

열간압연공정에서의 스트립 폭방향온도 모니터링시스템 개발

이 성 진*

Measurement System of the Transverse Temperature Profile of Hot Rolled Strip

Sung Jin Lee

Key Words : Thermal Profile Scanning System(온도프로파일 계측 시스템), Transverse Temperature Profile(폭방향 온도 프로파일), Hot Strip Mill(열간 압연 밀)

Abstract

Output and cost efficiency in the production of hot-rolled strip depend to a large content on the uniformity of geometric and mechanical properties over the length and width of the rolled end product. To ensure the homogeneous temperatures required for this during the rolling process a system to measure and evaluate the transverse temperature profile was developed and implemented in production. The systems used consist of temperature scanners and computers for measurement and data evaluation. The systems have been installed in Kwangyang hot strip mills, in the cases at the exit of the finishing train and at the entry of the coiler. They are used in production to determine the effect of the finishing train and the cooling zone on the technological properties of the hot rolled strip.

1. 서 론

열연 코일을 생산하는 열간압연공정에서의 압연 소재 온도는 열연제품의 강도 혹은 가공성 등을 결정하는 중요한 인자이다.

이에 열간압연공정에서는 라인 중간에 온도계를 설치하여 목표 온도에 맞도록 공정을 제어하고 있다. 최근에는 열연 제품에 있어서 전체 폭과 전체 길이에 대해 치수 및 기계적 성질이 균질하도록 노력하고 있다. 재질 분균일은 용도에 따라 차이가 나지만 주로 소재 전절단 시의 비틀림, 캠버(camber) 등의 판변형과 가공 시의 가공 결함(주로 crack)을 유발한다. 재질 분균일의 인자로는 폭방향의 기계적 성질(인장강도, 항복강도 및 연신율 등)과 미세 조직의 불균일, 두께 및 폭방향의 잔류응력과 편탄도 불량 등이 있다.

열연에서 재질 제어는 주로 온도제어에 의해 이루어지며 지금까지 대부분이 스트립의 길이방향에 대한 온도 제어를 위한 연구와 설비 확충이 이루어져 왔다. 하지만 HDR(Hot Direct Rolling)공정의 적용으로 스트립의 폭방향 온도 제어 및 재질 편차 개선에 대한 관심이 고조되고 있다. 이를 위해 열연 공정에서는 스트립의 에지(edge)부의 온도 강하를 보상하기 위한 설비가 적용되어 왔으며 또한 이들 설비의 적정 사용조건 도출을 위해 마무리압연기 입출측과 권취 전의 스트립 폭방향온도 분포를 측정할 수 있는 폭방향 온도계가 필요하다. 본 연구에서는 균질한 온도를 확보하기 위해 스트립의 폭방향온도 프로파일을 계측하고 평가할 수 있는 시스템을 개발하게 되었다.

*회원, 포항제철 기술연구소

2. 폭방향 온도 및 재질 특성

2.1 스트립의 폭방향 온도 특성

열연 공정에서 압연재의 온도는 재질을 결정하는 중요한 요인이기 때문에 압연 길이 방향 및 폭 방향의 온도 관리가 필요하다. 열연 공정에서 폭 방향 온도에 미치는 인자는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- (1) HDR 열연 소재의 초기 온도 프로파일
- (2) 가열로 장입 조건에 따른 가열로 추출 스톱의 폭방향 온도 프로파일
- (3) descaling 및 각종 스프레이의 폭방향 분사유량차
- (4) 압연 시의 롤의 온도프로파일(thermal profile) 및 폭방향 소성 발열 차이
- (5) ROT laminar flow의 폭방향 냉각 능력차이
- 스트립 상면의 냉각수의 횡류(lateral flow)에 의한 2차 냉각효과에 의해 판폭 에지 근방의 열전달계수는 급격히 크게 변한다.
- (6) 각종 냉각 장치의 분사노즐 유량 불균일

2.2 스트립의 폭방향 재질 특성

마무리압연 후의 폭방향 온도 실적을 보면 스트립의 에지부의 온도가 급격히 저하됨을 알 수 있다. 이 온도가 Austenite 온도 영역 이하가 되면 Ferrite 와 Austenite 가 공존하는 온도 영역에서 마무리 압연이 완료되기 때문에 최종적으로 나타나는 조직은 변형 조직 또는 조대립과 미세립이 혼재된 혼립 조직으로 발전하게 된다.

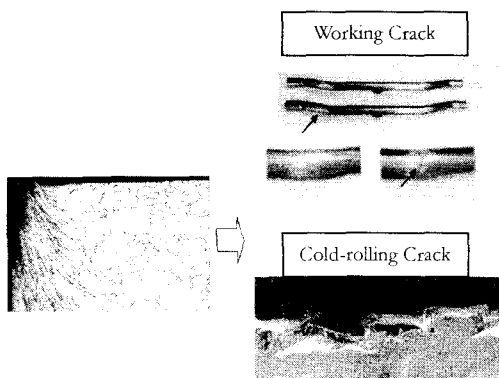


Fig. 1 Defects by uniformity of mechanical properties of hot-rolled strip

이러한 온도의 불균일은 기계적 성질과 미세조

직의 불균일을 일으키며 내부 응력의 폭방향 불균일에 의한 twist, bow, camber 등의 관변형과 Fig.1의 사진과 같이 재질 불균일에 의한 2차 가공 시의 가공 crack 을 발생시키기도 한다.

따라서 불균일한 조직을 개선하기 위해서는 에지부의 압연 종료 온도가 A_3 변태 온도 이상이 되도록 작업하는 것이 무엇보다도 중요하다.

2.3 스트립의 폭방향 온도모니터링의 필요성

열연 공정의 스트립 폭방향 온도 모니터링시스템의 목적은 공정별 온도 프로파일의 분석을 통한 열연 코일의 제품 특성을 규명하며 공정별 온도 프로파일을 비교 분석함으로써 폭방향으로 온도 불균일을 유발하는 공정별 원인을 규명하고 이에 대한 대책을 수립하는데 있다. 또한 스트립 에지부의 과냉각에 의한 재질 불량을 방지하기 위해 에지 히터나 에지 마스크와 같은 보상 설비의 최적 설정 조건을 정립하기 위함이다.

3. 폭방향온도 모니터링시스템 개발

3.1 시스템의 구성

스트립의 폭방향온도는 열연공정에서 열간마무리압연기(finishing mill)의 출측과 권취기(down coiler) 입측에 설치된 폭방향 온도계로 측정되어 진다.

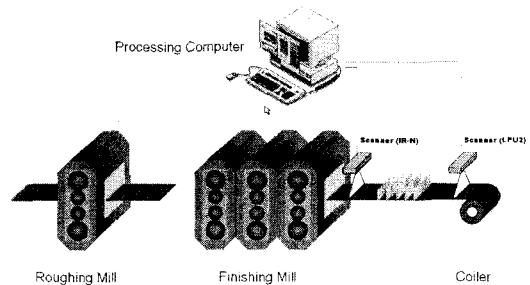


Fig. 2 Configuration for the measurement, evaluation and display of the strip transverse temperature profile

Fig. 3 은 시스템의 구성을 나타낸 것으로 온도 스캐너(temperature scanner)의 신호가 변환기를 통해 온도 프로파일과 주사동기신호가 연속적으로 나오며 이를 컴퓨터에 내장된 아날로그/디지털 보드

(A/D board)를 통하여 고속으로 수집한다.

수집된 온도신호를 가공하여 스트립의 에지를 검출하여 스트립의 폭방향 위치에 따른 온도를 얻고 이를 CRT 에 display 하며 또한 코일별로 파일명을 부여하여 하드디스크에 자동적으로 저장한다.

저장된 데이터는 FTP 를 이용하여 제철소의 중앙컴퓨터에 전송되어 데이터베이스에 저장된다.

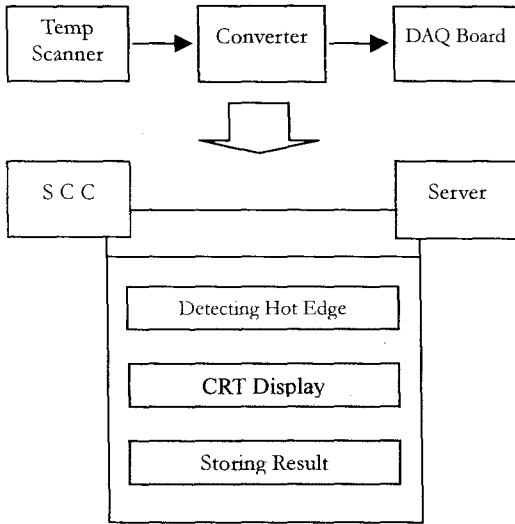


Fig. 3 Configuration of the thermal profile scanning system

본 시스템에서 사용된 온도스캐너는 Fig. 4 에 나타낸 것과 같이 형태의 CCD linear array 를 사용한 스캐닝타입의 방사온도계로 CHINO 사의 IR-N 모델과 LAND 사의 LPU2 모델을 이용하였다. 폭방향의 검출소자 수는 2048 개이며 초당 25 회 (CHINO IR-N 모델은 90 scans/sec)를 scan 할 수 있다. 온도스캐너의 출력은 설정된 온도 범위에 대해 전압(혹은 전류)으로 나오며 scan 시 마다 연속적으로 출력된다.

Scanning Pyrometer

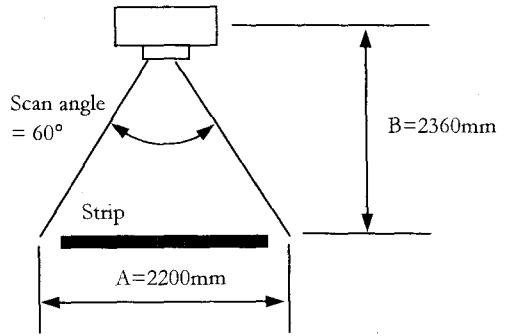


Fig. 4 Principle of scanning type radiation thermometer

Table 1 은 LAND 사의 온도스캐너의 사양으로 서 CHINO 사의 경우도 기본적인 특성은 이와 유사하다.

Table 1 Specification of the temperature scanner

Maker	LAND
Type	Scanning type radiation pyrometer
Model	Detector: LS10, LS21 Converter: LS20
Measuring ranges	600~1200°C for FDT 300~900°C for CT
Detector	CCD Silicon Linear Array (2048 Pixel)
Wavelength	$\lambda=0.9\mu\text{m}$
Scan angle	60°
Scan rate	5~25 scans/sec
Output signal	Temperature pattern: 4~20mA Timing signal: 0~5V

또한 scan 시 마다 주사동기신호가 온도프로파일 데이터와 함께 출력되므로 이 channel 을 software trigger 기능을 이용하여 샘플링하면 일정 위치의 폭방향 온도 프로파일이 얻어질 수 있다. 이 때 샘플링 속도는 80,000 ~ 160,000 샘플/초 정도이며 한번에 읽어오는 데이터량은 1,000 ~ 2,000 포인트이다.

스트립의 에지 검출은 온도계의 측정 하한 온도를 noise floor temperature 로 두고 온도 프로파일의 peak 온도차이의 백분율($\alpha\%$)을 임의로 정의하여 이 온도의 위치 점을 스트립의 에지(edge)로 정의한다.

본 시스템은 main Vi 상의 한 loop 안에서 두개의 데이터 수집 task 를 운영하는 것으로 각각의 온도스캐너 의 온도데이터가 주사동기신호를

trigger channel 로 하여 수집되어 진다. 온도계의 출력신호를 받아드리기 위해 사용된 두대의 데이터 수집 보드는 PCI-MIO-16E-4(National Instruments 사)으로 샘플링 속도는 250ks/s 이며 12 비트의 해상도를 가지고 있다. 폭방향 온도 모니터링시스템의 운용 프로그램은 Windows NT operating system 하에서 Nation Instruments 사의 LABVIEW 6i 로 코딩하였다.

3.2 운전자 화면

두 구간의 스트립의 폭방향온도를 일정한 시간 간격으로 수집하여 온도 프로파일을 그래프로 보여 주는 화면(Fig. 5)과 스트립의 전체 폭과 전체 길이에 대하여 그림과 같이 보여주는 pseudo-color temperature profile 화면(Fig. 6)이 있다.

Fig. 5 의 경우 display 화면 좌상단에는 폭방향 온도 프로파일이 실시간으로 나타나고 있으며 우상단에는 스트립의 중앙점과 양 에지 20mm 지점의 온도가 압연에 진행됨에 따라 시간에 따른 변화량을 나타내 준다. 또한 하단의 두 그래프는 폭방향 온도 프로파일에서 양 에지부(약 150mm 까지)를 확대하여 보여 주고 있다. 실제 작업 시에는 이 에지부의 온도 확보가 매우 중요하기 때문에 에지부의 목표 온도를 설정하고 목표 온도에 도달하는 지를 확인하여야 한다.

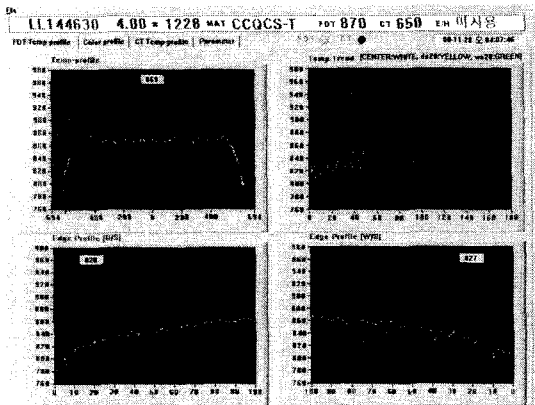


Fig. 5 Display of the strip transverse temperature profile

Fig. 6 의 경우는 스트립 전폭 전길이에 대한 온도의 contour 을 나타내는 intensity chart 로서 상단에는 FDT 폭방향온도, 하단에는 CT 폭방향온도를 동시에 표시하여 좁으로써 공정 간의 온도 특성을 비교 분석할 수가 있다.

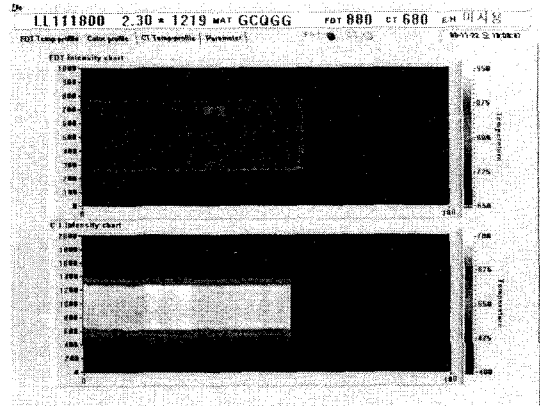


Fig. 6 Display of the pseudo-color temperature profile

본 프로그램의 특징은 LabVIEW 6i 에서 지원되는 Tab Dialog 기능을 이용한 것인데 두 구간에서의 폭방향 온도프로파일 화면(FDT Temp-profile, CT Temp-profile)과 두 구간의 폭방향 온도 프로파일 intensity chart 화면 (Color Profile) 그리고 데이터 수집 보드의 샘플링 조건 및 스트립의 edge 검출 조건 등의 각종 파라미터를 설정하는 화면(Parameter) 등으로 구성하였다.

3.3 서버 시스템(Server system)

온도프로파일 데이터는 열연공장의 상위컴퓨터(process computer)에서 부여 받은 코일번호를 파일명으로 스트립별로 컴퓨터의 하드디스크에 저장된다. 또한 LAN(Local Area Network)을 통해 FTP 로 제철소 상위컴퓨터에 전송하여 database 에 저장되며 중앙컴퓨터에 접속된 어떤 컴퓨터에서도 이전 실적을 조회할 수 있도록 만들었다.

전송방법으로는 일정한 포맷의 온도데이터 파일을 binary 형식으로 서버에 전송(FTP Put File)하였으며 전송이벤트(String)를 동일 시점에 서버로 전송(TCP Write)하였다.

3.4 가동현황

스트립의 폭방향 온도 프로파일을 측정하고 평가하기 위한 본 시스템은 현재 POSCO 광양제철소의 3 곳의 Hot Strip Mill 에 적용되어 가동 중에 있다.

4. 분석 결과

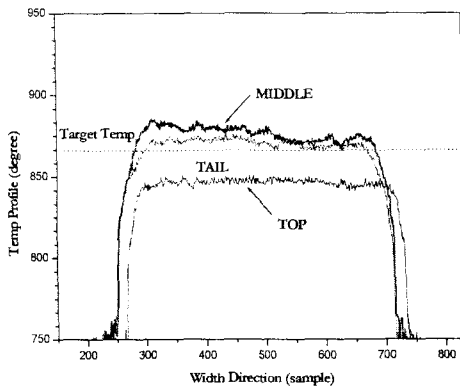
4.1 폭방향 온도 프로파일 특성

Fig 7 은 FDT/CT 폭방향 온도 프로파일의 예이다. 대상 코일은 두께 2.64mm, 폭 1234mm 이며 재

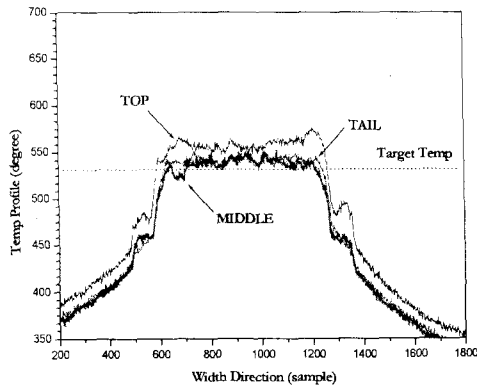
질코드는 DCQCS 인 냉연용 극저탄소강이다.

이 소재의 FDT 목표 온도는 870°C, CT 목표온도는 560°C 이며 Fig. 7(a)의 FDT 폭방향 온도의 경우 온도 프로파일의 peak 온도 대비 스트립의 20mm 지점의 온도 강하량은 $\Delta T_{20} = -58^\circ\text{C}$ 이며 50mm 지점의 온도 강하량은 $\Delta T_{50} = -36^\circ\text{C}$ 로 그림에서 알 수 있듯이 스트립 에지 부에서 완만한 곡선을 이루고 있음을 알 수 있다. 그리고 스트립 에지에서 목표 온도까지 도달하는 거리는 87mm 로 나타났다.

또한 Fig.7(b)의 CT 폭방향 온도의 경우는 권취기에 진입을 도와주는 사이드가이드와 스트립의 에지 부가 접촉하여 마찰열을 일으키기 때문에 그림에서 보는 바와 같이 에지 부에 온도가 높아짐을 알 수 있다. 따라서 이 경우 스트립의 에지 부에 대한 판단이 어려우며 실험을 통하여 에지 부를 정의하는 기준을 만들어야 한다.



(a) FDT Temp-profile



(b) CT Temp-profile

Fig. 7 Examples of temp-profile

4.2 폭방향 온도의 균일화 방안

열연 공정에서 스트립의 폭방향 재질 확보를 위한 폭방향 균일화 설비로서 마무리압연 입측에 설치된 엔코패널(Enco Panel), 에지 히터 설비(Edge Heater Device)와 ROT 상에서 스트립의 에지 부가 과냉각되는 것을 막아주는 에지 마스크(Edge Mask Device) 등이 있으며 앞에서 언급한 폭방향 온도 모니터링 시스템을 통해 수집된 공정별 온도 프로파일 데이터를 이용하여 이 들 균일화 설비의 설정 조건을 정립함으로써 폭방향으로 온도 불균일을 유발하는 인자에 대한 대책을 수립할 수 있다.

5. 결론

열간 압연 공정에서 두 구간의 스캐닝타임 방식 온도계의 온도신호와 주사동기신호를 두 대의 고속 데이터 수집 보드를 이용하여 고속으로 수집하여 스트립의 온도 프로파일과 pseudo-color 온도 프로파일 등을 실시간으로 display 하며 그 코일의 압연이 완료되는 시점에는 압연전장의 일정한 위치간격으로 데이터를 추출하여 코일 명으로 자동 저장하는 스트립 폭방향 온도 모니터링 프로그램을 개발하였다. 또한 측정 결과를 여러 사람이 공유하기 위해서 상위컴퓨터에 전송하여 데이터베이스(DB)에 저장하며 일정기간 보관하기로 하였다

참고문헌

- (1) Land infrarot GmbH, 1997, Infrared Linescan Systems, LSG 100/066, England
- (2) Degner, M., Holzknecht, N., Mentrup, H.C., 1998, Stahl u. Eisen, Vol.118, No.4, pp.79~83
- (3) Degner, M., Luttmann, R., Palkowski, H., 1997, Stahl u. Eisen, Vol.117, No.1, pp. 87~93