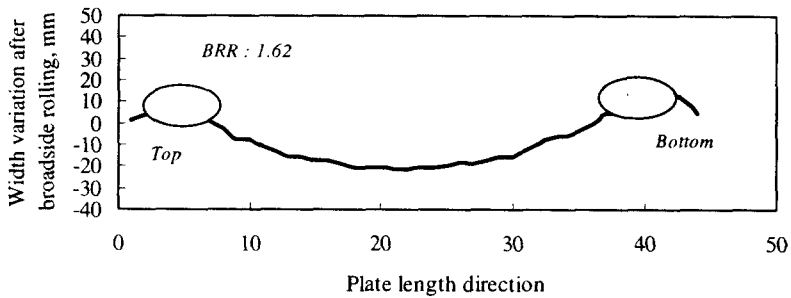
1. M. Okado et al, Ttetsu-to-Hagane, No.15, pp260-269, 1981.
2. T. Shibahara et al, 소성 & 가공, Vol.25, No277, pp.115-122, 1984.
3. H. Hino et al, 일본기계학회논문집(C편), No.89, pp. 276-281, 1990.
4. H. Furukawa et al, Steel Rolling '98, November 9-11, pp.583-588, 1998.
5. 천명식 외, 대한기계학회논문집, Vol.23, No.7, pp.1196-1204, 1999

Table 1 Specification of AWC system

Hydraulic AWC Device	Servo valve	Direct drive
	Cylinder load	Max. 280ton/cylinder
	Cylinder speed	120mm/sec per roll
	Cylinder stroke	$\pm 20$ mm per roll
Width meter	Measuring type	Laser scanning distance meter type
	Measuring range	1200 ~ 4200mm
	Accuracy	$\pm 2$ mm( $2\sigma$ )
	Sampling pitch	2mm
	Scanning speed	50Hz

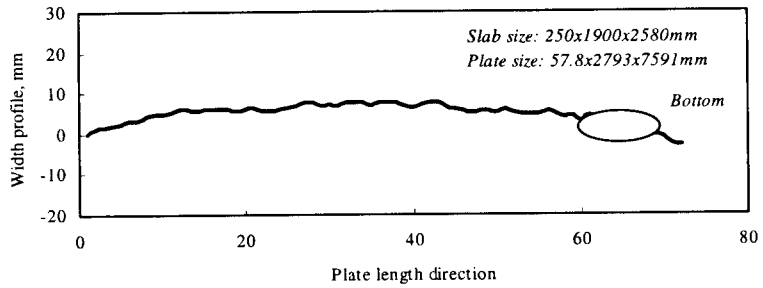


(a)

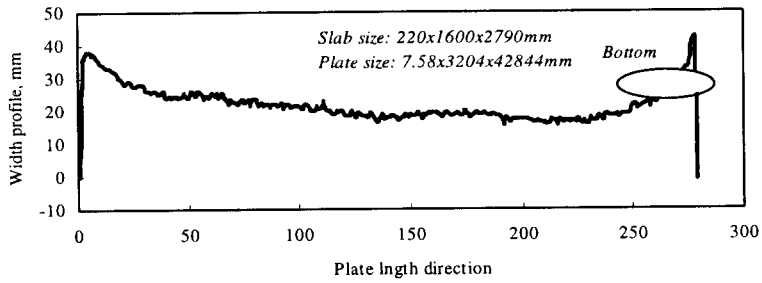


(b)

Fig. 1 Width profile after broadside rolling



(a)



(b)

Fig. 2 Width profile after finishing rolling

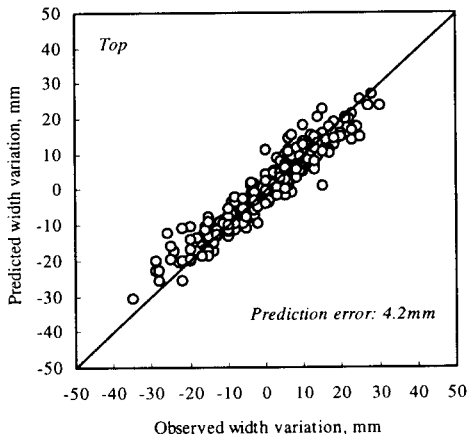


Fig. 3 Prediction result by the BP model at the top ends.

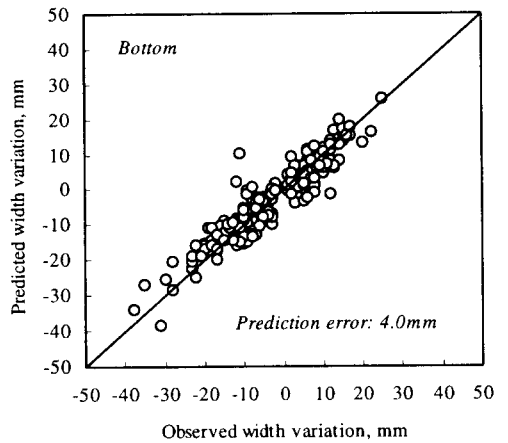


Fig. 4 Prediction result by the BP model at the bottom ends.

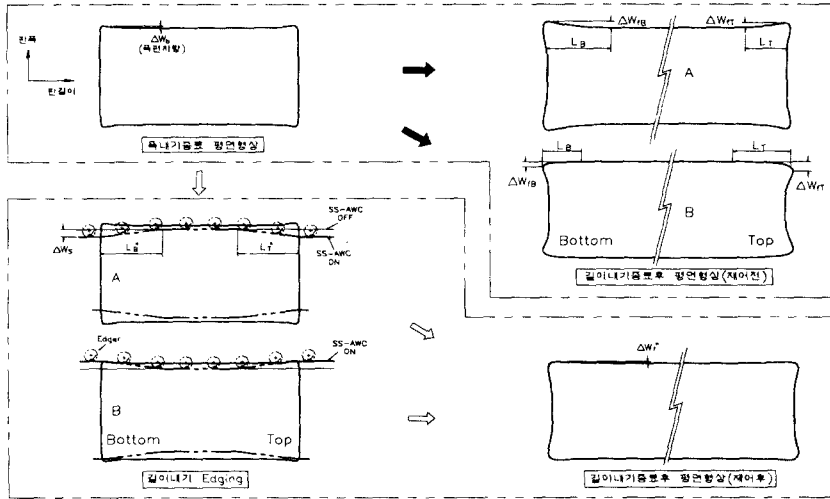


Fig. 5 Schematic diagram of short-stroke edging

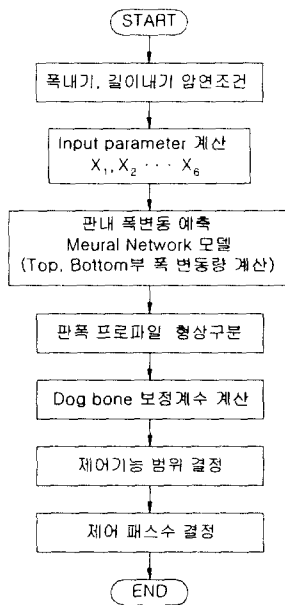
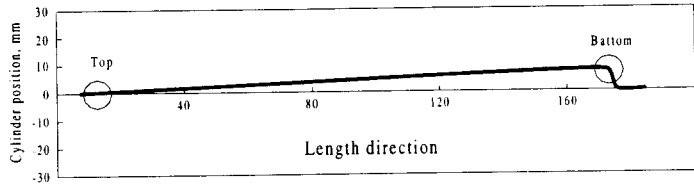
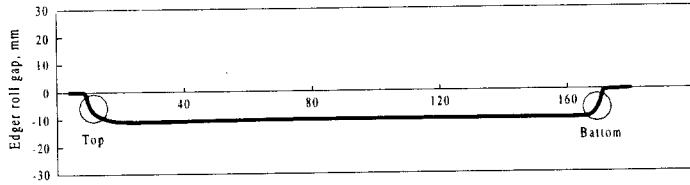


Fig. 6 Flow chart to determine short-stroke value

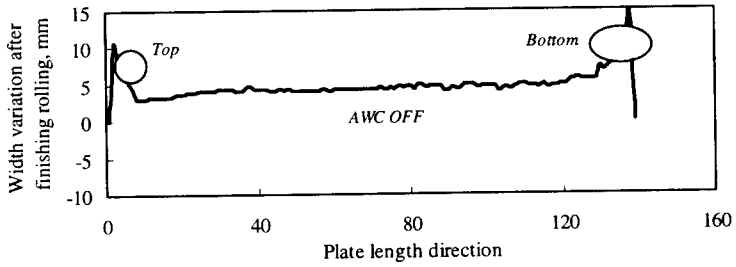


(a)

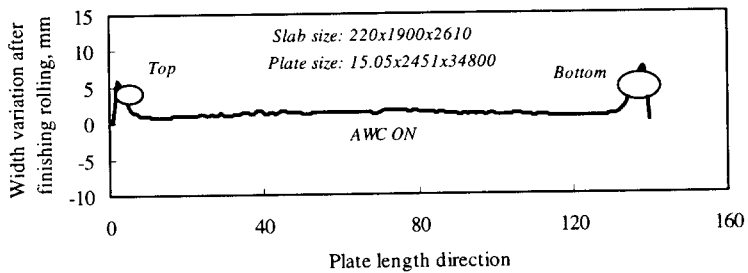


(b)

Fig. 7 Example of actual roll gap control



(a)



(b)

Fig. 8 Change in width profile before and after control



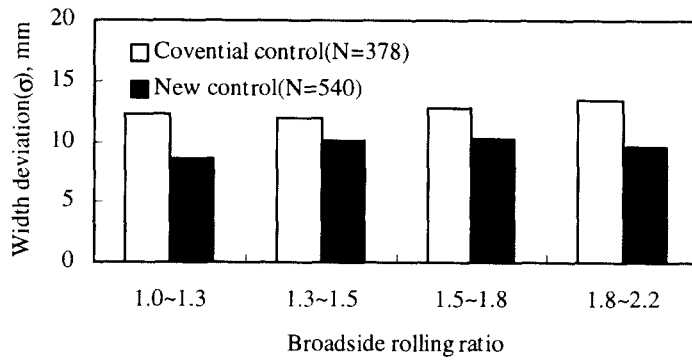


Fig. 9 Comparison of width accuracy between conventional and AWC control