

## 열간압연용 롤 정밀 측정시스템 개발

### Development of Precise Measuring System for Hot Strip Mill's Rolls

이성진\*, 이영진\*\*

\* 포항제철 기술연구소 (Tel:+82-64-790-8724; Fax:+82-64-790-9287; E-mail:sjlee@hanmail.net)

\*\* 부산대학교 컴퓨터 정보통신연구소 (Tel:+82-51-510-3374; Fax:+82-51-510-3385; E-mail:yjlee4@pnu.edu)

#### ABSTRACT

In hot strip mills, *Portable Roll Scanner* (the portable roll surface temperature and profile measuring device) can be used to calibrate on-line process models for strip crown and flatness by measuring the thermal expansion and wear profile of the rolls. And the surface temperature measurement can be used to optimize the roll cooling system. *Portable Roll Scanner* consists of the measuring device, which has two contact inductive distance transducers for roll profile measurement and one infrared pyrometer for surface temperature measurement, and computer-based controller that is equipped with the measuring device. By the wireless data communication, the data is transferred to the memory of notebook for further analysis. After roll extraction from mills, *Portable Roll Scanner* measure the roll profile and surface temperature simultaneously along the work roll face and display the results in the TFT color monitor of notebook. *Portable Roll Scanner* is useful at mill-side and roll grinding shop.

**Key Words** : roll profile(롤 프로파일), surface temperature(표면온도), roll roughness(롤 조도), measuring system(측정시스템), hot strip mill(열간 압연기)

#### 1. 서론

최근 열연 제품의 형상 품질에 관한 수요가 요구가 점점 엄격해 지고 있으며 이를 위해 형상제어를 하기 위해서는 압연 중의 온라인 롤 온도 및 열

팽창량을 정확히 예측할 수 있는 시뮬레이션 툴의 개발이 시급한 실정이다. 이러한 고정도화된 예측 모델은 온라인에 적용하여 써멀 크라운 제어 정도를 높이는 데도 사용하고 판크라운과 평탄도를 개선하기 위하여 냉각 설비 효율과 압연 조건 변경 등으로 써멀 크라운을 압연 중에 완화하거나 제어하는 기술을 개발하여야 한다. 이러한 모델의 개발과 검증에 위해서는 압연 중의 써멀 크라운(thermal crown)과 마모 프로파일의 측정이 필요하며 또한 롤의 냉각 시스템의 최적화를 위해 롤 표면 온도 측정이 사용된다.

본 연구에서는 압연기에서 롤 교체 후 롤 특성을 측정할 수 있는 포र्ट블 롤 측정장치(*Portable Roll Scanner*)를 개발하였으며 또한 롤의 표면온도, 프로파일 및 조도 등을 정량적으로 평가할 수 있는 방안을 개발하였다.

#### 2. 측정 장치

##### 2.1 시스템의 구성

본 장치는 Fig. 1과 같이 열간 마무리압연기에서 작업 롤을 사용하고 난 후에 롤의 상부에 장착하여 롤 배럴 방향으로 수동으로 움직이며 광 파이로미터와 변위센서 등을 이용하여 롤의 표면 온도와 프로파일을 동시 측정하며 측정 및 분석 결과를 화면에 표시하여 롤 상태를 평가할 수 있는 롤 표면 온도 및 프로파일 측정 장치이다.

포र्ट블 롤 표면온도/프로파일 측정 장치는 롤 프로파일을 측정하기 위한 두 개의 LVDT(Linear Variable Differential Transformer) 변위 센서와 롤의 표면 온도를 측정하기 위한 한 개의 방사온도계로 구성된 센서부와 측정 장치의 상부에 부착된 컴퓨터 베이스 컨트롤러로 구성되어 있다.

측정 장치에는 4개의 바퀴에 부착되어 있어 측

정을 위해 롤의 상부에 안정되게 장치가 이동하도록 한다. 측정 가능한 롤 경은 열간 압연용 작동 롤을 기준으로 정하였으며 550~850mm 범위이다.

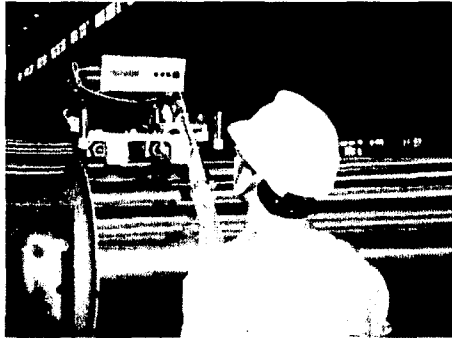


Fig. 1 Portable roll measuring device

장치의 이송 거리는 측정 디스크의 축 상에 부착된 광 인코더(optical encoder)의 펄스 신호에 의해 측정되며 해상도는 축 회전 당 400 펄스이다.

포트블 롤 표면온도/프로파일 측정 장치는 Fig. 2와 같은 형태로 설계·제작하였다. 무선 방식형 롤 표면온도/프로파일 측정 장치에는 표면 온도 측정을 위한 온도 센서와 롤의 프로파일 측정을 위한 변위 센서, 이송 거리를 측정하기 위한 인코더가 부착되어 있으며 이들 신호의 처리 및 노트북과의 데이터 송수신을 위한 컨트롤러가 장치의 상부에 부착되어 있다.

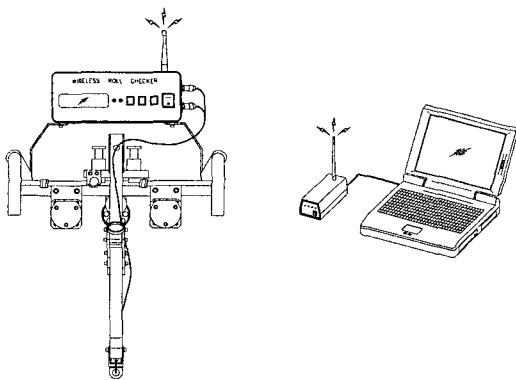


Fig. 2 Wireless roll surface temperature and profile measuring device

컨트롤러는 장치의 설정 상태 및 센서에서 나오는 신호 값 등을 볼 수 있는 LCD 표시 화면, 설정

데이터 변경과 측정 시작과 완료 지령을 위한 기능키, 전원을 공급하는 배터리와 노트북과의 데이터 송수신을 위한 무선 모뎀으로 구성되어 있다.

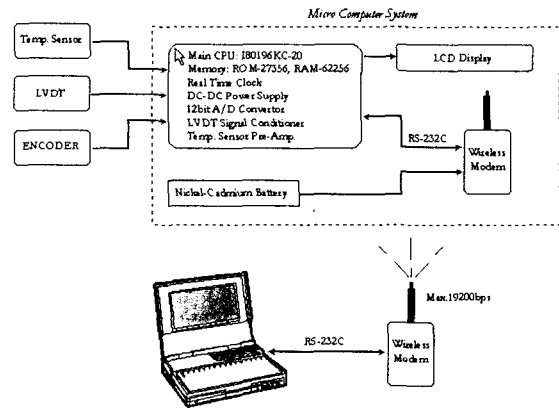


Fig. 3 Schematic diagram of roll measuring device

데이터 수집 부분은 무선 모뎀을 통한 데이터 송수신이 가능한 일반화된 노트북을 사용하였으며 무선 모뎀을 RS-232C를 통한 시리얼 통신 포트에 연결하여 측정 장치와는 무선 통신으로 데이터의 송수신이 이루어진다. 데이터 수집 모듈을 통해 입력된 측정 데이터는 무선 모뎀을 통해 노트북에 실시간 전송되며 노트북에서 기동 중인 롤 표면 온도 및 프로파일 측정 프로그램에 의해 컴퓨터의 하드디스크에 측정 데이터가 저장된다.

## 2.2 측정 항목

### 2.2.1 롤 프로파일

롤 프로파일의 경우는 전후면 변위 센서에서 얻은 출력량을 일정 길이 간격으로 산술 평균하고 롤 표면의 거칠음과 노이즈에 따른 데이터 변동을 없애기 위하여 평활화 처리를 행한다. Fig. 4(a)은 롤 프로파일 측정의 한 예를 나타낸 것으로써 롤 교체 직후의 프로파일은 마무리압연기의 전단 스탠드(F2)의 경우 롤 표층의 흑피 발생에 의한 마모 지연과 열팽창에 의해 그림과 같이 불룩 형태의 프로파일을 가지고 있으며 후단 스탠드(F5)의 경우는 압연 중의 마모에 의해 스트립 통과 지점이 거형 형태의 오목한 프로파일을 가짐을 알 수 있다.

### 2.2.2 롤 표면 온도

롤 표면 온도는 압연 중에 롤 바이트(bite)내에서의 스트립 접촉에 의한 전열, 소성 및 마찰 발열과 롤의 냉각에 의해 반복적인 열 사이클을 가지게 된다. 압연 종료 후에는 수냉각에 의해 급격히 온도가 떨어진 표층부가 내부로부터의 전열에 의해 복열이 발생한다. 통상의 압연 조건에서는 5~10분 정도가 소요된다. Fig. 4(b)는 롤 배럴 방향의 표면 온도 분포를 나타낸 것으로 스트립이 통과하는 롤 중앙부의 온도가 높은 포물선 형태의 분포를 가진다.

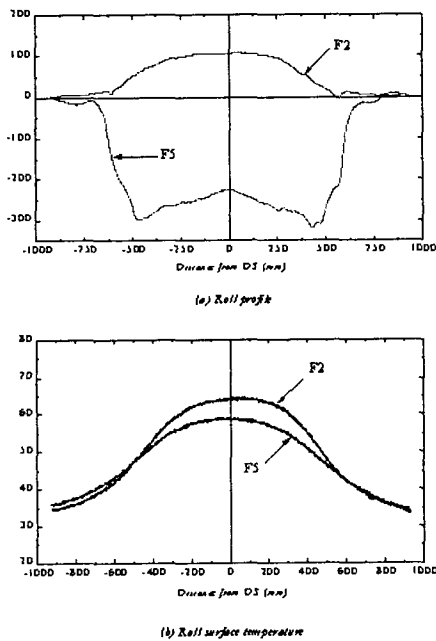


Fig. 4 Example of roll profile and surface temperature

### 2.2.3 롤 조도

사용 후의 롤 표면은 마모 및 열팽창에 의한 마이크로한 프로파일과 거칠음의 마이크로한 요철의 합으로써 기존의 조도 파라미터( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{max}$  등)로 평가하기는 곤란하다. 또한 롤 배럴 방향으로 위치에 따라 거칠음 정도가 큰 차이가 있기 때문에 국부적인 조도 측정으로 롤의 거칠음을 평가하는 것은 문제가 있다. 따라서 롤의 표면 거칠음을 평가하기 위해 Fig.

5와 같이 롤의 프로파일 선을 기준으로 마이크로한 요철에 의한 조도를 평가하는 방법으로 아래와 같은 식을 제안하였다.

$$\text{Modified RMS} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \Delta y_i^2}$$

$$\text{단 } \Delta y_i = y_{i(\text{smooth})} - y_{i(\text{original})}$$

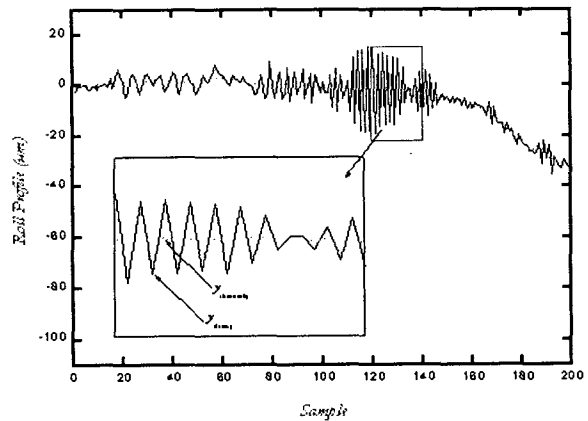


Fig. 5 Definition of roughness parameter of roll surface

### 2.3 분석 소프트웨어

측정 결과는 HiQ를 이용하여 Fig. 6에 나타낸 것과 같은 미리 포맷된 측정 보고서로 출력된다. HiQ에서 스크립 파일을 구동하여 1) 측정 데이터의 읽기, 2) 측정 일시, pitch, 측정 방향 등의 측정 조건과 온도 및 프로파일 그래프의 출력, 3) 데이터 평활화 처리(Savitzky-Golay 계수표를 이용한 2,3차 다항식 적합 평활화 처리), 4) 평활화된 데이터에 의한 롤 barrel 방향 일정 위치에서의 온도 및 프로파일 테이블 등을 화면에 출력한다. 또한 時系列의인 프로파일 및 온도의 연속적인 변화를 보기 위해 한 그래브 상에 동시 표시한다.

### 3. 응용 예

#### 3.1 제어 파라미터 조정

포트블 롤 표면온도/프로파일 측정 장치는 스트립 크라운과 평탄도 온라인 수식 모델의 정도를 평가하고 롤 열팽창 모델의 파라미터를 조정하는데 매우 유용하다.

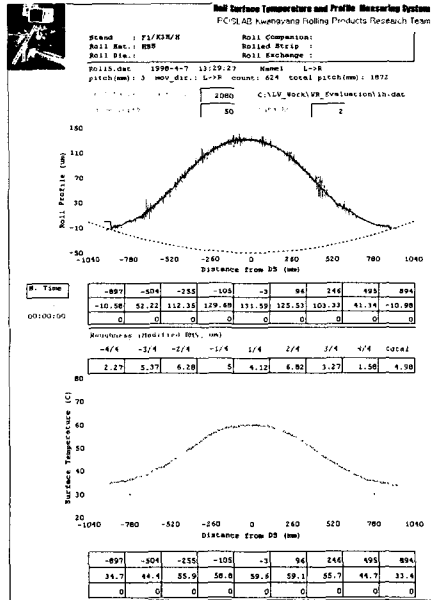


Fig. 6 Report for roll profile and surface temperature measurement

### 3.2 최적 냉각 패턴 정립

롤의 냉각 능력을 높이기 위한 방법으로는 냉각이 롤 바이트(bite)에 가능하면 가까워야 하며 또한 수냉각에 의한 전열 면적을 최대한 크게 하여야 한다. (1,2,3,4)

냉각 능력을 높이기 위한 인자로서는 수온, 수량, 스프레이의 각도 및 위치 등이다.

포트블 롤 표면온도/프로파일 측정 장치는 교체 후의 롤 프로파일과 표면 온도를 측정하여 롤의 냉각 능력을 평가함으로써 최적의 냉각 패턴을 설정할 수 있다.

### 3.3 온간 연마 기술

온간 연마는 열간 압연 후에 교체된 롤이 완전히 냉각되지 않는 상태에서 의 중앙부와 edge 부간의 온도차가 존재하는 롤을 연마하는 것을 의미한다. 온도차가 있는 경우에 연마를 시행하면 시간의 경과에 따라 롤 중심부가 냉각에 의한 열수축이 edge 부분보다 크기 때문에 롤의 프로파일이 달라진다.

따라서 정확한 초기 크라운을 얻기 위해서는 냉

각에 의한 롤 프로파일과 표면 온도 변화를 연속적으로 측정하고 연마 후의 열수축량을 예측할 수 있는 모델의 개발이 필요하다.

## 4. 결론

연구 결과로서 압연기에서 롤 교체 후 롤 특성을 측정할 수 있는 포트블 롤 측정장치(Portable Roll Scanner)를 개발하였다.

포트블 롤 표면온도/프로파일 측정 장치는 롤의 프로파일 측정을 위한 두 개의 변위 센서와 롤의 표면 온도 측정을 위한 한 개의 방사온도계로 구성된 센서부와 이들 신호의 처리 및 노트북과의 데이터 송수신을 위한 컨트롤러가 장치의 상부에 부착되어 있다. 또한 롤의 표면온도, 프로파일 및 조도 등을 정량적으로 평가할 수 있는 방법을 제안하였다.

측정 결과는 미리 포맷된 측정 보고서로 출력된다.

## 참고문헌

1. 高 公郎 等, 熱間仕上壓延機におけるwork roll 冷却方法の改善, 鐵と鋼, '82-S348
2. 村田杏坪 等, 壓延roll用冷却水の節減, 鐵と鋼, '82-S350
3. 村田杏坪 等, 壓延roll冷却水の噴出壓力の低壓化, 鐵と鋼, '82-S351
4. 木道春 等, 熱間壓延roll冷却水の傳熱特性, CAMP-ISIJ, Vol.3(1990),521