

Sheet pile VL의 profile 개발과 냉각방법의 개선

김 호섭*, 조 경희*, 김 정태**
Roll 설계부, 강원산업(주)*
대형강 생산부, 강원산업(주)**

Development of Heavy Sheet Pile KWSP VL

H. S. Kim*, K. H. Cho*, J. T. Kim**
Roll Pass Design Dept., KangWon Industries., LTD*
Heavy Section Dept., KangWon Industries., LTD**

Abstract

Sheet pile VL 제조에 있어서 핵심적인 중요 기술은 압연 중 진행 소재가 좌우 휨이 없이 직진토록 하여 치입 상에 문제가 없어야 하는 것이며, 또 하나는 압연 완료 후 냉각 중에 있는 제품의 bending량을 최소로 하여 roller 교정기에서 1차 교정으로 교정이 완료되게 하는 것이다.

압연중 소재가 직진토록 하기 위해서 web와 flange 등의 caliber 형상에서 balance가 유지되어야 하므로, web와 flange의 reduction을 1.1 vs 1.0으로 하여 web의 압하가 flange에 비해 10% 정도 크게 하였고, 좌우 flange의 reduction이 변화하지 않도록 flange 온도 보존을 위하여 intermediate에서 2 pass를 생략하여 약 40초의 rolling time을 단축시켰고, 이는 70°C 정도의 온도 drop을 방지하는 효과를 나타내었다. 이로 인한 roll force는 약 15%정도 down되었다.

논리상으로 A3 변태점 이하에서 web(두꺼운 부분 24.3mm)나 flange(얇은 부분 9.5mm)가 동시에 압연이 완료된다면 bending량은 훨씬 줄어들 것이나, 이 경우 roll force 증가에 따른 roll 절손 사고의 위험과 설비 trouble이 우려되기 때문에 web 온도를 약 950°C에서 flange 온도를 830°C에서 압연 완료토록 함으로써 설비 안전을 도모하였고, 1차 교정을 위하여 냉각 주수 설비를 설치하여 공냉시켰을 때의 1400 mm에서 700mm로 bending량을 감소시킴으로써 이를 가능토록 하였다.

Key words : Sheet pile, bending, caliber, roll force, temperature control

1. 서언

당사 대형강 공장에서는 1980년이래 sheet pile II type을 비롯하여 III, IIIA, IV type을 생산, 국내시장 및 동남아 등에 수출하여 sheet pile 전문 생산 업체로서 명성을 쌓아왔으며, 일본의 NSC, NKK, KSC, 유럽의 BSC, ARBED, KRUPP사 등과 업체와 어깨를 나란히 하고 있다.

1993년 신대형강공장을 건설한 이래, 고품질의 H-beam, sheet pile, rail 등을 생산하고 있으며, 최근에는 시공성과 경제성이 우수한 wide type sheet pile(폭 600mm)과 고정도의 고속 철도 rail을 생산하고 있다.

최근 인천제철을 비롯한 동종 타사에서도 sheet pile의 개발이 진행되고 있어 향후, 국내 및 해외에서의 경쟁이 치열할 것으로 예상되고, 국내 시장 개방 이후 일본산 제품의 국내 유입은 국내 sheet pile market share에 변화를 줄 것으로 추정된다.

따라서, 당사에서는 단면 강도가 기존 제품에 비해 월등히 큰 대형 sheet pile(wide type)을 개발하여 다양한 제품을 요구하는 user의 요구에 부응하고 타사와의 제품 차별화를 통한 비교 우위를 점하고자 sheet pile KWSP VL을 개발하게 되었으며, 보다 고품질의 제품을 생산하기 위해 더욱 기술 개발에 박차를 가하고 있다.

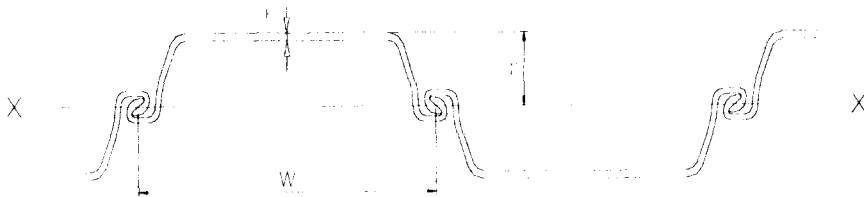
Sheet pile VL type은 주로 일본내에서 높은 단면 강도가 요구되는 대형 토목공사에 사용되어

져 왔으며, 각 업체의 설비 능력이나 lay-out에 따라 생산 과정과 방법이 서로 다르다. 당사의 신대형공장에서의 sheet pile VL 생산도 상당한 시일의 시행착오와 시험기간을 거쳐 왔으며, 1996년도에 개발을 시작하여 1998년에서야 시제품을 생산할 수 있었다. KWSP VL sheet pile 생산에 있어서 요구되는 기술적 사항으로는 profile의 형상 유지와 회수율 증대를 위한 한 단계 level-up된 roll 설계 기술을 확보하는 것과 제품 형상의 난이에 따른 bending 형상을 최소화하는 것이었다.

당사 형강 생산 공장에서는 이번 2가지의 기술적 문제점을 해결함으로써 KWSP VL 상업 생산에 돌입할 수 있게 되었다.

2. 당사 SHEET PILE PROFILES

2.1 ENGINEERING DATA



| Section | Dimension | | | Section Area | Unit Weight | | Moment of Inertia | | Modulus of Section | |
|----------|------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|----------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | W (유효폭) | H (유효높이) | T (web 두께) | Per Pile | Per Pile | Per Wall Width | Per Pile | Per Wall Width | Per Pile | Per Wall Width |
| | mm | mm | mm | cm ² | Kg/m | Kg/m' | cm ⁴ | cm ⁴ /m | cm ³ | cm ³ /m |
| KWSP II | 400 | 100 | 10.5 | 61.2 | 48.0 | 120.0 | 1240 | 8740 | 152 | 874 |
| KWSP III | 400 | 125 | 13.0 | 76.4 | 60.0 | 150.0 | 2220 | 16800 | 223 | 1340 |
| KWSP IV | 400 | 170 | 15.5 | 96.9 | 76.1 | 190.0 | 4670 | 38600 | 362 | 2270 |
| *KWSP VL | 500 | 200 | 24.3 | 133.8 | 105.0 | 210.0 | 7960 | 63000 | 520 | 3150 |

2.2 PROFILES

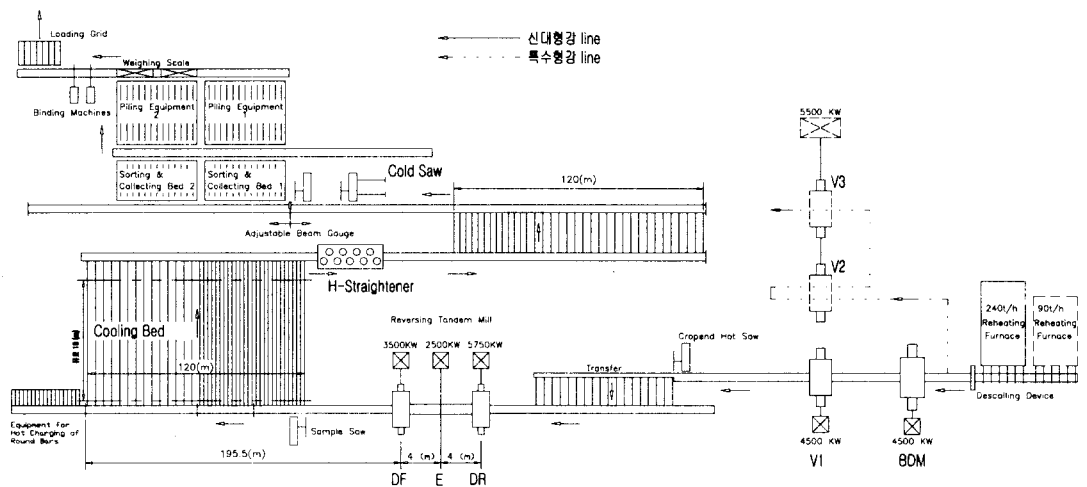
KWSP VL은 두께비(t_2/t_1)가 타제품에 비해 큰 수치를 나타내는 특징이 있다.

| KWSP II | KWSP III | KWSP IV | KWSP VL |
|------------------------|----------------|----------------|----------------|
| | | | |
| $t_2/t_1=10.5/7.5=1.4$ | $13.0/8.0=1.6$ | $15.5/8.5=1.8$ | $24.3/9.5=2.5$ |

3. LAY-OUT & MATERIAL FLOW

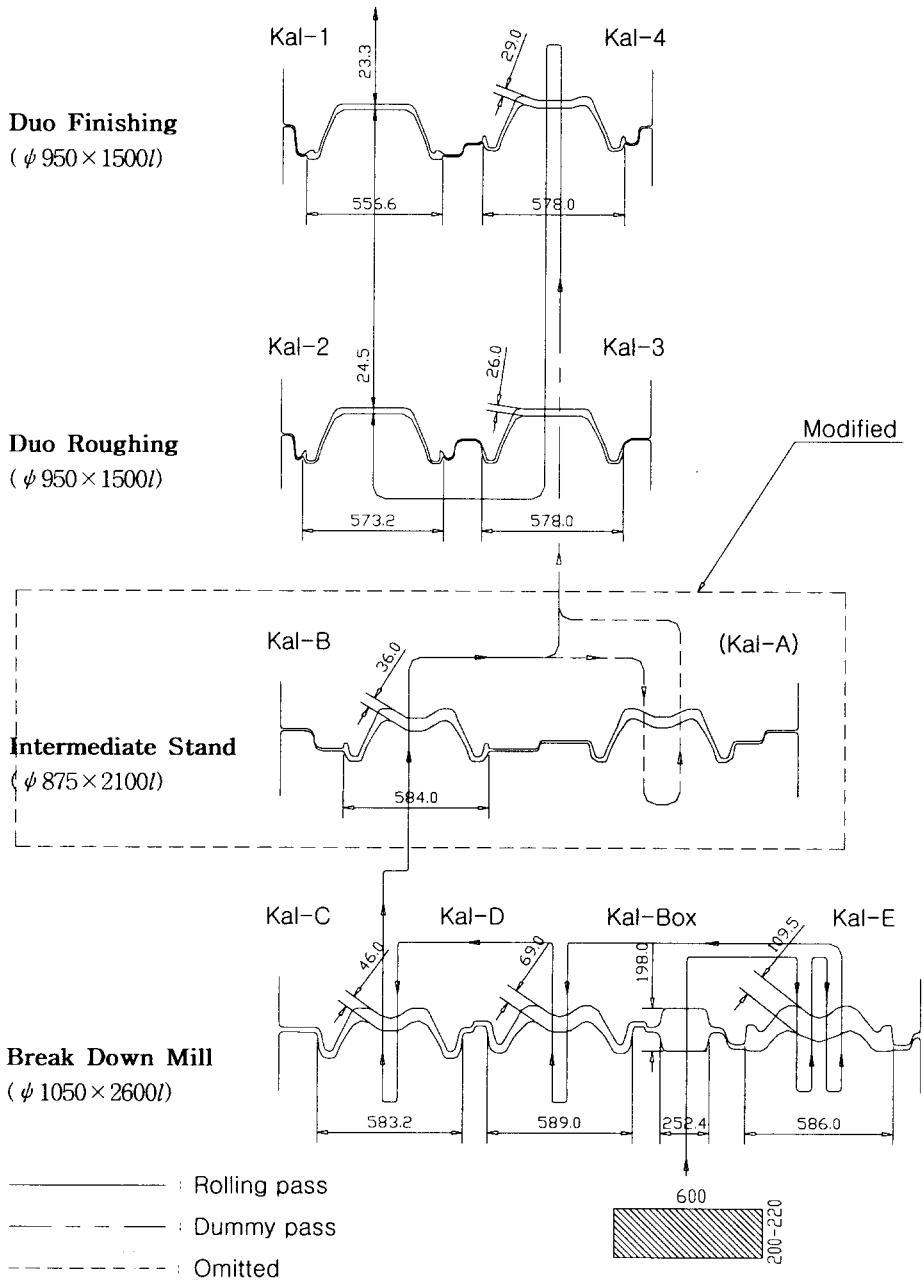
당사 신대형공장은 동일 공장 내에서 기존의 형강 lay-out를 변경시켜 건설함으로써 기존 line 과 신 line이 동시에 가동될 수 있게 하였으며, 이에 따른 다양한 product-mix를 보유하고 있는 것이 특징이다. 점선 부분이 기존의 생산 line으로 track shoe, mast beam등의 특수 형강을 연간 10만톤 정도 생산하고 있으며, 신line에서의 압연방법은 X-H rolling의 개념으로 좁은 lay-out상에서 고생산성(200 T/H)을 낼 수 있게 설계되었고, as-rolled length 최대 120m의 제품을 cold sawing하여 piling하고 있다. 신대형공장에서의 capacity는 약 130만 ton/년이 된다. 형강 제품은 universal roll 대신 2-hi roll(duo roll)을 setting하여 생산한다.

- 주 건설 업체 : POSCON
- 설비 공급 업체 : SMS, SIEMENS



4. KWSP VL (500w×200h×24.3t) ROLL PASS DESIGN

4.1 PASS SCHEDULE



*** DESIGN POINT**

- 1) Intermediate stand에서 Kal-A pass 생략 (miss roll 방지 및 pass 시간 단축)
- 2) Roll force의 균등 배분 및 감소 유도 (MAX. 650 ton, MIN. 300ton)
- 3) 압연중 좌, 우 flange reduction을 동일하게 유지

4.2 CALIBER DESIGN ANALYSIS

Web, flange, interlocking 3 part의 reduction을 동일하게 하여 balance유지

1) Reduction ratio(X)

$$\lambda_w = \sqrt[5]{Aw_0/Aw_n} = \sqrt[5]{19512/8114} = 1.20$$

$$\lambda_f = \sqrt[5]{Af_0/Af_n} = \sqrt[5]{3896/2212} = 1.12$$

$$\lambda_i = \sqrt[5]{Ai_0/Ai_n} = \sqrt[5]{1505/935} = 1.10$$

$$X = \lambda_w \cdot \lambda_f \cdot \lambda_i = 1.20 \cdot 1.12 \cdot 1.10$$

where λ_w : web reduction

λ_f : flange reduction

λ_i : interlocking reduction

2) Total elongation(λ_t)

$$\lambda_t = \sqrt[5]{A_0/A_n} = \sqrt[5]{28809/13473} = 1.164$$

3) Total reduction(R_t)

$$R_t = \left(1 - \frac{1}{\lambda_t}\right) \times 100(\%) = \left(1 - \frac{1}{1.164}\right) \times 100(\%) = 10.4(\%)$$

where

Aw_0 : web section area of leader pass

Af_n : flange section area of finished section

Af_0 : flange section area of leader pass

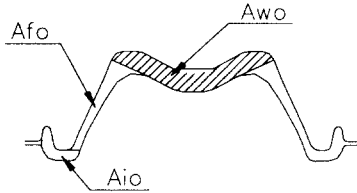
An : section area of finished section

Ai_0 : interlocking section area of leader pass

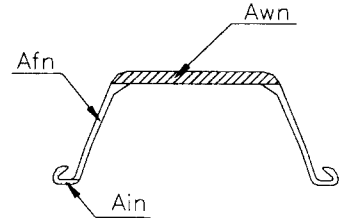
Ao : section area of leader pass

Aw_n : web section area of finished section

Ai_n : interlocking section area of finished section



Leader Pass(Kal-B)

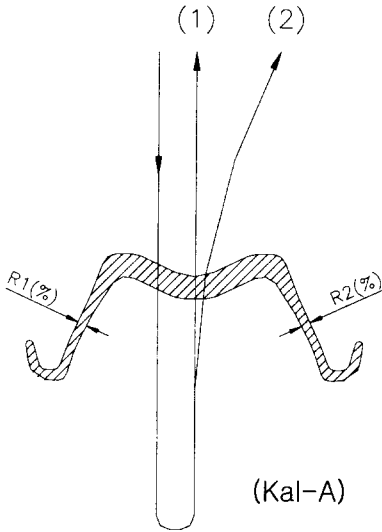


Finished Section(Kal-1)

4.3 ROLL FORCE의 계산

| RTM pass no. | section area mm^2 | Δh mm | σ Kg/mm^2 | $b_m \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h}$ mm^2 | unit load(p) Kg/mm^2 | Roll force (P) | | | |
|--------------|------------------------|--------------------|-----------------------|---|-------------------------------|--------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | | | | | | 수정 전 | | 수정 후 | |
| | | | | | | temperature ($^{\circ}C$) | P(ton) | temperature ($^{\circ}C$) | P(ton) |
| 1 | 20456 | 5.35 | 11.80 | 30251.9 | 19.2 | 980 | 750 | 1050 | 650 |
| 2 | 18395 | 3.57 | 12.15 | 24626.3 | 19.2 | 950 | 730 | 1020 | 600 |
| 3 | 15635 | 4.78 | 12.42 | 28564.5 | 22.2 | 930 | 680 | 1000 | 550 |
| 4 | 14071 | 2.50 | 12.69 | 20616.2 | 21.1 | 900 | 600 | 970 | 450 |
| 5 | 13473 | 0.14 | 12.96 | 14776.1 | 15.2 | 880 | 400 | 950 | 300 |

4.4 INTERMEDIATE STAND에서의 소재 진행 상태



압연중 roll gap 조정이 가능한 intermediate stand에서 동일 caliber에 2회 치입시킬 경우 web와 flange부의 압하 unbalance로 인해 소재 진행 방향이 휘어지게 되는 경우가 있게 된다. (1)은 정상적으로 진행되는 소재를 나타내며, (2)는 진행 소재의 bending 상태를 나타낸다.

이것은 flange 좌, 우의 reduction인 R1(%)과 R2(%)를 비교할 때 $R1(\%) \neq R2(\%)$ 가 되기 때문이며, 출구 guide로서 (2)의 진행을 (1)과 같이 유도하기도 현실적으로 어렵기 때문에 (Kal-A) pass를 생략한 pass schedule을 만들게 되었다.

(Kal-A)의 생략으로 (Kal-A)의 reduction 20(%)를 (Kal-B)와 (Kal-C)로 나누어 분배하였다. 이때의 roll force는 각각 600ton 정도를 나타내게 된다.

Flange부의 pass에 있어서의 형태 변화는 다음과 같이 수정하였다.

| | | | | | | |
|------|-------|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | | | | | | |
| 수정 전 | | | | | | |
| | Kal-B | Kal-A | Kal-4 | Kal-3 | Kal-2 | Kal-1 |
| 수정 후 | | (Omitted) | | | | |

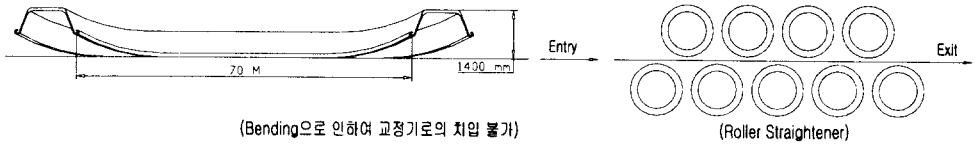
5. 제품 냉각시 발생하는 BENDING 문제 및 압연 제약 조건

5-1. 제품 냉각시 BENDING 문제

Web부와 계수부의 온도차는 압연 직후 180℃로 냉각상(cooling bed) 도착후 15분 시점부터 bending 되기 시작하여 40분 경과후 700mm가 bending 된다. (이때, web부는 200-250℃, flange부는 150℃, 계수부 100℃ 정도임)

As-rolled length 70m를 냉각상에서 공냉시켰을 때 약 1400 mm/70m이고, 압연후 약 60분에서 1100mm, 120분에서 1200mm로 이때 flange부와 계수부(interlocking)는 상온이고 web부는 100℃

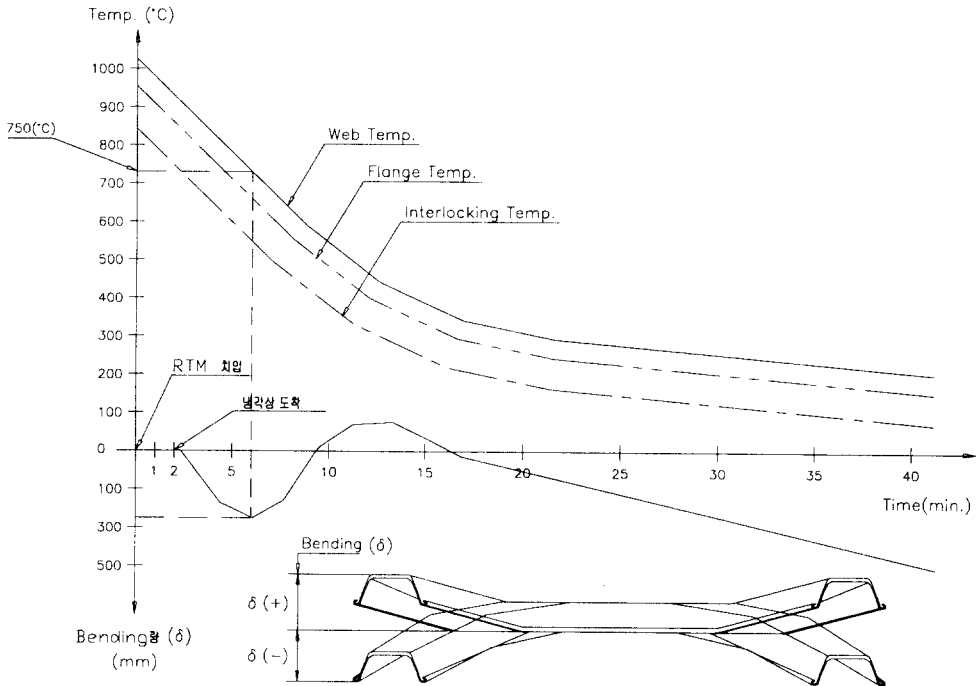
정도임.



5-2. 압연 제약 조건

- 160 T/H 이상의 생산성이 유지되어야 한다.
- 정상 압연 과정에서 교정 전 900mm/70m 이내의 bending량과 web부의 온도 80℃ 이하이어야 한다.
- Press 교정기가 설치되어 있지 않으므로, 1회의 roller 교정기로 교정이 완료되어야 한다.
- Roll force는 MAX. 700ton이어야 한다.

6. 제품 냉각 온도와 BENDING과의 관계

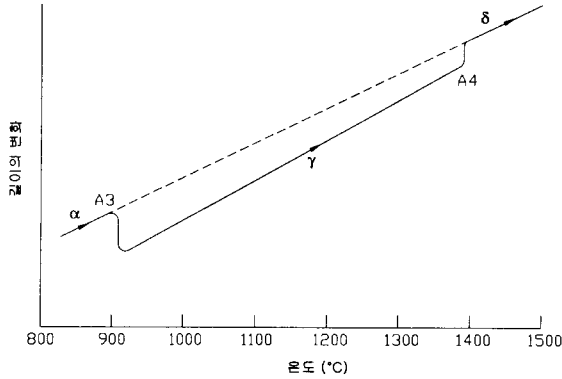


7. 냉각 온도에 따른 WEB & FLANGE부의 TRANSFORMATION

7.1. 순철의 물리적 성질

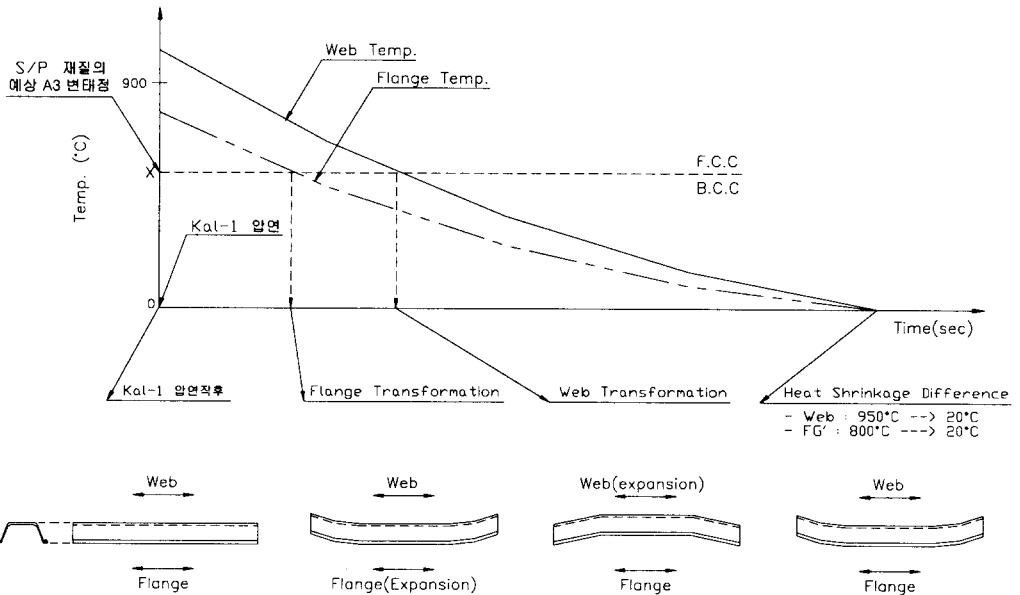
변태점에서 철의 물리적 성질은 불연속적으로 변한다. 예를 들면 가열할 때에는 Ac2점에서 자성이 특히 감소하며, Ac3점에서는 체적이 수축한다. 이것은 면심입방격자가 체심입방격자보다 정

밀한 까닭이다. Ac4점에서는 Ac3점과 반대로 체적이 팽창한다. 아래의 그림은 길이변화-온도곡선이다.



냉각중의 sheet pile VL에 있어서 A3 변태점에 먼저 도달하는 flange부의 길이가 팽창한 후 두께가 두꺼운 web부가 나중에 A3변태점에 도달하여 길이가 팽창하게 된다. 상세한 형상 변화는 다음 절의 그림과 같다.

7.2. WEB & FLANGE부의 TRANSFORMATION



- X (C) = F.C.C. ---> B.C.C 변태 온도
- Carbon 함유량(%)이 많을수록 A3 변태 온도가 떨어지므로, KWSP VL의 경우 X=750~800 (C) 정도가 예상된다.

8. 일본 동종 타사 LARGE SHEET PILE 압연 방법

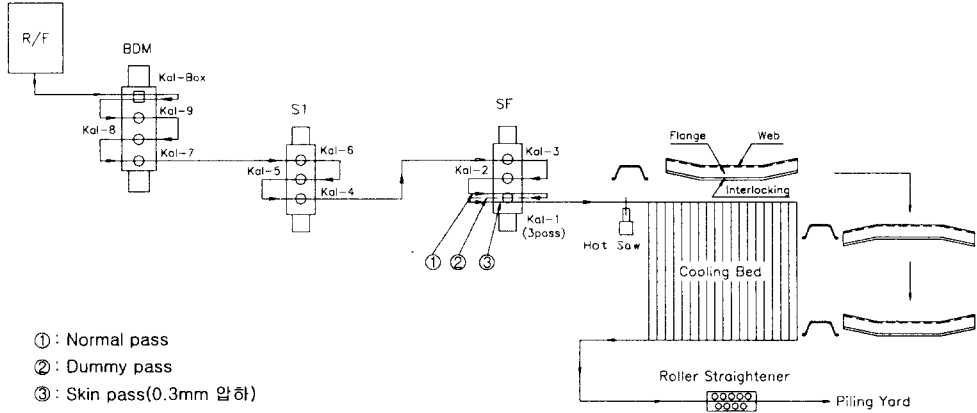
8.1 SUMITOMO 금속, KASIMA 공장 PASS SCHEDULE

* 제품 냉각시 bending 감소 압연 방법

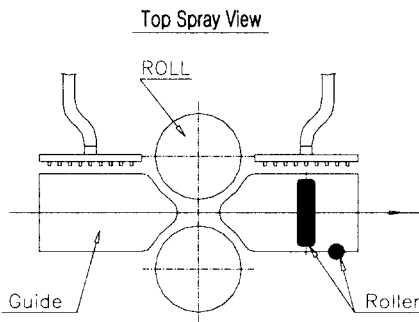
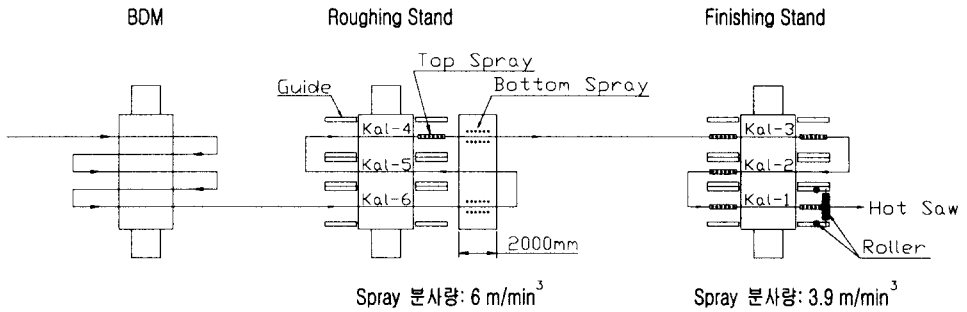
- ① 냉각상에서 제품 냉각시 발생하는 bending을 최소화하기 위해서 A3 변태점 이하에서 압연을

종료시킨다.

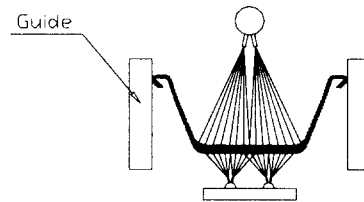
② SUMITOMO 금속에서는 위의 ①항을 실행하기 위해 Kal-1에서 3 pass 압연한다.



8.2. NSC, SAKAI 공장 LAY-OUT & PASS SCHEDULE



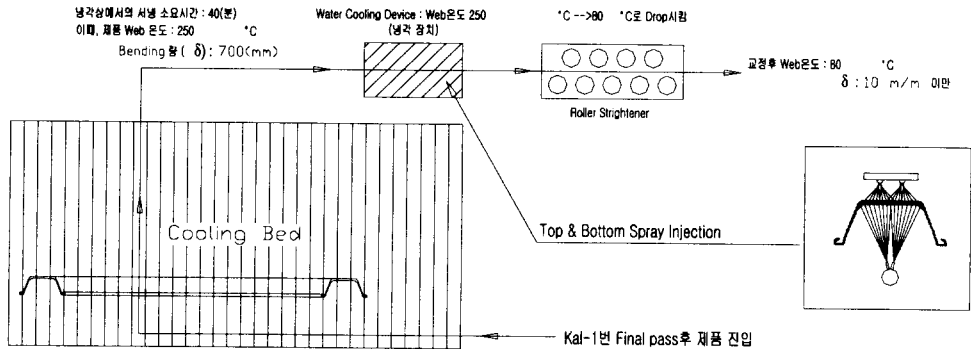
Top & Bottom Spray Injection
[NSC에서는 ㄱ가 아닌 ㄴ 형태로 압연]



* 제품 냉각시 bending 감소 압연 방법

- ① 냉각상에서 제품 냉각시 발생하는 bending을 최소화하기 위해서 A3 변태점 이하에서 압연을 종료시킨다.
- ② NSC에서는 위의 ①항을 실행하기 위하여 각 pass마다 water spray를 실시하여 소재 온도를 drop 시킨다.

9. 당사 해결 방법



Bending(δ)=700m/m(40분 경과)에서 교정기로의 치입이 가능하나, 이때의 온도(web=250℃)에서 교정할 경우, 교정후 bending량(δ)이 200m/m 정도 발생되므로 냉각 상에서의 공냉(서냉)으로서는 작업 과정상 2차 교정이 불가피하므로, 1차 교정에서 교정 작업을 완료시키기 위한 방안이 필요하게 되었다.

상기의 그림과 같이 roller 교정기 전면에 강제 냉각 water cooling device를 설치하여 냉각상에서의 공냉온도 web부 250℃를 80℃로 drop 시켜 교정 작업을 함으로써 교정후 bending량(δ)이 10m/m이하가 되어 1차 교정만으로 교정 작업을 종료시킬 수 있었다.

10. 결론

Sheet pile VL은 두께비인 web/flange=2.5로서, 타 sheet pile 1.5 정도에 비해 냉각 pattern이 불균일하고 압연되는 소재의 진행 상태가 일정치 않을 소지가 많으므로, 압연중 얇은 부분인 flange의 온도 drop을 방지하기 위해 intermediate stand에서 1개의 caliber를 생략하여 pass time을 40(sec) 단축시켰으며, flange 온도를 70℃정도 높게하여 소재 진행의 직진 상태를 유지할 수 있게 하였다. 냉각상에서 냉각중의 제품이 휘어지는 현상을 줄여 주기 위하여 교정기 전면에 제품의 web 온도가 250℃ 정도가 될 때 냉각수를 주수하여 80℃정도로 냉각시키면서 교정기를 통과시켰다. 교정 완료 후의 bending량은 10mm/15m 이하로써 1차 교정으로 교정작업을 완료시킬 수 있었다.

참고문헌

1. Sheet pile, 日本 鋼矢板 技術研究委員會(1975).
2. Roll pass design, SMS(1995).
3. Z.Wusatowski, Fundamentals of rolling(1969).
4. NSC 技報(1992).
5. 김수영, 기계재료학(1988).
6. 21C Infra-Structure, 日本鐵鋼協會(1995).