

두께차 압연에 의한 후강판 크롭저감 연구

천명식* · 이준정*

Crop Control by Using Roll Gap Difference in Plate Mill

M.S. Chun and J.J. Yi

Abstract

In plate mill, studies on crop decrease of the top and bottom ends of hot rolled plate have been performed. The plane view shape for the thin plate after broadside rolling was controlled by roll gap difference with AGC in broadside rolling process. New models for thin slab after broadside rolling have been formulated based on the actual production rolling data to give optimal rolling condition. A new plate rolling method called by dog bone rolling has been applied, making it is possible to prevent non-uniform plastic deformation at top and bottom ends. By new rolling method, crop losses of rolled plate have been improved by 10% on average with an effective fishtail crop shape.

Key Words : Dog bone rolling, Crop loss, Fish-tail crop

1. 서론

최근의 후판 압연공정에서의 치수 및 형상제어 기술측면에서 살펴보면 설비, 센서, 모델 및 제어시스템 등 모든 분야에서 개발이 완료되어 보완과 조정을 거쳐 많은 정도향상을 보여왔다. 그러나 선진제철소에서도 완전하게 해결하지 못한 기술이 캠버 및 형상제어기술이다. 특히, 캠버발생은 후판실수율 향상측면에서도 많은 장애요인으로 작용하고 있다. 후판 실수율은 판내, 판간 폭 및 평

면형상 제어와 캠버제어에 의해 좌우된다고 해도 과언은 아닌데 그 중 판폭과 평면형상제어는 제어방법의 효과적인 적용 및 관련모델의 예측정도에 따라서 영향을 받는다. 후판압연에서 크롭이란 선후단의 비정상변형 발생부를 의미하며 선후단부 크롭(top and bottom crop)과 에지부 폭 변동에 의한 측면크롭(side crop)으로 분류한다. 크롭을 줄이기 위한 수단은 에지압연(edger rolling) 또는 두께차 변화압연(통상, dog bone rolling)법이 이용되고 있으며 이를 최적 활용하기 위한 많은 연구

* 포항산업과학연구원 압연프로세스연구팀

들이 최근까지 수행되어 왔다. ⁽¹⁻⁵⁾ 그러나 이와 같은 크롭을 효과적으로 줄이기 위해서는 관련모델의 예측정도 level-up, 압연조건에 따른 적절한 제어로직 설계, 센서 개발 및 그 제어시스템 구축 등이 무엇보다도 중요하다. 에저압연에 의한 평면형상 제어압연법은 일본제철소의 경우 '80년도 초기부터 개발되어온 제어압연법으로 후판 실수를 측면에서 통상의 압연법(horizontal rolling)을 한 단계 뛰어 넘은 혁신적인 방법이었다. 그러나 일반적으로 후판압연공정은 폭내기압연공정을 포함하기 때문에 폭내기압연후의 두께가 얇은 사이징(sizing)스라브, 광폭 압연재, 스텐레스강판 등은 에저압연에 의한 평면형상 제어정도가 아주 작다. 반면에 도그 본 압연법은 판내 폭변동량이나 선후부 크롭에 해당하는 폭만큼 두께변화를 변경할 수 있다. 에저압연법의 경우 스라브 두께 203mm, 폭내기 비가 1.8 이상의 광폭 압연재의 경우 폭내기종료 후 두께가 대략 100mm 이하임을 감안하면 후단패스에서의 좌굴발생으로 에징패스 수를 늘릴 수 없는 제약이 있다. 반면에 도그 본 제어압연법은 사이징 스라브와 스텐레스강과 같은 판 벤딩(front end bending) 발생량이 과다하여 에징패스를 부여할 수 없는 경우에 적용할 수 있는 장점이 있다. 후판압연공정에서 실수율을 극대화를 위해서는 실기데이터를 활용한 고정도 모델개발과 제어로직 설계가 중요시된다. 따라서 본 연구에서는 에저압연법의 평면형상 제어효과가 미미한 압연조건을 대상으로 실기실험, 실기데이터 분석 및 모델압연실험을 통한 도그 본 제어모델의 개발하여 평면형상 제어정도를 향상시키고자 한다.

2. 도그 본 제어압연 모델개발

2.1 도그 본 제어압연법의 개요

도그 본 압연법(Dog bone rolling)이란 평면형상 제어압연 방법 중 하나로써 고르기 도그 본 제어압연과 폭내기 도그 본 제어압연으로 분류된다. 고르기 도그 본 제어압연이란 고르기 압연 종료패스 시 AGC(Automatic gauge control)에 의해 선 후단(top and bottom)부와 중앙(middle)부간의 두께변화를 주어 날판의 판내 폭변동량을 제어하는 압연방법이며 폭내기 도그 본 제어압연이란 폭내기 종료패스 시 고르기 패스와 같은 방법으로 압연종료후 판의 선 후단부의 폭수축 발생량만큼 선 후단부와 중앙부간의 두께변화를 주어 제어하는 압연방법이다.(Fig. 1) 제어패스 후 단면의 형상이 중앙부와 비교하여 에지부가 돌출되는 모양처럼 생겼다가하여 도그 본(dog bone)이라 정의하였다. 도그 본 압연법은 80년대 초 일

본의 가와사키 미즈시마(KSC Mizushima)제철소에서 MAS(Mizushima Automatic Plan View Pattern Control System)압연법의 개발하였고 일본강관 후쿠야마(NKK Fukuyama)제철소에서는 DBR(Dog bone rolling)압연법으로 명명하였다. 그 후 유럽 및 일본의 타사에서 이 와 같은 압연법을 활용하고 있다. ⁽¹⁻⁴⁾ 도그 본 압연법은 에저압연(edger rolling)법의 적용이 곤란한 광폭 압연재, 사이징(sizing)스라브, 스텐레스강 등 고 강도강 적용시 유리하다.

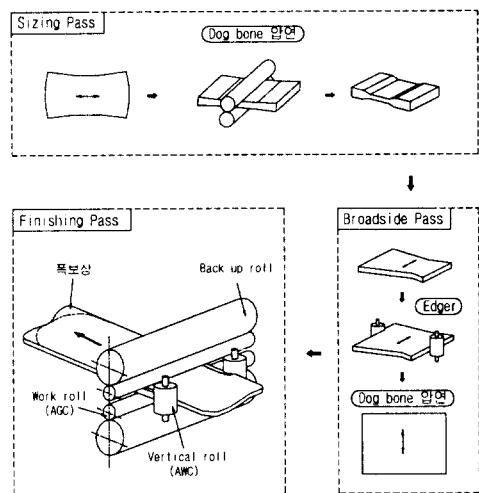


Fig. 1 Schematic diagram of dog bone rolling

2.2 도그 본 압연 실험결과

실기실험은 고르기압연과 폭내기압연시 선 후단부와 중앙부간의 두께변화량(이하 도그 본 제어량이라 함)과 두께변화깊이를 변화시켜가며 실시하였다. 압연방향으로의 폭 프로파일 데이터는 압연기 전, 후면에 설치된 폭계(width meter)에 의해 측정하였으며 매 패스시 실적데이터를 통해서 수집 및 분석하였다. Fig. 2(a)는 통상압연을 실시하는 경우 폭내기종료 후 크롭 프로파일을 실측한 결과이다. 중앙부의 폭과 비교하여 에지부 폭이 상대적으로 작은 폭수축 현상을 유발한다. Fig. 2(b)의 도그 본 제어압연을 실시한 경우 선 후단부 폭수축 발생량의 감소효과를 보인 예이다. Fig. 3(a)는 폭내기 비에 따라서 도그 본 제어압연을 실시하였을 경우 선 후단부 폭수축 발생량을 나타낸 것이다. 도그 본 제어압연을 실시하는 경우 선 후단부 폭수축 발생량은 폭내기 비의 증가에 따라서 증가하는 경향을 보이며 대략 10~30mm 범위의 값을 갖는다.

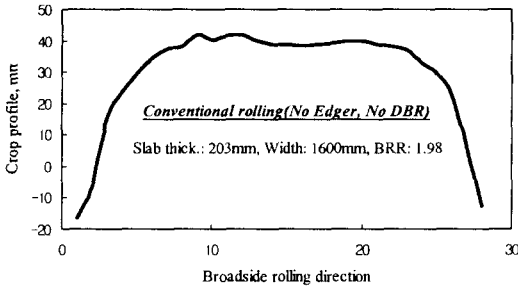


Fig. 2(a) Crop profile of conventional rolling

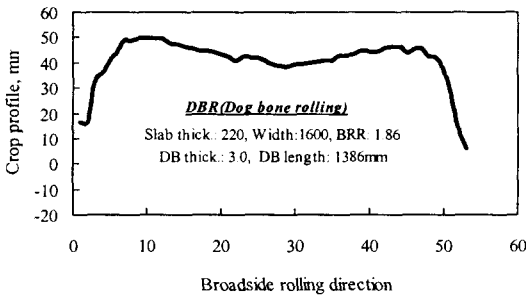


Fig. 2(b) Crop profile of dog bone rolling

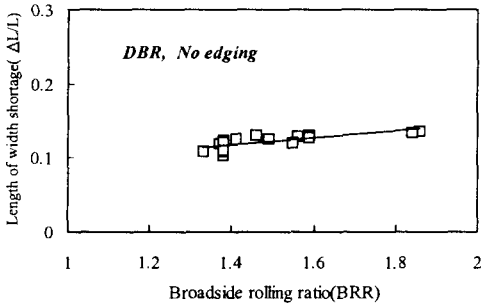


Fig. 3(a) Width shortage after dog bone rolling

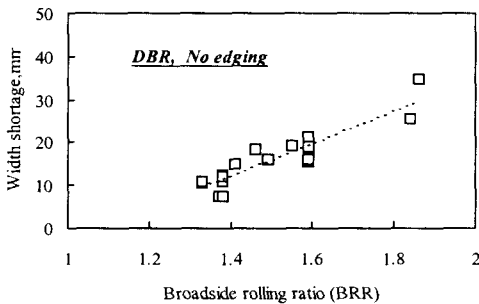


Fig. 3(b) Length of width shortage after DB rolling

Fig. 3(b)는 이 때의 폭수축발생 길이를 나타낸 것이다. 폭수축발생 길이는 폭내기 비에 따라서 거의 차이가 없으나 폭내기압연 종료후의 슬라브 길이의 10~15% 범위의 값을 갖는다.

2.3 도그 본 제어모델

압연종료 후 선 후단부의 비정상 불균일부인 크롭을 제어를 목적으로 폭내기 압연패시시 도그 본 제어압연을 실시하게 된다. 에저압연과 동시에 도그 본 제어압연을 실시한 경우는 에저압연을 실시하지 않은 경우와 기본수식은 동일하나 판의 선 후단부 평균 크롭길이와 비정상 변형부의 길이의 차이가 다른 점이다. 크롭길이의 경우 사이징 슬라브와 스텐레스재와 같은 폭내기압연시 판 벤딩발생으로 길이내기 압연시 에지의 효과를 거의 기대하지 못하는 조건에 대해서는 에저압연에 의한 평면형상 변화에 대한 효과를 무시한다. 광폭 압연재의 경우는 도그 본 제어량의 보정계수를 조정하여 적정 제어조건을 도출한다. 또한, 후판공장에 적용되는 압연방법이 주로 고르기를 생략하는 방법이므로 고르기 도그 본 제어압연이 필요 없게 된다. 따라서 폭내기 압연패스에 적용할 도그 본 제어량은 선 후단부의 폭수축량에 해당하는 만큼 선 후단부의 롤갭을 오픈하면 된다. 이하, 도그 본 제어량 계산방법에 대하여 설명한다. 선후단부 크롭 프로파일은 Fig. 4와 같은 4 차식의 프로파일을 갖는다.

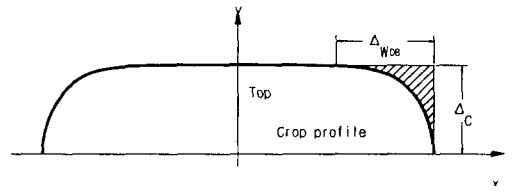


Fig. 4 Crop profile at top end of rolled plate

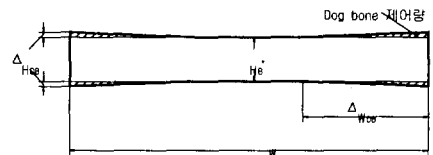


Fig. 5 Thickness profile with dog bone shape

Fig. 4의 선후단부 크롭 프로파일로부터 크롭발생부 체적과 제어패시시 선 후단부에 부여할 두께보상에 대한 체적을 동일하게 놓고 계산하면 (1)식과 같이 된다.

$$\Delta H_{DB} = 0.2 \frac{\Delta C^* H_F}{L_B} \quad (1)$$

(1) 식은 도그 본 발생부가 수평압연 통과 후 폭 방향으로 회복되기 때문에 폭 보정계수를 구하여 도그 본 제어량을 계산한다.

$$\Delta H_{DB} = \zeta \frac{\Delta C^* H_F}{L_B} \quad (2)$$

여기서, ΔH_{DB} 는 폭내기 종료패스 시 도그 본 제어량, ζ 는 크롭 프로파일 및 도그 본 발생부 폭피침량을 고려한 보정계수, L_B 는 폭내기 종료후 판 길이를 각각 나타낸다.

3. 실기적용 결과

실기 실험결과로부터 도그 본 제어모델을 개발하여 에저압연법으로는 평면형상 제어가 곤란한 압연조건에 대하여 온라인 적용을 실시하였다. 제어대상은 사이징재, 스텐레스강 및 광폭 압연재로 제한하고, 압연조건별 크롭길이 계산하여 (2)식의 제어범위 내에서 제어량을 계산하고 도그 본 제어압연시의 폭감소량을 고려하여 폭내기 목표두께를 조정하였다. Fig. 6은 평면형상 제어 적용 전 후의 크롭형상을 나타낸 분포이다. 여기서, 크롭 분류코드 1~2의 경우는 혀형상(tongue shape)이고 3~5의 경우는 피쉬테일 형상(fishtail shape)을 각각 나타낸다. 적용전에는 대부분 혀형상 크롭분포를 갖으나 적용 후 85%이상 피쉬테일 형상을 갖는 크롭으로 전환되었다. 크롭을 중량을 환산하였을 경우 판폭에 따라 차이가 있지만 피쉬테일 크롭은 혀형상 크롭의 20~50% 정도 로 크롭 저감측면에서 아주 우수하다.

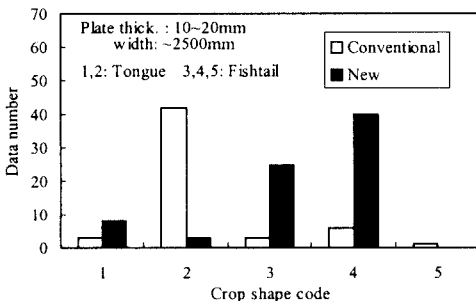


Fig. 6 Crop shape between conventional and new control

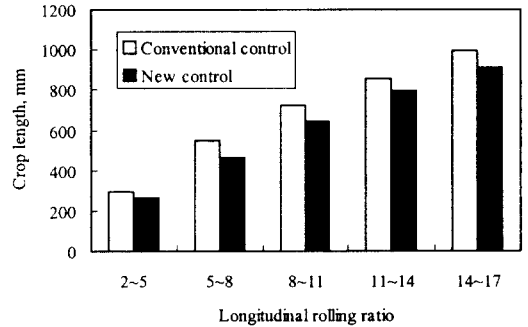


Fig.7 Crop length between conventional and new control

Fig. 7은 단순히 크롭길이를 비교한 것으로 적용 전 대비 적용 후 약 10%의 감소효과 있음을 알 수 있다.

4. 결론

후판압연 제품의 평면형상을 최적 제어하기 위하여 도그 본 제어압연 모델의 개발과 로직조정을 통해서 실기에 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 에저압연에 의한 평면형상 제어효과가 미미한 사이징 스텐레스강, 스텐레스강 및 광폭 압연재에 도그 본 압연법에 의한 평면형상 제어모델을 개발하였다.
- (2) 사이징 스텐레스강에 대하여 온라인 적용을 실시한 결과 크롭형상은 혀형상의 크롭에서 피쉬테일형상의 크롭을 갖는 양호한 결과를 얻었으며 크롭길이도 적용전과 비교하여 10%의 감소효과를 얻었다.

참고 문헌

- (1) Y. Haga et al: "Development of New Plane View Control Technique in Plate Rolling(NKK-DBR)", NKK Technical Report, 1983, No.39, pp.21~30.
- (2) T. Yanazawa et al: "후판압연 평면형상 제어방법", KSC Technical Rep., 1979, Vol.11, No.2, pp.169~181.
- (3) M. Morel et al: "Quality Control and Production Optimization in Plate Mills using the Hydroplate System", Iron and Steel Engineer, 1984, pp.48~53.
- (4) H. Furukawa et al, "Optimal Plan Vie Pattern Control with Hydraulic Edger in Plate Rolling", Steel Rolling '98, 1988, November 9-11, pp.583~588.
- (5) 천명식 외, 1999, 한국소성가공학회지, Vol.8, No.2, pp.208~211.