

텐션 레벨러 인터메쉬 레벨링과 스트립 웨이브와의 상관 관계 연구

나영종
현대제철 열연 2팀

A Study on the Correlation between Tension Leveler Intermesh Leveling and Strip Wave

Young-Jong Na
Hyundai-Steel Hot Rolling 2 Team

요 약 근래 들어 초 고장력 강판이 개발 되면서, 자동차 외판재의 경량화와 고강도 강판의 생산이 늘어나고 있다. AHSS(Advanced High Strength Steel) 소재는 인장 강도가 높아 일반적인 스킨패스 설비는 평탄도 교정에 한계가 있고, 고장력으로 인한 불량 발생 및 설비 부하로 인한 설비 변형과 파손으로 이어질수 있으며, 이 부분을 보완하고자 텐션 레벨러가 추가된 스킨패스 설비가 도입되는 추세이다. 종래의 스킨패스 설비 시스템으로는 목표 연신의 한계가 있으며, 최근수요는 연강부터 고장력 강판까지 안정된 재화 능력을 필요로 한다. 텐션 레벨러는 1차 스킨패스밀에 이어 추가로 2차 소성변형으로 이어지는 효과적인 형상교정 방법으로 업계에서 품질 향상을 인정받고 있으며, 그에 따른 텐션 레벨러의 중요성과 인터메쉬 레벨링 기술이 요구되고 있다. 텐션 레벨러는 연속식의 스트립 평탄도 교정 장치로서 각각 3~5개의 Roll로 구성된 텐션 브라이들 롤이 스킨패스 밀(Mill)과 레벨러를 기준으로 좌우에 한쌍씩 있어 그 사이를 스트립이 통과 하는 동안에 인장력에 의해 평탄도가 교정된다. 또한 이상적인 인터메쉬와 스트립 표면 웨이브와의 파장은 직접적인 상관 관계를 바탕으로 형상 교정에 영향을 미친다. 따라서 본 논문에서는 이 텐션 레벨러의 적정 인터메쉬 설정으로 스트립 웨이브의 변화를 고찰하고, 효율적인 형상 교정에 대한 경도와 변형률의 상관 관계 이론을 설명하여 교정 기술의 설계에 방향성을 제시하고자 한다.

Abstract With the development of ultra-high-tension steel plates in recent years, the weight reduction of exterior plates for automobiles and the production of high-strength steel plates are increasing. Advanced high-strength steel (AHSS) has high tensile strength, so general skin pass facilities have limitations in flatness correction and can lead to facility deformation and damage due to high tension and equipment load. Conventional skin pass equipment has limitations in target elongation, and recent demands require stable goods from mild steel to high-tension steel plates. Tension levelers are recognized in industry for quality improvement as an effective shape correction method that leads to secondary plastic deformation following the primary skin pass mill. Accordingly, tension levelers and intermesh leveling technology are required. A tension leveler is a continuous-strip flatness-calibration device, and there are pairs of tension bridle rolls consisting of three to five rolls each on the left and right sides of the skin pass mill and leveler. The flatness is corrected by the tensile force while the strip passes between them. In addition, the wavelength of the ideal intermesh and strip surface wave affects the shape calibration based on direct correlation. Therefore, in this paper, we consider the variation of strip waves with a proper intermesh setting of this tension leveler and explain the correlation theory of hardness and strain for efficient shape correction to give direction in the design of calibration techniques.

Keywords : Advanced High Strength Steel, Flatness, Intermesh, Skin Pass Mill, Tension Leveler

*Corresponding Author : Young-Jong Na(Hyundai-Steel Hot Rolling 2 Team)

email: nyj328@naver.com

Received January 30, 2023

Accepted March 3, 2023

Revised February 28, 2023

Published March 31, 2023

1. 서론

1.1 조질 압연 (Skin Pass Mill) 개요

스킨패스 압연은 제품의 표면 형상, 기계적 성질 등의 품질 특성을 결정하는 최종 작업이며, 품질 관리면에서도 품질 결함의 방지를 위해 최대한의 노력을 필요로 한다. 스킨패스 압연은 열간 압연된 코일 그대로는 평탄도가 좋지 않기 때문에 핫 스킨패스(hot skin pass) 공정에서 자연 냉각 후 40℃ 이하의 상온에서 적당한 압하력을 가해 연신율 0.1~4.0% 정도의 가벼운 냉간 압연을 행한다[1].

과거의 스킨패스 설비를 보면, 텐션 레벨러가 없는 독립식 유형의 설비였다면, 최근 도입되는 설비들은 냉간 압연 공정에서 주로 사용하던 텐션 레벨러를 열연 공정에 맞게 개선된 레벨링 설비로 접목시킨 복합식 모델을 도입하는 추세이다. 레벨러는 평탄하지 않는 압연 판에 반복 휨을 주어서 방향의 신장을 모아서 평탄하게 하는 장치이다. 반복 휨에 의해 판이 평탄하게 되는 이유는 휨에 의해 판에 신장이 부족한 곳이 신장되어 축 방향에 관해 신장의 균일화가 도모되기 때문이다. 단 휨 자체는 판 두께 방향에 관해서는 불균일 변형이므로 두 방향에 유해한 잔류응력 분포가 생기고, 표층 제거 등에 대해 휘어짐 등의 형상 불량이 일어나는 경우가 있다. 또한 평탄도 결점을 교정하기 위해서 레벨링 설비는 스킨패스 밀 다음에 설치된다[2].

압연 강판 제품의 질을 결정하는 중요한 요소로는 평탄도와 저항응력, 표면품질 등이 있다. 또한 텐션 레벨러의 소성 변형을 극대화 하려면, 정형화된 인터메쉬 데이터를 구축하여 각 소재에 맞는 레벨링 값을 적용함으로써 벤딩과 인장력이 스트립 연신율을 분산하고, 제어할 수 있어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 독립식 스킨패스 밀이 아닌 텐션 레벨러가 추가된 복합식 스킨패스 밀의 웨이브의 교정 효과와 기술에 대하여 논하고자 한다.

2. 본론

2.1 텐션 레벨러 웨이브 (Wave) 이론

1) 웨이브의 수치 표현

파장의 간격과 높이 사이의 주파수는 스트립에 굴곡으로 나타나곤 한다.

$$\lambda = H \times 100 [\%] \tag{1}$$

2) 웨이브의 크기

파트 A와 B의 길이가 다른 것처럼, A와 B의 차이는 $(L_B - L_A)$ 로 정의 할 수 있다. 최소 값으로 요구되는 소성 신장(plastic elongation) 아래와 같다.

$$\varepsilon = \frac{L_B - L_A}{L_A} \times 100 [\%] \tag{2}$$

Fig. 1의 웨이브 에서 보이는 것과 같다[3].

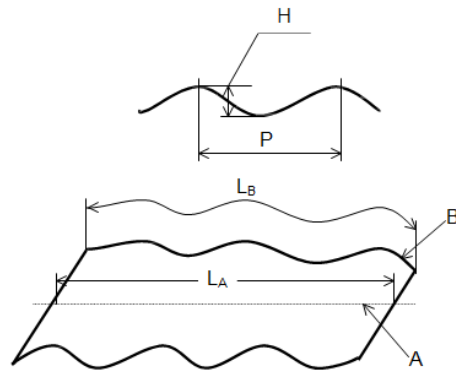


Fig. 1. steepness level. plat wave

㉔형상 파형에서 파의 pitch와 파의 높이로 표시

㉕급준도(α) = H/P

P : 형상 파형의 파 피치

H : 파의 높이

벤딩과 장력이 가해진 방식의 스트립 연신율 분석은 응력과 복합 되어있다. 연신율 현상은 탄성의 활용은 Fig. 2와 같이 설명하고 있다. 텐션 레벨러는 롤이 많은 만큼 역할이 크게 2가지로 구분 되는데, 고장력 부와 저장력 부로 나뉜다. 고장력 부는 인장을 교정하는 역할을 한다. 간단하게 설명하자면, 형상이 좋지않은 제품의 웨이브가 있는데 이것은 파장의 높이를 낮추는 역할을 한다. 저장력 부는 불안한 형상을 세밀하게 조정해 주는 것으로 내부 잔류응력 저감과 굽힘량을 조절하는 역할을 한다. 고장력 부에서 1차적으로 형상을 잡아주고, 2차적으로 저장력 부에서 교정해 준다고 보면 된다. 항복점 연신은 압하율 1.0% 부근에서 급격히 저하하여 3.0% 에서는 거의 없어진다. 항복점은 1.0% 부근에서 저하 하고 그 후에 점점 증가한다[4].

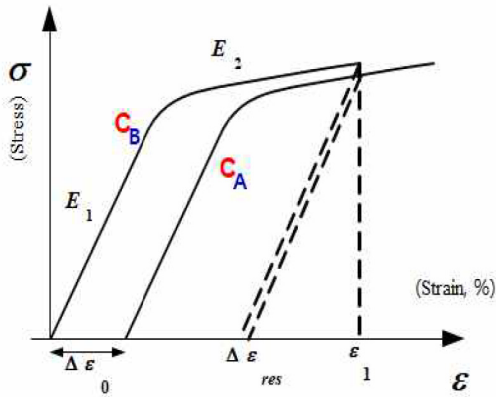


Fig. 2. simple tension Stress-strain diagram
 $\Delta \epsilon_0$: before proofreading
 $\Delta \epsilon_{res}$: after correction

in which

- T_i = Strip tension at the No.1 leveling roll
- b = Strip width
- σ_y = Yield stress
- γ = Strip curvature at the No.1 leveling roll
- E = Young's modulus
- n = Number of leveling rolls

$$\epsilon = \sum_{i=1}^n \left(\frac{T_i}{b \cdot \sigma_y \cdot \gamma} - \frac{\sigma_y}{E} \right) [\%] \quad (3)$$

2.2 소성 변형 (Plastic strain)

○요철의 편평 (flattening) 효율성

Eq. (4)에 탄성 연신율을 반영하여 수정된 공식은 아래와 같이 표현된다.

$$\sigma = \frac{\epsilon}{\frac{n}{\gamma \cdot \sigma_y} \frac{1}{E}} + \frac{n \cdot \sigma_y}{\frac{n \cdot t}{\gamma \cdot \sigma_y} \frac{1}{E}} \quad (4)$$

요철의 편평 효율성은 아래와 같이 제시할 수 있다.

$$\frac{\Delta \epsilon_A}{\epsilon_A} = \frac{1}{\frac{n \cdot t}{\gamma \cdot \sigma_y} \frac{1}{E}} = \frac{\sigma_y \cdot \gamma}{n \cdot E \cdot t} \quad (5)$$

Eq. (5)는 얇은 고장력강을 다룰 때 매우 중요하다. 위에서 언급된 기본 이론을 활용할 때는 장력 응력 분포 (residual stress distribution) 에 기초를 둔 휨 (bending)에너지와 중.횡 방향(direction) 스트립 곡률 (curvature)은 반드시 고려되어야 한다.

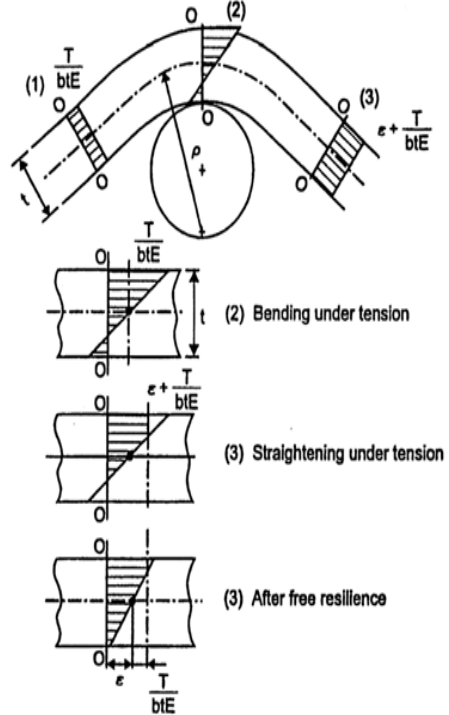


Fig. 3. the correction principle of the tension leveler Plastic deformation. tension + bending

스트립의 형상 교정은 항복응력과 소성 변형을 이용하여 강판의 평행도를 높이는 것으로 일정 곡률로 굽힘과 되 굽힘을 반복함으로써 스트립에 소성 구역과 탄성 구역이 구분되며, 스트립의 굽힘이 심할수록 롤에 의해 되 굽혀 질 때 소성 영역이 많아 스트립은 다중 롤을 통과하면서 평행도가 높아지는 현상이다. 이 연구는 텐션 레벨러 인터메쉬의 정형화 되고, 평균화된 설정 방법을 적용하기 위한 이론의 한 방법이며, 품질이 우수한 제품을 생산하기 위한 중요한 방법을 데이터 베이스로 구축한 수식 모델이다[5].

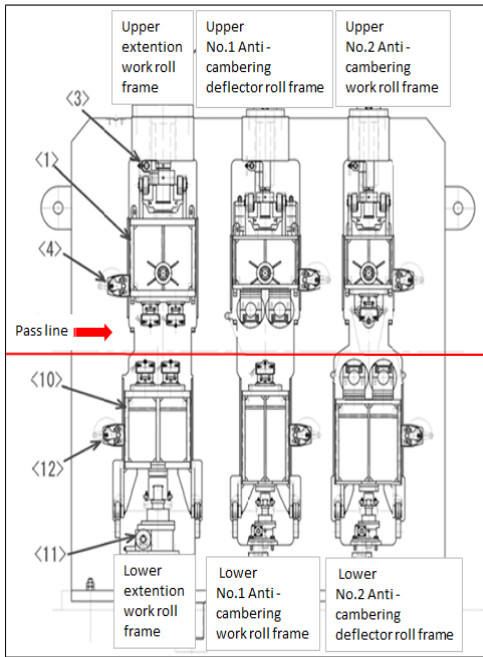


Fig. 4. Tension leveler schematic diagram

2.3 텐션 레벨러 유니트(Tension Leveller Unit)

○레벨러 구성 및 레벨링 순서

- ① 4-hi type
- ② 1.2unit:연신 unit로 인장 힘을주어 스트립에 0~3% 연신
- ③ 3.4Unit:1.2 unit에서 발생하는 폭반곡 (C반곡)길이 반곡 (L)반곡 교정
- ④ 상부 3ea, 하부 3ea - 총 6개의 unit로 구성
- ⑤ Roll 구성: 워크롤,백업롤,디플렉터를
- ⑥ 압연 방식(rolling type):건식 압연(dry rolling)
- ⑦ 형상 교정:폭 방향으로 편평(flat)한 형상으로 교정한다.
- ⑧ 판의 기계적 성질을 개선(항복점 연신 제거를위한 일정량의 연신을부여)하여 표면 성상을 개선시켜 품질을 향상시킨다.
- ⑨ 텐션 레벨러의 레벨링 순서 : 스트립(strip) 인입 → 레벨러의 상부 unit(3ea)은 동시에 패스라인까지 다운 → 하부 unit이 설정 데이터 베이스에 맞게 각각 상승 → 스트립에 일정 곡률을 부여 PLC (Programmable Logic Controller) 시스템 → 텐션 릴 그리프 → 라인 텐션 on → line start → 레벨링 시작[6-8].

3. 실험 결과 및 설정 방법

3.1 텐션 레벨러 인터메쉬 (Intermesh) 조정

인터메쉬 조정시의 값은 스트립의 두께를 포함하지 않는다.

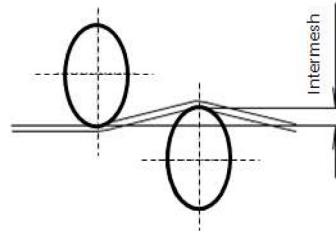


Fig. 5. Roll intermesh

Fig. 5는 참조용으로 적절한 레벨링의 인터메쉬 값은 재료와 실 제품의 테스트에 따라 결정된다. 경도 또는 잔여 곡률이 만족되지 않을 경우에는 인터메쉬 설정 또는 연신을 설정을 재조정 해야한다. Table 1의 실험은 같은 조건으로 기존 독립식 스킨패스 밀의 형상 교정의 문제점과 한계를 비교 테스트한 것이며,이를 기반으로 고탄소강 중 주력강종인 인장강도 80k의 소재를 대상으로 레벨링 테스트를 진행 했으며,과정은 Table 2와 Table 3과같다[9,10].

3.2 실험 방법 및 설비 사양

Table 1. experimental method comparison

division	typology	object material	flatness comparison
skin pass mill	an independent expression	Normal carbon steel, high carbon steel For cold rolled steel sheets	10-25 I-unit (steepness level: 0.6-1.0%)
	hybrid type	Normal carbon steel, high carbon steel For cold rolled steel sheets	1-2 I-unit (steepness level 0.2-0.3%)
tensile strength	an independent expression	30k~80k	55k or greater bad shape
	hybrid type	30k~80k	shape goodness
width	an independent expression	800mm~1630mm	1500mm or greater bad shape
	hybrid type	800mm~1630mm	shape goodness
thickness	an independent expression	1.2t~6.0t	1.6t or less bad shape
	hybrid type	1.2t~6.0t	shape goodness

Table 2. test material specification

Explanation	Speciation
Line speed	Average 200 mpm
Elongation ratio	max. 1.0%
Tension force	0.23MPa
Width	1880mm

Table 3. equipment specifications for testing

Explanation	Speciation
Material (strip)	80k of high-carbon steel
Yield stress	1345MPa
Thickness	2.3t
Width	1224mm

3.3 테스트 결과

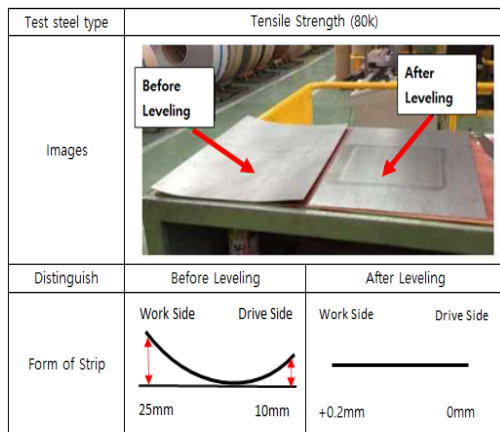


Fig. 6. Flatness test result

3.4 텐션 레벨러 인터메쉬 (Intermesh) 설정

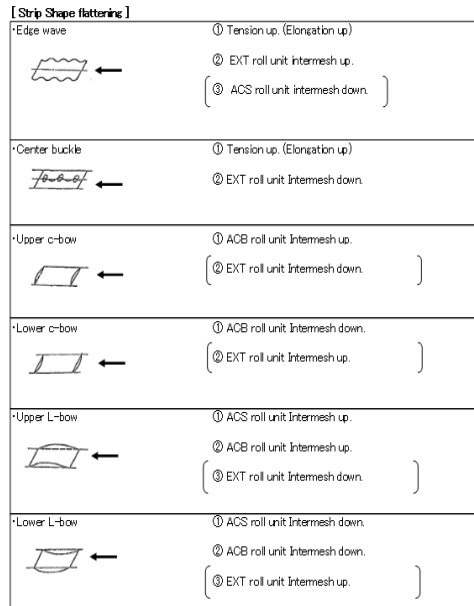
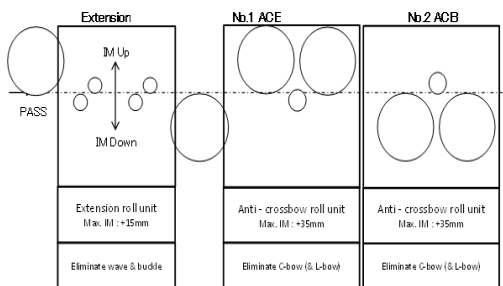


Fig. 7. Intermesh set up method

3.5 경도와 변형률의 상관 관계도

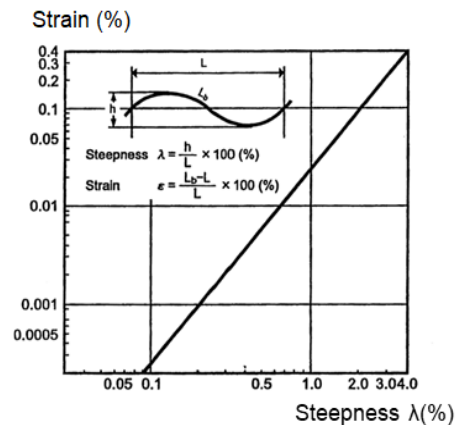


Fig. 8. the relation between the λ value and ε

웨이브가 사인(sine) 곡선에 따라 나타난다고 가정할 때, λ 값과 ε의 상관 관계도는 Fig. 8과 같다.

4. 결론 및 연구 방향

본 연구에서는 현재 운용중인 2가지 유형의 독립식 스킨패스 밀과 복합식 스킨패스 밀의 스트립 웨이브를 테

스트한 결과를 보면,형상 교정의 한계점을 복합식 스킨 패스 밀의 텐션 레벨러가 형상 교정에 있어서 효율적임을 알 수 있다.이에 지속적인 고탄소강 개발에 대응할 수 있는 이상적인 인터메쉬 설정 방법으로 스트립 웨이브의 변화를 고찰하고,효과적인 형상 교정에 대한 정도와 변형률의 상관 관계를 분석할 것이며,결론은 아래와 같다.

- (1) 텐션 레벨러의 이상적인 인터메쉬 설정 데이터로 인한 웨이브 불량률이 지속적으로 감소해 현재 3% 미만으로 줄었다.
- (2) 연강부터~고탄소강의 교정에 있어서 안정적인 레벨링이 유지되고 있다.
- (3) 기존 독립식 스킨패스 밀의 한계를 넘어 대신 할 수 있는 재화 능력으로 인장강도 55k 이상의 고탄소강의 레벨링에 대한 과부하가 대부분 해소됨.

나 영 종(Young-Jong Na)

[정회원]



- 2021년 3월 ~ 현재 : 한양 대학교 공학 대학원 신소재 공정공학과 (석사 5기 재학중)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 현대제철 열연 2팀 재직중

<관심분야>

소성가공,금속재료

References

- [1] J.C.Kim, K.H.Lee, and T.D.Jeon,co-authored by G.R.Kim NCS Rolled Engineering, p.340, Samwon Books, 2017,pp.130-134.
- [2] Co-authored by S.Y.Jo, H.k.Moon, W.A.Jeon, and Kim H.G.Kim,Cold rolling engineering, p.294, Gu resident, 2018, pp.131~133.
- [3] Co-authored by S.Y.Jo and J.C.Kim, Rolling functional field, p.693, Gu resident, 2012, pp.212.
- [4] Co-authored by S.Y.Jo, H.k.Moon, W.A.Jeon, and H.G.Kim, Hot rolling engineering, p.320, Gu resident, 2018, pp.147~151.
- [5] Grimble, M. J., 1976, "A Roll-Force Model for Tinplate Rolling", GECJ. Of Science & Tech., Vol.43, No.1, pp. 3~12.
- [6] Yamamoto Keiji,Abe Keizo:Progress of Leveler;Journal of Japan Copper and Brass Research Association,1992, Vol.31,P.92.
- [7] TomoyukiShimamura,HiroyukiUematsu,KeizoAbe, "Infi. nite rigidity control of 4th generation leveler", Industrial.
- [8] Written by Na Pass Content Lab.Rolling function, p.730, Samwon Books, 2021, pp.575-576.
- [9] Written by S.J.Park, Metal Processing Technician, p.730,Yesungsa, 2021,pp381,389.
- [10] Co-authored by S.D.Kang, and Y.D.Kim,Mechanical Engineer, p.830,Example History,2012,pp.143~144.