

열연코일 권취형상 불량 자동진단 시스템 개발

이 성 진*

Development of Diagnostic System for Winding Profile Abnormality of Hot Coils

Sung Jin Lee

Key Words : Hot Coil(열연 코일), Winding Profile Shape(권취 형상), Laser Distance Meter(레이저 거리계), Shape Classification(형상 분류)

Abstract

On the contrary to the increasing needs of shape qualities, most of quality inspections are carried out by manual or operator's insight. To find the causes of shape inferiority, it is required to gather and analyze the shape measurement data. As a result the winding profile measurement system (TELE-SCANNER[®]) is developed to analyze the coiling process and automate the manual measuring process for winding profile of hot-rolled coils. The winding profile measurement system measures and analyzes winding profile shapes of hot-rolled coils, and classifies them into several dominant patterns that are related to normal or abnormal mechanical conditions of down-coiler. The system also contains analysis software to quantify the winding profile shapes and patterns, and to produce statistics to help search the causes of profile shape inferiority.

1. 서론

최근 열연 제품에 대한 수요가 들의 고품질 요구가 많아지고 있다. 품질은 금속학적인 특성뿐만 아니라 코일 형상에 대한 엄격한 제한을 포함한다. 열연 제품의 형상에 관한 품질 항목은 평탄도, 권취 형상, 컴버 및 코일의 내경 편차 등이 있다. 그러나 이러한 제품 형상에 관한 품질 요구수준이 높아지고 있는 것에 반하여 현재 공정에서의 품질 검사는 대부분 작업자의 육안에 의해 처리되고 있으며 형상 불량에 대한 원인을 추적하여 해결하기 보다는 사후 조치를 통해 제품의 형상을 교정하고 있는 실정이다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서는 불량이 발생한 제품에 대한 정확한 데이

터를 수집하고 분석하는 과정이 요구된다. 그리고 지속적으로 제품의 형상을 검사 관리하는 체계를 갖추어야 한다. 본 논문에서는 열연 코일의 권취 형상을 정밀하게 측정할 수 있는 권취형상 자동 측정시스템에 대하여 설명하고자 한다. 또한 권취 형상에 따른 설비 이상의 원인을 추적할 수 있도록 권취 형상을 분류하고 이를 데이터베이스화할 수 있는 시스템을 개발하였으며 권취형상 불량판정에 의한 후공정 처리를 자동화하였다.

2. 코일 권취 형상 분석

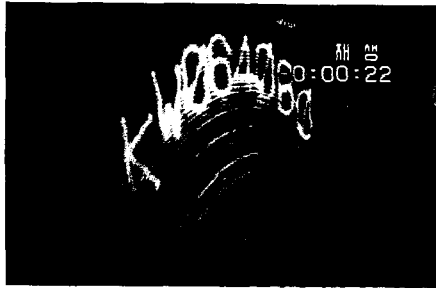
2.1 권취형상 불량 유형

코일에 대한 품질 규정 항목은 권취형상 불량 정도 및 느슨 코일(loose coil)의 발생 유무가 된다.

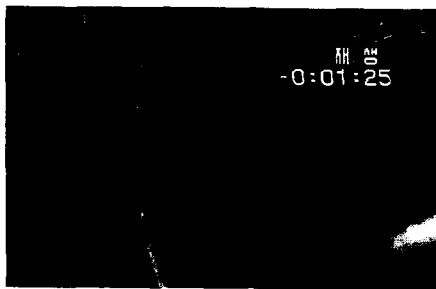
Fig. 1 은 코일의 내경과 외경에 발생한 텔레스코프를 나타내고 있다. 압연 중에 발생한 스트립

* 회원, 포항제철 기술연구소

의 캠버(camber)는 내경 텔레스코프를 유발한다. Fig. 1(b)의 그림에서 외경에 국부적으로 발생한 텔레스코프는 이송 중에 접쳐져 코일 접침을 야기하게 된다.



(a) Top telescoped coil



(b) Tail telescoped coil

Fig. 1 Telescoping of coil windings at the strip end part

2.2 조업과 권취형상과의 상관성 Map

열연 코일의 형상 불량을 야기하는 공정별 인자를 정의하기 위하여 Fig. 2의 예와 같이 상관성 Map을 작성하였다. Fig. 2는 전체 권취공정의 기능을 나타내는 그림이며 각각의 세부 항목으로는 마무리압연공정의 압연조건과 권취형상, ROT, 사이드가이드의 스트립 주행, 사이드가이드, 핀치롤, 맨드릴, 유니트롤의 상태에 따른 권취형상과의 상관성, 권취형상 특히 TOP 텔레스코프와 관련된 캠버의 상관성, TOP, TAIL 텔레스코프를 유발하는 인자에 대한 상관성 Map을 작성하였다.

권취 공정은 크게 3 구간으로 나누어 지는데 권취 초기, 연속 권취, 스트립 후단부 권취로 구분된다. 권취 초기는 핀치롤(pinch roll)에 의한 맨드릴(mandrel)까지의 스트립 진입, 스트립의 맨드릴 물림, 맨드릴에 의한 초기 장력 등에 의해 스트립 선단부의 권취형상이 결정되어 진다. 연속 권취 공정은 맨드릴에 스트립에 물린 이후를 의미하는데 이 때는 맨드릴과 핀치롤, 마무리압연기의 최종 스탠드간의 장력 분포 등에 의해 스트립에 마

찰력을 작용하게 한다.

스트립 후단부 권취는 스트립이 최종 스탠드를 벗어나 무장력 상태로 권취되는 공정으로써 스트립의 횡방향 움직임에 의해 외경 텔레스코프를 발생하게 된다.

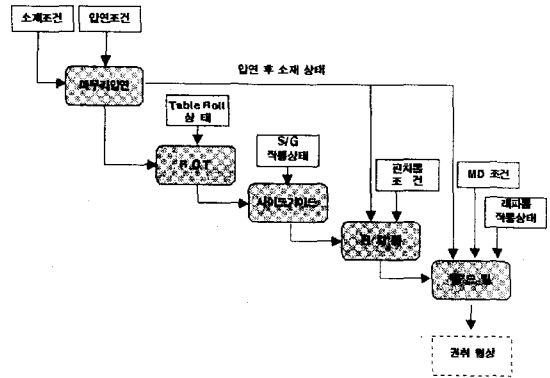


Fig. 2 Schematic diagram of coiling process

3. 권취형상 자동측정시스템 개발

3.1 측정 원리

본 연구에서 코일의 측면형상을 비접촉식으로 측정하는 방법으로 레이저를 사용하였다. 레이저 점광을 이용하는 방법으로 레이저가 측정 물체에 반사되어 오는 시간을 측정하거나 혹은 반사된 레이저 점광과 선형 CCD에 상(image)이 형성되는 위치를 측정하여 거리를 계측한다. 본 연구에서는 산업용으로 널리 사용되는 광삼각법(laser optic triangulation method)을 원리로 하는 레이저 점광을 이용하는 거리계를 사용하여 권취 형상을 측정하였다.

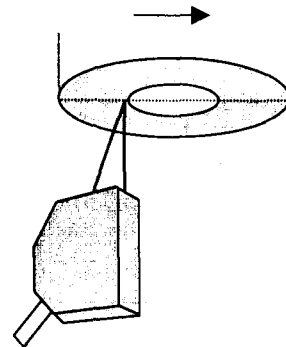


Fig. 3 Measurement of coil face profile

레이저 거리계는 다운코일러 직후의 코일 이송 라인에 설치하였다. 코일이 컨베이어에 실려 이송될 때 레이저 거리계에 의해 Fig. 3 과 같이 센서와 코일의 하부 측면간의 거리를 자동적으로 측정함으로써 코일의 측면 형상을 측정하는 원리를 이용하였다.

Table 1 은 레이저의 사양을 나타낸 것으로 본 연구에서 사용된 레이저는 참조거리가 300mm, 측정범위는 참조거리의 $\pm 100\text{mm}$ 이다. 또한 레이저의 광원은 적외반도체레이저이며 기준거리에서 spot 경은 $1.2 \times 2.5\text{mm}$ 이다. 그리고 레이저의 분해능은 $50\mu\text{m}$ 이다.

Table 1 Specifications of laser displacement meter

Model	Laser displacement meter
Reference distance	300mm
Measuring range	$\pm 100\text{mm}$
Source	Led semiconductor laser
Spot diameter	$1.2 \times 2.5\text{mm}$
Resolution	$50\mu\text{m}$

Fig. 4 는 코일의 측면 형태에 따른 레이저 특성을 조사하기 위해 제작한 표준 시편이다. 그림에서 target 은 총 4 가지로 원통형(직경 10mm), 삼각형($10\text{w} \times 8.66\text{hmm}$), 직사각형($10 \times 10\text{mm}$), 계단형($5\text{mm} \times 4\text{steps}$) 등이다.

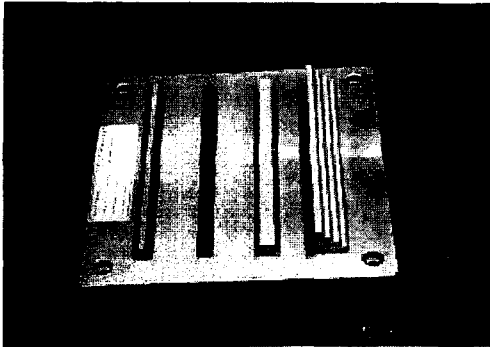


Fig 4 Calibration standard

시험편에 대한 레이저 거리계의 출력 특성을 조사한 결과를 Fig. 5 에 나타내었다. 그림에서 알 수 있듯이 원통형은 실험상과 정확히 일치하며 사각형의 모서리 부분에서 레이저의 확산에 의해 조금씩 불일치함을 보여 준다. 하지만 본 연구에서는 코일 에지부의 정확한 형상 인식보다는 거리를 측정하는 것이 중요하기 때문에 본 연구에서 채택한 레이저가 적합한 것으로 결론지었다.

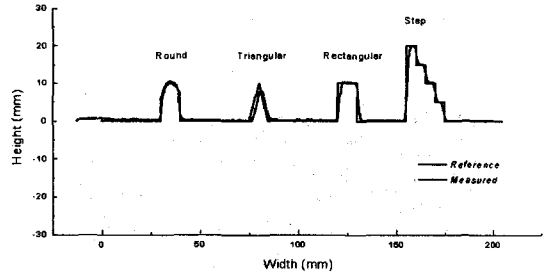


Fig 5 Result of measurement to calibration standard

3.2 시스템의 구성

열연 공장에 설치되어 있는 권취형상 측정시스템의 하드웨어 구성은 아래와 같다. 코일 컨베이어에는 레이저 거리계와 컨트롤러가 설치되고 A/D 변환기 및 모니터링 시스템은 운전실에 설치되었다. 코일의 형상 신호는 소프트웨어에 의해 처리되어 작업자들에게 그래픽 정보로서 제공된다. 코일별로 형상 신호 및 처리 결과는 데이터베이스에 저장되어 진다.

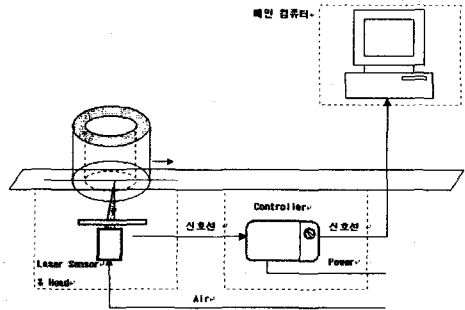


Fig. 6 Schematic diagram of TELE-SCANNER

Fig. 7 은 레이저 센서 보호용 프레임을 나타내고 있다. 장치가 설치되는 곳은 높은 온도와 분진이 많이 발생하는 장소이기 때문에 센서를 일정한 온도 냉각시키거나 분진을 차단할 수 있는 공냉 및 보호용 프레임을 그림과 같이 제작하였다. 참고로 레이저 센서 헤드의 사용 주위 온도 범위는 $0 \sim 45^\circ\text{C}$ 이다.

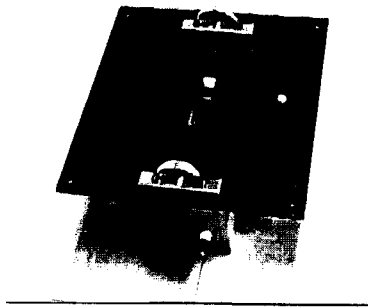


Fig. 7 Sensor head

Fig. 8 은 권취형상 측정시스템의 메인화면을 나타낸 것으로 그림의 좌측 상단은 측면 프로파일의 형상을 나타낸 것으로 최대 텔레스코프의 위치는 사각형으로 표시하였다. 우측은 코일 측면을 4 등분으로 나누어 각 섹션별로 최대 텔레스코프의 크기를 표시함으로써 코일 불량 패턴을 알 수 있도록 하였다. 또한 권취형상의 크기 판정에 의해 권취형상 불량 즉 텔레스코프의 크기가 기준값을 초과할 시에는 자체 정정라인을 거치므로 권취형상을 교정토록 하는 자동분기 결과를 나타내도록 하였다.

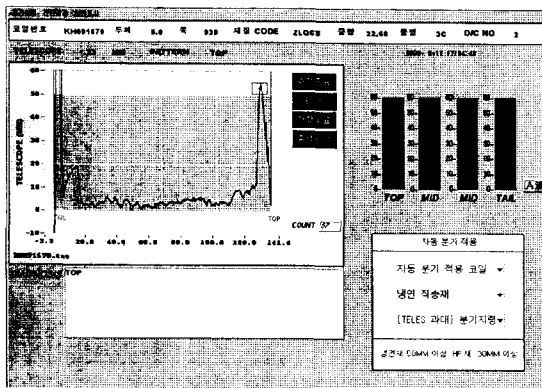


Fig. 8 Main panel of TELE-SCANNER

3.3 권취형상 판정 로직

측정된 권취형상의 측면 프로파일 데이터를 이용하여 텔레스코프를 정의하는 방법은 아래와 같다

계산 방법으로 먼저 기준점("0")에 대해 100mm 가 되는 내점을 내권단부점(End of ID), 외점을 외권단부점(End of O.D)으로 정의한다.

그리고 코일의 사이즈, 중량 등의 정보를 이용하여 아래의 식으로 권취코일의 이론 권수를 계산

한다.

- 코일외경(D_0) 계산

$$\rho \pi (D_0^2 - D_i^2) \times W = \text{중량}$$

(D_0 :코일내경, ρ :강밀도, W :코일폭)

- 권수(n) 계산

$$n = \frac{D_0 - D_i}{2t} \quad (t: \text{코일두께})$$

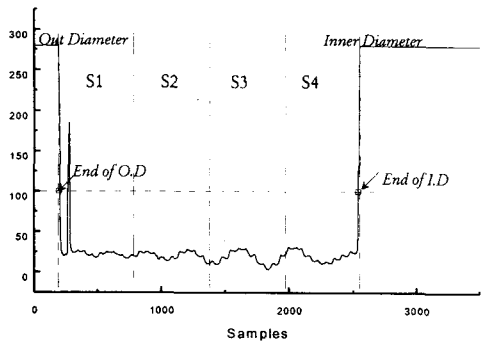


Fig. 9 Calculation of telescope

권수가 계산되면 그림에서 X 축을 샘플→권수로 변환한다.

계산범위는 내외권 단부점에서 코일 두께의 1/2 을 제외한 것으로 하고 계산 시에 코일의 겹과 겹 사이가 벌어진 경우를 감안하여 텔레스코프의 최고점이 계산되면 이 Point 에서 $-1/2t \sim +1/2t$ 내에서 최소값을 다시 텔레스코프 최고점으로 정의한다.

이러한 로직을 적용함에 따라 실제 코일에서 텔레스코프가 오차없이 정확히 계산되어짐을 알 수 있었다.

Fig.10 은 후물재 코일의 권취형상의 실데이터를 나타낸 것으로 극후물재의 경우는 그림에서 보는 것과 같이 에지의 형상이 그대로 나타남을 알 수 있다. 그림에서 화살표가 가르키는 solid square mark 가 판정된 최대 텔레스코프 위치로서 그림에서 알 수 있듯이 정확히 계산되어 짐을 알 수 있다.

앞에서 언급한 방법으로 텔레스코프를 계산하면 코일의 단부 꼭지점의 검출이 가능하기 때문에 텔레스코프를 정확히 산출할 수 있게 된다.

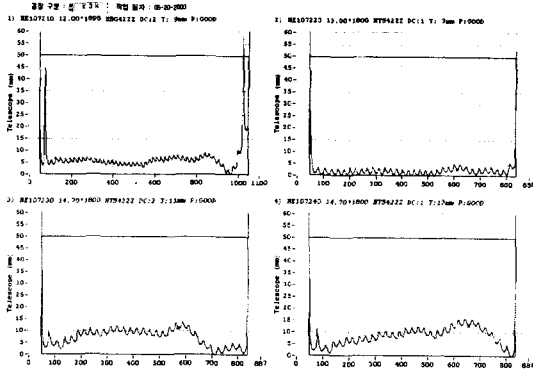


Fig. 10 Result of winding profile measurement

3.4 권취불량 패턴 판정 로직

권취형상 불량 종류의 종류는 TOP, TAIL, TOP&TAIL, ZIGZAG, BOWL 형의 5 가지로 분류된다. 권취 불량 패턴을 결정하기 위해서 권취형상 신호를 4 구역으로 분할한다. 권취형상 신호 $y(t)$ 는 센서의 위치에서 코일까지의 거리를 연속된 시간 $t(\text{msec})$ 에서 측정된 값이다.

Fig. 9 에서 권취형상 신호를 4 구간으로 나누어 S_1 은 코일의 TAIL 부, S_4 는 코일에 TOP 부에 해당된다. 코일 권취형상 패턴을 분류하는 알고리즘은 Fig. 11 과 같다. 함수 $\max\{S_i\}$ 는 S_i 구역의 최대값을 구하는 함수이다. L 은 불량판정을 위한 기준값이며 코일의 용도 및 후처리 공정 작업조건에 따라 달리 설정되어 진다.

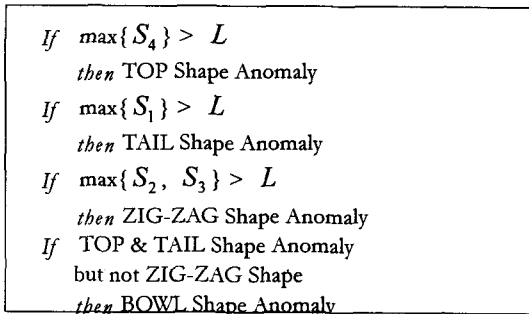


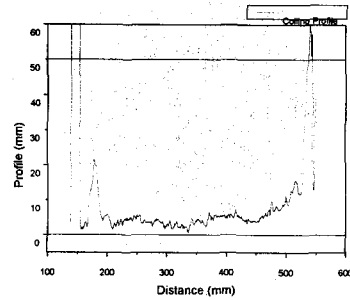
Fig. 11 Shape classification algorithm

최대텔레스코프는 각 구간별로 구한 $\max\{S_i\}$ 중의 최대값으로 정의한다.

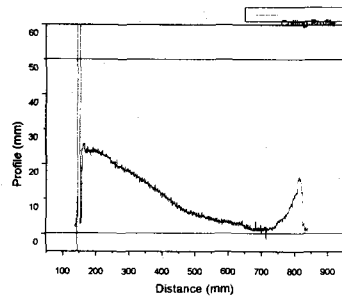
$$T = \max[\max\{S_i\}]$$

분류 알고리즘을 적용하여 TOP, TAIL, TOP&

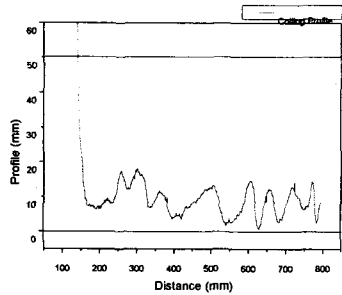
TAIL, ZIGZAG, BOWL 형으로 분류한 대표적인 불량 형상을 Fig. 12 에 나타내었다.



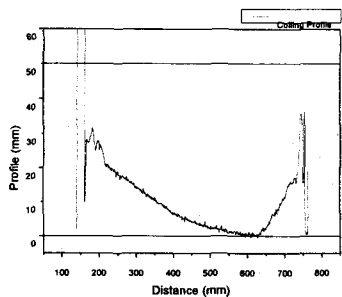
(a) Top telescoping



(b) Tail telescoping



(c) Zigzag telescoping



(d) Cup-type telescoping

Fig. 12 Result of shape classification

그림에서 알 수 있듯이 권취 불량 형상을 5 가지 패턴으로 분류하였지만 실제 측정 결과는 대부분 여러가지 패턴이 중복되어 나타났다.

4. 결 론

본 연구에서는 권취 형상의 품질 관리 체계를 강화하고 형상 불량 요인을 분석할 수 있는 온라인 권취형상 자동 측정 및 분석 시스템을 개발하였다. 그리고 권취불량을 5 가지의 대표적인 패턴으로 분류하고 온라인으로 권취형상 신호를 분류할 수 있는 알고리즘을 개발하였다. 또한 코일의 사이즈, 중량 등의 정보를 이용한 개선된 텔레스코프 계산식으로 측정 정도를 높였다.

현재 권취조업 모니터링시스템 개발이 진행 중에 있으며 이를 이용하여 조업 신호(프로세스 신호 및 참조데이터)의 적극적 활용과 권취 공정에서 발생하는 모든 event 에 대한 체계적 관리를 통해 권취형상 개선을 위한 구조적 분석 및 재현이 가능한 지식 관리 시스템의 구축하고 궁극적으로는 축적된 지식정보를 이용한 *interactive guidance* 기능을 제공하여 효과적인 문제해결 시스템을 개발할 예정이다.

참고문헌

- (1) NKK 基盤技術研究所, "Development of Winding Profile Meter for Coil", CAMP-ISIJ, Vol.9, pp.269
- (2) Tonnon, E. et.al, Revue de Metallurgie , 1998, pp.801-808