

냉간압연 사이드트리밍공정에서의 스트립 절단면 품질불량 감소기술 개발

송길호*, 손광호**, 김기원*, 박해두*
공정제어연구그룹, POSCO기술연구소*
(광)냉연부 2냉연공장, POSCO**

Reduction Technology of Bad Quality of Strip Cutting Face in the Side Trimming Process of the Cold Rolling

K. H. Song*, K. H. Son**, K. W. Kim*, H. D. Park*
Rolling Technology & Process Control Group, POSLAB*
Kwangyang Cold Rolling Department, POSCO**

Abstract

It is very important to diagnose state of knife and strip cutting face in real time in the side trimming process due to improvement of quality of trimming face. In this study, diagnosis system for knife and strip cutting face was developed. CCD camera was installed at the both side of strip in the entry of burr masher roll. This system offer to operator the diagnosis result that was analyzed image obtained from CCD camera. As a result, bad quality of trimming face is decreased below 1/10 and knife breakage is detected 100%.

Key words : Side Trimming, Knife, Strip Cutting Face, CCD Camera, Burr

1. 서론

사이드트리밍 공정은 POL(Pickling & Oiling Line), CAL(Continuous Annealing Line), RCL(Recoiling Line)등에서 수요가의 요구 폭에 대응하고 TCM(Tandem Cold Rolling Mill)에서는 수요가 요구 폭 대응뿐만 아니라 냉간압연 전 열연판의 에지부에 존재하는 크랙등을 제거하기 위해 필요로 하는 필수 공정이다. 이와 같은 트리밍 작업시 Gap/Lap의 부적절 및 기타 여러가지 조업조건등에 의해 나이프 cutting면의 국부적인 부분이 파손되는 경우가 최근 많이 발생하고 있는 실정에 있다. 문제는 국부적인 나이프의 파손이 발생하더라도 조업 중 운전자는 나이프 상태를 확인 할 방법이 없으므로 압연 후 권취 측면의 상태를 검사하는 압연 출측 검사자가 주의를 기울이지 않으면 다량의(6~7코일)트리밍 불량 코일을 발생시키게 된다. 최근 자동차용 강판 450만톤공급체계 구축관련하여 고장력강 비율이 점차 증가되고 있는 추세에서 나이프 깨짐 발생 확률도 높아지고 있는 실정에 있다. 이와 같은 문제점에 대응하기 위해 본 연구에서는 사이드트리머 출측(Burr masher roll입측)의 스트립 양 에지부에 CCD카메라를 설치하고 이 카메라로부터 획득한 스트립 절단면 영상정보를 분석하여 나이프의 상태 및 부적절한 절단면 상태를 온-라인 상태에서 판정하여 운전자에게 가이던스 하므로써 나이프 깨짐에 의한 다량의 트리밍 불량 및 톱귀와 에지부 품질 불량을 감소시키고자 하였다. 본 연구와 유사한 선행연구¹⁻³⁾로는 Vatron(Voest-Alpine Mechatronics)에서 개발한 사례가 있는데 이는 스트립 폭에 대응하기 위한 CCD카메라의 구동 방

법 및 이상 판정 알고리즘에서 본 연구와는 차이가 있다.

2. 사이드트리밍의 원리

일반적으로 trimming은 소재의 두께 및 강종에 따라 결정되는 Gap과 Lap량에 의해 전단 (shearing)과 파단(tearing)의 복합 형태로 이루어 진다. Gap은 상,하부 나이프간 간격 (clearance)을 의미하며 통상 두께의 1/8~1/10정도의 양으로 설정된다. 또한 Lap은 상, 하부 나이프가접치는 양으로써 통상 두께의 1/2정도로 설정된다. Trimming은 Fig. 1에 나타난 것처럼 설정된 Lap량 만큼 상, 하부 각각 전단변형을 받은 상태에서 나이프가 회전하는회전 인장력에 의해 상, 하부 나이프 각각의 모서리에서부터 미세 균열이 발생하고 그 균열이 성장해서 파단에 이르게 되는 것이다. 전단변형부에서는 큰 전단력이 작용하지만 파단영역에서는전단력이 급격히 감소 하게 된다. 그리고 trimming시 절단면 특성에 영향을 미치는인자로는 Gap량, Lap량, 나이프 마모 상태 및 스트립 진동상태등이 있으나 가장 기본적인면서 중요한 인자로는 Gap과 Lap량이다.

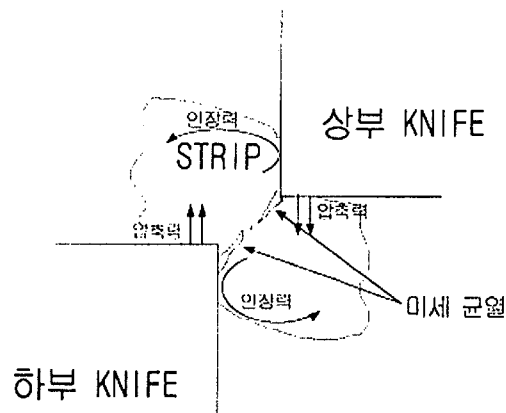


Fig.1 Cutting mechanism in the side trimming process

3. 진단 시스템 구성

3.1 H/W구성

Fig.2는 진단 시스템 구성에 대한 개략도를 나타낸다. CCD카메라는 사이드트리머 출측, Burr masher roll입측의 스트립 양 에지부에 각 1대씩 설치하였으며 각각의 카메라로부터 획득한 영상은 아날로그 영상신호를 디지털 신호로 변환해 주는 Frame grabber로 입력된다. 이 frame grabber에서 디지털 신호로 변환된 영상값은 각각의 카메라 PC에서 이미지 프로세싱 처리 및 계산하고자 하는 상태량들을 계산하게 되며 raw영상을 PC에 저장하는 기능을 한다. 또한 HMI PC는 각각의 카메라 PC들과 TCP/IP통신을 통해 카메라 PC에서 계산된 상태량들을 바탕으로 스트립 절단면의 이상상태를 판정하고 그 이상 여부를 운전자에게 전달해 주는 기능을 함과 동시에 일정간격으로 스트립 절단면 영상을 화면에 display하므로써 조업자가 현재의 트리밍 상태를 파악할 수 있도록 도와주는 기능을 한다. 그리고 local panel에는 조명을 발생시키는 light source가 들어 있으며 여기서 발생된 light는 광섬유 케이블을 통해 카메라 전방에 설치되어 있는 light guide(원형)에 전달되게 된다. Fig.3은 CCD카메라를 실제 현장에 설치한 구조를 나타낸다. CCD카메라 설치위치는 사이드트리머 약 3m 후방, 트리밍시 발생한 버(burr)를감소시켜주는 기능을 하는 burr masher roll직전에 설치하였다. 선명한 영상을 얻기 위해서는 측정 대상체인 스트립 절단면과 카메라간

초점을 항상 일정하게 유지해야 하는데 스트립 폭은 항상 변하는 상태이므로 카메라 위치는 스트립 폭 변화에 연동되어야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 스트립 폭에 대응하기 위해 burr masher roll을 구동시켜주는 burr masher roll프레임에 카메라 하우징을 설치할 수 있는

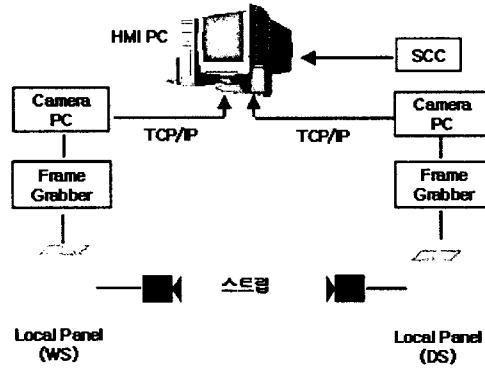


Fig.2 Schematic of diagnosis system

카메라 하우징 설치용 프레임을 부착하고 그 위에 카메라 하우징을 설치하였다. 카메라는 외부 충격으로 부터 보호하기 위해 하우징으로 cover하였으며 선,후행 코일 용접 편차 및 기타 이상조업조건에 의해 큰 충격이 카메라 하우징에 전달되었을 때 그 충격을 최소화하기 위해 일정이상의 힘이 전달되었을 때 후방으로 30도의 각도로 150mm가 밀리도록 장치를 설계하였다. 그리고 control panel내부에는 조명을 발생시키는 light source가 있으며 발생된 조명은 광섬유 케이블을 통해 카메라 전방에 설치되어 있는 원형의 light guide에 전달되게 된다. 조명은 트리밍 속도를 측정하는 trigger converter에 의해 트리밍 속도에 연동하여 발생되며 최대 트리밍 속도인 250mpm의 경우 45회 발생된다.

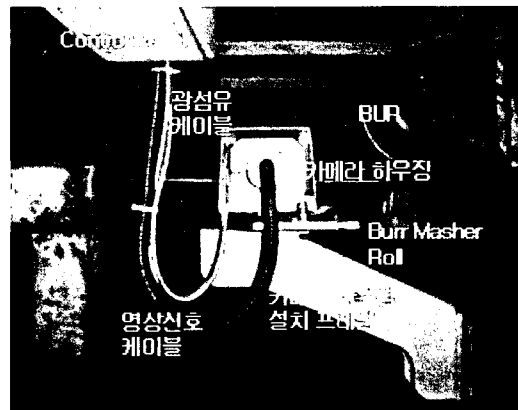


Fig.3 Configuration of plant installation of CCD camera

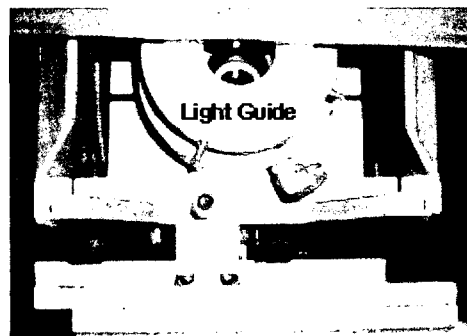


Fig.4 Configuration of light guide

3.2 S/W구성

Fig.5는 HMI PC를 통해 제공하는 조업자 가이드용 화면이다. WS 및 DS영상을 100프레임(약 2초)주기로 display시켜주며 진단로직에 의해 이상 절단면 발생시 발생위치에 따라 화면 하부 좌,우에 이상 영상정보를 display시켜줌과 동시에 알람을 발생시켜 운전자가 확인 후 조치하도록 하고 있다. 100프레임 주기로 갱신되는 영상정보는 일정간격으로 자동 update되지만 이상 영상정보는 조업자가 최근의 이상 스트립 절단면의 형태를 참고할 수 있도록 다음의 이상 절단면 정보가 생성될 때 까지 유지된다. 그리고 WS 및 DS각각 코일 단위로 트리밍이 진행될 때 이상 절단면 발생건수를 display시켜줌으로서 작업자가 참고할 수 있도록 하였으며 영상정보 저장기간은 약 3개월이다.

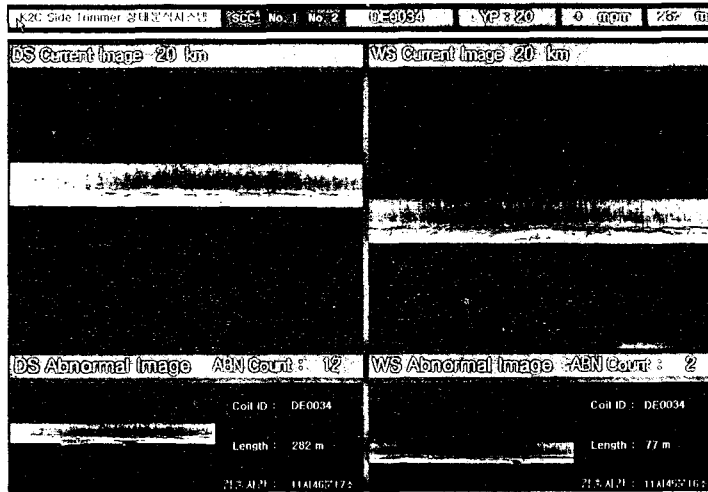


Fig.5 Scene of software for operator guidance

4. 이미지 프로세싱 및 이상 판정 알고리즘

4.1 이미지 프로세싱

Fig.6은 CCD카메라로부터 획득한 raw영상 데이터를 절단면 이상상태 판정에 사용되는 상태량을 계산하기 위한 이미지 프로세싱 절차를 나타낸 것이다.

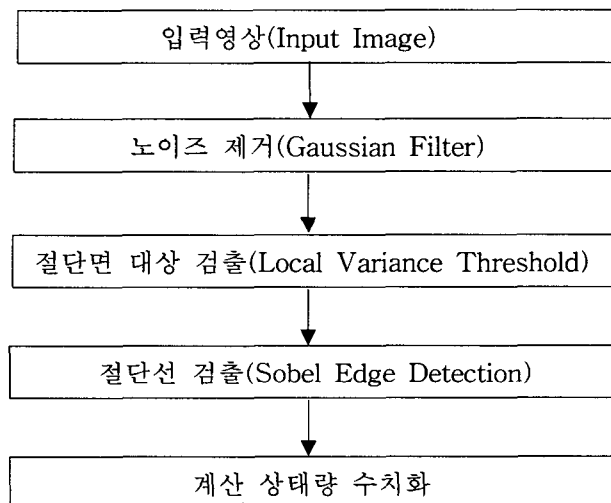


Fig.6 Flow chart for image processing

먼저 영상 처리의 전단계로서 입력 영상의 노이즈를 제거하기 위하여 Lowpass Filter를 수행하는 것이 필수적이며 일반적으로 식(1)과 같은 Gaussian Filter를 적용한다. 식(1)에서 $f(x)$ 는 입력 영상을 나타내며, $F(x)$ 는 필터링 된 영상을 나타낸다. Gaussian Filter에서 필터링의 강도를 조절하는 것은 σ 로서 σ 값이 클수록 Lowpass 효과가크진다. 본 연구에서는 σ 의 값을 4.0으로 사용하였다. 다음으로 절단면 대상 검출은빈 공간과 스트립의 단면 대상체를 인식하는 단계이다. 인식 방법은Local Variance Threshold(LVT)기법을 사용하였다. LVT는 각 영상의 지역별 변화 정도를 측정하여 대상체를 검출하는 방법이다. 영상 내의 임의의 화소에서의Local Variance 값은 그 화소 주위의 일정 범위 내의 모든 화소값의 Variance(분산)를 계산하여 정한다.

$$F(x) = f(x) \otimes \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

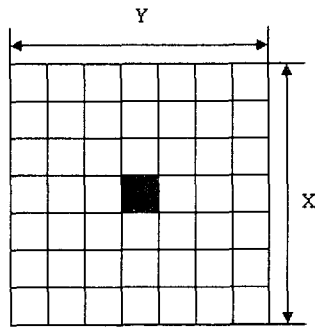


Fig.7 Modelling for obtaining local variance

Fig.7에서처럼 검은 화소의 Local Variance는 주위의 (X, Y) 범위 내의 화소의 Variance를계산하여 구한다. 본 연구에서는 $X = 7$, $Y = 7$ 를 사용하였다. 다음으로 모든 화소의 LocalVariance를 구한 다음 특정 임계값(threshold)을 사용하여 영상을 이진화(binimize)한다. 이진화된 영상이 절단면이 된다. 임계값으로는 7.0을 사용하였다. 이진화 후 내부의 공간을 채우(Fill Hole)는 작업을 하면 스트립 절단면을 얻을 수 있게 된다. 절단면 인식후에는다음 단계로 절단면 내의 절단선을 검출한다. 절단선 검출은 다음과 같은 Sobel Edge Filter를 사용하였다. Filter Mask는 영상 내에서 수평 방향(아래 위)의 변화가 많을수록 큰 절대값을 가지게 된다. 또한 위에서 아래 방향으로 생기는 변화일 경우는 양의 큰 값일 가지게 되고 아래에서 위 방향으로의 변화가 생길 경우 음수로 큰 값을 가지게 된다. 따라서 스트립 절단면에서 위선을 구할 경우 Sobel Edge 필터링 영상에서 양수로 큰 값의 변화를 선택하면 위선을 정확하게 구할 수 있다. 그리고 아래선의 경우는 음의 큰 값을 선택하면 아래선을 구할 수 있다. 중앙선 즉 파단선의 경우는 양의 변화 음의 변화가 모두 나타나기 때문에 절대값이 큰 값을 선택하고 Linear Least Fitting을 통해서 근사 직선을 구한다. 이와 같은 과정을 거쳐 획득한 영상의 상한선 및 하한선을 검출하게 되면 그 데이터를 바탕으로 절단면 이상판정에 사용되는 상태량들을 계산하는데 그 내용에 대해서는 다음 절에서 설명하고자 한다.

4.2이상판정알고리즘

앞 절에서 설명한 이미지 프로세싱 절차를 거쳐 계산되는 상태량으로서는 Summation값, Peak 값 및 Count값등이 있다. Fig.8은 상기 상태량을 설명하기 위한 모델을 나타낸다. 절단면은 일반적으로 Fig.8에 나타낸 바와같이 전단면, 파단면 및 파단면 하부에 형성되는 버로 구성된다. Summation값은 버의 총합을 나타내고 Peak값은 버 중에서 크기가 가장 큰 값을 나타내며 count값은 현재 톱귀발생 검사 기준으로 적용하는 0.5mm를 초과하는 pixel의 개수(x방향:640 pixel)를

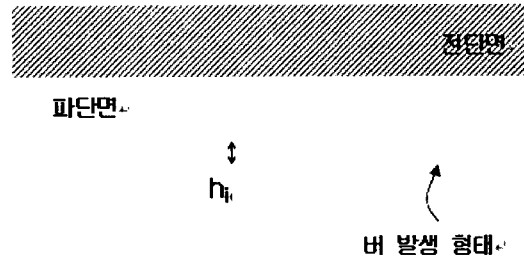


Fig.8 Schematic of strip cutting face and burr shape

나타낸다. 그리고 나이프 깨짐을 포함하는 이상 절단면 판정기준을 위한 각 상태량의 임계값은 다음과 같다. 즉 각 상태량값 중 하나라도 이 임계값을 초과하게 되면 이상 절단면으로 판정하게 되며 임계값 설정은 현장 test를 통해 결정하였다.

$$\begin{aligned}
 \text{Sum}(h_i) &\geq 1000 \\
 \text{Peak}(h_i) &\geq 12 \\
 \text{Count}(h_i) &\geq 20
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

5. 현장 test 및 결과

앞절에서 설명한 이상 판정 로직에 대한 타당성 검증을 위해 나이프에 인공결함을 가공하여 현장 test를 실시하였는데 그 세부내용은 table 1과 같다. 즉 test는 총 5회 실시하였으며 4회는 나이프 깨짐 인식여부, 그리고 1회는 톱귀 발생여부 진단을 위한 것이다.

Table.1 Schedule for plant test

	Coil No.	소재두께(mm)	소재 폭(mm)	강종(YP)	비 고
1차	DA1088	3.0	1213	27	나이프 깨짐 인식
2차	DA1326	3.0	1199	20	나이프 깨짐 인식
3차	DA1328	3.0	1199	20	나이프 깨짐 인식
4차	DA3161	4.0	1190	20	나이프 깨짐 인식
5차	DA3165	4.0	1190	20	톱귀 발생 여부

Fig.9는 4차 test시 사용된 나이프의 인공결함 형태를 나타낸 것이며 Fig.10은 그 결함에 의해 트리밍된 절단면의 형태를 나타낸 것이다. Fig.10으로 부터 나이프 결함 존재시 그 결함으로 인해 미 절단된 부분이 절단면의 일부를 형성함을 알 수 있으며 또한 미절단 부분의 상태량은 앞절에서 설정하였던 임계값을 모두 초과함을 알 수 있다. Fig.11은 트리밍시 절단면의 상태와 압연 후 톱귀 발생 상관관계 분석을 위한 5차 test의 결과를 나타낸다. Fig.11은 나이프 마모가 많이 진행되었을 때의 스트립 절단면으로 진단시스템에 의해 이상 절단면으로 판정된 경우로서 실제 냉간압연 후 권취되었을때의 측면검사시 톱귀가 발생된 경우이다. 따라서 스트립 절단면 상태 판정을 통해 톱귀 발생 가능성 여부에 대해서도 진단이 가능함을 알 수 있다.



Fig.9 Shape of man-made defect

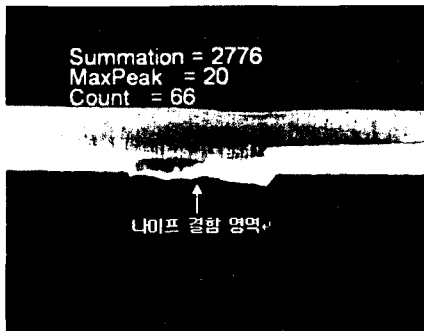


Fig.10 Shape of strip cutting face due to knife defect

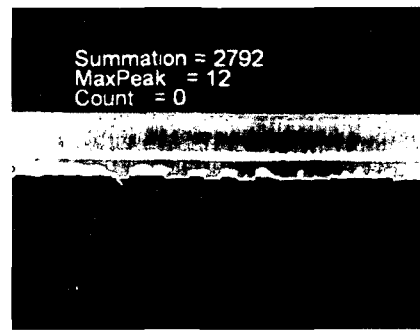


Fig.11 Shape of strip cutting face occurring saw ear

6. 온-라인 현장적용 결과

설정된 절단면 이상판정 알고리즘의 타당성을 앞장에서와 같은 현장 test를 통하여 검증을 완료하고 본 시스템은 현재 현장적용중에 있다. Fig.12는 실제 온-라인 적용중에 나이프 깨짐 발생건에 대해 본 시스템이 진단한 결과로서 연속적으로 획득한 스트립 절단면의 정보가 짧은 시간 동안에 나이프 깨짐이 진행된 과정에 대해 상세한 정보를 제공해줌을 알 수 있다. 물론 이 경우 진단 시스템의 알람 제공에 의해 운전자가 조업을 즉시 중단하고 나이프 확인 후 교체함으로써 연속적으로 몇 코일 발생할 수 있는 트리밍 결함을 사전에 방지할 수 있었다. 본 시스템의 현장 적용으로 현재 나이프 깨짐은 100%진단하는 수준에 있으며 톱귀 발생율도 진단 시스템의 현장 적용전에 비해 현격히 감소하였는데 그 경향을 Fig.13에 나타내었다.



Fig.12 Diagnosis result of knife breakage ear(a)→(b)→(c)

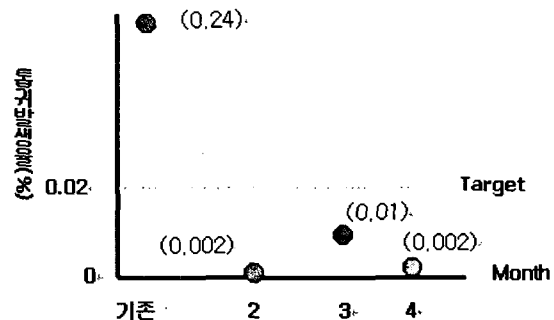


Fig.13 Tendency of occurrence rate of saw before and after applying system

7.결론

- (1)사이드트리밍시 온-라인으로 나이프 깨짐 및 스트립 절단면 상태를 판정할 수 있는 진단 시스템을 개발하였다.
- (2)CCD카메라로부터 고속으로(45프레임/초)획득되는 스트립 절단면 영상 정보를 바탕으로 이미지 프로세싱 및 대표 상태량 계산을 통한 절단면 이상 판정용 진단 알고리즘을 개발하였다.
- (3)개발 시스템의 현장 적용결과 나이프 깨짐 진단율 100%, 톱귀 발생율은 기존(0.24%) 대비 1/10 이하로 감소하였다.

참고문헌

- 1) "냉연강판의 신 에지검사 시스템", 2002(4), Steel Times
- 2) "3-D Edge Inspection System", Vatron기술자료
- 3) "Chipped Blade Detection", 2001(12), Vatron기술자료