

냉간 압연기 채터링 진단 분석에 관한 연구

Study on Diagnostic Analysis of Mill Chattering in Tandem Cold Mill Stand

*강경우¹, #김병태²

*K. W. Kang(baha2@posco.com)¹, #B. T. Kim(kbt1110@posco.com)²

¹ 포스코 광양제철소 설비기술부, ²포스코 광양제철소 설비기술부

Key words : Mill Chattering, Mill Stand, Tandem Cold Mill Stand, Strip

1. 서론

압연 Roll 의 떨림으로 인해 Strip 표면에 폭방향으로 등간격의 줄무늬가 생기는 현상을 Mill Chattering(압연 채터링)이라고 하는데, 압연 채터링은 철강업계에서 오랫동안 생산과 품질에 심각한 악영향을 미치고 있는 기술적 난제로써, 이미 오래전부터 많은 연구가 수행되어 왔지만 여전히 완전한 해결책을 찾지는 못하고 있는 실정이다.

압연 채터링 메커니즘은 크게 강제진동에 의한 메커니즘과 자력진동에 의한 메커니즘으로 나눌 수 있으며, 강제진동 메커니즘의 경우 진동특성이 쉽게 식별되어 간단한 개선조치만으로도 제어 가능하여 기존의 압연 채터링 연구의 중심에서는 다소 벗어나 있는 반면에, 자력진동 메커니즘의 경우 압연유 성분, 롤 동적특성, 압하력, 압연속도 등 워낙 다양한 인자들의 복합적인 작용으로 구성되어 있어 그 특성이 명확하게 규명되지 않아 현재 많은 연구가 활발하게 진행되고 있다. 포스코에서도 오래전부터 일반압연기(4 단 압연기), 다단압연기(20 단), 형상조정기들에 대해 압연 채터링특성을 파악하기 위해 지속적으로 압연기 진동 데이터를 수집 및 분석을 해오고 있다.

본 연구에서는 압연 채터링 발생원인이 워낙 다양하고 복잡적이어서, 모든 잠재인자들을 분석하고 제어하는 것이 불가능하므로 냉간 압연 공정 중 압연기의 진동특성을 온라인 상에서 상시 감시하면서 압연 채터링 발생 증후가 확인되면 가장 중요한 인자인 압연속도를 자동제어하여 압연 공정상의 가진주파수영역이 압연기의 공진영역범위를 벗어나게 함으로써 압연 채터링 진동을 억제시킨 결과를 제시하였다.

2. 냉간압연기의 구성

냉간압연공정은 열간압연장재를 상온 또는 상온에 가까운 온도에서 압연하는 공정으로 가열하지 않기 때문에 표면에 스케일이 발생하지 않고, 표면이 아름답고 광택이 있다.

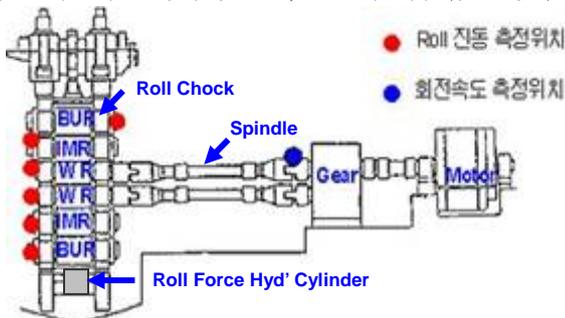


Fig. 1 Configuration of Tandem cold mill stand and data measuring points

또 가열이나 냉각에 의해서 일어나는 팽창이나 수축이 적으므로, 정확한 치수, 정확한 형태의 강재를 얻을 수 있어 주로 가전제품, 자동차 및 각종 건자재에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다. 포스코 광양제철소 2 냉연공장 냉간 압연기는 형상제어용 중간 롤을 사용하는 6 중 압연기로서 압연재 판폭에 대응하여 Inter Mediate Roll(IMR, 중간롤)을 축 방향으로 이동하며, 작업 롤에 최적의 Crown(크라운)을 부여하기 위하여 유압 실린더 방식의 롤 압하장치 및 이동장치가 병렬로 설치되어 있다. Fig 1.은 냉간압연기 한 개의 스탠드를 보여주고 있으며, 한 개의 스탠드는 동력을 스피들로부터 받아 직접 압연하는 Work Roll(워크 롤)과 동조하여 Roll Gap(롤 갭)을 조정하는 중간 롤, 워크 롤을 지지하는 Back Up Roll(BUR, 백업 롤)과 압하 유압실린더로 구성되어 있다.

운)을 부여하기 위하여 유압 실린더 방식의 롤 압하장치 및 이동장치가 병렬로 설치되어 있다. Fig 1.은 냉간압연기 한 개의 스탠드를 보여주고 있으며, 한 개의 스탠드는 동력을 스피들로부터 받아 직접 압연하는 Work Roll(워크 롤)과 동조하여 Roll Gap(롤 갭)을 조정하는 중간 롤, 워크 롤을 지지하는 Back Up Roll(BUR, 백업 롤)과 압하 유압실린더로 구성되어 있다.

3. 주파수별 압연기 채터링 진동 특성

다른 회전기와 마찬가지로 압연기는 압연 시에 진동 발생이 쉬우며 기본적으로 압연기 진동에는 3 가지 형태가 있는데 저주파수 채터링 진동, 제 3 옥타브 채터링 진동, 제 5 옥타브 채터링 진동이 그것이다.

저주파수 채터링 진동은 압연기 채터링 진동 중에서 가장 단순하고 일반적인 형태로서 모든 압연기에서 발견되며 롤 편심에 기인한 진동처럼 강제적인 진동이다. 이러한 진동은 통상적으로 압연기의 공진주파수보다 낮으며 압연기와 압연재료의 강성에 의해 특성지어진다. 일반적으로 롤을 포함한 압연기의 공진모드는 50Hz 이상의 주파수를 가지고 있으며, 이러한 모드는 가진이 되더라도 압연에 거의 해가 되지 않는다.

Table 1. Resonant frequency band of mill chattering vibration

구분	공진주파수 대역
저주파수 채터링 진동	5 ~ 15Hz
제 3 옥타브 채터링 진동	125 ~ 240Hz
제 5 옥타브 채터링 진동	550 ~ 650Hz

제 3 옥타브 압연 채터링은 압연기 공진주파수의 하나가 여기(勵起)되어 발생하는 자력진동 형태로서 압연기 진동크기를 증가시키기 위한 지속적인 힘을 제공하는 피드백 메커니즘이며, 압연기를 통과하는 질량유동 연속성의 결과이다. Fig 2 을 보면 첫 스탠드가 두번째 스탠드의 입측 인장에 영향을 미치고 있는데, 이때의 불안정성의 조건은

$$\frac{2EV_2^2(\delta_m/R)^{1/2}}{((S-\delta)Lh_1\omega^2)} > 1 \quad (1)$$

으로 구했으며 여기서 각 변수는 다음과 같다.

- E = 스트립의 탄성계수
- V2 = 진동스탠드를 나가는 스트립의 속도
- $\delta_m = (h1 - h2) =$ 채터링 스탠드의 평균 드래프트
- S = 스탠드를 통과하는 스트립의 동적 변형저항
- $\delta =$ 스트립의 스탠드사이의 인장응력
- L = 압연기 스탠드 간의 거리
- H1 = 채터링 스탠드로 들어가는 스트립의 두께
- $\omega =$ 채터 주파수
- R = 작업롤 반경

따라서, 안정성을 확보하기 위하여 E, V2 와 δ_m 은 가능한 한 작아야 하고 (S- δ), L, h1 과 ω 은 커야 한다.

특히, 제 3 옥타브 압연 채터링 진동은 높은 압연속도에

서 일어나며 보통은 압연 속도를 줄임으로서 진동을 멈출 수 있다.

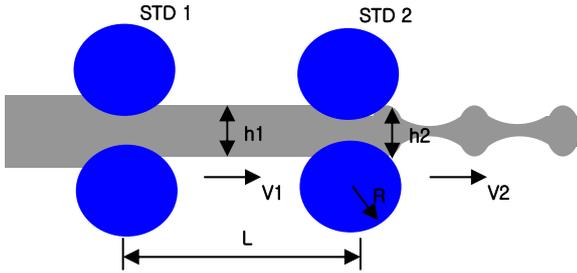


Fig. 2 Simplified case of a single stand vibration

제 5 옥타브 압연 채터 마크는 통상 백업 롤 배열에서 발생하며 워크 롤을 통하여 스트립 표면에 10 ~ 40mm 간격으로 각인되게 된다. Fig 3는 백업 롤 배열의 전형적인 5 옥타브 채터 마크를 보여주고 있다. 댄퍼 압연기를 포함한 고속 압연기의 대부분은 압연기 설계에 따라 조금씩 차이는 있지만 600 내지 1,200Hz 사이의 주파수를 갖는 채터링이 발생 한다. 이 진동은 점차로 증가하여 어느 수준에 이르면 음향학적 관점에서 매우 바람직하지 않은 소리를 낸다. 더구나 압연 롤에 채터 마크를 만든다. 그러한 롤 마크는 압연기를 가진식질 뿐만 아니라 어떤 압연 속도에서 스트립위에 줄 무늬를 만들기도 한다. 다시 말해서 5 옥타브 압연 채터링은 두께 변화에는 거의 영향이 없고 작업성이나 미학적인 관점에서의 문제이며, 자동차용 소재인 경우와 제조품의 겉을 포장하거나 프레스 작업에서 작은 변형을 필요로 하는 포장용 소재의 경우 이와 같은 표면의 시각적 결함은 중요한 문제가 된다.



Fig 3. Typical example of fifth octave chatter marks on the barrel of a backup roll

4. Case Study

앞에서 기술한 바와 같이 압연 채터링 발생원인은 워낙 다양하고 복잡적이어서 모든 잠재인자들을 분석하고 통제하는 것이 곤란하지만 압연속도를 제어함으로써 제 3 옥타브 채터링 진동을 억제할 수 있다는 사실을 알 수 있었다.

Fig 4는 포스코 광양제철소 냉연공장에 설치된 압연채터링 제어 시스템 구성도이다. Fig 1과 같이 스탠드 상부에 설치된 진동센서로부터 수집된 데이터와 PLC로부터 압연 속도 및 롤 정보등과 같은 정보를 압연채터링 제어시스템 중앙 서버에서 연산하여 진동신호를 제 3, 5 옥타브 채터링 진동과 롤 진동신호로 분리한다. 옥타브 채터링 진동신호는 설정된 알람 기준이상이 되면 운전자에게 경고 메시지를 보내고 0.25 초 이내에 압연속도를 감소시켜 제 3 옥타브

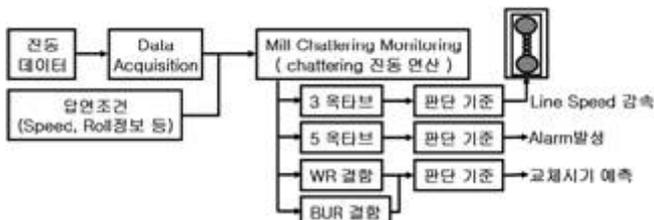


Fig 4. Block schematic diagram of mill chattering control system.

채터링 진동을 억제한다. 롤 결함이 있을 경우 롤 결함 정보 메시지를 보내며 이는 롤 교체시기를 결정하는 중요한 판단자료가 된다.

Table 2. Parameters of the strip and roll in Jan 4 2009.

구분	Specification	구분	Specification
두께	0.793mm	인장강도	45kgf/cm2
폭	1,354mm	압연속도	1,018mpm
Work Roll Dia	450mm	스탠드간 거리	3,000mm

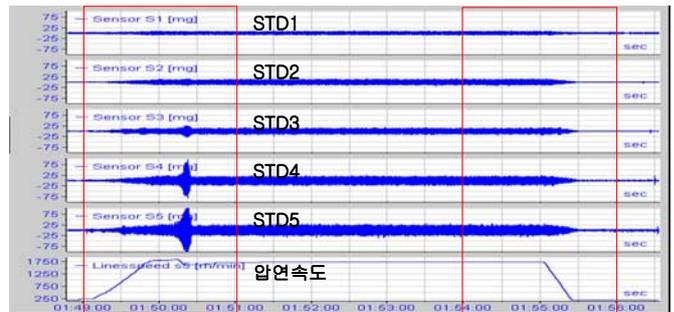


Fig 5. Vibration signal at each stand and line speed

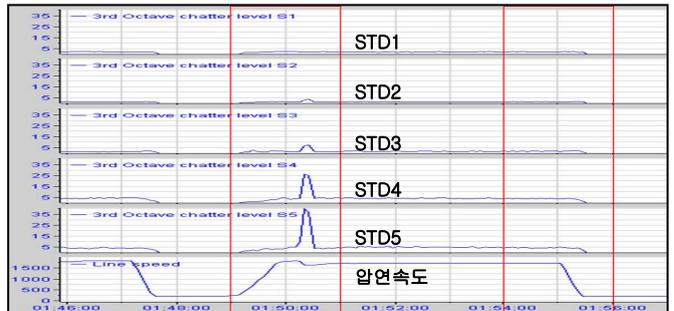


Fig 6. Third octave chattering signal at each stand and line speed

5. 결론

본 연구는 압연 채터링 발생의 많은 인자들중 제 3 옥타브 채터링의 핵심인자인 압연속도를 제어함으로써 박물 압연을 하는 냉간압연기의 채터링 진동을 억제할 수 있음을 보여 주었다.

후기

본 연구를 통해 수집된 데이터는 신강종 개발이나 최대 설비가동을 위한 최적 임계압연조건 설계시에 유용하게 활용될 것으로 판단되며, 이번 연구에서는 압연기의 진동특성을 파악하여 압연속도를 자동제어 함으로써 압연 채터링 진동을 억제하는것에 국한하였지만, 향후 압연조건 및 제품별 압연 채터링 발생의 잠재인자들을 종합적으로 분석하여 핵심인자를 선별 제어할 수 있는 시스템을 구축할 계획이다.

참고문헌

1. Nessler, G.L., and Cory,J.F.,Jr "Cause and Solution to Fifth Octave Back Up Roll Chatter on 4-H Cold Mills ad Temper Mills," AISE YearBook, pp482-486, 1989.
2. Nessler, G.L., and Cory,J.F.,Jr "Identification of chatter sources in cold rolling mills", Structural Dynamics Research Corp., Milford, Ohio, 1993.
3. Roberts,W.L.,Flat Process of Steel,Marcel Dekker,N.Y., 1988.
4. Tom Farley, "Mill vibration during cold rolling," Innoval Technology Ltd., Banbury,United Kingdom, 2007
5. 신남호,손봉호, "열연 사상압연기 진동특성 분석에 관한 연구,"대한기계학회 춘계학술대회논문집, 578-583, 2001.