

잔류응력이 낮은 평탄한 판재 제조를 위한 열연 코일 교정 조건 도출

박기철[#] · 김홍준¹ · 김교성¹

Leveling Condition in Cut-To-Length Lines to Produce Low Residual Stress Flat Plate from Hot Rolled Coils

K. C. Park, H. J. Kim, K. S. Kim

(Received February 2, 2006)

Abstract

One of the most important quality problems in flat plate leveled from hot rolled coils in cut-to-length lines is bowing and cambering when they are cut in small width parts. It is verified analytically and experimentally that residual stress remained in plate is the source of the problem. In order to produce low residual stress flat plate from hot rolled coils, the proper conditions of leveling are studied and two things are implemented. One is proper plastic deformation area ratio to reduce residual stress within customer requirement by applying suitable plastic deformation and maintain leveling load within structural strength limit of leveler. The other is maintaining uniform plastic deformation along the width of the plate during leveling. Customer requirement for residual stress is met by applying above 70% of plastic deformation area ratio and uniform deformation along width of coil by adjusting back up rolls according to deformation analysis of work roll and back up roll assembly and leveling tests.

Key Words: Plate, Roller Leveling, Residual Stress, Bow, Camber, Cut-to-length Line, Hot Rolled Coil

1. 서 론

한국의 조선과 건설 및 기계 산업의 성장으로 인하여 내부의 잔류응력이 제거된 고급 후판재는 수요는 많으나 공급이 충분치 않은 실정이다. 이러한 고급 후판재를 코일(coil)로 생산된 열연강판을 전단설비(cut-to-length line)에서 교정 및 절단하여 생산하려는 시도들이 있어 왔다. 그러나 절단 후 형상 품질이 확보되지 않아 본격적인 적용이 되지 않았으나, 최근에 형상 품질이 확보되면서 후판용으로 시장에 공급되어 고급 후판재의 부족을 해소하는데 도움이 되고 있다.

열연코일에서 전단한 후판재는 슬라브(slab)를 열간 압연하여 권취한 코일을 전단라인에서 교정(leveling) 및 전단하여 제조하게 된다[1~4]. 제조공정을 Fig. 1에 나타내었다. 열연코일은 냉각대에서 수냉을 거친 후 코일 상태로 냉각되므로 일반 후판재에 비하여 수냉 및 권취(coiling) 이후 부위별로 냉각 온도 편차가 크므로 잔류응력이 상대적으로 크게 발생할 수 있다. 그리고 열연코일을 판재(plate)로 교정 및 절단하는 과정에서 불균일 소성변형이 추가로 개입되어 잔류응력을 발생시킬 가능성도 있다[5].

부분별로 크기나 방향이 다른 잔류응력을 갖

1. POSCO 기술연구소
교신저자 : POSCO기술연구소, E-mail: parkkc@posco.co.kr

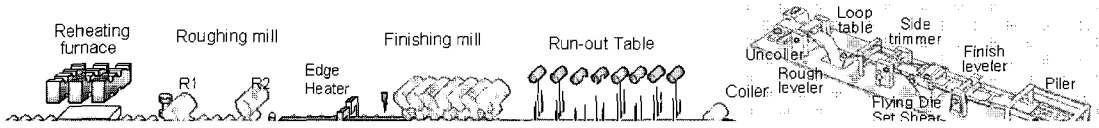


Fig. 1 Hot rolled steel coils and cut-to-length production line

는 강판을 가스(gas)나 플라즈마 등으로 작은 크기로 절단 할 때 잔류응력의 비평형상태로 인해 절단 부재에 만곡 및 캠버(camber)가 나타난다. 이 현상은 후가공이나 용접 작업성을 떨어뜨리므로 후판재에서 고려해야 할 가장 중요한 품질특성중의 하나이다[5~6].

(항복강도에 탄성계수를 나눈 값)의 비, α , 로 표시하는 경우가 있다. 이것과 소성변형면적비의 관계는 다음 식(2)와 같다.

$$\text{Yield area ratio} = \frac{t - 2y}{t} \quad (1)$$

$$\alpha = \frac{\text{surface strain}}{\text{strain at elastic limit}} = \frac{0.5t/R}{\sigma_y/E} = \frac{t}{2y} = \frac{1}{1 - \text{Yield area ratio}} \quad (2)$$

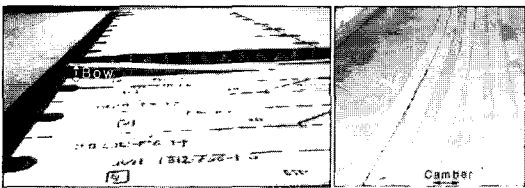


Fig. 2 Shape defects of plate leveled from hot rolled coils

Fig. 2 는 적절하지 않은 조건에서 제조된 판재의 형상불량의 예이다. 소절 부재의 들림(up bow height)은 50~150mm, 캠버는 경우에 따라서 최대 32mm 수준까지 발생되었다.

위의 식에서 E 는 탄성계수, R 은 굽힘 중립면의 곡률반경, t 는 판재의 두께, 그리고 σ_y 는 항복응력이다. 탄성변형의 영역을 나타내는 y 는 다음 Fig. 3 과 같이 정의된다.

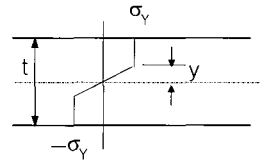


Fig. 3 Stress state in bended plate

이러한 판재의 절단 후 형상에 관한 연구는 주로 후판에 대하여 냉각중에 발생하는 잔류응력을 제거하는 관점에서 연구들이 이루어지고 있으며 열연코일에 대하여는 발표된 것이 거의 없다[5~6].

본 연구는 기본적인 교정 이론을 이용하여 전단공정의 레벨러에 의하여 코일을 판재로 펴는 과정에서 적절한 크기의 소성변형과 이를 폭 위 치별로 균일하게 부가하는 방법에 대한 검토와 적용을 한 것이다. 연구 결과로 현재 들림은 10mm 이내, 캠버는 5mm/10m 내의 수준이 달성되었으며, 본 논문에서는 그 기술 내용을 소개하였다.

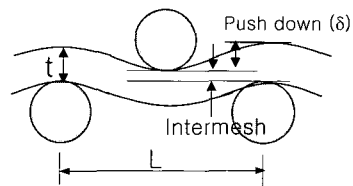


Fig. 4 Definition of intermesh and push down

2. 잔류응력 감소를 위한 교정조건 설정

2.1 항복면적비를 이용한 압하량 결정

롤러레벨러(roller leveler)에서의 변형크기를 나타내는 표시로 항복면적비(yield area ratio)를 사용한다[1~5]. 이는 전체 단면에 대한 소성변형을 받은 면적의 비로 식(1)과 같다. 유사한 표현으로 강판 표면의 변형률(굽힘 최대 변형률)과 소성변형률

판재 교정에 필요한 변형의 크기 즉 곡률 반경이 결정되었으면 이를 가하기 위해서는 교정기의 교정롤(leveler work roll) 압하량이 결정되어야 한다. 먼저 교정기에서는 Fig. 4에 나타난 것과 같은 압하량(push down) 또는 인터메시(intermesh)라는 용어를 사용한다. “압하량=두께-인터메시”의 관계가 있다.

식(1)에서 탄성변형과 소성변형의 경계를 나타내는 y는 굽힘의 기본적인 관계를 이용하면 $y = \sigma_y \times R/E$ 과 같이 된다. 그리고 레벨러 작업

롤의 압하량(δ)과 소재 곡률 반경(R)의 관계는 정확한 관계식이 없는 상황이나, 후판 교정기로 수행한 실험과 비교된 식(3)이 비교적 간단하고 활용하기가 용이하여 이를 사용하였다[6]. 그러나 이는 탄성변형에서의 굽힘이론에 따라서 유도된 식이다.

$$R = L^2 / (24 \times \delta) \quad (3)$$

위의 식에서 L 은 Fig. 4에 나타난 상부 또는 하부 교정롤(work roll) 간의 거리이다. 이들 관계식들을 조합하면, 소성변형면적비와 교정기 작업롤의 압하량은 다음 식(4)와 같이 구할 수 있다.

$$\delta = \frac{1}{12} \frac{L^2 \times \sigma_y}{E \times t \times (1 - YR)} \quad (4)$$

2.2 면내 잔류응력 측정과 캠버 수준

열연코일 및 그 교정 판재의 면내 잔류응력 수준을, 단면의 90%에서 소성변형이 발생하는 교정 조건으로 교정하기 전 및 후의 강판(두께가 12mm 이고 폭은 1800mm 이며 인장강도가 400MPa 급)에 대하여 평가하였다. 스트레인게이지(strain gage)를 폭 1800mm 인 강판의 9 부위 상면 및 하면 각각에 부착하고, 절단폭 30mm(절단길이 320mm)로 워터젯(water-jet)으로 절단하여, 절단 전과 후의 길이방향 변형을 변화를 측정하여 잔류응력을 구하였다[7].

잔류응력 측정 결과를 Fig. 5에 나타내었다. 교정 전 응력 분포는 최 외각에서 약 -80MPa 수준의 응력이 작용하며 가장자리에서 45mm 안쪽에서는 인장응력이 작용한다. 따라서 압축응력이 작용하는 영역은 매우 작은 것을 알 수 있다. 교정 후에는 가장자리부 잔류응력은 약 -20~-40MPa 수준으

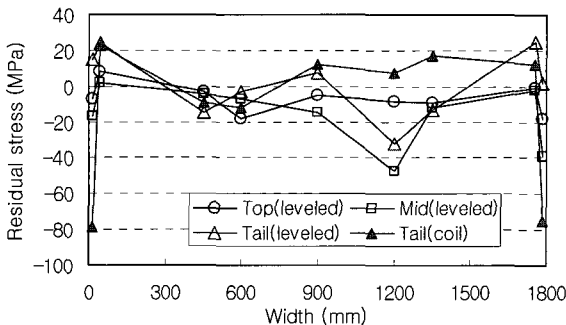


Fig. 5 Measured in-plane residual stress in plate

로 코일 소재에 비하여 작아졌다.

잔류응력 수준(가장자리의 잔류응력 크기 σ_s)과 판의 최외곽 소절 부재(폭 s)의 캠버 관계는, 길이 L 폭 w 인 강판내의 잔류응력 분포를 간단히 이차식으로 가정하고 계산하면, 식(5)와 같다[7].

$$\delta = \frac{1}{8} L^2 \frac{1}{R} = \frac{1}{8} L^2 \frac{M}{EI} = \frac{3}{4} L^2 \frac{\sigma_s}{E w^2} (-w + s) \quad (5)$$

$L=10000\text{mm}$, $w=1830$, $s=100\text{mm}$ 인 경우에 대하여 가장자리의 잔류응력의 크기를 40MPa 로 가정하는 경우, camber는 약 7.5mm 이며, 80MPa 인 경우는 15mm 이다. 따라서 교정전의 소재는 일반적으로 요구되는 캠버 요구 기준인 10mm/10m 를 초과하는 변형이 발생 가능하나, 교정후에는 가장자리부 잔류응력이 약 -20~-40MPa 이므로 품질 기준을 만족시킬 수 있다. 즉, 충분한 소성 변형이 교정중에 가해지는 경우 잔류응력으로 평가한 교정 후의 캠버는 방지 가능함을 알 수 있다.

2.3 면내 잔류응력 감소를 위한 교정조건

면내 불균일 잔류응력을 가진 판은 교정 과정에서의 굽힘 소성변형 중에 잔류응력이 부가적으로 작용하게 된다. 이로 인하여 인장응력 부분은 인장변형 그리고 압축 응력 부분은 압축변형을 받아 잔류응력이 감소한다. 본 연구에서는 강판 폭을 몇 개의 가상적인 스트립(strip)으로 나누고 스트립간의 상호작용을 고려하여 교정 과정에서의 변형 및 잔류응력 변화를 계산하였다. 예측된 소성변형면적비에 따른 잔류응력의 변화는 Fig.6 과 같다.

Fig.6 의 계산 결과는, Maeda [5]에 의하여 발표

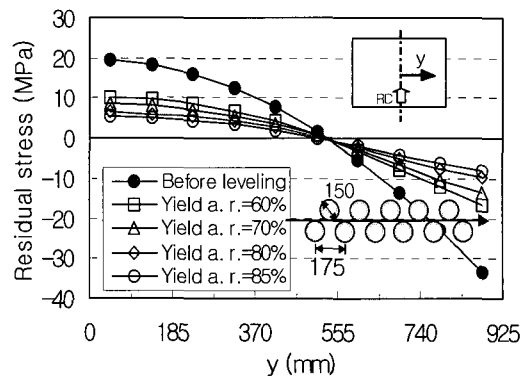


Fig. 6 Effect of yield area ratio on in-plane residual stress along length direction

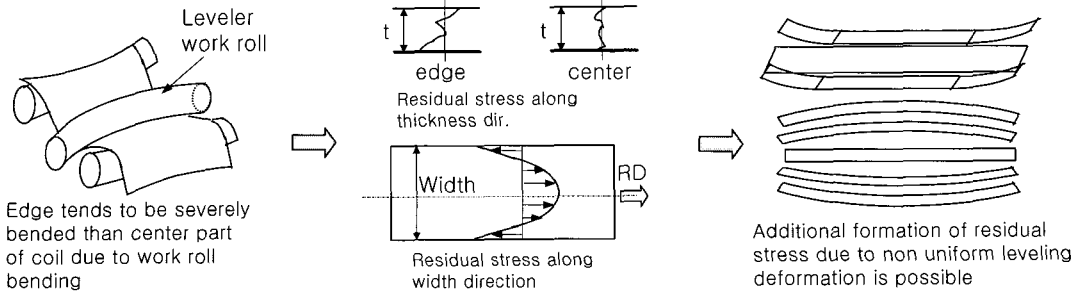


Fig. 7 Leveler work roll bending and plate shape

된 결과와 유사하며, 대강 70% 정도의 소성변형면적비 조건에서 잔류응력을 교정전의 50% 수준으로 감소시킬 수 있다. 따라서 소절재에 요구하는 캠버 수준을 감안하면 2.2 절에서 검토한 바와 같이 소성변형면적비가 70% 이상이면 교정전의 잔류응력이 80MPa 정도인 강판을 40MPa 수준으로 줄일 수 있어 캠버 품질 확보가 가능함을 알 수 있다. 열연코일을 이용한 후판재에서는 충분히 안정적인 효과를 얻기 위하여 소성변형면적비 85%를 목표수준으로 정하고 교정기 특성에 따라서 70%~95% 사이에서 시험하여 설정하였다.

두께 및 강도가 다른 소재에 대해서도 설비에 적절한 일정한 수준의 소성변형면적비를 유지하는 조건을 교정조건으로 설정하였으며, 이렇게 하는 경우 일관성있는 변형을 교정 소재에 부여할 수 있게되는 장점이 있었다.

3. 균일한 교정 변형 부여 조건 설정

3.1 교정기술 개요 및 교정기 구조

열연 코일 제조 중에 판에 발생해 있는 잔류응력 외에 교정중에 교정기의 교정롤에 의하여 불균일한 소성변형이 판에 가해지는 경우가 있어 이를 적극적으로 방지하여야 한다. 일반적으로 교정기 교정롤의 변형에 의하여 판의 가장자리는 중앙에 비하여 소성 변형을 크게 받는다. 이러한 때문에 중앙부와 가장자리부는 서로 다른 잔류응력 상태에 있게되며 따라서 소절 절단시에 만곡 또는 캠버가 발생할 수 있다.

적절하지 않은 지지롤(back up roll) 조건에 따른 만곡 발생을 Fig. 7 에 개념적으로 나타내었다. 판면내 위치별 잔류응력 감소와 함께 전체 판의 만곡을 안정화하고 두께 위치별 잔류응력 차이를 줄이는 것이 중요하다. 이러한 목적으로 레벨러

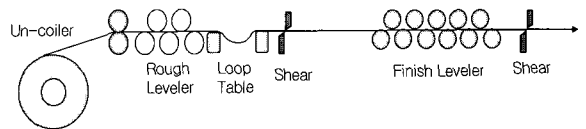


Fig. 8 Typical cut-to-length line for leveling and shearing of hot rolled coils

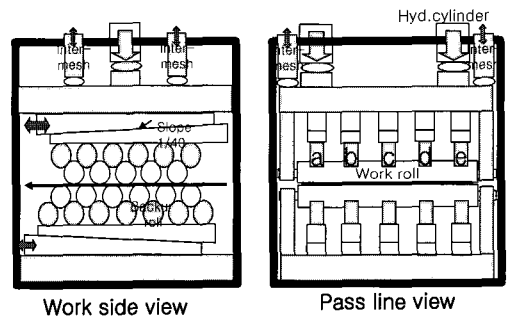


Fig. 9 Structure of general leveler for hot rolled coils

입측에서 출측으로 완만하게 감소하는 압하량을 부여하게 된다[1~4]. 이러한 교정 작용은 교정 롤수가 많을수록 형상개선과 잔류응력 감소에 유리하다[8].

코일을 교정 및 절단하는 공정은 Fig. 8에 나타난 것과 같이 언코일러(un-coiler), 일차레벨러(rough leveler), 마무리레벨러(finish leveler), 전단기(shear)로 이루어진다. 일차레벨러는 코일을 펴서 후공정이 진행되도록 하는 역할을 하며, 마무리레벨러는 완벽한 형상을 가지도록 정밀한 교정작업이 이루어지는 부분이다. 따라서 교정조건 설정은 마무리레벨러에 집중하여 검토하였으며, 마무리레벨러의 능력이 부족한 경우 일차레벨러와 연계하여 교정 조건을 검토하였다. 전단기의 경우는 대부분 FDS(flying die set shear)로 강판과 함께 이동 중에

절단하게 되며, 설비에 따라서 마무리레벨러 앞 또는 뒤에 설치되는 경우가 있다. 일반적인 열연강판 교정용 교정기의 구조를 Fig. 9에 나타내었다[1~4]. 지지롤을 이용하여 교정롤 예비형(pre-bending)을 가할 수 있는 기능을 가지고 있으며, 이것을 이용하여 교정롤에 의한 교정중 균일한 압하 조건 설정이 가능하였다.

본 연구의 교정조건 검토 및 적용 이전에는 열연코일을 이용한 판재 생산 현장에서 교정 레벨러에 의하여 열연강판에 존재하는 잔류응력을 제거하고 추가적인 발생을 방지하는 개념을 가지고 있지 못하였다. 다른 공정 변경으로 효과를 보지 못하던 중 레벨러 압하의 적정화 및 지지롤 조정을 동시에 실시하여 형상개선을 획기적으로 할 수 있었다. 이론적으로 적정한 압하량을 설정하고 각 규격별 소재의 교정 하중과 레벨러의 구조를 고려한 변형해석으로 적절한 지지롤 조건을 구하였다. 그리고 폭방향으로 균일하게 압하를 부여하기 위하여 시험을 거쳐서 최적조건을 도출하였다.

3.2 교정 반력과 교정 작업을 변형

교정기에서 교정롤에 작용하는 하중과 그에 따른 롤의 변형이나 교정의 어려움 정도 비교 등을 위하여 각 작업롤에 걸리는 교정하중을 구할 필요가 있다. 식(6)은 1 개의 롤에 걸리는 교정하중 계산식이다[9].

$$F = \frac{2\sigma_y w t^2}{L} \left(1 - \frac{1}{3\alpha^2}\right) : (\alpha \geq 1: \text{assumed}) \quad (6)$$

위의 식은 기본적인 간단한 굽힘 변형이론에 의하여 유도된 것이다. 식에서 L 은 롤 간의 피치 (pitch: 상부 또는 하부 교정롤 간의 거리)이며, σ_y 는 항복응력, w 는 강판 폭 그리고 t 는 두께이다. 교정하중은 두께의 제곱과 항복강도에

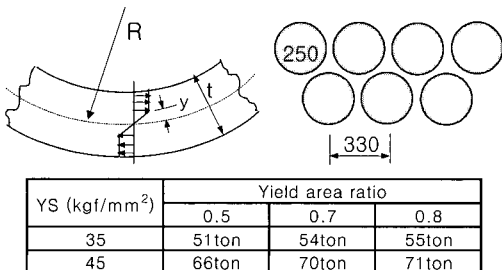


Fig.10 Leveling load per roll of 12t, 1830w sheet

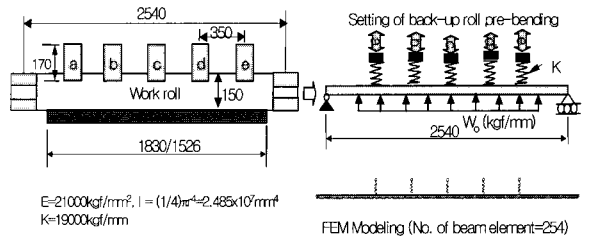


Fig.11 Modeling for work roll bending analysis of a leveler

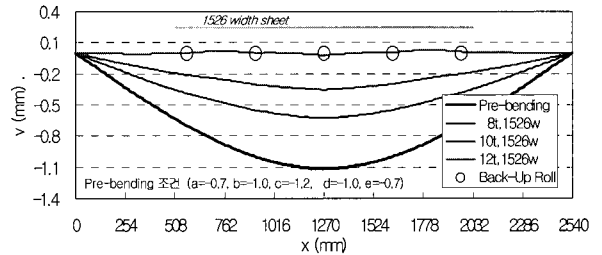


Fig.12 Pre-bending and bended shape of work roll under leveling load

비례하고 교정롤 간의 간격에는 반비례한다. Fig.10 은 이들 세가지 항복면적비에 대하여 12mm 두께에 폭이 1830mm 인 강판 교정시의 교정 하중을 두가지 강도 조건과 서로 다른 소성변형의 크기에 대하여 계산한 것이다. 각 작업롤에 50ton ~70ton 정도의 매우 큰 힘이 작용함을 알 수 있다.

열연강판 교정에 사용되는 한가지 마무리레벨러의 지지롤 구조와 이를 모델링한 그림을 Fig.11 에 나타내었다. 교정 하중은 식(6)을 이용하여 구하였다. 지지롤은 강성을 갖는 한개의 스프링(spring)요소로, 작업롤은 보요소로 처리하였다. 지지롤의 강성은 기존의 교정조건과 교정된 판재를 작은 크기로 절단(소절) 하였을때의 형상실적을 감안하여 두께 12mm, 폭 1526mm 인 400MPa 급 강판을 예비형 설정 조건(a=-0.7, b=-1.0, c=-1.2, d=-1.0, e=-0.7mm)에서 교정시에 균일한 압하가 가해지는 값으로 결정하였다. 예비형 값은 작업롤과 지지롤이 반력 없이 닿은 지점에서부터 예비형을 가하는 방향으로의 수직이동 거리이다.

지지롤이 없는 조건에서 두께 12mm, 폭 1526mm 강판 교정시의 교정롤 변형은 중앙부가 약 50mm 수준에 도달하였다. 이는 매우 큰 교정하중에 비하여 교정롤의 굽힘강성은 상대적으로 작아서 그러한 것이다.

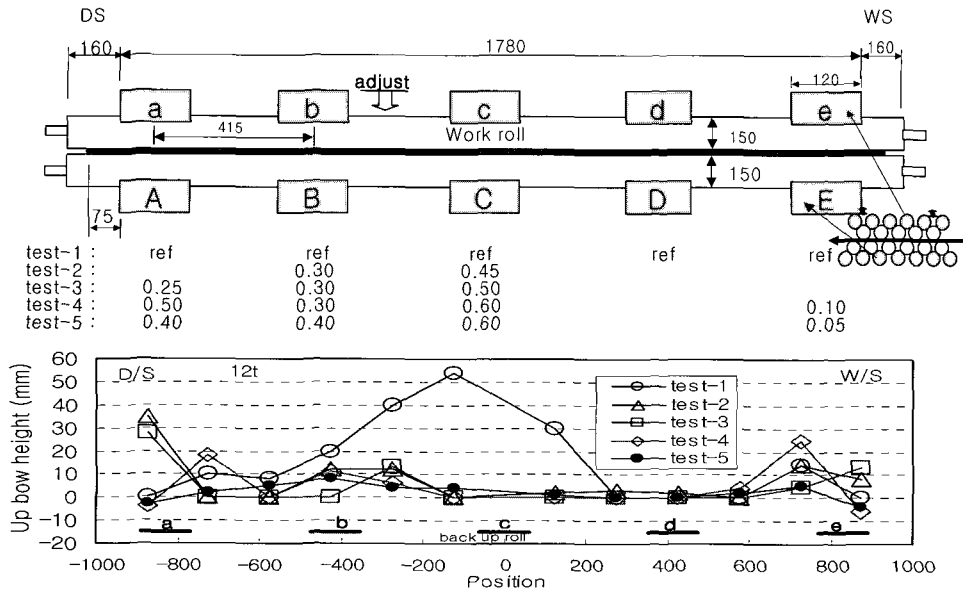


Fig.13 Test results for finish leveler back up roll adjustment (downward movement of upper back up roll) and up bow height distribution

Fig.12 에는 동일한 초기 예변형 조건에서 폭과 두께가 다른 소재를 가공할때의 교정롤 모양을 계산하여 정리한 것이다. 소재의 교정하중에 따라서 변형 형상이 달라지는 것을 알 수 있다. 이는 교정롤이 상당히 유연한 조건에서 교정작업이 이루어지므로, 교정 형상을 점검하여 항상 적절한 수준의 지지롤 조정이 매우 중요함을 의미한다. 교정 소재의 강도와 두께 및 교정기의 강성을 고려하여 교정기 교정롤의 예변형을 결정하였으며, 이를 고려하여 초기 교정조건을 설정하였다.

3.3 지지롤 조정에 의한 형상 개선

전단 설비중 하나는 일차레벨러(rough leveler)에 지지롤이 없어 강판의 중앙과 가장자리부의 압하가 다르며 이것으로 인해 소절시 중앙과 가장자리부의 들림높이를 다르게 만들고 있었다. 이를 교정하기 위하여 마무리레벨러를 소성변형면적비 95% 수준에서 교정하였으며 그 교정조건 설정 과정을 다음에 정리하였다.

마무리레벨러의 구조와 지지롤 조정 상황 및 소절후 들림 형상 분포를 Fig.13 과 같다. 기존의 지지롤 설정이 정의되어 있지 않은 설비 상태였으므로 지지롤 조건은 기존 조건에서부터의 추가 예변형 압하량으로 표시하였다. 초기에는 중앙에 큰 만곡이 발생하였으나, 만곡이 발생한 부분의

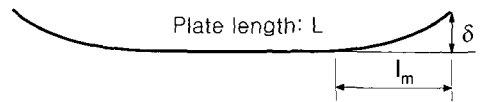


Fig.14 Up bow height and length of raised sheet

지지롤로 예변형을 가하여 교정롤 지지 능력을 키워줌으로서 소절재의 만곡을 10mm 이내로 유지할 수 있음을 알 수 있었다.

중앙부를 가장자리부 보다 많이 예변형을 가하고, 초기 설정 상의 편차를 소절 결과에서 알아내어 조정한 결과, 양호한 형상을 만들어 내는 조건을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 즉 교정후 소재의 소절 형상 분포를 보고 지지롤의 예변형 정도를 조정하는 방법으로 지지롤 위치를 시험으로 적정하게 설정할 수 있음을 알 수 있다.

3.4 소절재 들림높이의 평가 길이에 따른 변화와 품질 평가 기준 설정

후판재는 조선 및 건설사에서 대부분 12m 이상의 길이 판재에서 소절하여 사용된다. 그런데 잔류응력 평가를 위한 소절시험은 대개 3m 길이에서 150mm 폭으로 실시한다. 따라서 3m 에서 평가하는 강판의 들림높이가 12m 이상의 길이에서 적용될 수 있는지를 알아야 한다.

Fig.14 와 같이 정반상에 놓인 소절 부재에 대하여 강판 길이와 들림높이의 관계는, 강판내부의 두께 방향 위치별 잔류응력 차이와 강성에 의하여 나타나는 곡률에 강판의 자중 영향으로 퍼지는 것을 고려하여 구할 수 있다. 냉연강판에 대한 Matoba[10] 의 결과를 이용하여 다음 식(7), (8) 그리고 (9)와 같이 자중의 영향이 배제된 조건에서의 만곡과 자중의 영향이 반영된 길이에 따른 들림높이의 관계를 구할 수 있다.

$$l_m = 2.21 \times 10^4 \times t \times \sqrt{k_0} \quad (7)$$

$$L > 2l_m: \delta_1 = 1.22 \times 10^8 \times t^2 \times k_0^2 \quad (8)$$

$$L < 2l_m: \delta_2 = (1/8)k_0 L^2 \left[1 - 2.56 \times 10^{-10} (L^2 / k_0 t^2) \right] \quad (9)$$

위의 식에서 t 는 mm 단위의 두께, k₀ 는 자중의 영향이 배제된 조건에서의 판재 곡률반경(1/mm) 그리고 L 은 판재의 길이(mm)이다. l_m 과 δ₁ 및 δ₂ 의 단위는 mm 이다.

식(7)에서 l_m 은 강판 길이가 충분한 경우의 자중과 강판 곡률의 작용에 의한 들림 거리이다. 강판의 길이가 2×l_m 보다 작다면 들림높이를 구하는데 강판의 길이가 필요하여 δ₂ 를 사용한다. 그러나 강판의 길이가 2×l_m 보다 크다면 강판의 길이는 들림높이(δ)에 영향을 미치지 않으며 δ₁ 으로 들림높이를 계산할 수 있다.

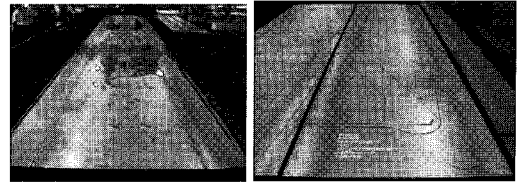
12~22t 인 경우의 들림량과 길이의 관계를 Table 1 에 나타내었다. 12t 강판의 경우, 3048mm 길이 강판에서 측정된 들림높이가 약 25mm 수준 또는

Table 1 Up bow height and sheet curvature for 12t~22t sheets

t	k ₀	2x l _m	Meas. length	δ ₁	δ ₂
22	1.00×10 ⁻⁵	3075	3048	6	6
22	2.00×10 ⁻⁵	4349	3048	24	18
22	3.00×10 ⁻⁵	5326	3048	53	29
18	1.00×10 ⁻⁵	2516	3048	4	3
18	2.00×10 ⁻⁵	3558	3048	16	15
18	3.00×10 ⁻⁵	4358	3048	36	26
12	2.00×10 ⁻⁵	2372	3048	7	4
12	3.00×10 ⁻⁵	2905	3048	16	16
12	4.00×10 ⁻⁵	3355	3048	28	27
12	5.00×10 ⁻⁵	3750	3048	44	39

δ₁ : Appeared up bow height at long plate.

Bold in δ₁ and δ₂ : Measured up bow by 3048mm plate



(a) 150mm width cutting (12t, 1829w, 12m L.)

(b) Plasma cutting (Complex shape)

Fig.15 Cut shape of low residual stress plate leveled from hot rolled coil

그 이하인 경우, 임의의 긴 소절에서도 들림량은 동일하다. 그러나 들림높이가 30mm 이상인 경우는 소절길이가 증가하는 경우 들림 높이는 3m 길이의 강판으로 측정된 값 보다 크다. 강판두께가 18mm 인 경우는 15mm, 두께 22mm 이상에서는 10mm 이하의 들림 높이인 경우 임의의 긴 소절길이에서도 들림량은 3m 부재의 경우와 동일하다. 그러나 그 이상의 들림이 3m 길이 강판에 관찰되는 경우 소절 부재의 길이가 증가하면 들림량도 더 커지게 된다.

두꺼운 강판일 수록 동일한 곡률(자중이 배제된 조건에서 잔류응력 분포와 강성에 의하여 나타나는 만곡)에 대한 들림량이 증가하므로 두꺼운 강판일수록 품질관리에 노력을 많이 기울여야 함을 알 수 있다. 그리고 후판 사용사의 들림량에 대한 요구인 10mm 이하를 품질관리 기준으로 삼는 경우 22t 강판까지 3m 정도의 소재로 평가하면, 실제 사용되는 긴 길이에서의 들림량과 같은 것임을 알 수 있다. 실제로 3m 길이에서 들림량이 10mm 이하로 검증되어 출하된 후판재의 경우 조선 및 중공업사에서도 사용상 문제가 발생하지 않고 있다.

Fig.15 는 150mm 폭으로 12m 를 개스 절단한 경우와 플라즈마로 복잡한 선체 부품을 절단한 경우의 예이다. 어느 경우나 8mm 이하의 들림으로 사용상 문제가 없었다.

4. 결론

본 연구에서는 롤러레벨러의 교정이론을 이용한 교정조건과 실제 교정 설비의 특성을 파악하여, 열연강판으로 낮은 잔류응력을 가지는 평탄한 고급 후판재를 제조할 수 있는 조건을 도출하였다. 이론적인 교정조건 도출에는 레벨러 교정이론

과 열연강판의 잔류응력 수준 및 형상 교정 과정에서 소성 변형 검토 결과가 고려되었다. 이론적으로 도출된 교정조건과 실제 적용 결과를 검토한 결과 열연코일로 낮은 잔류응력의 우수한 형상 판재를 제조하기 위해서는 다음 두가지가 중요한 요소였다.

첫째는 소성변형이 단면의 70%~95% 범위에서 설비와 잔류응력 요구수준을 고려하여 굽힘 변형을 부여하여 기존의 불균일 만곡 및 잔류응력을 제거하는 것이다. 그리고 둘째는 이러한 소성변형이 전 폭에 걸쳐서 균일하게 작용시키는 것이다. 폭 위치별로 균일하지 않은 소성변형이 레벨러에서 발생하는 경우 오히려 잔류응력이 레벨러에서 발생함을 알 수 있었다.

기존에 품질 확보를 하지 못하였던 전단설비에 대하여 이론적 검토에 의한 적절한 소성변형 부여 및 지지를 조절을 통하여 절단후의 형상 품질을 확보하였으며, 그 결과로 공급 부족으로 어려움을 겪던 고급 후판 수요사에 도움이 될 수 있었다.

본 연구에서는 간단한 해석과 실험으로 교정조건을 도출하였으나, 교정조건 설정에서 이차원 또는 삼차원의 교정과정 유한요소해석 기술을 활용하면 더욱 효과적으로 작은 수의 실험을 통하여 잔류응력이 제거된 강판 제조 조건을 찾을 수 있었을 것이다. 그리고 교정롤 압하량과 판재의 교정 곡률반경의 관계에 대해서는 탄소성 변형을 고려한 관계식에 대한 연구 등이 필요할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] E.Thesis, 1985, Corrective sheet metal leveling- Science, Art or Black Magic?, SME Technical Paper, MF85-857.
 [2] E.Thesis, 2002, Everything you need to know about flatteners and levelers for coil processing-Part 1:

How flat-rolled metal gets unflat, The fabricator, Vol.32, No.10(October).

(http://www.thefabricator.com/CoilProcessing/CoilProcessing_Article.cfm?ID=311).

- [3] E.Thesis, 2003, Everything you need to know about flatteners and levelers for coil processing-Part 3: How coil processors can make metal so it stays that way, The fabricator, Vol.33, No.1(January).
 (http://www.thefabricator.com/CoilProcessing/CoilProcessing_Article.cfm?ID=315).
- [4] E.Thesis, 2003, Everything you need to know about flatteners and levelers for coil processing-Part 4: New applications and options in flattening and leveling, The fabricator, Vol.33, No.2(February).
 (http://www.thefabricator.com/CoilProcessing/CoilProcessing_Article.cfm?ID=519).
- [5] Y. Maeda, 2003, Residual stress control in steel plate by leveling process, CAMP-ISIJ, Vol.16, pp. 392~395.
- [6] T.Matoba, 1995, Calculation Method of Roller Leveling Conditions for Steel Plates, Journal of JSTP, Vol.36, No.418, pp. 1306~1311.
- [7] 박기철, 김홍준, 이정희, 2005, 후판재 대체 열연강판 제조기술, POSCO 연구논문, Vol. 10, No. 1, pp. 32~44.
- [8] K. C. Park, S. M. Hwang, 2002, Development of a Finite Element Analysis Program for Rolelr leveling and application for removing blanking bow defects of Thin Steel Sheet, ISIJ International, Vol.42, No.9, pp. 990~999.
- [9] 梶原哲雄, 古元秀昭, 田浦良, 山本国, 森田壽郎, 1988, Research on Characteristics of the Levelling Load and Torque on The Plate Leveller, 三菱重工技報, Vol.25, No.4, pp. 321~326.
- [10] T. Matoba, 1995, Unification of evaluation methods for measuring bow of thin gauge steel sheets, Journal of JSTP, Vol.36, No.418, pp. 1312~1317.