

# 열연 사상압연기 채터링 특성 분석에 관한 연구

○신남호\*, 임은섭\*

## Characteristic Analysis of Chattering in Finishing Mill

N.H.Shin, E.S.Lim

### ABSTRACT

Chattering phenomenon is an abrupt relative vibration between the strip and rolls of rolling machine in working. It inevitably results from the progress of the degeneration in the mill facilities. This research was carried out in order to analyze the characteristic and find the cause of chatter mark in finishing mill and it was founded that one of major cause is appearance of dead zone at pinion stand in case of excessive roll force.

### 1. 서 론

채터링이란 작업 중에 소재와 제조장치 간에 일어나는 급격한 상대적인 진동으로, 80년대 이전에는 주로 절삭가공에서 사용하는 용어였으나, 압연작업의 고속화와 제품정도의 향상에 기인하여 근래에는 압연작업 중에 일어나는 진동현상도 채터링이라 한다.

압연기 채터링에 관하여는 지금까지 많은 연구가 진행되어 왔으며, 선진제철소의 경우에 자체 중공업과 연계하여 설비사양 변경 등의 적극적인 방법으로 압연기의 채터링을 제거하는 단계에 있다. 포항제철의 경우는 1990년대 초부터 일반압연기(4단압연기), 다단압연기(20단) 및 형상교정기 등에서 채터링이 일어나고 있으나, 압연상태 감시시스템을 개발하여 작업 패턴을 바꾸거나 속도를 저감하는 방법을 통해 채터링 현상을 방지하고 있다.

본 연구에서는 열간 압연 공정중 사상압연기에서 발생하는 채터마크의 특성 분석을 통해 발생 원인을 조사하고 대책을 수립하고자 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 열간 사상압연기의 구성

열간 압연 공정은 본괴 또는 연속주조 주조공정에서 제조된 슬라브(Stab)를 가열한 후 연속 압연하여 열연코일(Hot Rolling Coil)을 제조하는 공정이다. 열연코일은 주로 강관, 건축물 및 냉연용 등으로 사용된다. 주요설비는 가열로, 스케일 브레이커(Scale Breaker), 조압연기(RM: Roughing Mill), 사상압연기(FM: Finishing Mill), 권취기(D/C: Down Coiler) 및 전,절단설비로 구성되어 있다. 사상압연기는 F1-F7의 일곱 스탠드의 비가역식 압연기(Stand)로 구성되며, 조압연기에서 슬라브가 압연되어 만들어진 바(Bar)가 이 압연기에서 목표 두께 및 폭으로 연

\* 포항제철 기술연구소

속 압연된다.

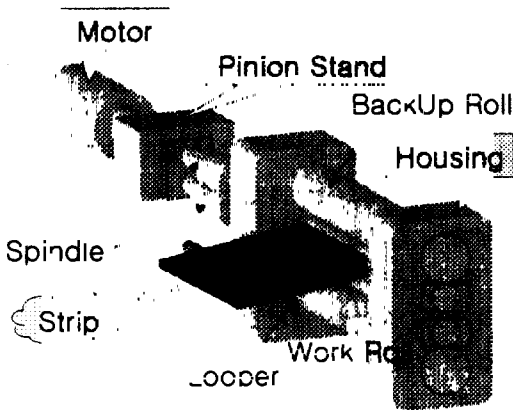


Fig 1. Configuration of mill stand

Fig 1.에는 사상압연기 한개 스탠드(Stand)의 구성도를 보여주고 있으며, 한개의 스탠드는 모터(Motor), 피니언 스탠드(Pinion Stand), 스피들(Spindle), 하우징(Housing)으로 구성되어 구동되고 있다. 사상압연기는 Fig 1.과 같은 압연기가 일곱개 연속적으로 배열되어 압연을 수행한다.

## 2.2 채터링 발생 현황

채터링은 작업 중에 소재와 제조장치 간에 일어나는 급격한 상대적인 진동으로 Fig 2.와 같이 반경방향 채터링과 원주방향 채터링으로 나누며, 이때 발생하는 채터마크는 강판에는 압연방향에 수직방향으로, 작업롤에는 길이방향으로 반복적으로 나타나는 줄무늬를 말한다.

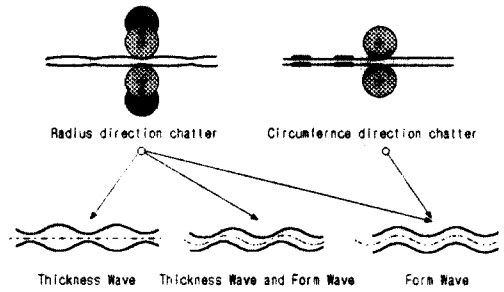


Fig 2. Pattern of chatter mark

사상압연기에서는 주로 반경방향 채터링이 주로 발생하는데, 고강도 극박재 (두께 1.8mm 이하) 작업시에 주로 나타나며 크게 두가지 형태로 나눌 수 있다. 첫번째는 F1 스탠드에서 발생하는 채터링으로 열연 가열로에 장입되기 직전의 슬라브 온도가 300 ℃ 이상인 HCR(Hot Charge)재 작업시에 Fig 3.과 같이 압연속도에 비례하는 채터마크 주파수를 가지며 채터마크(Chatter Mark)를 발생시키고, 특히 두께변화를 유발하여 제품 품질을 악화시키는 특성을 갖는다.



Fig 3. Typical example of chatter mark on strip surface

두번째 형태는 F2 나 F3 스탠드에서 발생하는 채터링으로 열연 가열로에 장입되기 직전의 슬라브 온도가 150 ℃ 이하인 CCR(Cold Charge)재 작업시에 주로 발생하고, 큰 진동음을 수반하여 제

품질향 및 2차적인 설비이상을 유발하고 속도에 연계되는 특성을 갖고 있으며, 본 연구에서는 첫 번째 형태의 채터링에 대하여 수행되었다.

채터마크 발생시에 접근방법은 두께의 변화 여부, 육안측정 가능 여부와 상하 채터마크 발생 피치 및 위치 동일 여부를 조사하고, 식(1)과 같이 채터마크 주파수를 계산한 후 압연속도와 연계되는 경우는 롤 및 구동부의 회전주기와 동기성을 조사하여 원인을 추적하거나, 라인속도와 연계되지 않는 경우는 어떤 부분의 설비진동주파수와 어떤 제어신호의 특성과 동기 되는지를 조사함으로 원인을 추적한다.

$$\text{채터마크 주파수 [Hz]} = \frac{(1000 \times \text{압연속도 [mpm]})}{(60 \times \text{채터마크 피치 [mm]})} \quad (1)$$

실제의 경우에는 Fig 4.와 같이 여러 가지의 원인이 복합적으로 작용함으로 원인규명이 난해하다.

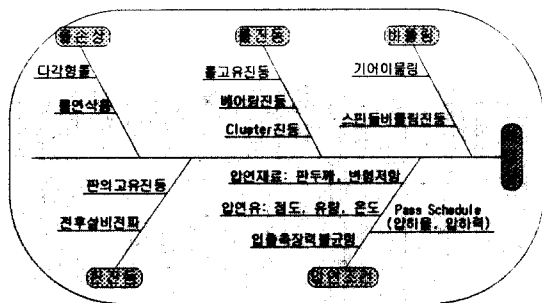


Fig 4. Typical example of chatter mark's cause

### 2.3 진동 및 제어신호 분석

Fig 3.에 보이는 바와 같이 F1 스펀드 출측에서 발생하는 채터마크는 압연속도와 연계되는 특성을 갖는데, F1 스펀드의 압연속도가 82mpm 일 때 채터마크 피치는 115mm 이다. F1 출측의 채터마크는 F2-F7를 지난 후에는 가시적으로 볼수가 없으며, F1 스펀드를 지난 강판의 사진촬영을 통해 채터마크 피치를 측정하였다. 이때 채터마

크 피치는 약 115mm 로 측정되었고, 식(1)을 통해 계산한 채터마크 주파수는 약 11.9 Hz 였다. 또한 이때의 작업롤(Work Roll) 및 백업롤(Backup Roll)의 지름을 조사하여 회전주파수를 계산하였는데, 채터마크 발생시의 롤 지름은 작업롤의 경우 808 mm이고, 백업롤의 경우 1460mm 로써, 회전주파수는 작업롤의 경우는 0.538Hz, 백업롤의 경우는 0.298 Hz 이었다. 또한 채터마크 주파수와 작업롤의 회전주파수의 연계성을 조사해 보니 작업롤 1회전에 22개의 채터마크가 발생하는 것을 알 수 있었다.

또한, 채터마크의 발생은 Fig 4.에 도시한 것처럼 많은 원인들이 복합적으로 작용하기 때문에 압연기 채터링과 관련성이 크다고 알려진 F1과 F2 스펀드의 압연하중, F1과 F2 스펀드의 속도 실측치, F1과 F2 스펀드의 모터전류 실측치, F1과 F2사이의 루퍼(Looper) 각도 및 각속도 실측치 및 F1과 F2사이의 장력 실측치를 분석하고, 작업롤을 구동하는 부위인 피니언 스펀드 베어링 블록에서의 진동신호를 분석하여 채터마크의 연계성을 조사하였다.

Fig 5. ~ Fig 8. 에는 채터링 발생시의 F1스텐드의 구동부 압연하중(Roll Force)에 대한 신호, 구동 모터전류(Motor Current)의 FFT 신호 및 F1과 F2스텐드 사이에 있는 루퍼의 각속도에 대한 FFT 신호를 나타내었다.

Fig 5.에서 X축은 시간[Sec]을, Y축은 압연하중을 나타내는데, 채터마크가 발생할 경우에 두께제어를 수행하는 압연하중의 변화에 기인하여 두께변화를 유발하는 것으로 추정하였지만, 압연하중은 0.52Hz로써 작업롤의 1X성분으로 진동함으로 이는 작업롤의 회전주기에 더 큰 영향을 끼치는 것으로 분석 되었다.

Fig 6.에는 F1스텐드의 모터전류 실측치에 대한 FFT 신호로써 X축은 주파수 [Hz], Y축은 암페어[A]를 나타내는데, 모터전류 실측치는 4.03 Hz 로 진동하며, 압연속도에 비례하고 채터마크 주

파수의 1/3에 해당되는데, 이는 압연 스탠드의 구동에 가진을 주는 1차적인 요소가 모터 임으로 보아 채터마크 발생에 간접적인 인자로 작용하는 것으로 추정된다.

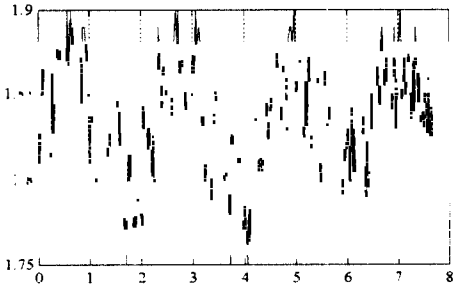


Fig 5. Roll force of F1 stand (D/S)

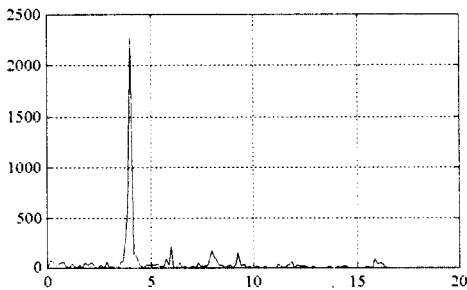


Fig 6. Motor current of F1 stand

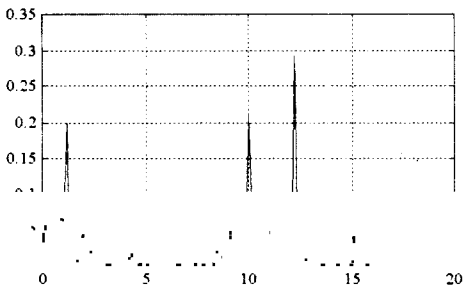


Fig 7. Looper angle speed between F1 and F2 stand

Fig 7.에는 F1과 F2스탠드 사이의 루퍼각속도에 대한 FFT 신호로서 X축은 주파수 [Hz], Y축은

각속도[rad/sec]를 나타내었다. 루퍼각속도의 가변 주파수는 작업물의 2X성분과 10Hz 및 채터마크 주파수인 12 Hz의 성분이 혼조하는데, 12 Hz의 경우에 F1스탠드를 지난 스트립(Strip)의 두께변화가 루퍼의 각속도 신호로 나타나는 것으로 추정된다. 이 경우 스트립의 두께변화가 심한 경우에는 루퍼 각속도에서 나타나는 채터마크 주파수가 일정수준 이상인 경우에는 후단의 스탠드에서 일정 수준으로 압연작업을 하더라도 심각한 품질 결함을 발생 시키고 있다.

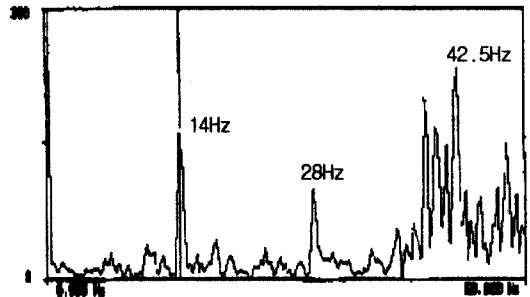


Fig 8. Vibration signal at pinion stand

Fig 8.에는 채터링 발생시의 피니언 스탠드 (Pinion Stand) 작업물 축의 베어링블록에서 측정된 진동신호로서, 진동신호는 ICP Type의 진동센서[100mV/g, 1~4,000 Hz]를 이용하였으며, X축은 주파수[Hz]를, Y축은 진동크기[mV]를 나타내었는데, FFT 신호는 채터마크 주파수의 고조파 성분이 두드러지게 나타남을 볼 수 있으며, 이 부위의 구동부의 Mechanism을 조사한 결과 작업을 구동기어수가 22개로 조사되었고, 채터마크 특성분석에서 나타난 작업물 1회전에 22개의 채터마크를 발생시키는 것과 동일한 것으로 조사되었다.

### 3. 결 론

열간 사상압연기에서의 채터링은 고강도 극박

재 (두께 1.8mm 이하) 작업시에 주로 나타나며, 본 연구에서 F1 스텐드에서 발생하는 채터링에 대해 채터링 발생시에 제품 표면에 나타나는 채터마크 현상분석을 위하여 압연하중, 모터전류, 장력변화 및 구동계 진동신호를 분석하였으며, 발생원인을 조사하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

F1스텐드 출측에서 발생하는 채터마크는 압연 속도에 비례하는 주파수를 가지며, F1스텐드 작업을 1회전시에 22개의 채터마크를 발생시키고 있으며, 심각한 두께변화를 야기하고 있다. 또한, 압연속도에 비례하여 발생하는 채터마크로 보아 구동부 특성에 관계된 것이다. 특히 피니언 스텐드에서 작업을 구동을 위한 연결부에서의 기어 잇수가 22개인 점과 피니언 스텐드에서의 진동신호의 측정 결과로 미루어 볼 때에 고부하 강중 작업시에 기어 이물림 전후에서 데드존(Dead Zone)이 발생하여 채터마크가 발생 되었다. 향후 Dead Zone을 없게 하거나 압연하중을 분산하는 연구를 수행할 예정이다.

measurement and analysis", McGraw-Hill, Inc., 1991.

### 참고문헌

- [1] Wilhelm Hofmann, Heinrich Aigner, "Reduction of chatter marks during skin pass rolling of steel strips", MPT International, 1998.1. pp98-102.
- [2] J.Tlusty, S.Critchley, "Chatter in cold rolling", Annals of the CIRP, Vol. 31, 1982.1. pp195-199.
- [3] I.S.Yun, W.R.D.Wilson, K.F.Ehmann, "Review of chatter studies in cold rolling", International Journal of Machine Tools & Manufacture, Vol. 38, 1998, pp1499-1530.
- [4] 豊田利夫, "圖説·設備診斷技術シリーズ 1 : 回轉機械診斷の進め方", 日本プラントメンテナンス協會, 1991.
- [5] Victor Works, "Machinery Vibration :