



저작자표시 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#) 

공 학 석 사 학 위 논 문

압연 동박판의 형상 제어 인자에 따른
특성 변화 연구

A study on the influence of the shape control factors
for the characteristics of Copper foil alloy

울산대학교 일반대학원

첨단소재공학과

문정현

압연 동박판의 형상 제어 인자에 따른
특성 변화 연구

A study on the influence of the shape control factors
for the characteristics of Copper foil alloy

지도교수 권용재

이 논문을 공학석사 학위 논문으로 제출함

2017년 10월

울산대학교 일반대학원

첨단소재공학과

문정현

문정현의 공학석사 학위 논문을 인준함

심사위원 신상용 인

심사위원 권용재 인

심사위원 이정구 인

울산대학교 일반대학원

2017년 10월

국 문 요 약

전자제품의 소형화, 고밀도화, 굴곡성 있는 디자인으로의 변화로 기존의 PCB 소재에서 FPCB 소재로의 대체가 이뤄지고 있는 추세이며, 압연 동박 대부분은 일본 수입품에 의존하고 있어, 고품질의 압연 동박의 국내 생산이 시급하다.

따라서 형상 제어 조건에 따른 특성 변화 연구를 통하여 품질 개선 및 제어 기술 확보를 하는데 연구 목적이 있다.

압연 동박판은 높은 가공도로 얇은 두께까지 압연을 하기 때문에 주로 형상 불량률이 많으며, 대표적인 결함으로는 Edge Wave, Cross Buckle, 표면 주름, Edge Crack 등이 있다.

이러한 형상을 제어하기 위해서는 크게 작업적인 방법과 제어적인 방법 두가지로 나누어 지며, 작업적인 방법에는 압연 가공도와 장력, Roll의 형상, 열처리 등이 있으며, 제어적인 방법으로는 Auto Flatness Control이라 부르는 AFC System이 있다. 본 연구에서는 당사에 적용 가능한 인자들을 설정하여 조건을 변경하여 Test를 실시하였다.

압연 동박판에 사용되는 Alloy로는 Cu 99.95%이상의 순동부터 높은 Bending성을 요구하는 Cu-Sn 합금까지 여러 합금을 이용하는 것을 알 수 있다.

본 실험을 통하여 압연 동박판의 형상 변화에 영향을 주는 인자는 최종 압연 시 조건에서 가장 크게 작용하는 것을 확인할 수 있었으며, Cu-Sn 합금은 열처리 조건에 따라서도 형상이 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

Roll에 Crown을 주거나, Shifting의 변화를 주어 Strip의 Edge면에 부하를 적게 주면 줄수록 Roll의 탄성 변형이 억제 되어, 압연 하중의 감소로 작업성과 압연 동박판의 형상이 개선되며, 장력을 증가할 경우, 소재가 연신되면서 편평화가 이루어져 Cross Buckle이 개선되는 것을 확인할 수 있었다.

저온 열처리시 재결정에는 영향을 미치지 않고, Strip내 잔류 응력만 제거하여, 인장강도와 경도를 유지하면서 형상 및 연신율을 개선할 수 있었다.

본 연구에서 고찰한 조건으로 Test시 해외 업체와 동일 수준의 형상을 만들 수 있었으나, 더 나은 형상과 제조 공정 안정화를 위해서는, 실제 양산 공정에서 많은 경험을 쌓아야만 할 것으로 판단된다.

목 차

국문요약

목차

1	서론	1
1.1	연구 배경	1
1.1.1	연구 목적	1
1.1.2	압연 동박의 불량 유형	1
1.2	이론적 배경	3
1.2.1	압연 동박이란	3
1.2.2	압연 동박의 특징	3
1.2.3	압연 동박의 주요 용도	3
1.2.4	압연 동박에 사용되는 주요 Alloy	5
1.2.5	압연 동박과 전해 동박의 차이	6
1.2.6	Strip 형상 제어 기술	7
1.2.6.1	압연 가공도의 설정	7
1.2.6.2	압연 장력의 설정	7
1.2.6.3	압연기 Roll의 형상	9
1.2.6.4	압연기 형상 제어 System	11
1.2.6.5	열처리	12
2	실험 방법	13
2.1	시험편 준비	13
2.1.1	시험편 특성	13
2.1.1.1	Cu 99.9% 순동 (Tough Pitch 동)	13
2.1.1.2	Cu-Sn 합금	15

2.1.2	시험편 제조 방법	17
2.1.3	실험 장치	18
2.1.4	실험 분석 방법	20
2.2	실험 방법	22
2.2.1	Work Roll 형상에 따른 Strip의 형상 변화	22
2.2.2	중간 Roll의 Shifting Position에 따른 Strip의 형상 변화	23
2.2.3	압연 Pass별 가공도 변화에 따른 형상 변화	24
2.2.4	압연 장력 변화에 따른 Strip의 형상 변화	25
2.2.5	저온 소둔 열처리 조건에 따른 형상 및 기계적 성질 변화	26
2.2.6	압연 동박판 기계적 성질 및 형상 비교	26
3	실험 결과 및 고찰	27
3.1	Work Roll 형상에 따른 Strip의 형상 변화	27
3.2	중간 Roll의 Shifting Position에 따른 Strip의 형상 변화	29
3.3	압연 Pass별 가공도 변화에 따른 형상 변화	31
3.4	압연 장력 변화에 따른 Strip의 형상 변화	33
3.5	저온 소둔 열처리 조건에 따른 형상 및 기계적 성질 변화	35
3.6	압연 동박판 기계적 성질 및 형상 비교	38
4	결론	41
	References	42
	감사의 글	43

1. 서론

1.1 연구 배경

1.1.1 연구 목적

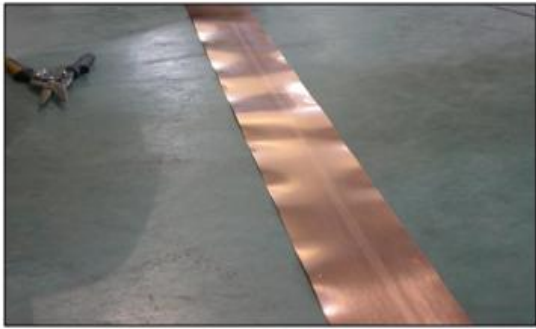
전자제품의 소형화, 고밀도화, 굴곡성 있는 디자인으로의 변화로 기존의 PCB 소재에서 FPCB 소재로의 대체가 이뤄지고 있는 추세이며, 압연 동박 대부분은 일본 수입품에 의존하고 있어, 고품질의 압연 동박의 국내 생산이 시급하다.

따라서 형상 제어 조건에 따른 특성 변화 연구를 통하여 품질 개선 및 제어 기술 확보를 하는데 연구 목적이 있다.

PCB란 (Printed Circuit Board) 전자제품의 각종 부품을 연결하거나 지지해주는 역할의 인쇄회로기판이다. 압연 동박이 주로 사용되어지고 있는 FPCB는 (Flexible Printed Circuit Board) 전자제품이 소형화, 경량화과 되면서 개발된 전자부품으로 작업성이 뛰어나고, 내열성 및 내굴곡성, 내약품성이 강하며, 열에 강하므로, 모든 전자제품의 핵심부품으로 카메라, Computer 및 주변 기기, Hand Phone Video & Audio 기기, Camcorder, Printer, DVD, TFC LCD, 위성장비, 군사장비, 의료장비 등에서 널리 사용되고 있다. FPCB 장점은 단독으로 3차원 배선이 가능하고, 기기의 소형화 및 경량화가 가능하다. 또한 반복 굴곡에 대한 높은 내구성, 고밀도 배선이 가능하고, 배선의 오류가 없으며, 조립이 양호하고 연속 생산 방식이 가능하다

1.1.2 압연 동박판의 불량 유형

압연 동박판은 높은 가공도로 얇은 두께까지 압연을 하기 때문에 주로 형상 불량이 많이 발생한다. 대표적인 결함으로는 Fig 1.1 의 (a) 와 같이 Edge부가 연신된 형태를 보이는 Edge Wave, Tension 부족에 의한 Cross Buckle, Strip의 좌우 두께 차이로 판사행이 발생하여 공정 중 주름 발생이 있다. 또한 두께가 0.08mm 미만이기 때문에 작업 중 상하부 Work Roll이 접촉 되어, Edge부가 Fig 1.1 의 (d) 와 같이 Crack이 나는 현상도 종종 관찰할 수 있다.



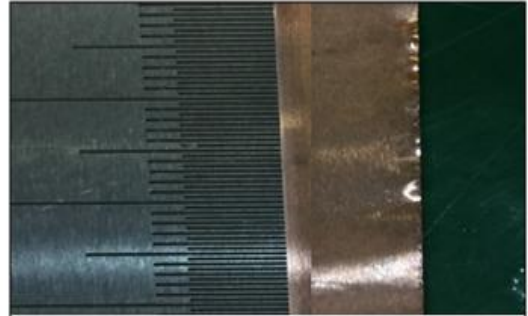
(a) Edge Wave



(b) Cross Buckle



(c) 표면 주름



(d) Edge Crack

Fig 1.1. 압연 동박의 불량 유형

1.2 이론적 배경

1.2.1 압연 동박판이란 (Copper Foil)

압연 동박판이란 (Copper Foil) 순도 99% 이상의 동이나, 다른 금속이 첨가된 동합금을 통상적으로 Strip의 두께를 80 μ m (0.08mm) 이하로 압연 가공하여 만든 압연 박판 판재를 말한다. 최근 전자 제품의 소형화로 인하여 고객이 요구하는 두께는 점점 낮아지고 있는 추세이며 그에 따른 수요량도 점점 증가하고 있는 추세이다.

1.2.2 압연 동박의 특징

압연 동박의 주요 특징은 합금화가 용이하여, 순동 및 전체 동합금 생산이 가능하며, 압연 두께가 얇기 때문에 제조 공정이 매우 길고 복잡하다. 대체적으로 SLAB를 주조해서 최종 압연 두께 생산까지 전체 가공율이 99.99% 이상이다. (압연 목표 두께 18 μ m 기준) 또다른 특징으로는 광폭 제조가 어렵다. 이와 같은 요인은 Strip의 Edge면에 Crack이나 기포가 있을 경우 절판 발생 확률이 높아 압연 전 Side Trimming을 일반 제품보다 더 많이 해야 하기 때문이다. 압연 동박은 조직이 치밀하여 고강도, 고굴곡, 내연화 특성이 매우 우수하고 두께가 높을수록 형상 및 압연 작업 제어가 용이하여 10 μ m 같은 초박판보다는 제조하기가 쉬운 특징이 있다.

1.2.3 압연 동박의 주요 용도

Fig 1.2 과 같이 주요 용도로는 FPCB, 하드 디스크 (HDD), 모바일폰 힌지부, 차세대 리튬 이온 전지 (음극 소재), Cable Tape (전력 차폐), 태양 전지 리본, CPU Socket과 같이 사용 분야가 넓다. 특히 FPCB는 Fig 1.3 에서 보여지는 것처럼 배터리, 스위치 등 자동차 내에서 여러 부품에 사용되어지고 있다.

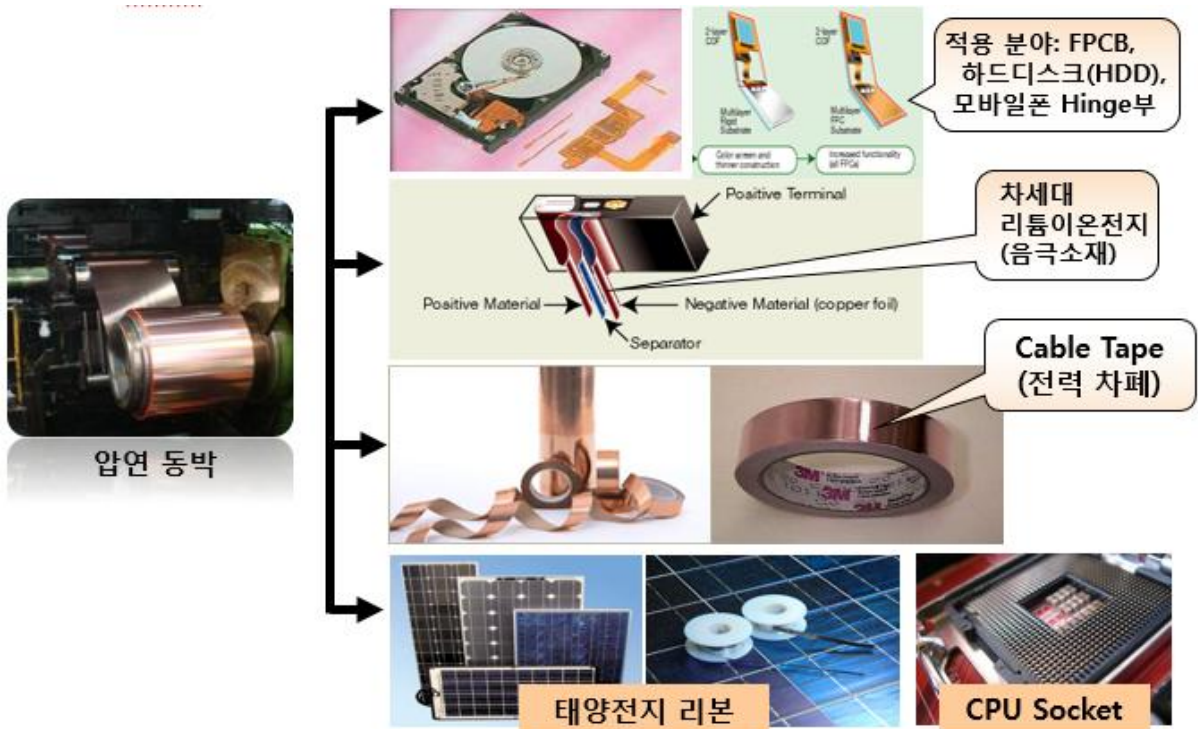


Fig 1.2. 압연 동박의 주요 용도

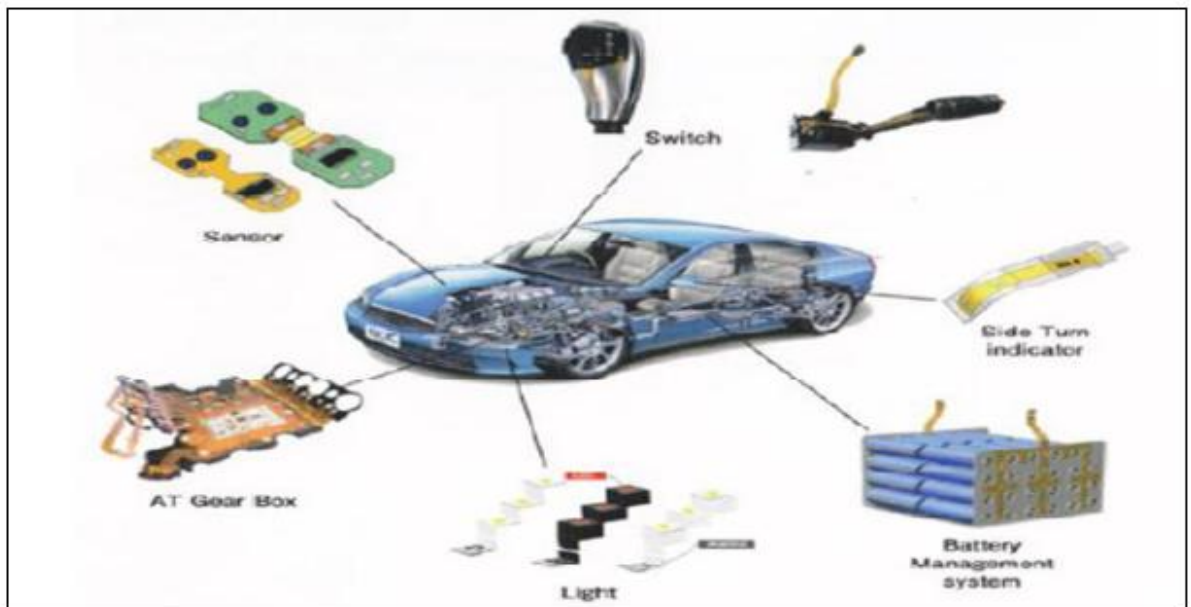


Fig 1.3. 자동차에 적용 가능한 FPCB 예시

1.2.4 압연 동박판에 사용되는 주요 Alloy

압연 동박에는 Cu 함량이 99% 이상인 순동이 주로 사용되나, Cu-Sn과 같은 높은 Bending성과 연신율이 요구되는 특수 합금도 사용되어 지고 있다. Table 1.1 을 보면 여러 합금에 동박이 사용되어 지고 있는 것을 알 수 있다.

Cu-Fe-P 합금은 고강도, 고굴곡, 고내열, 중전도도 응용 분야에 적합하며, DLP와 같은 순동 계열은 중강도, 고굴곡, 고전도도 응용분야에 적합하다. 이외에 Fig 1.4 와 같이 Cu-Sn 합금과 같이 높은 인장과 강도를 요구하는 제품에도 사용되어 진다.

용도	사용 규격	
	품종	두께(mm)
Flexible PCB, <u>모바일폰</u> , 차세대이온전지	<u>순동류</u>	0.010~0.018
CPU Socket	C7025	0.06~0.08
PCB Foil	<u>양백류</u>	0.08
	<u>순동류</u>	0.03~0.45
Cable Tape (전력 차폐)	<u>순동류</u>	0.05~0.08
	<u>순동류</u>	0.03~0.05
Connector용	<u>황동류</u>	0.08~0.10
	<u>인청동</u>	0.06~0.08
트랜스포머	<u>순동류</u>	0.03~0.05
태양광 발전용 박막	<u>순동류</u>	0.045
보일러	<u>순동류</u>	0.05~0.07
태양전지 리본	<u>순동류</u>	0.05~0.06
라디에터 핀재	P90	0.04~0.07
Graphene	<u>순동류</u>	0.035

Table. 1.1 압연 동박에 사용되는 주요 Alloy

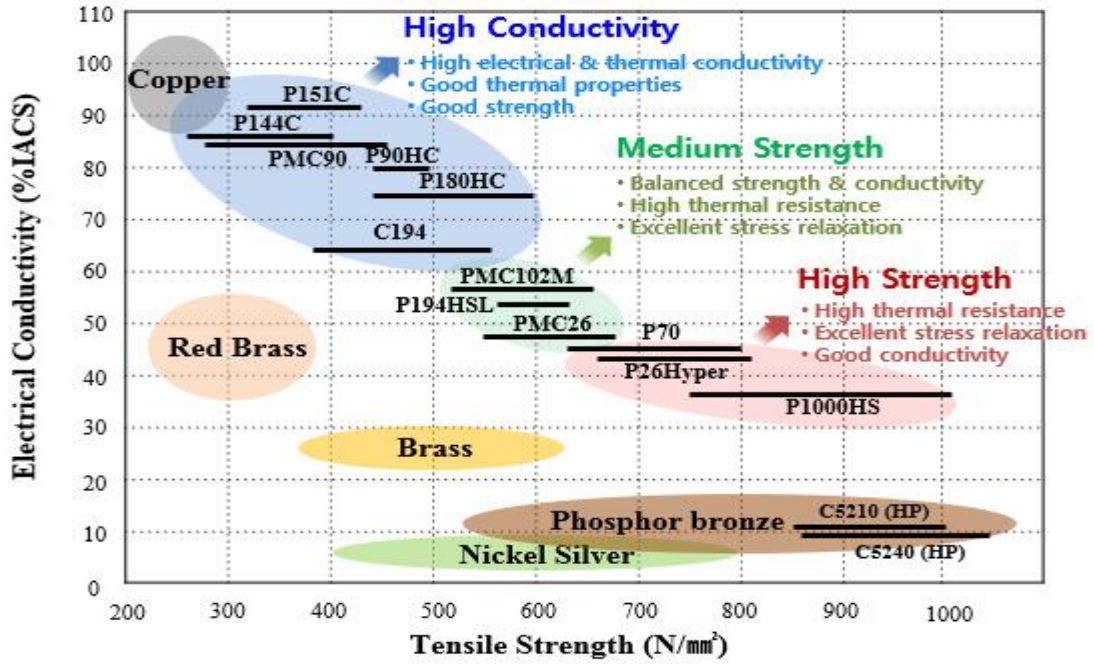


Fig 1.4 압연 동박 개발 합금의 특성

1.2.5 압연 동박과 전해 동박의 차이

전해 동박은 폴리이미드와의 접착력이 우수하고 가격이 저렴하나, 도금 미세 조직으로 인하여 굴곡성이 취약한 단점이 있으나, 압연 동박은 굴곡성이 우수한 반면 가격이 비싸고 일정 두께 이하의 동박은 제조가 불가능한 단점이 있다. Table 1.2. 는 압연 동박과 전해 동박의 차이를 한눈에 알아 볼 수 있게 정리한 표이며, 최근 압연 동박의 기능적 우수성으로 전해 동박보다는 압연 동박을 사용하는 추세이다.

구분	전해동박	압연동박	비고
적용 부문	플렉시블 PCB용 동박적층판 : 카메라, 컴퓨터, 팩시밀리의 Thermal Head 등	높은 굴곡 특성이 요구되는 플렉시블 PCB : HDD, LCD, CD-RW의 광Pick-Up, 차세대 리튬이온 전지(음극소재), CPU Socket, Cable Tape(전력 차폐), PCB Foil, Graphene	
제조 특성	광폭 제조 용이, 제조 공정 단순	합금화가 용이, 집합조직 형성에 유리 (조직이 치밀)	
물리적 특성	T.S 35~38kgf/mm ² MIT 30회 이하	T.S 42kgf/mm ² 이상 MIT 65(RD)/35(TD)회 이상	

Table 1.2. 압연 동박과 전해 동박의 차이

1.2.6 Strip 형상 제어 기술

1.2.6.1 압연 가공도의 설정

압연 가공도의 설정은 압연재의 기계적 성질과 가공 경화 특성에 따라 다소 차이가 있으며, 순동계는 90%, 황동계는 80%, 인칭동계는 75%를 그 한계로 하여 설정한다.

질별 완제의 경우는 소재의 기계적 성질 및 가공 경화 특성을 고려하여 최종 제품의 기계적 성질이 요구된 값에 부합하도록 가공도를 설정하는데 이 경우는 특히 소재의 기계적 성질이 요구되는 관리 범위에 들지 못하면 최종 제품의 기계적 성질을 만족시키지 못하게 된다.

또한 과도한 가공도는 제품 표면에 응력을 집중 시켜 Buckle 및 Wave와 같은 형상 불량을 만들기 때문에 적절한 가공도를 설정하는 것이 제품의 형상 품질 개선에 유리하다. 가공도는 Fig 1.5 의 식과 같이 압연 전 소재 두께와 압연 후 제품 두께의 차이에 의한 압연 전 소재 두께 비율로 나타낼 수 있다.

$$\text{가공도(\%)} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \times 100(\%)$$

T1 압연전 소재 두께
T2 압연후 제품 두께

Fig 1.5. 압연 가공도 계산식

가공도의 설정에 고려되어야 할 사항은 다음과 같다.

- (1) 압연재의 판폭, 두께 등에 의해 Work Roll, 제 1중간 Roll의 형상을 선정한다.
- (2) 압연재의 기계적 성질과 가공 경화 특성을 고려한다.
- (3) Mill Torque 및 Rolling Load의 한계를 넘지 않도록 한다.
- (4) 과도한 가공도에 의해 표면 품질을 해치지 않도록 한다.

1.2.6.2 압연 장력의 설정

압연재에 장력을 부가하면 압연 압력이 감소하고 Roll의 Bending 및 편평화가 억제 되어 가공도를 증가시킬 뿐만 아니라 판형상을 개선 시키는 효과를 가져 온다.

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} MF - 1/2(FT + BT)$$

P : 압연 압력

MT : 평균 항복 응력

FT : 전방 장력(Unit Front Tension)

BT : 후방 장력(Unit Back Tension)

Fig 1.6. 압연 압력과 장력의 상관식

Fig 1.6 의 식에서 보는 바와 같이 장력이 커지면 보다 작은 압연 압력에서 변형이 일어남을 알 수 있다. 또한 압연 압력 감소 효과는 후방 장력이 전방 장력에 비해 2배의 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

실제 압연에 있어서 전방 장력을 증가시키면 Edge Ripple이나 Center Buckle이 억제 되어 압연 하중도 다소 감소시킬 수 있다.

후방 장력은 주로 가공도를 증가시키는데 도움이 되나, 과도한 후방 장력은 압연 중 Roll Bite에서의 Strip과 Work Roll간의 Slip을 야기시킨다.

보통, 압연 장력은 재료의 인장 강도의 1/2 이내에서 설정하나 가공도와 마찬가지로 제품에 따른 압연 장력 설정도 오랜 경험을 통한 노하우이므로 기준을 단순히 표현해 재는 것은 어려운 일이다.

보통은 최종 Pass전까지는 전방 장력을 후방 장력보다 크게 하고 최종 Pass시는 판형상 개선을 위해 재료 인장 강도의 1/3 이내에서 전방과 후방 장력을 거의 같도록 한다.

판형상에 따라서는 기준 장력보다 다소 더 주는 것이 좋을 때도 있으나, 원칙은 가능한 한 적은 장력으로 양호한 판형상과 가공도를 얻는 것이다.

전방 장력

$$= \text{Unit Tension} \times \text{출측 두께} \times \text{폭}$$

$$= \frac{\text{압연후 재료의 항복강도}}{3} \times \text{출측 두께} \times \text{폭}$$

Fig 1.7. 압연 전방 장력 설정식

Pass 구분	후방 장력 설정 기준	비 고
1. 첫 Pass	전방 장력 $\times 0.7$	1Pass 길별 완제 포함
2. 중간 Pass	전방 장력 $\times 0.8 - 0.85$	
3. 최종 Pass	전방 장력 $\times 0.9 - 0.95$	

Table 1.3. 압연 후방 장력 산출 기준

1.2.6.3 압연기 Roll의 형상

Work Roll은 재료의 폭 방향 변형 저항 분포에 의한 Roll의 탄성 변형을 보정하기 위해 Crown Roll을 사용하는 경우가 있다. Crown은 보통 포물선형, 원호형, 각형이 고려되는데 이중 각형은 연삭이 곤란하여 거의 사용되지 않는다. 포물선형, 원호형은 연삭은 용이 하지만 판형상 제어에 충분하다.

사용 용도에 따라 Fig 1.8 과 같이 여러 형상으로 Roll을 가공하여 형상을 제어한다.

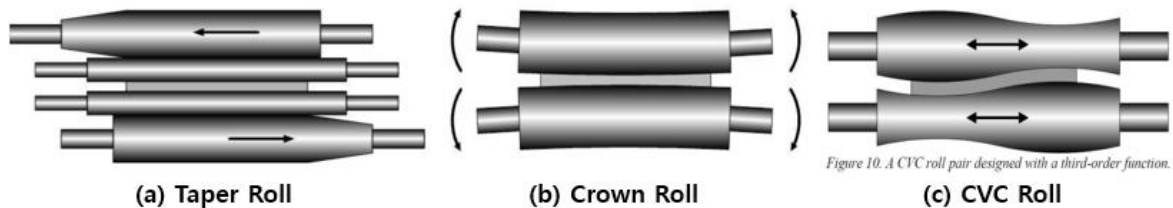


Fig 1.8. Work Roll의 형상

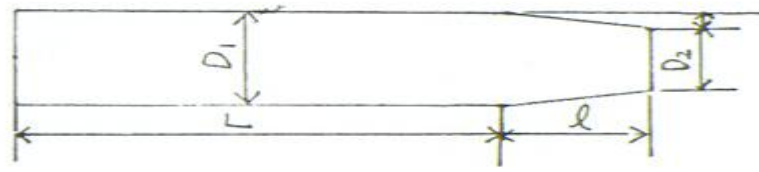
중간 Roll의 평행 부분은 압연재의 폭에 대응하여 결정되는데 Lateral Adjustment 기구가 있기 때문에 압연 시 이것을 조정하여 판의 형상에 따라 최적 위치를 정한다.

중간 Roll의 선정은 판의 평탄도를 좌우하는 중요한 역할을 한다. 중간 Roll의 Flat부와 Taper의 관계는 다음과 같다.

- (1) Flat부 길이가 같을 때 Taper량이 클수록 가공도를 크게 할 수 있다.
- (2) Taper량이 동일할 때 Flat부가 길수록 가공도는 작아진다.

Flat부를 짧게 하고, Taper량을 크게 하면 가공도는 커지지만 압연판의 평탄도를 해치는 경우도 있다. 따라서 실제 압연의 경우는 (1), (2)를 충분히 고려하여, Pass Schedule에 적합한 중간 Roll을 사용해야 한다.

Fig 1.9 는 20단 압연기의 1st Roll의 Taper 가공량을 구하는 공식을 나타내고 있다. 외경차가 크면 클수록 Taper량이 많아지며, 이는 Strip의 Edge Drop에 영향을 미친다.



$$\text{Taper 량 } T = \frac{D1 - D2}{1}$$

1 = Taper부 길이

L = Flat부 길이

Fig 1.9. 20단 압연기 중간 Roll의 형상 및 Lateral Adjustment

6단 압연기의 경우, UC δ 변화에 따른 판형상 변화가 크게 발생되므로 설정이 중요하다. 6단 압연기 중간 Roll의 구성은 상/하부 Roll의 한쪽 측면에 길이 50mm 라운딩 반지름 R (1000mm) 로 가공이 되어 스트로크에 의한 변화로 미세 판형상을 제어한다.

Fig 1.10과 1.11은 6단 압연기의 Taper 이동량에 관한 산출식이며, 이를 이용하여 Shifting 이동 거리를 구할 수 있다.

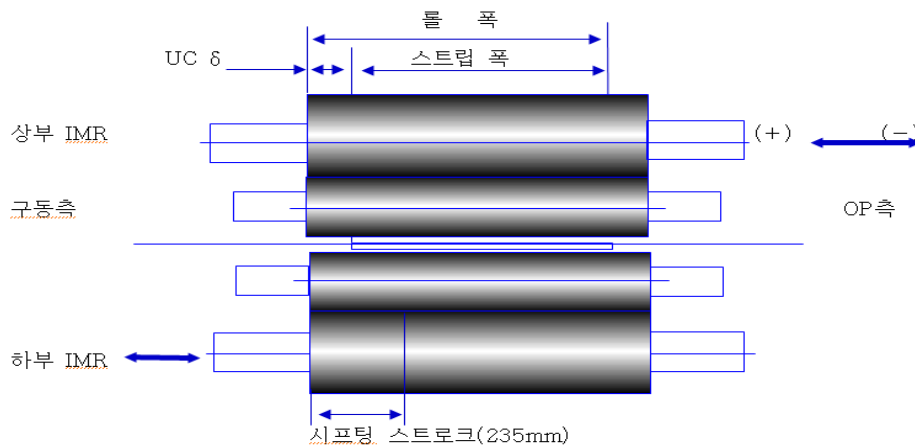


Fig 1.10. 6단 압연기의 중간 Roll 형상 및 Shifting Adjustment

L : IMR 폭(400mm)

W : 스트립 폭(mm)

S : 시프팅 스트로크(mm) 이라 할때

$$UC \delta = L - S - (W/2) = 400 - S - (W/2) \text{ (mm)}$$

Fig 1.11. UC δ 설정 관리 표준

1.2.6.4 압연기 형상 제어 System

압연기의 형상 제어 System으로는 AFC 혹은 ASC라고 불리어지는 제어 Program이 있다. AFC는 형상 측정 Roll (Shape Roll) 을 이용하여, 현재의 판형상을 측정하고 압연기의 Actuator (Shifting, Bending, Roll Crown, Spot Cooling) 를 제어하여 압연 중에 판형상을 자동으로 교정하는 장치 이다. 즉 Fig 1.12 에서 Shape Signal을 받아 제어 Computer로 Data를 송신하고, 수신된 Data를 기반으로 형상을 예측하여 형상에 맞는 제어 명령을 내리게 된다. Work Roll과 중간 Roll을 상하로 구부려서 Crown으로 제어하는 Roll Bending과 중간 Roll을 좌우로 움직여 Edge부를 조정하는 Roll Shifting, Roll의 탄성 변형을 압연유의 온도 및 유량으로 제어하는 Spot Cooling이 주요 제어 System이다.

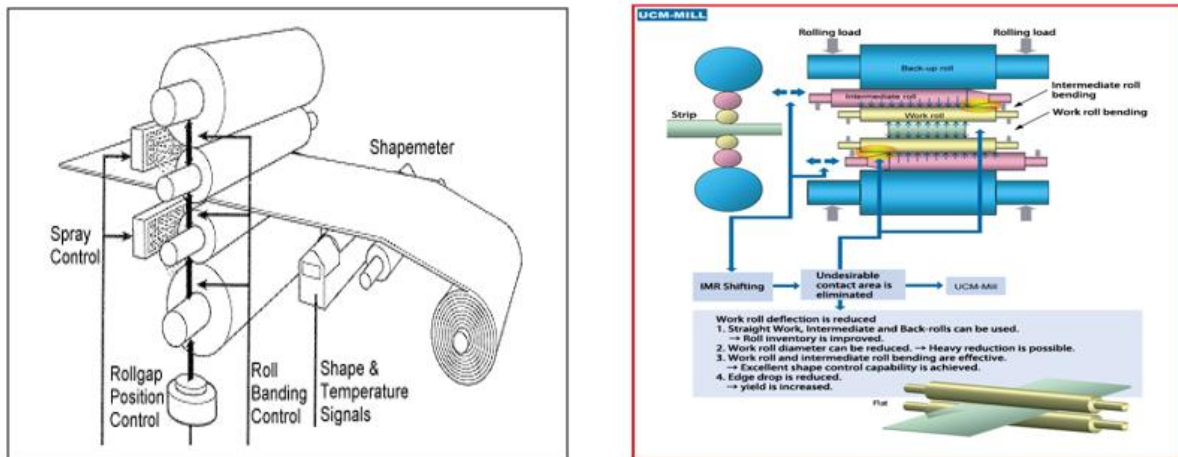


Fig 1.12. 6단 압연기의 AFC 제어 System

1.2.6.5 열처리 (Stress Relief Treatment)

저온 소둔 시 재료의 잔류 응력이 제거되고, 평탄하고 또한 경시변화가 적은 좋은 품질의 재료를 얻을 수 있는 동시에, 연신율의 회복, 탄성한계치의 향상 등 원소재의 성능이 개선된다. 작고 높은 신뢰성이 요구되는 전자부품재료 등의 최종 마무리 공정에서 사용 되는 경우가 많다. 고온에서 높은 장력을 작용시키는 경우, 형상교정 효과는 크지만, Strip 두께의 변화가 없고, 기계적 특성이 열화 되지 않는 최적 범위에서 사용해야 할 필요가 있다. Fig 1.13과 같이 일반 압연 소재는 상/하 Work Roll의 Dia 차이로 내부 응력이 표/배면에 분포되어 절단 시 길이 방향으로 양쪽 끝단부가 올라가는 현상을 보이나, 열처리 소재는 내부 응력이 제거되면서 평평한 양상을 보이고 있다.

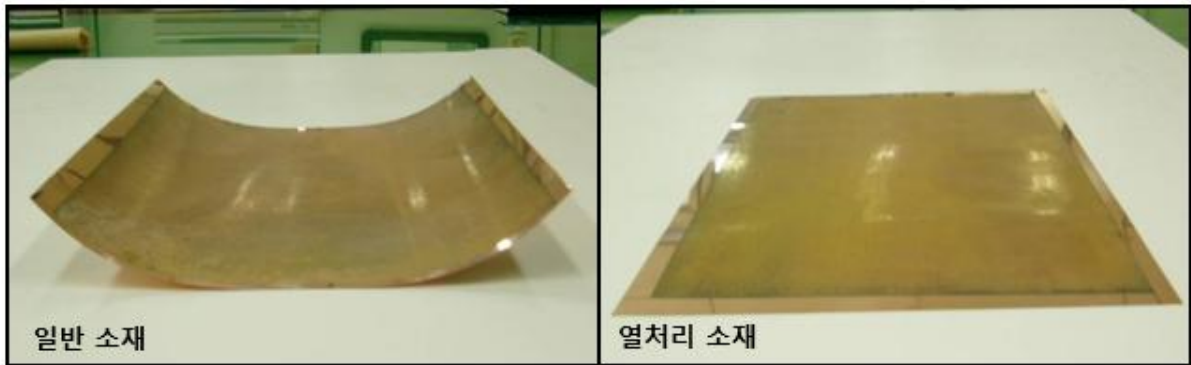


Fig 1.13. Half Etching Test

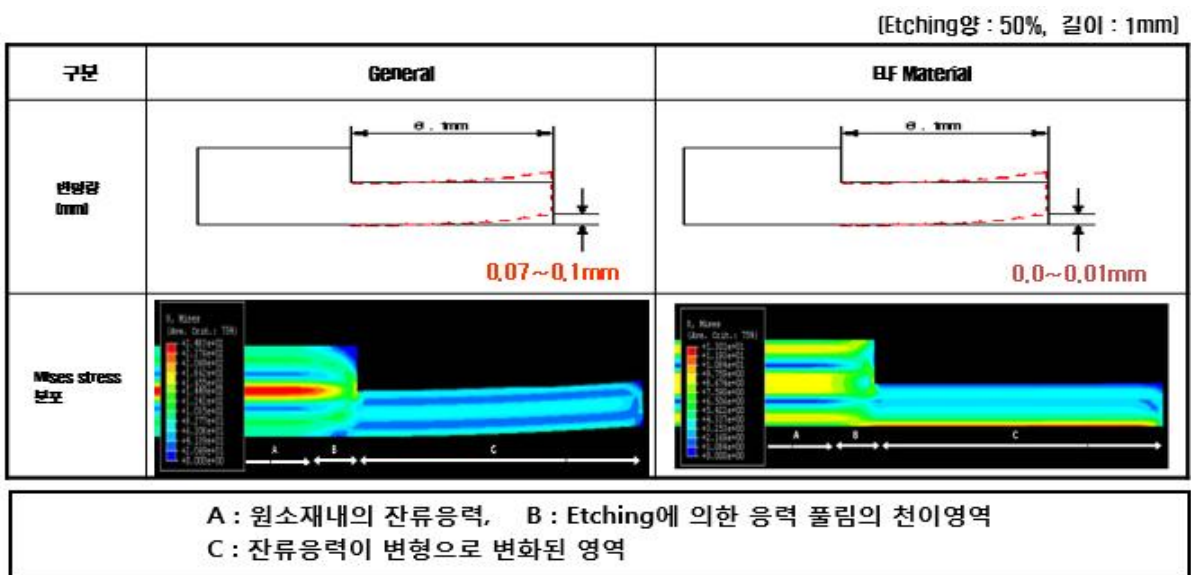


Fig 1.14. 내부 잔류 응력 분포 해석

2. 실험 방법

2.1 시험편 준비

2.1.1 시험편 특성

본 연구에서의 Test는 Cu-Sn 합금과 Cu 99.9% 이상의 순동의 두가지 소재를 사용하였다. Cu 99.9% 순동은 다른 기계적 성질보다 전기전도도를 중요시 하기 때문에 제조 공정이 Final 압연 후 세척 공정으로 마무리 되나, Cu-Sn 동 박판 경우에는 Bending성 요구에 따라 Final 압연 후 열처리를 실시해야만 한다. 따라서 다른 판형상 영향 인자 이외에 Cu-Sn 합금은 열처리에 따른 형상 변화를 알아보도록 하였다.

2.1.1.1 Cu 99.9% 순동 (Tough Pitch 동)

전기전도성이 우수한 순동 (T/P) 소재로 Test를 실시하였으며, Strip의 화학 성분, 기계적 성질, 물리적 성질은 아래와 같다.

(1) Chemical Composition

(단위 : wt%)

Cu
≥99.9

(2) Physical Properties

Melting Temperature (°C)	Specific Gravity	Thermal Conductivity (W/(m·K))	Coefficient of Thermal Expansion (10 ⁻⁶ /K)	Modulus of Elasticity in Tension (kN/mm ²)	Poisson's Ratio	Electrical Conductivity (%IACS)
1083	8.91	391	17.6	117	0.33	100

(3) Mechanical Properties

Temper	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
O	≥195	≥35	-
1/4H	215-285	≥25	55-100
1/2H	235-315	≥15	75-120
H	≥275	-	≥80

(4) Work Hardening Curve

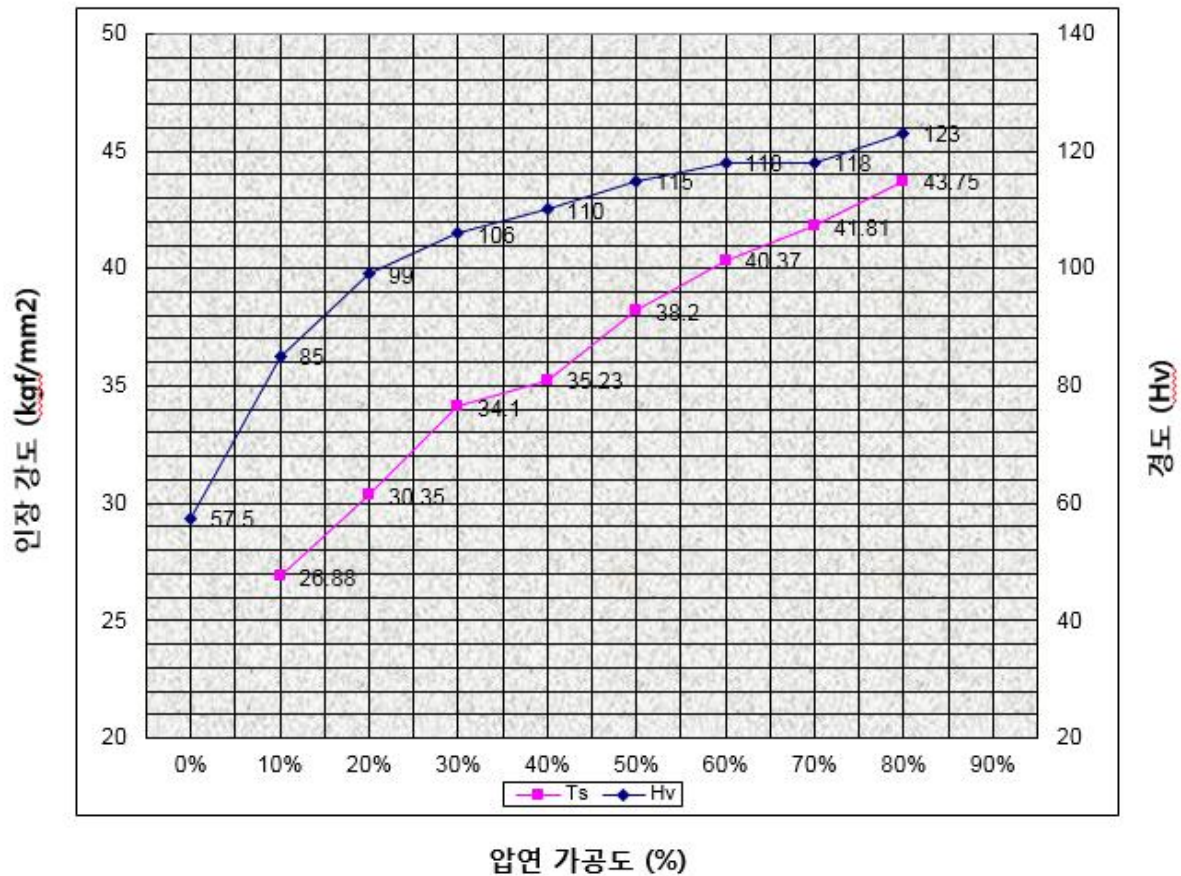


Fig 2.1 Cu 99.9% 순동의 가공경화 곡선

2.1.1.2 Cu-Sn 합금

높은 강도와 Bending성을 가지는 Cu-Sn 합금의 화학 성분, 화학적, 기계적 성질은 아래와 같다.

(1) Chemical Composition

(단위 : wt%)

Cu	Sn	P	Zn	Pb	Fe	Others
Balance	7.0-9.0	0.03-0.35	≤0.2	≤0.02	≤0.1	<u>Cu+Sn+P</u> ≥99.7

(2) Physical Properties

Melting Temperature (°C)	Specific Gravity	Thermal Conductivity {W/(m·K)}	Coefficient of Thermal Expansion (10 ⁻⁶ /K)	Modulus of Elasticity in Tension (kN/mm ²)	Poisson's Ratio	Electrical Conductivity (%IACS)
1027	8.8	62	18.2	110	0.33	13

(3) Mechanical Properties

Temper	Tensile Strength (N/mm ²)	Elongation (%)	Hardness (Hv)
1/2H	470-610	≥27	140-205
H	590-705	≥20	185-325
EH	685-785	≥11	210-260
SH	735-835	≥9	230-270
ESH	770-885	≥5	245-285
XSH	835-1000	≥1	-

(4) Work Hardening Curve

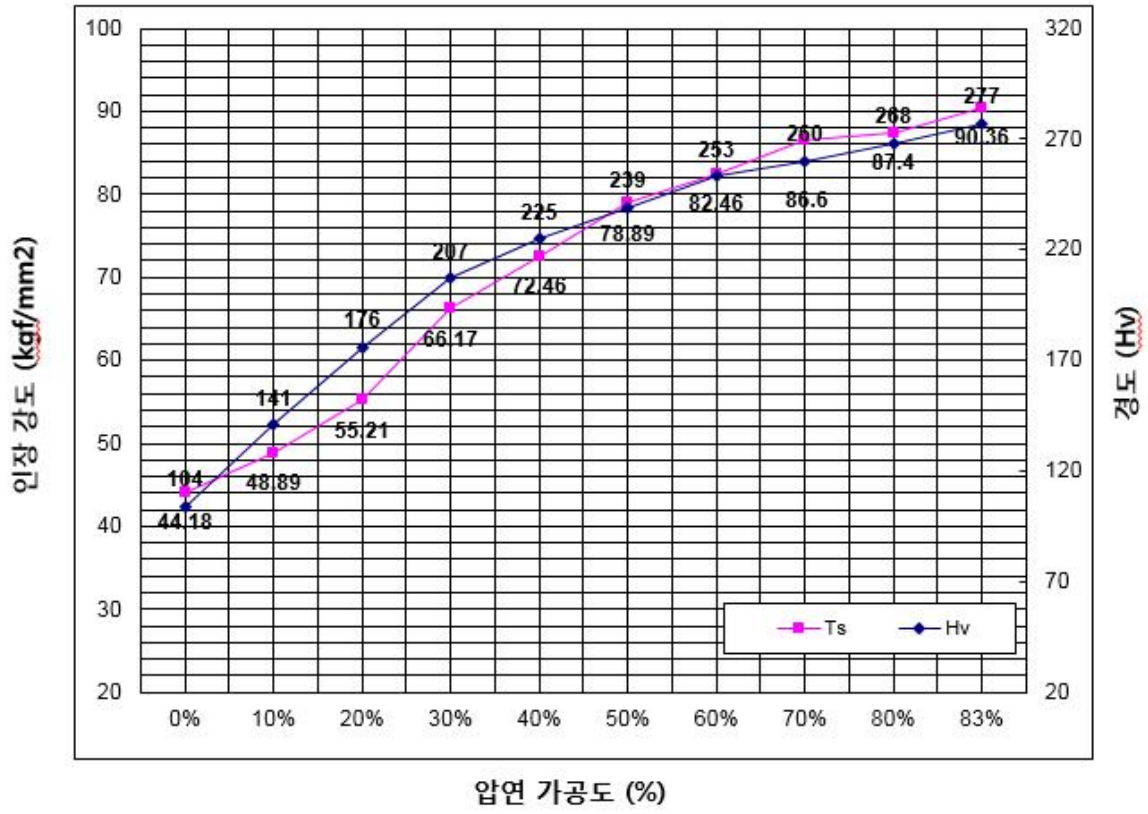


Fig 2.2 Cu-Sn 합금 가공경화 곡선

2.1.2 시험편 제조 방법

압연 동박판 스트립의 시편은 아래와 같이 주조부터 완제 두께 까지 Cu 99.9% 순동 0.035mm와 Cu-Sn합금 0.08mm 스트립을 제조하였다.

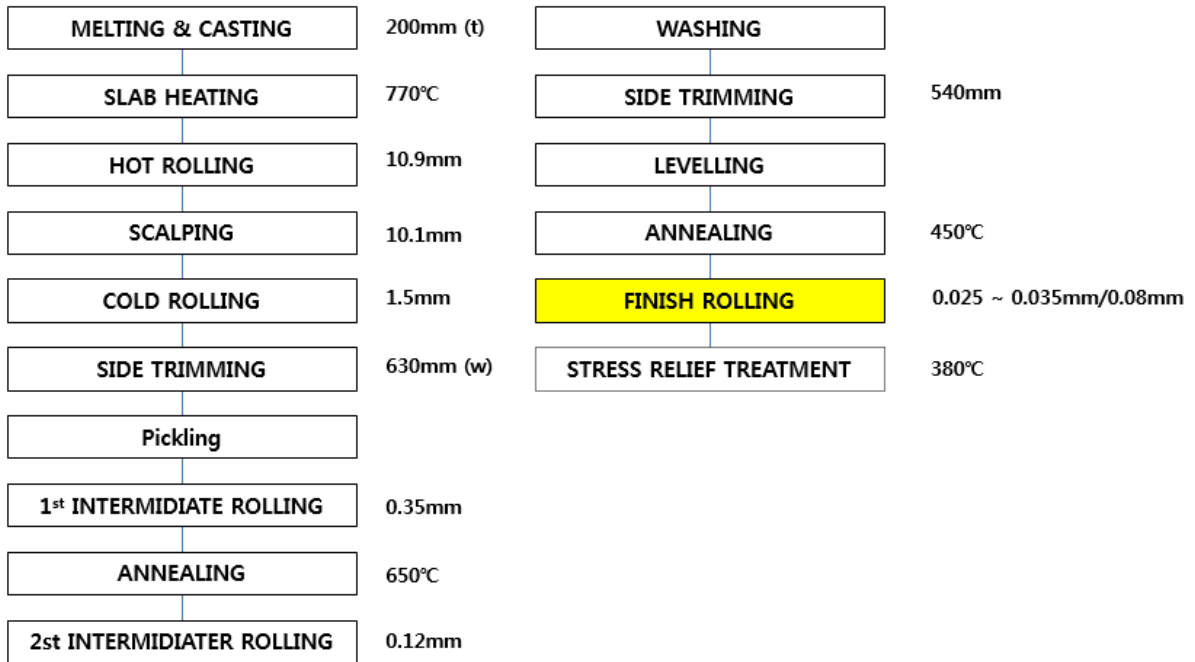


Fig 2.3 압연 동박 제조 공정

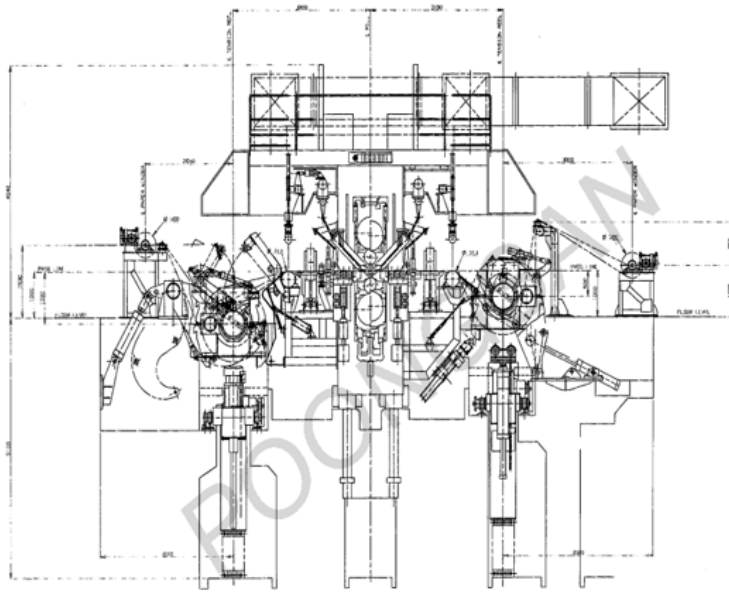
2.1.3 실험 장치

동극박 압연은 HBA 소둔 설비에서 열처리된 소재를 6단 압연기에서 Final 압연을 실시하면서 형상 특성 변화에 대하여 연구 진행하였다.

박판의 냉간 압연에 있어서 4단이나 6단 압연기는 Roll 경이 크기 때문에 압연 시 발생 압력이 크게 되어 Mill Housing의 연신, Roll의 Bending 및 편평화 등이 일어날 수 있어 1 ~ 4" 지름의 Work Roll을 몇 단의 중간 Roll로 지지하여 압연 압력을 적게함과 동시에 최외각의 Roll을 전 길이에 걸쳐 견고한 Housing으로 지지하여 Roll 변형을 최소화하는 20단 Mill로 전환이 되었다가 현재 신동 사업의 대부분은 20단 Mill의 작업성 저하 (판형상 제어 불량, 압연 속도 저하, 극박판 작업 시 두께 편차)로 고밀도의 6단 Mill을 선호하고 있다.

6단 Mill은 Work Roll, 중간 Roll인 Intermediate Roll, 그리고 각 Roll을 지지해주는 Back Up Roll로 Roll 구성이 이루어지고 있다. 주요 장비로는 소재의 Tension을 조정하여 스펴에 Coil을 권취 하는 Pay Off Reel, Tension Reel과 소재의 형상을 측정하는 Shape Roll, Tension을 감지해주는 Load Cell Roll, 제품의 두께를 측정해주는 Gamma Gauge 등으로 구성되어 있으며, 이를 전기적으로 제어해주는 AGC, AFC와 같은 각종 전자 제어 System으로 작업이 이루어 진다.

Fig 2.5 의 사진은 6단 압연기의 주요 장치의 모습을 나타낸 것이다.



※ Mill Condition

Condition	Value
Rolling type	6 Hi UC-Mill
Work roll size (mm)	Φ140×W850
IMR size (mm)	Φ300×W890
BUR size (mm)	Φ630×W835
Roll material	SKH-51
Rolling speed(m/min)	100-700

※ 주요 특징

- AGC System
(Auto Gauge Control)
- AFC System
(Auto Flatness Control)

Fig 2.4 6단 압연기의 Lay Out



< Housing >



< Tension Reel >



< Gamma Gauge >



< Shape Roll & Load Cell Roll >

Fig 2.5. 6단 압연기의 구성

2.1.4 실험 분석 방법

인장강도, 경도, 연신율과 같은 기본적인 기계적인 성질을 측정하는 방법 이외에 Strip의 형상을 관찰하기 위하여 3차원 판형상 측정기를 이용하였다.

Sample은 Fig 2.6과 같이 1.5m로 압연기에서 압연 시험 후에 절단하여, 폭방향으로 5지점을 일정한 간격으로 20회 측정하여 가장 높이 측정된 값을 기록하였다.

Strip의 H높이는 급준도라고 하는 Strip의 형상 측정법을 계산하기 위한 중요한 인자이며, 구하는 공식은 Fig 2.9 와 같이 Wave의 주기와 H높이를 기준으로 계산한다.



Fig 2.6 시험편 측정 개소

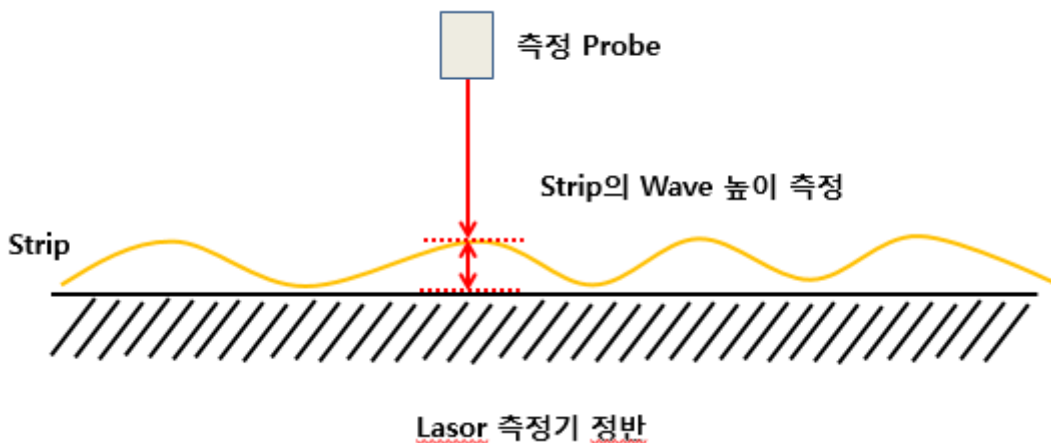


Fig 2.7. Laser 형상 측정기의 측정 원리

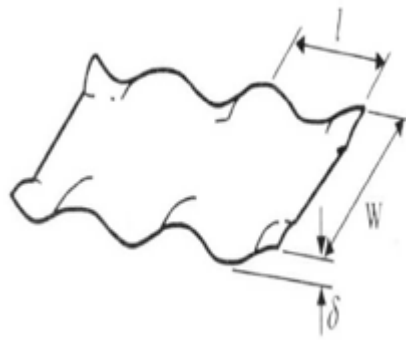


< 판형상 측정 장치 >



< 측정 Probe >

Fig 2.8. 판형상 측정기 모습



$$\lambda = \frac{\delta}{l} \cdot 100(\%)$$

Fig 2.9. 급준도

2.2 실험 방법

2.2.1 Work Roll 형상에 따른 Strip의 형상 변화

소둔 설비에서 450°C로 소둔된 T/P 0.12mm의 소재를 6단 압연기에서 0.035mm로 압연을 할 때 Work Roll의 형상을 변화 시켜 아래의 조건으로 형상 변화 시험을 하였다.

(1) Alloy : T/P 0.12mm 소둔 소재

(2) Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.120	0.050	58.3	200	350	3.1	13.0	
2	0.050	0.035	30.0	200	270	7.4	14.3	

(3) Work Roll 형상 조건

구분	기존	변경
Work Roll Crown	Flat	5/1000

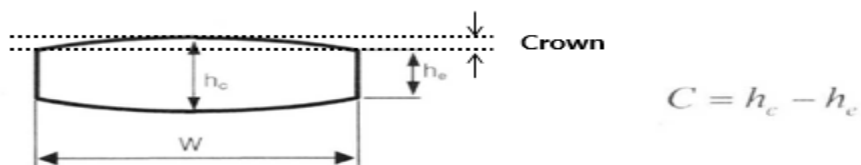


Fig 2.10. Work Roll Crown 도식화

Pass Schedule은 동일하게 설정하여 작업하였으며, Work Roll Crown 양만 기존 평 Roll에서 5/1000mm 로 변경하여 압연 시험을 실시하였다.

6단 압연기의 Bending 특성으로 인하여, Roll의 Side부로 갈수록 Roll의 탄성 변형이 증가하고, 탄성 변형부에 의한 Strip Buckle, Edge Wave가 발생하므로 이번 시험에서는 Roll Crown을 주어 Roll 변형을 억제 시켜 Strip에 받는 응력의 감소에 따른 형상의 변화를 확인하였다.

2.2.2 중간 Roll의 Shifting Position에 따른 Strip의 형상 변화

소둔 설비에서 450°C로 소둔된 T/P 0.12mm의 소재를 6단 압연기에서 0.035mm로 압연을 할 때 중간 Roll의 Position을 변화 시켜 압연 시험을 실시하였다.

(1) Alloy : T/P 0.12mm 소둔 소재

(2) Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.120	0.050	58.3	200	350	3.1	13.0	
2	0.050	0.035	30.0	200	270	7.4	14.3	

(3) 중간 Roll의 Shifting Position

구분	기존	변경
IMR Position	+11	+ 0

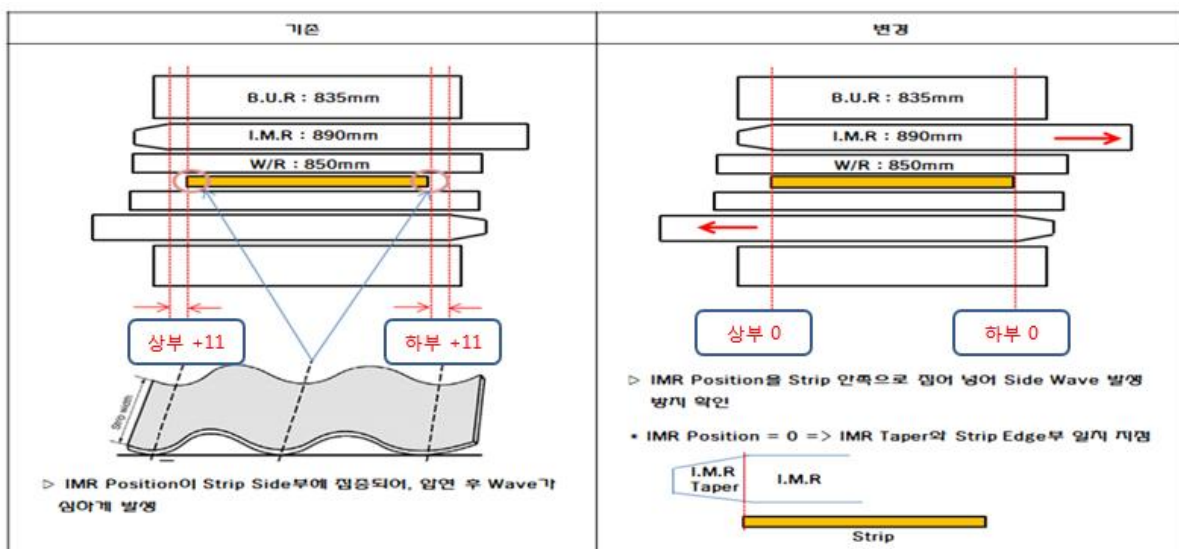


Fig 2.11. 중간 Roll의 Shifting Position 변화

중간 Roll Position에 따라 Strip에 받는 부하량이 달라지기 때문에 중간 Roll의 Taper부를 기존 보다 Strip의 안쪽으로 11mm 이동하여 Side Wave 발생 변화에 대하여 확인하였다.

2.2.3 압연 Pass별 가공도 변화에 따른 형상 변화

Final 압연 전 두께를 각각 0.12mm, 0.07mm 로 준비하여 Pass별 Reduction 변화에 따른 형상 변화 시험을 실시하였다.

(1) Alloy : T/P 0.12mm, T/P 0.07mm

(2) Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.120	0.050	58.3	200	350	3.1	13.0	
2	0.050	0.035	30.0	200	270	7.4	14.3	

(a) 기존 Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.070	0.035	50.0	200	270	5.3	14.3	

(b) 변경된 Pass Schedule

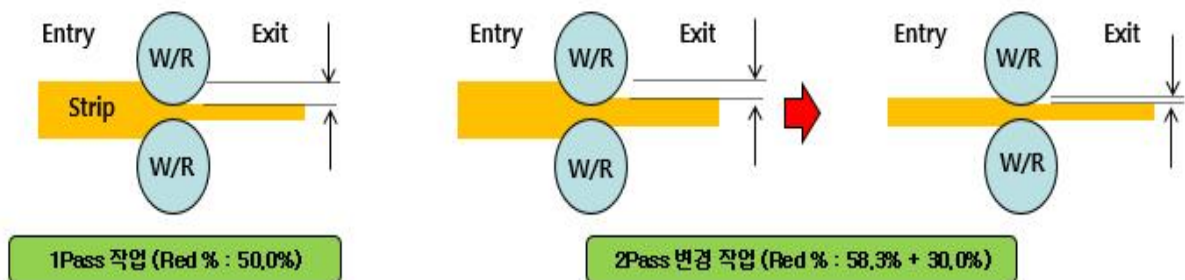


Fig 2.12. 가공도 변화

1Pass 작업 시 Pass별 가공도가 50.0%이고, 2Pass 작업 시 1Pass시는 58.3%로 가공도가 다소 높으나, 2Pass시에는 가공도가 30.0%로 1Pass 작업 시 보다 가공도가 적었다.

가공도에 따라 Strip인 받는 내부 응력이 달라지기 때문에, 가공도 변화에 따른 판형상 변화를 확인하였다.

2.2.4 압연 장력 변화에 따른 Strip의 형상 변화

소둔 설비에서 450°C로 소둔된 T/P 0.12mm 소재를 6단 압연기에서 0.035mm로 압연을 할 때 압연 장력을 변화시킬 경우에 Strip 표면에 발생하는 Cross Buckle량을 확인하기 위한 실험을 아래와 같이 실시하였다.

(1) Alloy : T/P 0.12mm 소둔 소재

(2) Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.120	0.050	58.3	200	350	3.1	13.0	
2	0.050	0.035	30.0	200	270	7.4	14.3	

(a) 기존 Pass Schedule

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		비고
	입측	출측		입측 (후방)	출측 (전방)	입측 (후방)	출측 (전방)	
1	0.120	0.050	58.3	300	450	4.7	17.0	
2	0.050	0.035	30.0	300	370	11.3	19.7	

(b) 변경된 Pass Schedule

2.2.5 저온 소둔 열처리 조건에 따른 형상 및 기계적 성질 변화

압연 동박 중 저온 소둔 열처리는 연신율, Bending성과 같은 기계적 성질에 특화된 Cu-Sn 판재에 관하여만 실시되고 있으므로, 이번 시험은 순동이 아닌 Cu-Sn 판재를 시험편으로 제조하여 저온 소둔 처리 조건변경 시험을 실시하였다.

(1) Alloy : PBS 0.08mm 압연 소재

(2) 텐션소둔설비 온도 : 380°C

(3) 텐션소둔설비 로텐션 : 1.5kgf/mm²

(4) Strip의 로내 통과 속도 : 20mpm, 30mpm, 40mpm

2.2.6 압연 동박판 기계적 성질 및 형상 비교

이번 압연 시험으로 형상이 가장 양호했던 조건으로 6단 압연기에서 압연을 한 후에 스트립의 형상과 기계적 성질을 타회사와 비교하여 현 수준을 파악하도록 하였다. 기계적 성질은 인장강도, 연신율, 내연화 온도, 치수 정밀도, 전기전도도를 비교하였고, 형상은 Strip의 H 높이, Edge Crack, Cross Buckle을 최종적으로 비교하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 Work Roll 형상에 따른 Strip의 형상 변화

Work Roll 형상을 변화하여 압연 시험한 후에 스트립의 판형상을 측정된 결과, 아래 Fig 3.1과 같이 Crown Roll을 사용한 경우에 H 높이가 감소하는 것을 알 수 있었다. 기존 평 Roll을 사용할 경우에는 Side Edge부의 H 높이가 높은 것을 알 수가 있었는데, Crown Roll을 사용할 경우 Side부 부하 감소로 Edge부 H 높이가 감소하는 것을 알 수 있었다.

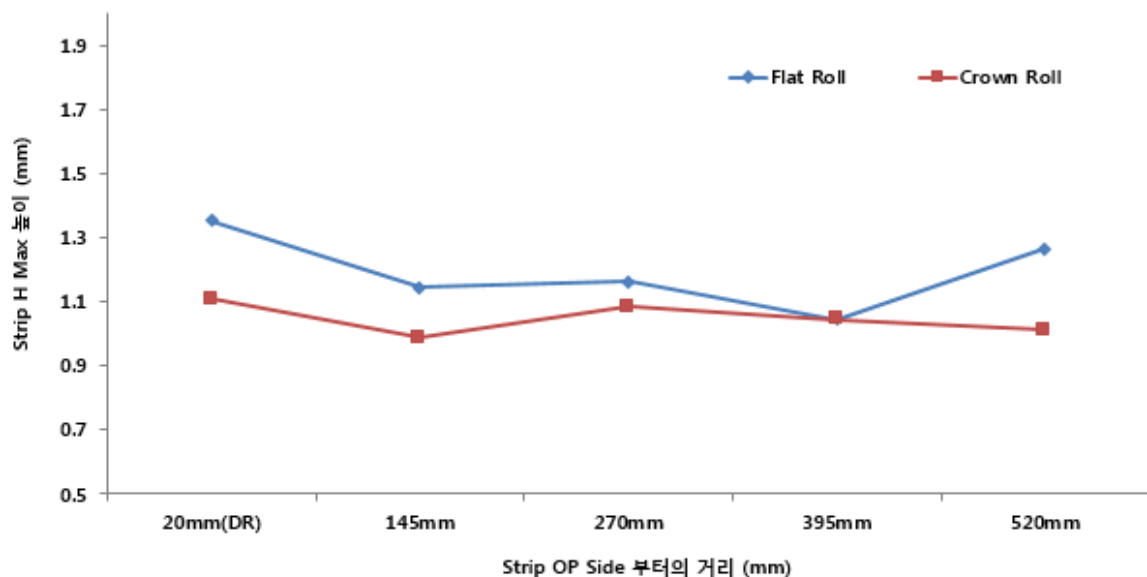


Fig 3.1. Work Roll Crown에 따른 Strip 높이 변화

또한 Crown Roll을 사용할 경우, Roll 변형이 억제되어, 압연 하중이 평 Roll을 사용했을 때보다 감소하는 것을 확인하였고, 이를 통하여 Roll 변형이 억제되어 하중이 감소할수록 Strip 형상은 개선되어지는 것을 알 수 있었다. 이는 Fig 3.3의 그림을 보면 쉽게 이해할 수 있다. 압연 하중이 감소한다는 것은 작업하는 Work Roll의 탄성변형이 감소한다는 것을 의미한다. 탄성변형이 감소할수록 Strip Side부의 두께가 중심부와 차이가 나지 않아, 동일한 길이를 만들게 되어 전체적으로 동일한 형상을 나타나게 된다. 만약 두께 차이가 발생하여 Side부의 두께가 얇아진다는 것은 압연이 더 되어, Strip의 길이가 연신되어진 것을 의미하게 되므로 Wave 불량일 수 있다.

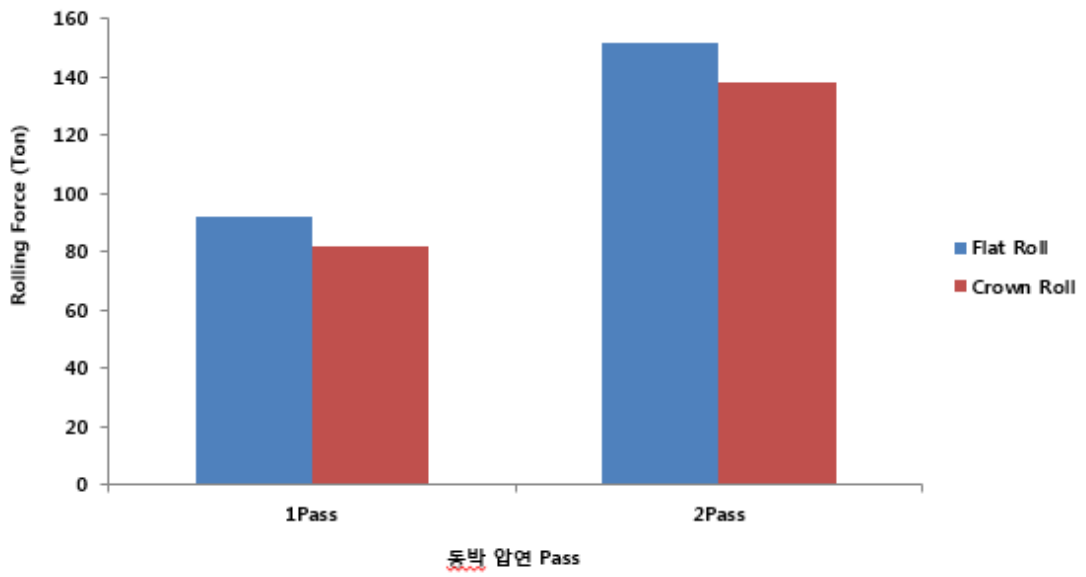


Fig 3.2. Roll Crown에 따른 압연 하중 변화

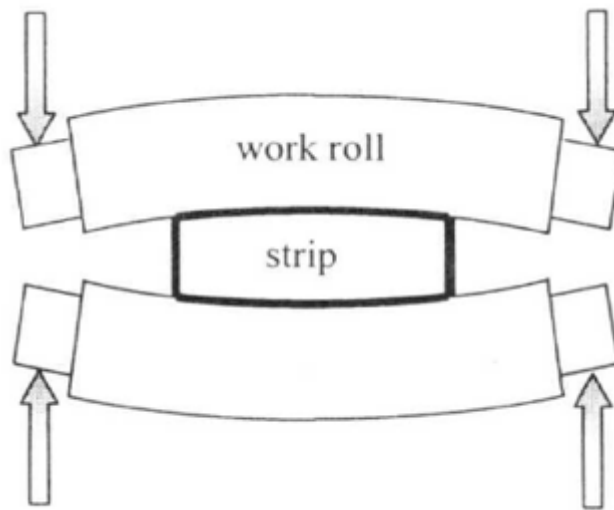


Fig 3.3. Elastic deformation of roll in strip rolling

3.2 중간 Roll의 Shifting Position에 따른 Strip의 형상 변화

중간 Roll의 Shifting Position을 변화시키면서 압연 시험한 결과, Strip의 H 높이는 "0" Position일 때 감소하는 경향을 보였으며, 특히 Side부의 H 높이가 감소하는 것으로 보아 Shifting 변화는 Strip의 형상 중 Edge 형상 개선에 영향을 주는 것을 알 수 있었다.

Fig 3.5는 Shifting을 "0"으로 할 경우 Wave가 감소되어 Coil 측면부에 주름이 없어지는 모습을 보여 주고 있다.

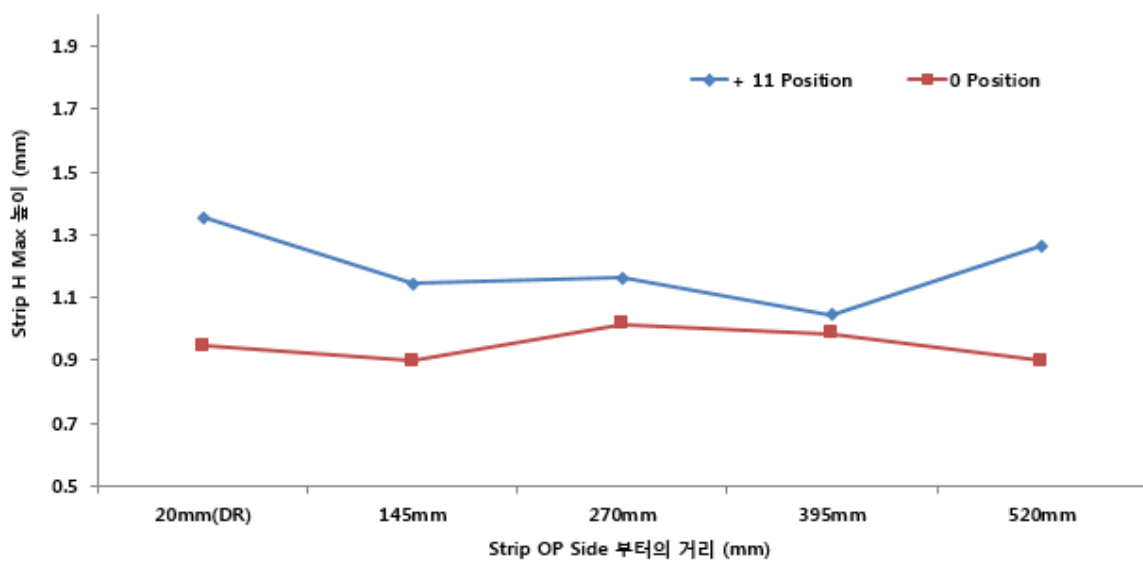


Fig 3.4. Roll Shifting Position에 따른 Strip 형상 변화

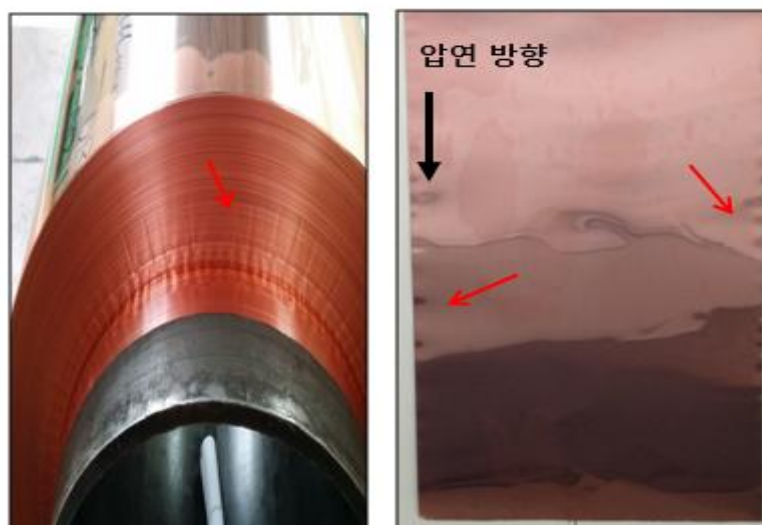


Fig 3.5. Strip의 Side Damage

이는 Taper가 Center로 11mm 이동함에 따라 Strip Side부에 가해지는 압연 하중 분포가 낮아져 Side부의 형상을 0.4mm 이상 향상 시키는 것으로 보여진다.

Fig 3.6은 통상적인 Strip 표면의 압연 하중 분포를 나타낸 것이며, Fig 3.7 처럼 Strip이 Center로 이동하게 된다면 압연 하중 분포가 낮아질 것이다.

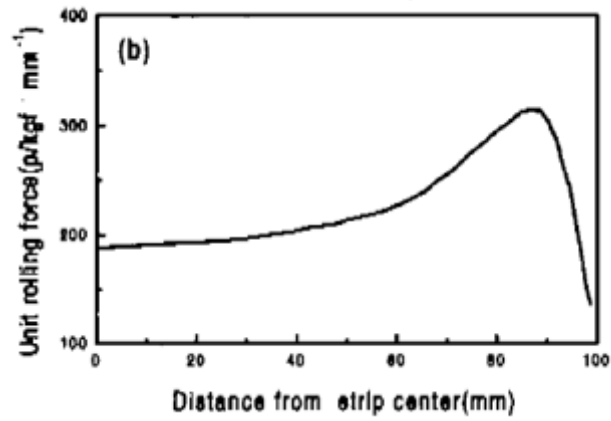


Fig 3.6. 압연 하중 분포

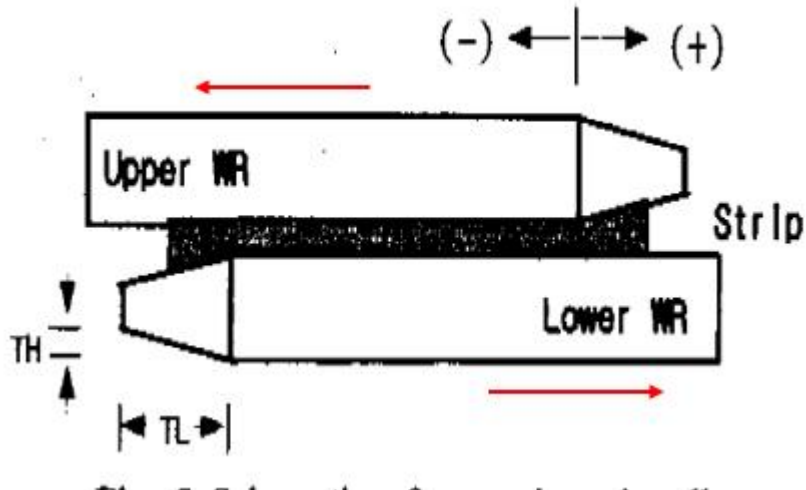


Fig 3.7. 압연 하중 분포

3.3 압연 Pass별 가공도 변화에 따른 Strip의 형상 변화

압연 Pass를 각각 1Pass, 2Pass 작업하여 Strip의 H 높이를 측정해본 결과, 2Pass 작업 시 H 높이가 Max 0.475mm 감소하는 것을 볼 수 있었다.

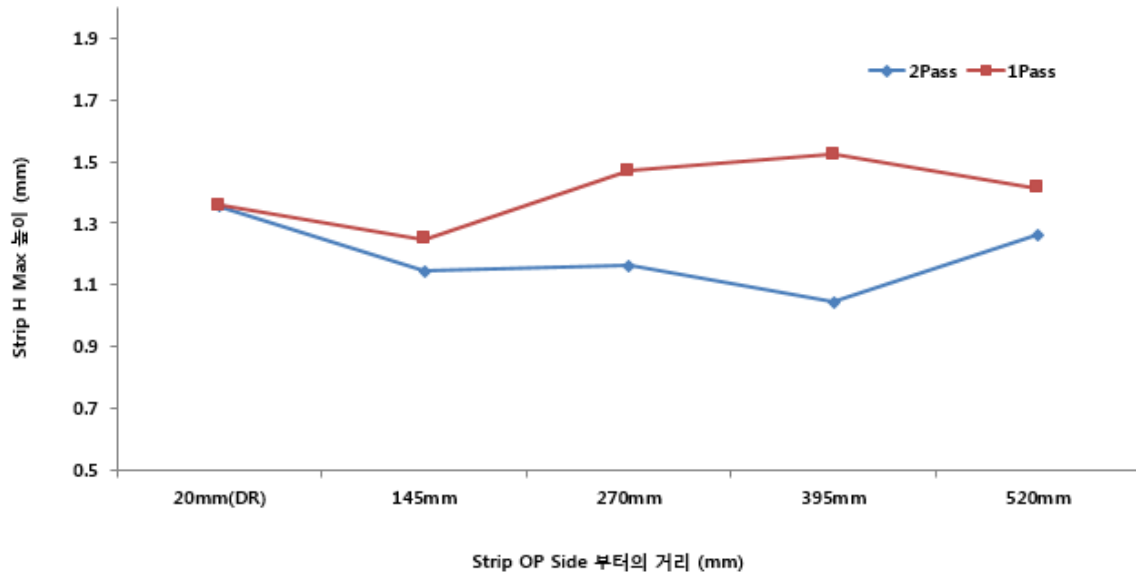


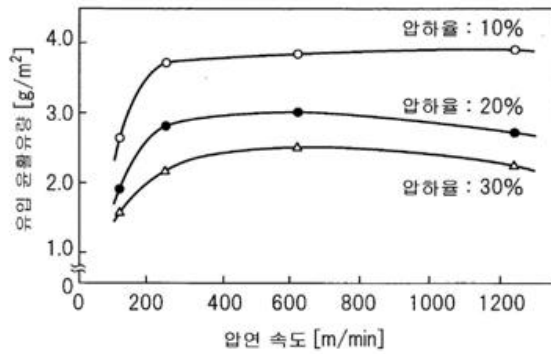
Fig 3.8. 가공도에 따른 Strip의 형상 변화

구분	Test 소재 (T/P 0.035mm)		비교재 (OFC 0.04t)
	0.12t → 0.035t (Red 70.8%)	0.07t → 0.04t (Red 50.0%)	
표면 조도	0.084	0.093	0.031
조도 그래프			
확대 사진 (x300)			
육안 사진			

Table 3.1 가공도에 따른 Strip의 표면 거칠기 변화

Pass수가 증가할수록 Strip 표면의 거칠기가 감소하여, 광택이 미려해지는 효과를 Table 3.1의 결과와 같이 알 수 있었다. 일본 수입 소재에 비해서는 조도가 다소 거친 모습을 보이고 있는데 이는 6단 압연기에서 압연 시험을 할 때 조도가 Ra 0.08의 Work Roll을 사용한 결과로 보여지며, 타 업체는 Roll의 조도를 이보다 낮게 연마하여 작업해서 Table 3.1의 조도 결과와 같이 나온 것으로 보인다.

압연 시 가공도가 높아진다는 것은 압연 Roll과 Strip사이의 접촉 압력이 높아져서 윤활유를 압연 Roll과 Strip 사이에 넣으려 전단력에 기인하는 유막의 압력과의 균형으로, 윤활유의 막 두께가 얇아 진다. 이는 가공도가 높을수록 마찰 계수가 증가한다는 것을 의미하며, 마찰 계수 증가는 Roll의 열팽창을 초래한다. 결국 Roll의 열팽창은 Center Buckle이라는 형상 불량을 만들게 된다.



- ⇒ Pass별 가공도 증대
- ⇒ Roll Bite부 윤활유 유입 감소
- ⇒ Roll 열팽창에 의한 Center부 판형상 불량

Fig 3.9. 압하율에 따른 유입 윤활 유량

3.4 압연 장력 변화에 따른 Strip의 형상 변화

압연 장력을 변화시키면서 Strip의 H 높이를 측정된 결과, Fig 3.6과 같이 장력을 높일 경우 H 높이가 Max 0.408mm 감소하는 것을 알 수 있었다.

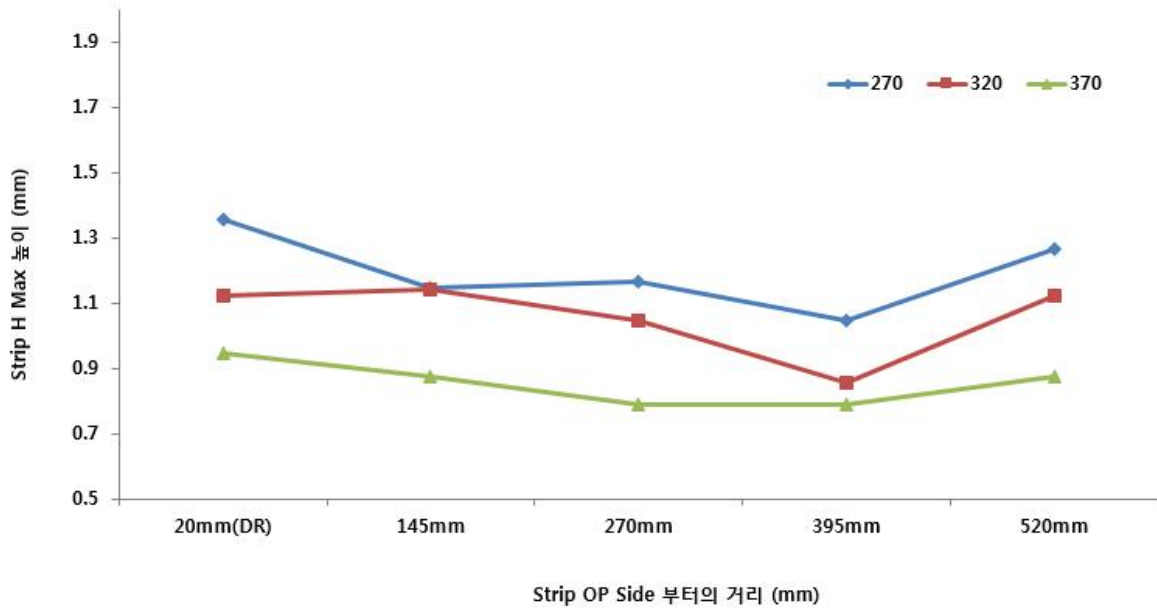


Fig 3.10. Strip 장력 변화에 따른 Strip의 형상 변화

- (a) 기존 : 전방 270kg
- (b) 변경 : 전방 320kg, 370kg

또한 압연 장력을 올릴수록 보다 작은 압연 압력에서 변형이 일어나는 현상을 알 수 있었으며, 이를 통하여 압연 장력이 Strip의 형상 변화에 영향을 끼치는 중요한 인자라는 것을 알 수 있었다.

압연 장력을 올릴수록 압연 박판시 항상 발생하였던 Cross Buckle이 크게 개선되었으며, 이는 소재에 인장력이 크게 작용되어 소재의 연신폭이 커지면서 Strip의 편평화가 이루어진 것으로 보여진다

실제 압연에 있어서 전방 장력을 증가시키면 텃지 리플이나 센터 버클이 억제되며 압연 하중도 다소 감소시킬수 있다..

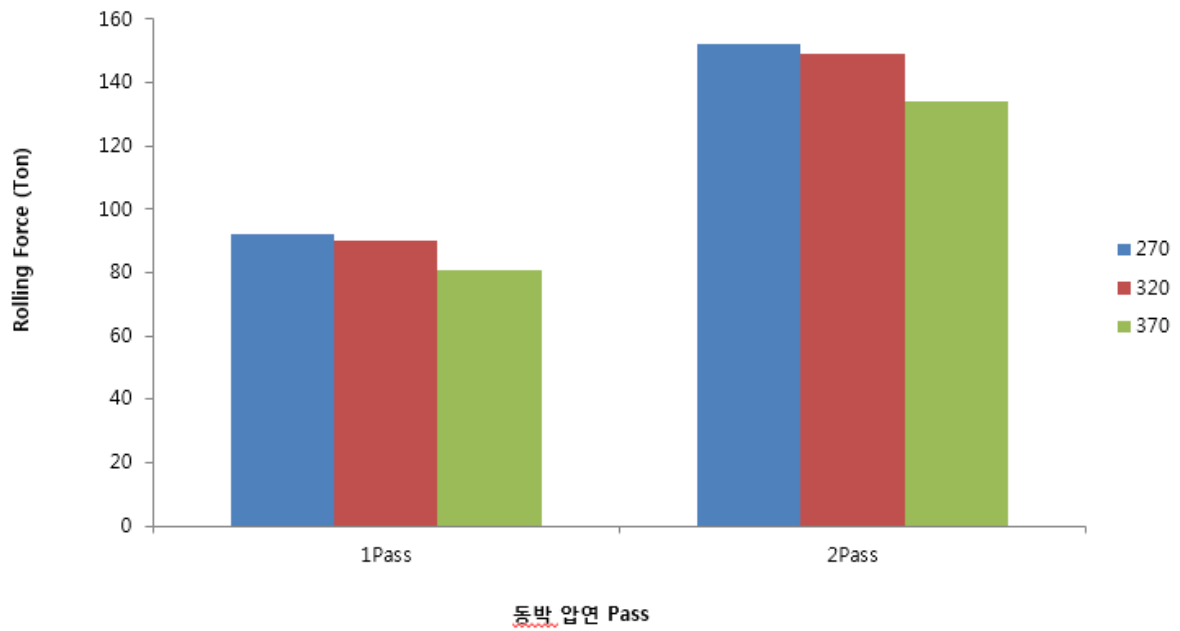


Fig 3.11. 압연 장력에 따른 형상 변화
 (a) 기존 : 전방 270kg
 (b) 변경 : 전방 320kg, 370kg

전방 Tension	270kg	320kg	370kg
판형상			
	표배면 전면 엠보싱 현상 발생	엠보싱 현상 약하게 존재	엠보싱 현상 미발생됨

Fig 3.12. 압연 장력에 따른 Cross Buckle 발생량

3.5 저온 소둔 열처리조건에 따른 형상 및 기계적 성질 변화

저온 소둔 처리시 Strip의 형상은 양호해지나, 로내 잔류하는 시간이 길어지게 되면 부분적으로 Cross Bow 현상이 발생하게 되는데, 이는 소재의 기계적 성질에 영향을 미쳐 소재가 연해져 로내 좌중에 의한 Strip의 형상 변화가 일어난 것으로 보인다.

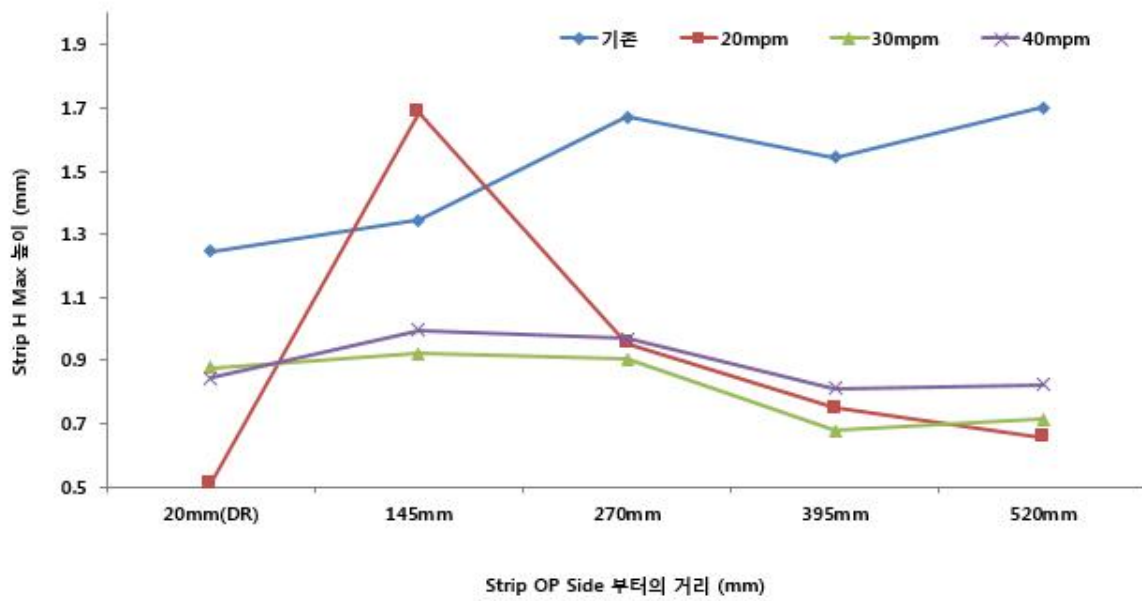


Fig 3.13. 로내 잔류 시간에 따른 Strip의 형상 변화

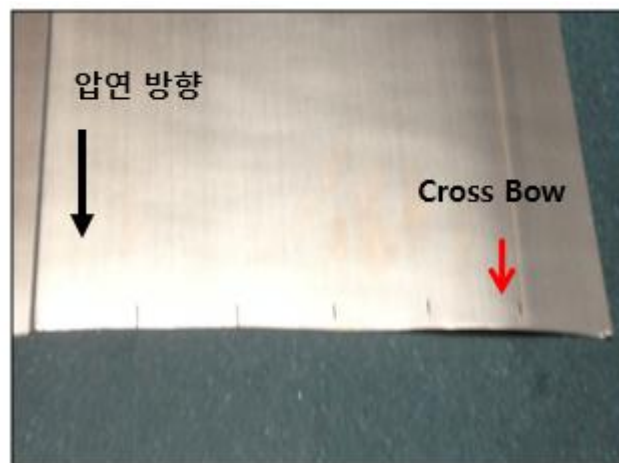


Fig 3.14. Cross Bow

저온 소둔 처리 시 소재의 인장 강도 감소, 연신율이 증가하는 현상을 볼 수 있었으며, 로내 잔류하는 시간이 길수록 로내에서 스트립이 열과 접촉하는 시간이 길어져 기계적 성질이 크게 변하는 현상을 확인할 수 있었다.

이는 판재의 경우 냉간 가공에 의해 Grain이 깨지며 전위가 증가하고, 내부응력이 증대하며 가공경화된다. 저온소둔처리에 의해 가공경화된 소재의 내부응력이 감소하므로 연신율이 증대되는 것으로 보인다. 열처리시 Cu-Sn 합금 판재는 가공경화된 내부 응력이 소멸되는 회복단계 결정입자중 내부변형이 없는 결정을 생성하는 핵생성 이후 1차 재결정 잠복기간을 거쳐 입계이동이 일어나고 2차 재결정되는 단계를 거친다. 저온 소둔 열처리는 이중 회복 단계이며, 광학 사진 촬영 결과, 열처리 조건에서는 조직의 변화에는 영향을 끼치지 않으며 기계적 성질 및 형상이 개선되어지는 것을 알 수 있었다.

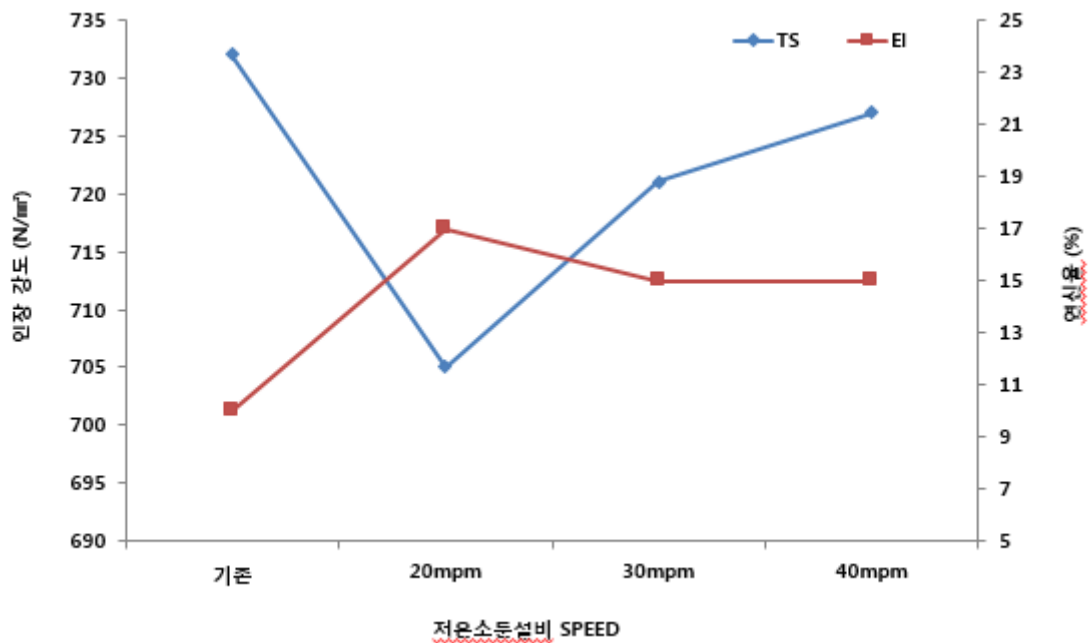


Fig 3.15. 로내 잔류 시간에 따른 기계적 성질 변화

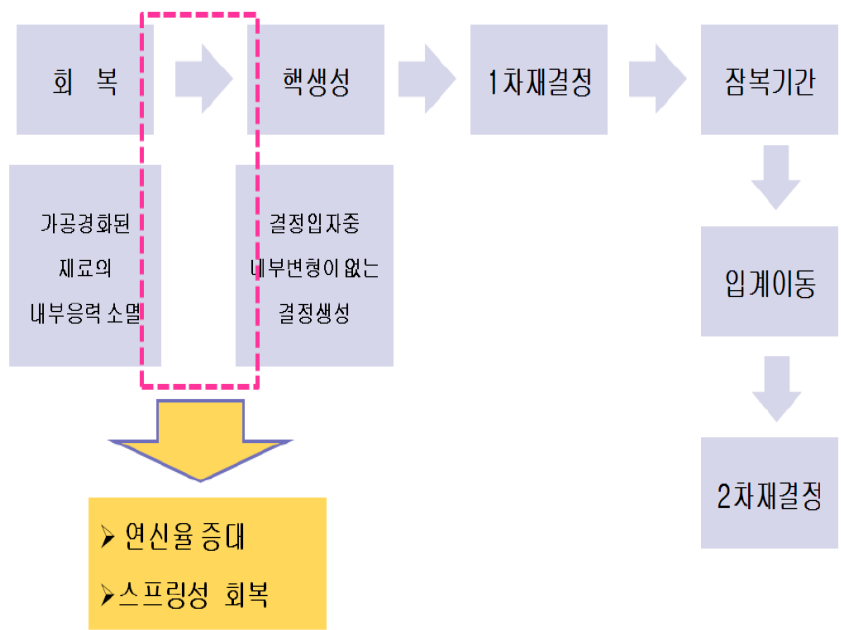


Fig 3.16. Cu-Sn 합금의 열처리 과정



Fig 3.17. 압연 후 조직 사진



Fig 3.17. 380도 열처리 후 조직 사진

3.6 압연 동박 기계적 성질 및 형상 비교

해외 동박 제조 업체와 기계적 성질 및 형상을 비교해본 결과, 타업체 수준과 동일 혹은 그 이상의 특성을 제조 가능함을 알 수 있었다.

구분	두께	성분 (wt%)		인장강도 (N/mm ²)	경도 (0.01kg)	연신율 (%)	두께정밀도 (mm)	내연화온도 (°C)	전기전도도 (%IACS)
		Cu	O2						
Test재	25μm	99.98	0.0178	431	125	0.9	0.001	360	94
	35μm	99.98	0.0178	405	120	0.9	0.001	360	96
비교재1	11μm	99.98	0.0229	422	측정불가	0.9	0.001	350	97
	35μm	99.98	0.0191	425	126	1.3	0.001	360	99
비교재2	25μm	99.98	0.0083	484	140	1.9	0.001	350	92
	30μm	99.98	0.0053	460	114	2	0.001	350	94

Table 3.2. 제조 업체에 따른 기계적 성질




구분	Test재	비교재1	비교재2
3차원 판형상	Max 0.9mm	Max 0.9mm	Max 1.2mm
판형상 육안			
비고	Side Wave 약하게 존재	Side Wave 없음	Side Wave 없으나, Buckle부가 다소 큼

Table 3.3. 제조업체에 따른 형상 비교

타사 대비 Side Wave가 약하게 존재하나, 이는 압연 후 Side Trimming을 미실시하여 발생된 것으로 보여지며, 이를 감안하면 타사 대비 우수한 형상을 제조할 수 있었다.

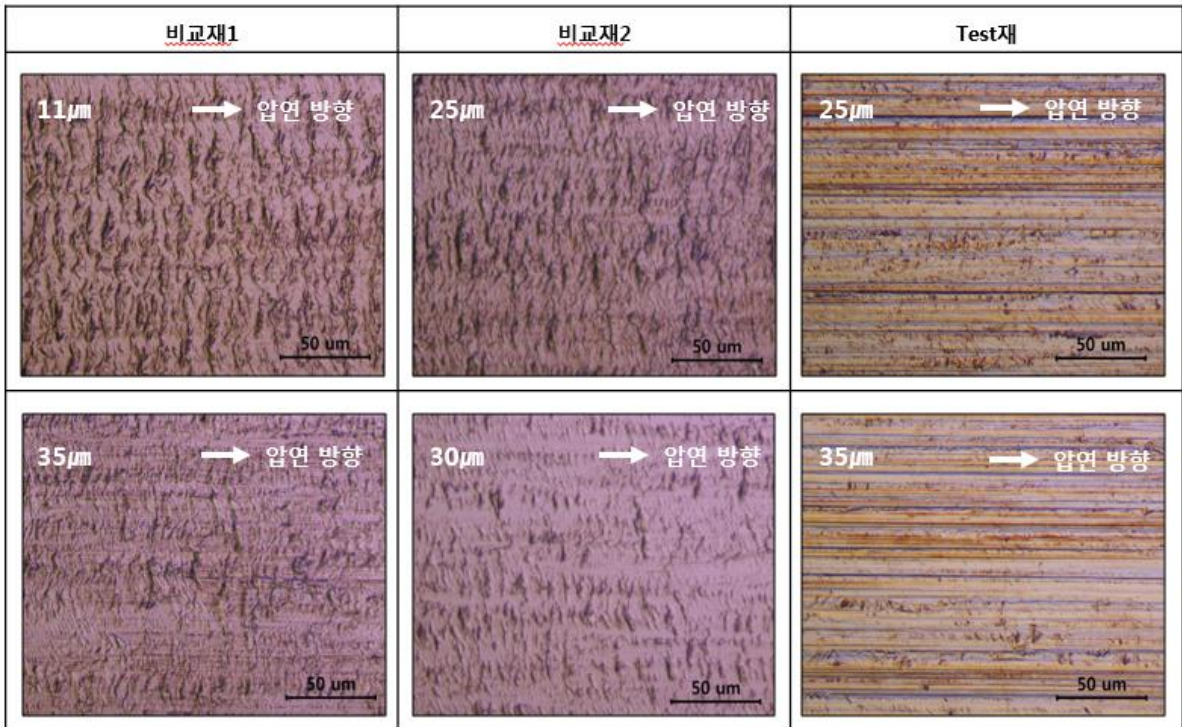


Table 3.4 제조업체 동박 표면 관찰 사진 (OM)

압연 후 Strip 표면을 OM으로 X500 배 확대 분석한 결과, 타사 대비 Oil Pit가 적은 것으로 확인되었으며, 이는 압연기의 압연유 점도 및 작업 Speed에 의해 결정되는 사항이기 때문에 타사의 작업 조건을 알지 못한 이상 정확한 원인 분석이 어려웠다. 다만, 당사 소재 표면에 Roll 연마 자욱이 Strip에 그대로 전사하는 것으로 보아 당사 대비 표면 거칠기가 적은 Work Roll을 사용했을 것이라는 추측을 해본다.

가공도에 따른 조직 분석 결과, 후판인 경우에는 등방향으로 조직이 확인되나 0.035mm 이하의 압연 동박 소재는 Strip의 압연 가공도가 크기 때문에 소재가 인장 되어 압연 길이 방향으로 조직이 긴 타원형 형태로 발생하는 것을 확인할 수 있었다.


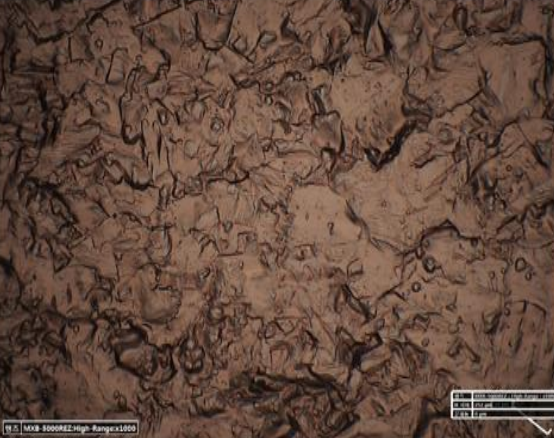
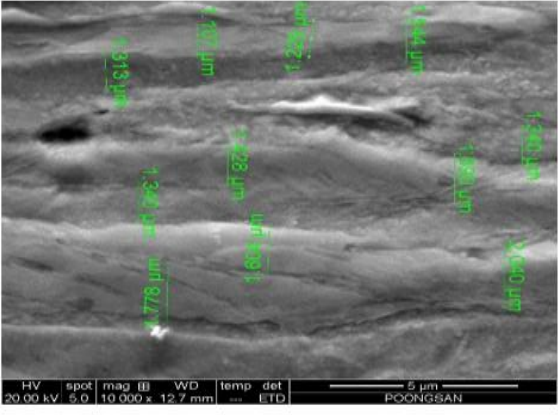
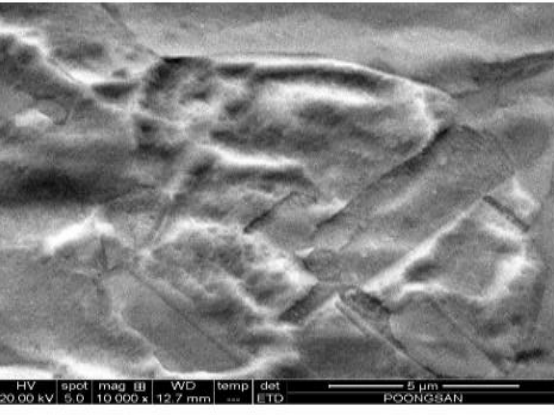
0.035mm	0.12mm
	
	
<p>G.S(vertical-ND) : 1.49um G.S(horizontal-RD) : 17.66um</p>	<p>G.S(diameter) : 10.64um</p>

Fig 3.5. 압연 두께에 따른 조직 사진

4. 결론

1) 압연 동박판의 Strip의 형상 변화에 영향을 주는 인자는 최종 압연 시 압연 조건에서 가장 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었으며, Cu-Sn 합금은 열처리 조건을 20 ~ 40mpm으로 속도를 변경시켰을 때 Strip의 형상이 0.1 ~ 0.4mm 이상 변화하는 것을 확인할 수 있었다.

2) Work Roll에 5/1000 Crown을 주거나, 중간 Roll Position을 Strip 중앙으로 +11 이동시켜, Strip Edge면에 부하를 적게 줄수록 압연 동박판의 형상이 최대 0.4mm 좋아지는 것을 확인할 수 있었다.

3) 5/1000 Roll Crown과 압연 장력을 100kg 증가 시 Roll의 탄성 변형이 억제되어, 압연 하중이 감소하여 작업성을 개선할 수 있었다. 또한 압연 장력이 증가함에 따라 Cross Buckle이 억제되어, Strip의 형상을 개선하는데 크게 도움을 줄 수 있었다.

4) 2Pass로 작업하여 Pass당 압연 가공도를 낮출 경우, Work Roll 내 윤활 증가로 Roll 팽창에 의한 형상 불량을 개선할 수 있었다.

5) 저온 열처리시 재결정에는 영향을 미치지 않고, 회복 단계인 Strip내 잔류 응력만 제거하여, 인장강도와 경도를 유지하면서 형상 및 연신율을 개선할 수 있었다. 단, 소둔 시간이 길수록 로내 Tension 영향과 소재의 결정 조직에 영향을 미쳐 Cross Bow라는 형상 불량과 인장강도가 변하는 것을 확인할 수 있었다.

6) Pilot 시험 및 공정 실험을 통한 최적 조건은 아래와 같다.

Pass	두께 (mm)		Reduction	Tension (kg)		Unit Tension (kg/mm ²)		IMR Position	Work Roll Crown
	인측	출측		인측 (후방)	출측 (전방)	인측 (후방)	출측 (전방)		
1	0.120	0.050	58.3	300	450	4.7	17.0	+ 0	5/1000
2	0.050	0.035	30.0	300	370	11.3	19.7	+ 0	5/1000

Table 4.1. 압연 동박 최적 조건 (T/P 0.035mm)

7) 최적화된 작업 조건으로 해외업체와 동일 수준의 제품을 만들수 있었다

References

- [1] HMC 투자증권 Industry report, FPCB 산업, (2014) p12
- [2] 대한기계학회 논문집 A권, Tapered Work Roll on Edge Drop Amount of Strip in Tandem Cold Rolling Mill, (1999) p1500, p1502
- [3] 대한기계학회 논문집 A권, Development of New Back-Up Roll for Strip Shape Control, (2003) p328-329
- [4] Jonas Johannesson, Design and Function of CVC rolls as a flatness actuator in a cold mill, (2012), p9-11
- [5] http://csd.newcastle.edu.au/simulations/shape_sim.html, Rolling mill shape control
- [6] http://www.primetals.co.jp/products/pro2_1_1.html, Cold Rolling mill
- [7] 등록 특허 10-1616977, 고압하 압연 방법, (2014) p17
- [8] 권혁천외 공저, 동 및 동합금의 이해, (2008) p366-376, p600
- [9] 박상욱, Effects of thermomechanical processing on change of mechanical properties in CuSn Alloy, (2009), p24

감사의 글

본 논문을 마치기까지 직장생활과 학업을 병행하며 많은 부족한 면들을 이해해 주시고 이 논문을 쓸 수 있도록 아낌없이 지도와 격려를 해주신 저의 지도 교수인 권용재 교수님께 진심으로 감사의 말씀을 드립니다. 학업에 대해 끊임없이 재도전하라는 교수님의 말씀을 깊이 새기고 항상 배우는 자세로 살아가겠습니다.

2년을 돌아보면 여러 교수님들의 지도를 받으면서 부족했던 지식만 배우는 것이 아니라 인격적으로도 성숙할 수 있는 좋은 계기가 된 것 같습니다. 부족한 저에게 많은 도움과 가르침을 주신 교수님들께 감사의 말씀을 전합니다.

또한 본 논문에 대해 세심하게 심사해 주시고 지도해 주신 권용재 교수님, 신상용 교수님, 이정구 교수님 교수님께 감사 드립니다.

직장인으로서 학문의 길을 이어갈 수 있도록 물심양면의 배려와 격려를 해주신 (주)풍산 황원제 공장장님, 이범재 전무님 이하 임직원 여러분들께 진심으로 감사드립니다. 본 연구에 대해 지원과 조언을 아끼지 않으셨으며, 바쁜 와중에도 제 학업을 위해 물심양면으로 도와 주시고 지지해주신 강석영 이사님, 황영록 부장님, 어현선 차장님, 서정석 과장님께 머리 숙여 진심으로 감사 드립니다.

생산 부서에 있어 실험과 분석이 제한적이 될 수 밖에 없는데, 실험과 분석 및 자료정리를 위하여 도와 주신 연구개발팀원 모두에게 감사 드리며, 현장에서 조건 test 시 바쁜 와중에도 도움을 주신 저희 담당 및 현장 operator분 모두에게 감사의 말씀을 드립니다.

감사의 말을 전해야 할 분이 너무 많지만 다 전할 수 없음이 너무 아쉽습니다. 항상 뒤에서 조용히 지켜주시고 후원해 주시는 모든 분들께 감사의 말을 전합니다.

이 논문이 있기까지 아들의 건강과 성공을 기원해 주신 저희 부모님께 이 조그만 결실을 감사하는 마음과 더불어 드리게 됨을 기쁘게 생각하며, 어려움을 느낄 때 마다 항상 의지가 되어주고 혼자 육아하느라 고생한 사랑하는 아내와 잘 놀아주지 못해 미안한 저의 사랑하는 아들, 서원이에게도 고마움을 표합니다.

마지막으로 지금까지, 저를 항상 지켜보시고 도움을 주신 모든 분들께 다시 한번 감사의 말씀을 드립니다.