

TENSION LEVELLER 상태감시 및 진단시스템 개발

Development of Tension Leveller Condition Monitoring and Diagnosis System

신남호*, 김수광 (포항제철 기술연구소), 최석옥 (포항제철소 냉연부)
N.H.Shin, S.K.Kim, S.W.Choi (POSCO)

Abstract

The Tension Leveller of Cold Rolling Mill in POSCO performs levelling the strip in high speed line. But minor variations in operating condition of driving machines such as motor, gear box, and support bearings, a small gap-variation of supporter and strip slip by poor roll revolutions can cause serious problems in the quality of strip. In this study, firstly, A condition monitoring standard for each sensor is made through with the detail analysis of vibration and strip slip. Secondly, An automatic monitoring and diagnosing system was developed to monitor the condition of Tension Leveller, and diagnose the cause of abnormal condition. Finally, A diagnosing algorithm for abnormal condition and man-machine interface (MMI) for easy operation are developed.

Key Word : tension leveller(텐션레벨러), condition monitoring(상태감시), diagnosis(진단), chatter mark(채터마크)

1. 서론

산업이 발달함에 따라 품질관리 및 생산성향상과 같은 경제적인 공장경영에 깊은 관심을 갖게 되고, 설비의 상태진단은 그 필요성과 중요성이 점점 증대하고 있다. 설비의 상태를 감시하는 주요한 목적은 기계의 작동상태에 있어서 보호와 예지보전(predictive maintenance)을 위한 정보를 제공하는 것이며, 이 과정에서 중요한 부분은 조업중인 기계의 진동상태 평가이다. 이러한 설비상태의 감시 및 진단은 설비에 대한 단독적인 상태감시 및 진단에서 설비 품질을 기준으로 하는 품질기준 설비진단 기술의 추세를 보이고 있다.

본 연구는 위와 같은 목적에 대응하기 위한 일환으로 Tension Leveller의 상태를 감시 및 진단하기 위하여 수행하였다.

Tension Leveller는 항복점보다 낮은 단위장력하에서 수개의 롤(roll)에 교반굴곡을 가해 소성신율을 주는 설비이며, 저장력으로 가능하기 때문에 연속설비화 할수 있고, 강력한 교정능력과 고능률의 특징을 갖추고 있다. 포항제철소의 Tension Leveller는 5%의 연신율과 1000mpm 까지의 성능을 가진 설비로 고속 레벨링을 수행하고 있다. 이러한 조건에서 모터, 기어박스, 지지베어링 등의 구

동설비들의 이상이나 롤의 지지대에 의한 간격의 변화 그리고 롤의 회전불량에 의한 슬립 등의 미소한 이상들이 품질에 크게 영향을 미치므로 이를 감시 및 진단하기 위하여 텐션레벨러 상태감시 및 진단시스템을 개발 하였다.

2. 이론적인 배경¹⁾⁻⁷⁾

2.1 Tension Leveller의 현황

Tension Leveller는 L반곡, C반곡, edge wave, center wave 등의 평탄도 개선과 항복점 상승, 탈스케일 등의 효과를 가지고 있다.

Fig2.1에는 Tension Leveller의 layout을 나타내었는데, 그림에서 알수 있듯이 Tension Leveller는 크게 entry bridle roll, Tension Leveller, exit bridle roll로 구분되며, bridle roll은 main & elongation motor 와 연결된 T/L driver에 의해 구동되고, Tension Leveller 내의 roll 은 다시 No.1 extension roll, No.2 extension roll, No.1 anticambering roll, No.2 anticambering roll로 구성되어 있으며, 이들 roll은 idle roll이며, 하부에서의 intermesh를 조절하여 교반굴곡으로 형상을 교정하도록 되어있고, 특히 No.1 ANT 는 C반곡 교정용

으로, No.2 ANT 는 L반곡 교정용으로 이용되나 상호영향이 있어서 intermesh의 값은 strip 형상에 크게 영향을 미치고 있다.

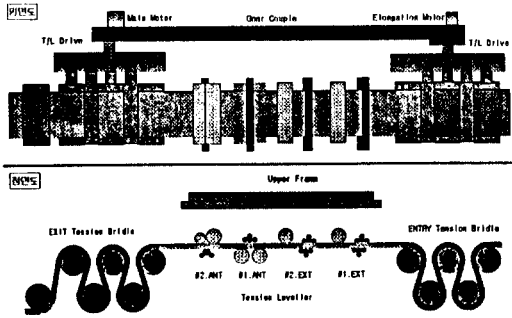


Fig.2.1 Tension Leveller layout

2.2 Tension Leveller의 chatter

Chatter란 소재와 제조장치 간의 급격한 상대적인 진동으로, 이는 80년대 이전에는 주로 절삭 가공에서 사용되는 용어였다. 그렇지만 최근의 수 μm 에 이르는 수요자 냉연 제품 정도와 최소 압연 두께에 가까운 압연 등에 의하여 압연에 있어서도 많이 언급되고 있다. Tension Leveller에서는 주로 Fig.2.2 과 같이 두가지 유형의 chatter mark 가 나타나고 있는데, (a) 띠상 chatter mark는 저속(30mpm)시에나 speed 가 · 감속시에 주로 나타나며, (b) 지그재그형 chatter mark는 고속(500mpm 이상)에서 주로 나타나며 line speed 변화에 따라 지그재그 형태가 변화 한다고 알려져 있고, 포항제철 냉연공장의 경우에 띠상 chatter mark는 가 · 감속시 S-curve 제어를 하여, 지그재그형 chatter mark는 tension 증대, roll 접촉력 증대, roll 저항 감소의 방법으로 일시적인 chatter를 해결할수 있었다.

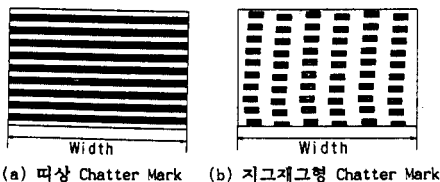


Fig.2.2 Chatter mark type

하지만, Chatter 는 기본 장치 설계의 이상, 제어계의 이상, 보조 장치들의 이상으로 인한 2차적인 가진에 의하여 항상 발생 가능하며 그에 대한 특성요

인도를 Table2.1 에 나타내었으며, 이러한 요인에 대한 진동 진단을 위하여 자체 개발한 진동 진단 알고리즘의 예를 Table2.2 에 나타내었다.

Table2.1 Chatter cause and effect diagram of Tension Leveller

Chatter	Roll 손상	다각형 Roll
		Roll 연삭물
	WR 진동	본체계 고유진동
		BUR Brg' 고유진동
		WR Brg' 고유진동
	비틀림진동	Gear 이물림
		유압 맥동
		Roll 간 Speed 불일치
		제어계의 진동
	판진동	설비기초의 진동
		판과 BUR Slip
		BUR Brg' 고유진동
		전후설비전파
		감기, 풀기로 인한
	전공정	판의고유진동
이미 판면에 Chatter 존재		
SPM에서 발생		

Table2.2 Chatter vibration diagnosis algorithm of Tension Leveller

$f_0 - f_0$ T/L WR Chock Bearing 진동수원인	$f_0 = f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생원인 오류로 진동기 제어계 진동수 원인으로 볼가 판의 Slip 또 고려가 가능)	$f_0 = f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생 원 인으로서 위와 동일.	$f_0 = f_0 (f_0 = f_0)$ 유압 맥동이 원인 유압 맥동이 원인
$f_0 < f_0$ T/L WR Chock Bearing 진동수 원인이 아님	$f_0 < f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생 원 인으로서 위와 동일.	$f_0 < f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생 원 인으로서 위와 동일.	$f_0 < f_0 (f_0 = f_0)$ 유압 맥동이 있지만 T/L에 전파되지 않으 므로 원인이 되지 않 는다. 단 입속 브라이들 에서 Chatter가 발생 되면 유압 맥동 또한 원인 이 될수 있다.
$f_0 > f_0$ T/L WR Chock Bearing 진동수 원인이 아님	$f_0 > f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생 원 인으로서 위와 동일.	$f_0 > f_0 (f_0 = f_0)$ 입속 브라이들 롤구동 토포크 변동이 원인. 토포크변동의 발생 원 인으로서 위와 동일.	$f_0 > f_0 (f_0 = f_0)$ 유압 맥동이 있지만 T/L에 전파되지 않으 므로 원인이 되지 않 는다. 이때 $f_0 = f_0$ 이 면 추가 실험요망.
$f_{sub} = f_0$ T/L의 보조 장치 이상 이 원인	$f_n = f_0 (f_0 < f_0)$ fn의 변동이 있어도 Chatter Mark의 직접적 원인이 아니나 진동의 절대적인 크기 대한 고려가 필요하다.	$f_n < f_0 (f_0 < f_0)$ 최전 주파수에 연동 된 것이 아니다.	각 f_{sub} 에 대한 Fault Matrix로 판단.

f_0 : Roll 회전수
 f_1 : T/LWR Chock Bearing 진동수
 f_2 : 입속 Bridle Roll 진동수

2.3 설비진단 이론의 적용

2.3.1 전문가 시스템을 이용한 진단이론의 적용

전문가 시스템 (Expert System)은 A.I.(Artificial Intelligence)의 한 줄기로서 임의 시스템에 대한 전문가의 사고방식과 지식을 모방하여 그 시스템에 대한 진단, 결정, 제어 등을 수행가능토록 한 것이다. 이러한 목적을 구현하기 위하여 전문가 시스템은 '지식 Base'와 그 지식을 이용하여 결과에 도달할 때까지 추론을 하는 '추론 Engine'으로 구성되어 있다. 전문가 시스템은 인간 전문가의 지식정리, 표현방법 등의 한계가 있으나 장점은 그것의 활용성에 있다. 즉 해당 시스템에 대한 전문가에 의해 개발되기 때문에 시스템의 특이성도 해석하도록 전문가 시스템화가 가능하며, 한번 전문가 시스템화한 후에도 새로운 지식이 입수 될 때 즉시 지식 Base에 그 지식을 입력하여 적용하는 확대 가능한 특성이 있다.

지식 Base에 저장된 Knowledge는 추론 엔진에서 활용할 수 있도록 일정한 규칙을 가지고 표현되어져야 한다. 그 표현 방법으로는 Production Rule에 의한 지식의 표현을 주로 사용한다. Production Rule은 지식공학이나 Expert System에서 가장 오래된 지식의 표현이며, "인식=action"의 사고과정을 모델화 한것이다. 즉, 사람이 어떠한 행동과 판단을 할때, "인식=action"을 반복하여 추론을 진행하여 최종 결론에 도달하는 것을 이용한 것이다. Production Rule은 'IF 조건1, 조건2, THEN 결론1, 결론2,.....' 라는 형태를 취한다. Production Rule 조건문의 부분을 조건부 또는 LHS(Left Hand Side)라 하고, 결론문의 부분을 실행부 또는 RHS(Right Hand Side)라 한다. 예를 들어 "사과는 과일이다"라는 문장을 Production Rule로 나타내면, IF(사과) THEN(과일이다)로 된다. 또 "과일이며 길고 노란색이면, 바나나이다"라는 문장이면 IF((과일) & (길다) & (노란색)) THEN (바나나이다)로 나타낼 수 있다.

Production Rule을 이용하여 추론을 하는 System을 Production System이라 한다. Production System은 Production Rule의 내용에 의해 추론을 하고 있으므로 Rule을 변경함에 따라 추론의 내용을 변하게 할 수 있다. 따라서 Production System의 특징으로서 지식의 추가 변경이 용이하고 이해하기 쉬운 것등을 들 수 있다.

이밖에 각각의 요소들간의 관계를 구조적으로 표현함으로써 지식을 표현하는 Frame에 의한 지식

표현과 "대상"을 중심으로 문제해결을 실시하도록 하는 Object Oriented 지식 표현 방법등이 있다.

2.3.2 진단 Rule

진단 Rule은 Tension Leveller 각 부분에 설치된 진동 센서로부터 입력되는 진동 가속도를 이용하여 설치 장소로부터 연결된 기계 요소의 열화 정도를 가늠하기 위한 방법이다.

다음에는 적용한 진단 Rule 예를 보여주었다.

$$\begin{aligned} \text{Band\#1} &= (0 - F_0), & \text{Band\#2} &= (F_0 - 6F_0) \\ \text{Band\#3} &= (5F_0 - 8F_0), & \text{Band\#4} &= (8F_0 \text{ 이상}) \end{aligned}$$

Rule 1) 진동 주 frequency Range가 Band#1, #2이고, Rolling Bearing의 특성주파수가 나타나면, Bearing 이상이다.

- a) F_i 가 발생하면 내륜 흠이다.
- b) F_{ou} 가 발생하면 외륜 흠이다.
- c) F_b 가 발생하면 Ball 흠이다.

Rule 2) 진동 주 Frequency Range가 Band#1, #2이고, 수리 혹은 정비 조립 후 초기 측정에서 Rolling Bearing의 특성주파수가 나타나면, Bearing 이상이다. (조립불량이다.)

2.3.3 진단 Rule 적용 순서도

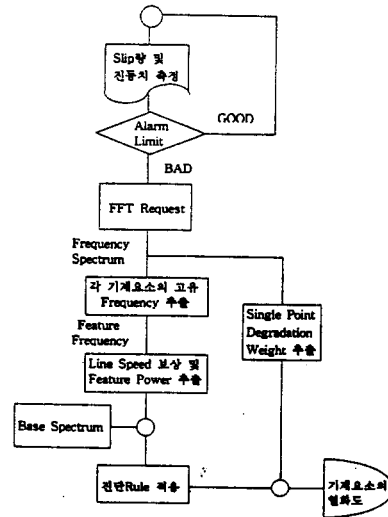


Fig.2.3 Application flow of diagnosis rule

3. Tension Leveller 상태감시 및 진단 시스템

3.1 시스템의 하드웨어의 구성

앞에서의 여러 이론에 근거하여 coil별 setup data, 압연제어신호, 진동측정 신호, roll 회전속도 측정신호를 토대로 Tension Leveller 상태감시 및 진단 시스템을 제작하였다. 시스템의 H/W(Hard Ware) 구성은 Fig3.1과 같다. 시스템에서 setup data는 작업 coil별 주요사항을 알기 위하여 SCC (Supervisor Control Computer)에서 1회/coil 입수를 하며, 압연제어신호는 작업시 항상 관리가 필요하고, 신호 인출이 용이한 6개 항목 (line speed, elongation actual, tension, tension reel torque, elongation motor feedback current, main motor feedback current)을 전기실로 부터 SCC를 통해 각각 1EA/0.5초의 data 를 1회/5초 수신하게 구성하였고, 진동 신호는 참고문헌과 off-line 진동 측정 시험 결과를 참고하고 진동센서의 상시 탈부착 및 작업에 방해가 되지 않은 범위에서 진동센서 부착 위치를 결정 하였다. 또한 roll 회전속도 측정을 위한 optic 센서도 마찬가지로 감도 test 및 상시 탈부착 및 작업에 방해가 되지 않은 범위에서 부착 위치를 선정하였다.

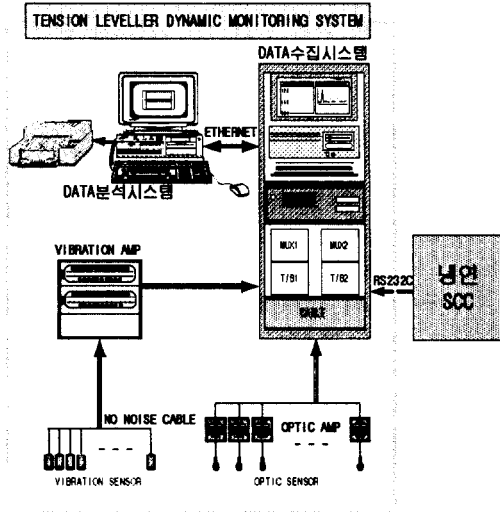


Fig3.1 Configuration of system hardware

3.2 시스템의 소프트웨어의 구성

Coil별 setup data, 압연제어신호, 진동측정 신호, roll 회전속도 측정신호를 통하여 작업중 CH별 진

동치와 roll slip 확률을 1회/초 display 하여 trend 를 보여주고, coil별, 일별, 월별 신호의 평균치와 각 CH별 alarm limit를 선정하여 limit over시 CH에 대한 power spectrum을 저장하고, manual로 진동신호의 FFT를 통한 신호인출 등의 기능 수행을 위한 software (S/W) 는 크게 두부분으로 나눌수 있는데, 첫째는 ① vibration sensor의 data를 1초 주기로 수집하여 sensor의 가속도치(g)를 계산하여 분석 computer로 1초 주기로 전송, ② optic sensor의 counter수를 1초 주기로 수집하여 control signal과의 slip량(%)을 계산하여 분석 computer로 5초 주기로 전송, ③ 냉연공장 SCC (supervisor control computer)부터 setup data (1회/coil), control signal (1회/5초), line 상태를 RS-232C 통신으로 전송받아 분석 computer로 전송, ④ 분석 computer의 요구에 의해 자동, 수동 FFT data를 분석 computer에 전송 하는 데이터 수집 computer에서 수행하는 S/W 로써 language는 visual C++ 이며, data 처리 flow는 Fig3.2와 같다. 또한 여기서는 data 분석 computer와의 H/D (hard disk) 공유를 통하여 data 저장 즉시 분석이 가능하도록 구성 되어 있다.

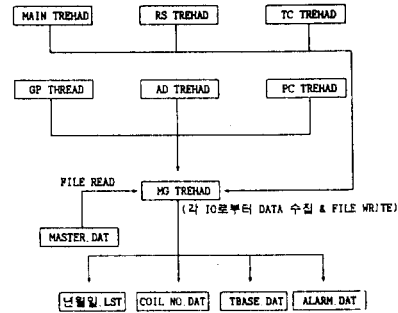


Fig3.2 Flow of data processing

둘째는 data 분석 시스템에서 수행하는 S/W (soft ware) 로써, 주요기능은 서두에 나열하였으며, ① 메뉴에서 원하는 기능을 수행, ② 그림의 정면도와 평면도에서 마우스 이동시 반전되는 부분을 클릭, ③ Function Key 를 통하여 각 기능을 수행 할수 있게 되어 있다. 상세도면은 마우스 이동시 반전 위치에서 마우스를 클릭하거나 [Layout] 메뉴의 [Detail ---] 을 선택시 보여지는데 세부그림과 진동 센서 및 Optic 센서의 부착위치를 나타내며, 작업경과에 따른 센서 신호치를 그래프로 trend 를 보여주거나 수치값을 나타내고 각 센서마다 alarm limit 를 설정하여 alarm 이상으로 값이 증가 하였

을 경우 time & frequency data 가 보여지고 data 를 저장하도록 되어 있다.

3.3 실험결과 및 고찰

Tension Leveller 에서 1 Coil 에 대해 작업은 통 판 작업시 7-8분, 실작업 7-8 분 정도 소요되며, 작업을 크게 나누면 ① 입측 통판 작업, ② threading 작업, ③ coil unloading 작업으로 나누어 1 Coil 작업에 따른 speed 변화는 Fig3.3의 점선과 같으며, Fig3.3에는 임의의 진동센서에서 보내지는 진동치의 값을 보여주었는데, 진동치 변화 추이는 line speed 에 따라서 민감하게 반응함을 알 수 있고, 이러한 변화 추이는 기계의 상태가 악화 될수록 더욱 민감하게 반응할 것이므로, T/L Monitoring System 에서는 일별, 월별, 년도별 변화 추이를 도시 함으로 기계의 열화 상태를 분석할 수 있도록 하였다. 또한 line speed [mpm] 에 따른 현재의 진동치를 근거로 alarm limit, damage limit을 설정하여 limit 를 넘게되는 경우에 FFT 를 통하여 각 channel 별 power spectrum 을 읽어와 정밀 분석을 하게 된다.

또한, slip signal 변화 추이를 보여주어 정속 일 때의 slip 확률을 통하여 roll slip시 나 제어신호 이상시 조기에 대응함으로써 품질 향상 및 판파단 방지에 기여할 수 있도록 하였다.

진단 알고리즘을 적용키 위해 진동 센서가 설치된 곳에서 steady state의 작업상태를 base data로 저장시킨 후 다른 작업 상태에서의 진동 데이터를 입력하였다. 센서가 적용 기계 요소의 진동 가속도를 측정하다가 alarm limit를 넘어설 때, 진단 알고리즘이 작동하여 진단 결과를 나타낸다. 진동 진단 알고리즘을 수행한 결과 현장 설비의 기계요소의 문제점은 크게 나타나지 않았고 현재로서는 진단 결과가 미미한 값들만을 나타내고 있다.

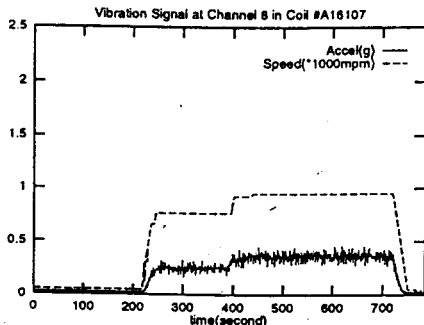


Fig3.3 Example of real measurement

4. 결론

초고속(1000 mpm) 형상보정기인 포항제철소의 Tension Leveller는 앞서도 언급한 바와 같이 구동설비, 제어특성, 롤의 회전불량에 의한 슬립 등의 미소한 이상이 품질에 크게 영향을 미친다.

본 연구는 이로 인해 발생하는 채터마크 및 판파단 방지를 위해 측정위치별 판단기준치를 확보하였고, 기준치를 초과하는 측정치에 대한 이상을 진단하는 rule 을 작성하고 이를 fuzzify 하여 진단 알고리즘을 개발하였다. 또한 MMI (Man Machine Interface) 를 visual C++로 작성하여 이상 진단 알고리즘과 결합하여 상시감시 (감시주기 : 5초) 를 가능토록 하였으며, 이러한 기준치, 진단알고리즘, 측정신호, MMI를 결합한 자동감시 및 진단시스템은 Tension Leveller 사용시 기준이 되는 정보를 제공하며, 지속적인 활용으로 판파단 및 chatter 발생방지, 형상 품질 정도 향상에 기여하고 있다.

참고문헌

1. Hiroyasu Yamamoto, Takao Kawanami, 'Numerical Analysis of Warping and Shape of Strip in a Tension Leveller', Journal of the JSTP Vol.27, No.304, 1986.5, P599-605.
2. 矯正加工, 日本塑性加工學會, 株式會社 コロナ社, 1992.
3. 益居 健ほか, '薄板クラッド材のテンションレベラー-矯正', 平成3年度 塑性加工春季講演會.
4. 井上 紀明, 'テンションレベラーにおけるチャタマークの解明 對策', フラントエンジニア, 16-1, 1984, P61-68.
5. 井上 紀明, '冷間壓延製品のチャタマークの解明と對策', 鐵と鋼, Vol.81, No.8, 1995, P26-30.
6. H. Miyagawa, F. Hirano, 'Factors which Affect Chatter Marks Experiments in Connection with Chatter Marks Produced by a Tension Leveller II', Journal of the JSTP Vol.20, No.218, 1979, P192-199.
7. H. Miyagawa, F. Hirano, 'The Causes of Chatter Marks and Methods for Their Suppression (Experiments Chatter Marks Produced by a Tension Leveller III)', Journal of the JSTP Vol.20, No.219, 1979, P307-314.