

퍼지 기법을 이용한 STS 강판의 형상제어

허윤기
포항제철 기술연구소 계속제어연구그룹

Automatic Shape Control for the stainless cold mill using Fuzzy method

Hur Yone-Gi
POSCO Technical Lab. Instrumentation & control group

Abstract - 본 연구는 포항제철 STS 냉연공장의 형상제어에 관한 것이다. 당사의 냉간 압연기는 Sendzimir mill로서 상하 롤(Roll)이 10단씩 구성된 20단 압연기이다. 본 압연기에 의한 STS 냉연강판의 형상제어는 현재 조업자의 수동운전으로 구동되고 있으며 구동기는 AS_U Roll 8 개와 Intermediate Roll 2 개의 10 개로 구성되어 있다. 구동기의 특성은 solenoid 형태와 유압식으로서 응답성이 빠르지 못하다. 본 연구는 위와 같은 특성을 지닌 냉간 압연기를 가지고 퍼지 제어에 의한 자동제어의 구현에 관한 것이다. 본 연구에 사용된 퍼지 제어기는 형상, 강판의 두께, Roll 속도, AS_U Roll과 IMR의 현 위치, 강종, 강판의 폭, 강판의 장력 등의 입력을 고려하여 제어기의 출력인 AS_U Roll 8 개의 위치 값과 IMR 2 개의 위치 값을 결정한다. 현재 실 프로세서에 적용중이며 형상제어 정도가 양호하다. 본 연구의 효과는 형상제어의 자동화 및 형상 정도 향상을 통한 조업 안정화에 있다.

이중 형상제어에 사용되는 구동기는 AS_U Roll인 B와 C 그리고 1st Intermediate Roll(IMR)인 O, P, Q, R이다. AS_U Roll은 (그림 1-2)에서와 같이 1 측에 8 개의 Saddle로 구성되어 있으며 유압 모터에 의해 rack을 구동하면 B와 C의 Roll이 편심을 이루면서 힘이 하부의 2nd IMR에 전달된다. 여기서 제어변수는 AS_U Roll의 8 개 saddle의 상하 위치제어이다.

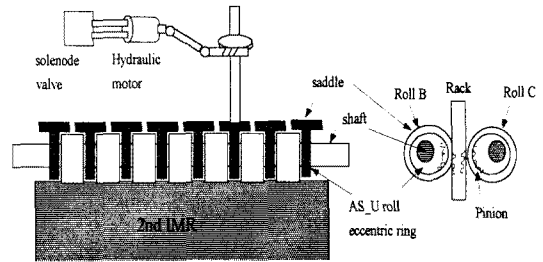


그림 1-2 AS_U Roll 동작 원리

1. 기술 현황

압연제품의 품질과 생산성향상을 위하여서는 두께제어와 형상제어가 중요한 역할을 한다. 열간 압연의 경우는 비교적 큰 두께의 슬랩(Slab)을 열연 강판으로 압연을 하므로 두께제어(AGC: Automatic Gauge Control)가 중요하고, 냉간 압연의 경우는 두께보다는 강판의 소성과 형상제어(AFC: Automatic Flatness Control)가 중요하다. 냉연강판 중에서 스테인레스(STS) 강판은 고부가가치의 제품으로서 형상제어의 정도와 형상 안정화를 통하여 압연속도를 증가함에 따른 생산성 증가가 제품의 원가에 직결될 만큼 중요한 판단 요소이다. 형상제어와 압연속도는 밀접한 관계에 있다. 형상이 불안정하면 속도 상승이 불가하여 조업효율을 저해한다.

한편 1st IMR은 (그림 1-3)에서와 같이 Roll O와 P 그리고 Q와 R이 각기 동일한 screw에 연결되어서 좌우로 구동한다. 여기서 제어변수는 1st IMR의 좌우 위치제어이다. 형상의 입력은 (그림 1-1)에서 ZRM 양쪽에 32 개 Load Cell로 구성된 출력 단의 Measuring Roll에서 받는다.

당사의 STS 압연기 중에서 Sendzimir Mill (ZRM)은 (그림 1-1)에서와 같이 상하 10 개의 Roll에 의한 20단 압연기로 구성되어 있다.

정리하여 설명하면, 본 형상제어는 32 개의 형상 데이터와 강판의 입/출측 두께, 압연 Roll 속도, AS_U Roll과 IMR의 현 위치, 강종, 강판의 폭, 강판의 장력 등을 입력받아서 AS_U Roll의 8 개의 Saddle의 상하 위치와 1st IMR의 좌우 Shift 양을 결정하는 것이다. 형상제어는 강판의 초기 형상과 두께 그리고 강종에 따라서 제어 패턴이 다르다. 운전자의 다양한 조업패턴과 조업상황에 따른 제어를 수행하기 위하여 퍼지제어가 고려되었다. 퍼지제어는 MIMO 제어 시스템에 효과적이고 운전자의 조업지식을 규칙화하여 다양한 제어패턴을 구현할 수 있는 이점이 있다.

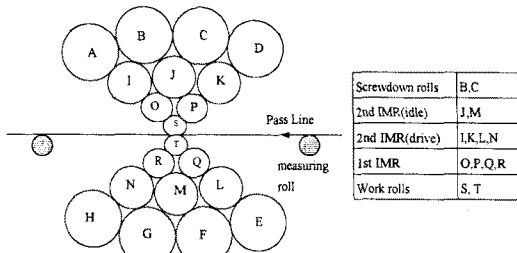


그림 2-1 Sendzimir Mill의 구조

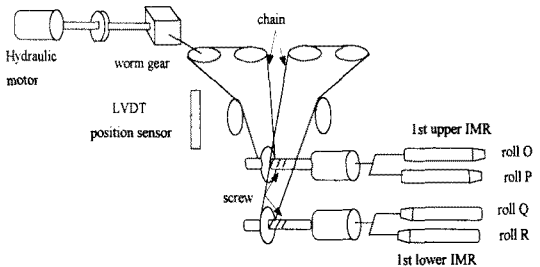


그림 1-3 1st IMR 동작 원리

2. 형상 제어 방법

2.1 형상 인식

32 개 로드 셀 에서 오는 형상 데이터를 강판의 폭에 따라서 원 형상을 인식하는 방법으로서 직접 raw 데이터를 바로 이용하는 것과 curve fitting 방법 그리고 신경회로망을 이용하여 형상의 대칭성분을 이용하는 방법을 고려하였다. 본 연구에 사용된 방법은 형상의 raw 데이터의 일부를 이용하고, raw 데이터를 신경망의 입력으로 하여 대칭성분을 추출한 후 이를 이용하는 방법을 사용하였다. 형상의 대칭성분의 이용은 강판의 좌우에 작용하는 AS_U Roll의 압하력의 변화 분을 동일한 양으로 인가한다는 의미이다.

2.2 퍼지 형상 제어

본 연구에 사용된 퍼지 형상제어 방법은 (그림 2-1)에서와 같이 신경망의 32 개 대칭 형상 성분과 raw 형상 성분, 두께, 압연 속도, AS_U Roll의 8 개 saddle 위치, 1st IMR의 좌우 위치, 강판의 폭을 입력변수로 하여 AS_U Roll의 8 개 saddle의 상하 위치 변화량과 1st IMR의 좌우 위치 변화량을 출력변수로 하여 구현하였다.

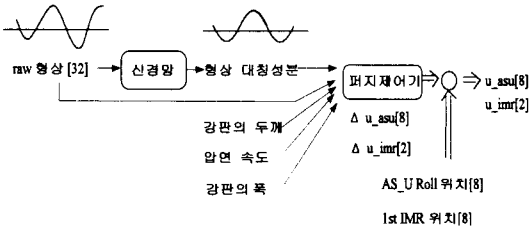


그림 2-1 형상 제어 방법

(그림 2-2)는 제어량 결정까지의 순서도를 나타낸다. 1 단계, 강판의 사행 판정을 한다. 사행은 안정성에 큰 영향을 미치므로 우선적으로 제어를 한다. 2 단계, 퍼지제어부에서 10 개의 구동기의 변화 분을 계산한다. 3 단계, 각각 saddle의 구동범위를 검사한다. 한편 1st IMR은 좌우 대칭성을 판단한다. 4 단계, 각각 saddle의 위치를 재조정한다. 이는 AS_U Roll이 한 축으로 구동되므로 한 saddle과 이웃한 saddle의 상호관계를 고려할 필요가 있다. 5 단계, 각각 saddle의 상호 limit와 1st IMR의 shift limit를 검사한다. 퍼지 제어기는 min-Max 방법에 의한 추론과 COG 방법에 의한 비퍼지화를 사용하였고 Rule은 555 개를 사용하였으며 현재 보완 중이다.

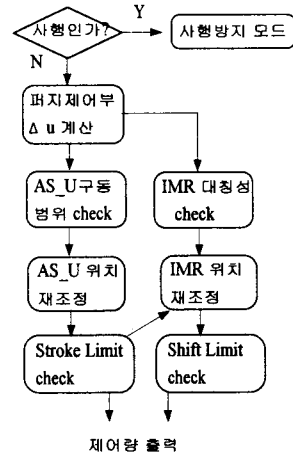


그림 2-2 제어량 결정 순서도

3. 실험 결과

형상제어 정도의 판정은 첫째, 형상의 안정성이다. 이는 형상의 좌우 대칭성의 정도에 따른다. 형상이 비대칭을 이루면 강판에 작용하는 힘이 불균형을 이루어 불안정해진다. 둘째, 형상의 flatness이다. 이는 형상이 0 N/mm² 근방에 위치할 수록 flatness가 커진다. 셋째, edge 형상의 패턴이다. edge 형상이 negative로 작게 위치할 수록 강판이 안정되게 진행된다. edge 형상이 positive이거나 양쪽이 반대 방향의 형태를 갖게 되면 강판의 양끝단에 작용하는 힘의 균형이 깨어져서 강판이 편향하게 되어 조업불안정의 요인이 된다.

POSCO 냉연공장의 No. 1 ZRM에서 다양한 STS 강판 소재를 대상으로 On Line 실험을 실시하였다. 실험 소재는 STS 300 계열의 강종, 두께 6.0 mm에서 0.5mm 까지, 조업중인 전체 강판의 폭을 대상으로 하였다. 형상제어의 정도는 1st Pass에서 final Pass로 진행될 수록 형상 정도가 향상되었으며 이에 따른 압연 속도의 증가 현상을 볼 수 있었다. 대표적인 실험결과와 (그림 3-1)과 (그림 3-2)에 있다. 이는 실험 기간 중 저속 구간에서 자동제어 수행 직전의 형상과 정상 속도 구간에서 자동제어 수행 중의 형상을 나타내었다.

(참 고 문 헌)

- [1] Y.Katayama 외 2, "Neuro Fuzzy 응용 Sendzimir의 형상제어", Journal of the JSTP vol 34 no. 387 p 411~415, 1993
- [2] Y.Takahashi, Y. Takahashi 외 3, "Introducing of Automatic Flatness Control for No. 1 Sendzimir Mill in Kashima Works", 일본 스테인레스 기보 No. 25, p71~77, 1990
- [3] ABB Stressometer Manual
- [4] POSCO ZRM 사양서

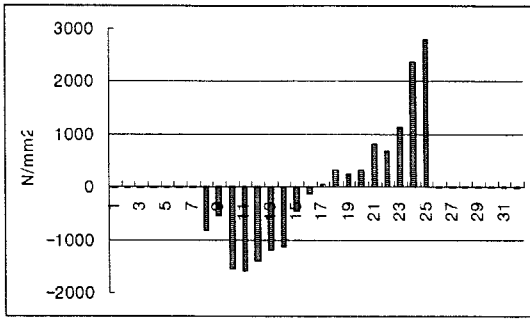


그림 3-1 자동제어 이전의 형상

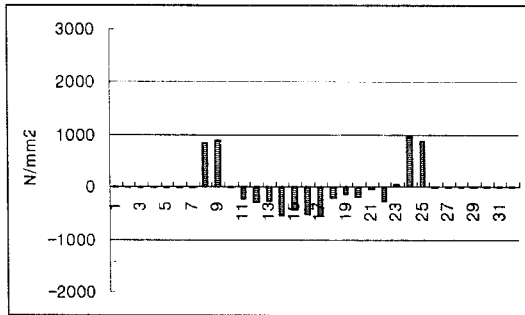


그림 3-2 자동제어 이후의 형상