

가역식 냉간압연기의 Shadow Mask재 압연기술

김광수*, 박 성권, 이 중웅, 김 종호,
냉연부, 포항제철소

Technology of Strip Rolling of Shadow Mask Steel Plate By Reversing Cold Rolling Mill

K. S. Kim*, S. K. Park, J. Y. Lee, J. H. Kim
Cold Rolling Department, Pohang Works, POSCO

Abstract

The steel plate for shadow mask is used in a Cathode-ray tube of TV monitor and is the strictest product in surface quality because hundreds thousand of holes are perforated in a plane of 25 x 25 inches. To mass-produce this product, a reversible cold rolling mill for silicon steel was used and the rolling technology and the activity for quality improvement are described in this work. Because the steel plate is a mild steel, which is very sensitive to strip-breakage even in a low tension, we reset the minimum tension values matching to the operating conditions. The roll mark due to the multi-segmented arrangement of shape controlling roll was prevented by hardening the intermediate shape controlling roll and by changing the existing working-roll into a HSS (High Speed Steel) roll. The scratch caused by the speed difference between a idle roll and a strip was prevented by increasing the roll roughness. With these activities, the steel plate for shadow mask can be stable. The continuous improvement of quality is, however, required for the customer satisfaction both of domestic and overseas market.

Key words : shadow mask, rolling technology, quality improvement, high speed steel roll

1. 서론

Shadow Mask강판은 TV Brown관으로 사용되며, 사방 25인치 평면에 수십만개의 동일한 크기의 구멍을 가공하기 때문에 표면품질이 최고 엄격한 제품이며 이러한 제품을 양산하기 위해 전기강판공장 가역식 냉간압연기를 이용하여 압연기술 개발 및 품질개선활동에 대해 소개하고자 한다.

이 강판의 국내 브라운관 업체의 수입량은 연간 20천톤 정도이며 POSCO에서 개발하기 전까지 전량 수입에 의존하였다. 특히 제품특성상 저압하 압연조직을 형성하기 위해 1회 압연후 탈탄소둔 및 2회 압연공정이 필수적이며, 1차 압연후 두께가 0.35~0.65mm에서 2차 압연 두께를 0.15~0.25mm로 압연이 가능한 Mill은 제철소내 설비사양으로는 없으나, 스테인레스와 전기강판에서 가능성이 높은 것으로 검토되었고 이에 따라 스테인레스 Sendzimir Mill을 이용하여 시립압연을 하였으나 최저장력의 제한으로 시험압연에 실패하였고 전기강판 CRM(Cold Rolling Mill)에서도 최저장력의 제한에 따른 소재 연신으로 압연시험에 상당한 어려움이 있었으며, 또한 다분할 Roll의 형상제어기구의 구조로 인한 전사Mark나 압연유 탈지불량등 표면품질과 Neck설비인 CRM의 생산성을 향상시키기 위한 HSS Roll의 적용등 여러가지 개선활동을 통해 압연기술을 정립하였고, 이로써 '99년 4월 고객사로부터 품질인증을 획득받았으며, 공정계획에 반영하여 정기적으로 제품을 생산하고 있다.

2. 본 문

2.1 Shadow Mask 강판 개요

2.1.1 품질특성 및 공정소개

Table 1은 강판의 품질특성에 따른 확보해야 할 필요기술에 대해 나타내었고 Fig 1은 이강판을 이용하여 제조한 T.V. Brown관을 보여주고 있다.

공정	요 구 품 질	필 요 기 술
에칭	<ul style="list-style-type: none"> ○ 강중 개재물 최소화 ○ 압연 조직 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 고정정강 제조
소둔	<ul style="list-style-type: none"> ○ Grain Size 조대화 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 저압하 압연조직 확보
성형	<ul style="list-style-type: none"> ○ 低항복강도 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 극저탄소강
흑화	<ul style="list-style-type: none"> ○ 치밀한 산화막 형성 ○ Fine조도 	<ul style="list-style-type: none"> ○ 첨가강 함유 ○ Roll 가공기술

Table 1. Characteristics of Shadow mask Products

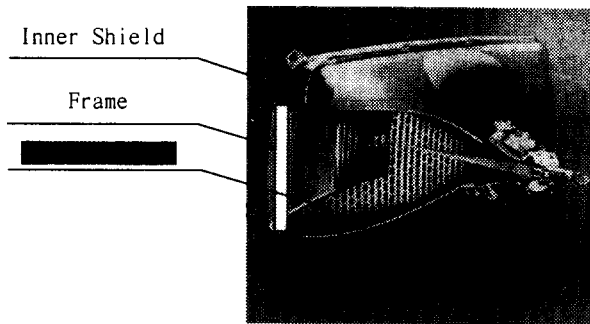
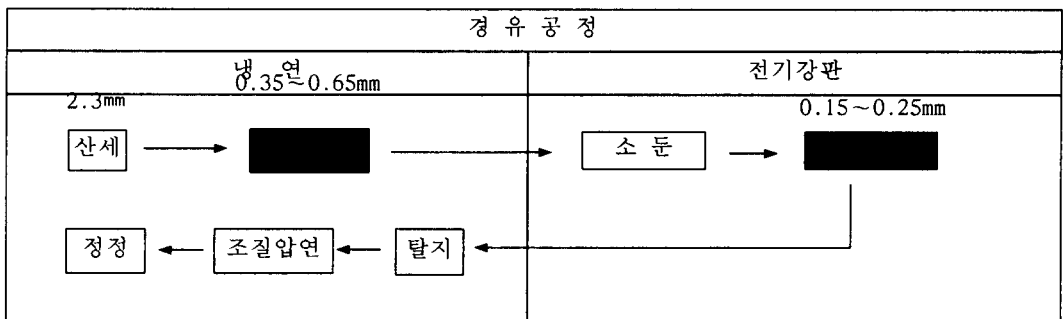


Fig 1. Use Of Shadow Mask Steel Plate

또한 위의 사항을 만족할수 있는 최적 경유공정은 Table2 와 같다.

Table 2. Manufacturing Process Of Shadow Mask



2.1.2 기계적 특성

S/M재(Shadow Mask)의 소재특성을 압연작업성이 양호한 저급 무방향성전기강판과 비교하여 Fig 2에 나타내었으며 전기강판 대비 항복점이 상당히 낮다.

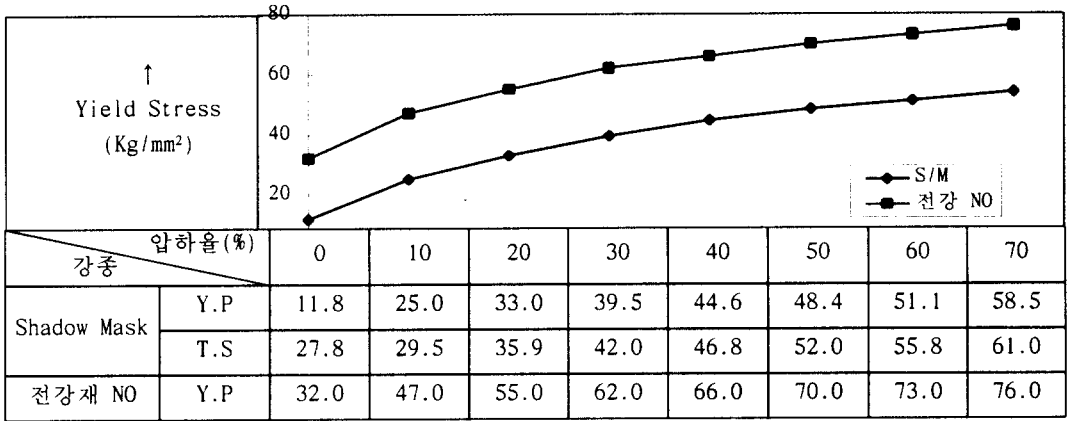


Table 3. Mechanical Property of Cold Rolling Material

2.2 압연기 설비사양

구 분	STS #1ZRM	전강 CRM
Layout		
두께(mm)	0.3~3.0	0.2 ~ 2.5
폭(mm)	700~1,600	550 ~ 1,160
Max.Tension(Ton)	60	13.5
W.R Dia'(mm)	76~94	190 ~ 225
1st I.M.R Dia'(mm)	128~144	180 ~ 160
2nd I.M.R Dia'(m)	230~240	None
Roll Force(Ton)	1250	2000
두계계	γ-Ray	χ-Ray
AGC Mode	FB,FF	FB,FF, Mass Flow AGC
형상검출기	Stressometer	None

(W.R: Work Roll, I.M.R: Intermediate Roll, B.U.R: Back Up Roll, S.R.B: Support Roll Bearing, Def' Roll : Deflector Roll)

Fig.2 Specifications of Mill

Fig.4는 STS와 전기강판공장의 압연기 주요사양을 비교하였으며 STS강판이 전기강판보다 소재의 변형저항이 높으므로 장력도 높게 설정할수 있다.

2.3 시험압연 결과

냉연에서 1차압연을 완료하고 2차 압연을 STS Sendmizir 압연기를 이용하여 0.504mm×830mm의 소재를 0.222mm로 압연을 실시하였는데, 최소 설정장력이 3.5Ton(단위장력:8.3Kg/mm²)으로 초기장력 부여후 Start시 기계적 Friction에 의한 Over Shoot발생으로 장력이 불안정하고 소재 자체의 연신으로 작업Start가 매우 불안정하였으며, 고강도 고풍택 압연에 적합한 소경Roll 및 고윤활 광물성 압연유 사용으로 Roll Bite내의 접촉호 길이가 짧고 Strip의 구속력이 적어 표면에 미세 줄무늬가 발생되었고 압연작업이 불안정하여 저속압연에 따른 생산성이 현저히 저하하였으며, 정상작업중 단위장력이 높아 Strip 자체의 연신에 의한 장력Hunting으로 판파단이 여러번 발생하여 실생산에는 상당히 어려운 것으로 판단되었다.

전기강판도 압연Start시 Fig.5와 같이 최소장력을 3.0Ton으로 설정하여 Start하였으나 STS와 마찬가지로 불안정하게 출발하였으나(Fig 3참조) Start후에는 판파단도 없이 작업이 원활하여 STS보다 생산성이 양호하였으나(Table 5참조), 형상제어용 S.R.B(Support Roller Bearing)의 다분할 Roll의 Mark가 그대로 제품에 전사되어 표면 불량이 발생되었다.

그래서 압연생산성 및 작업성과 물류이송등 제반여건을 생각하여 전기강판 냉간압연기를 이용하여 양산기술을 개발하기로 하였다.

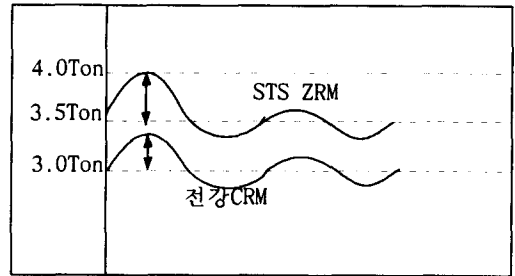


Fig 3. Tension Overshoot

Table 4. Productivity Of STS and Silicon Steel Mill

구 분	STS		전기강판
	Shadow Mask	통상재(STS304)	
생산성(T/H)	2.7	4.9	12.0
Pass수	3	4	1

2.4 CRM Shadow Mask 압연기술

2.4.1 장력제어 안정성

전강재는 최소 0.27mm까지 압연을 하며, 장력은 Set값의 ±2%이내에서 제어가 되고 있으나, S/M강판은 연질재이며 0.25mm에서 최저 0.15mm까지 극박작업이 이루어지므로 상기와 같이 압연 Start시 Reel의 기계적 Friction에 의한 장력제어가 불안정하여 Strip이 Looping되면서 판터짐이 발생되며, 또 압연가능 최저단위장력이 3.0Ton으로 0.35mm의 소재두께의 경우, 설정장력(10.8Kg/mm²)이 소재의 항복점(11.8 Kg/mm²)과 거의 비슷하여 소재가 연신되어 폭수축이 일어나며 골판 형태의 바뀌며 권취되는 시점에 겹침에 의한 판파단도 종종 발생되었다. 그래서 Reel이 회전하는데 필요한 최소 Torque를 측정하였으며 이로써 최저장력은 3.5Ton이상이 되어야 기계적 Friction보다 장력이 높아 다소 안정된 Start가 가능하였다. 그리고 소재연신에 의한 판파단이 증가될수 있는 현상은 Start후 곧 바로 Tension을 Fig 4와 같이 Set장력으로 하향되도록 하여 압연작업성을 향상시킬수 있었다.

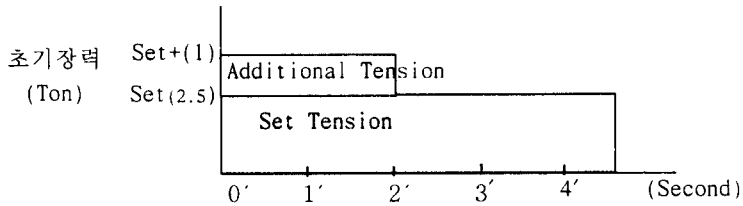


Fig 4. Setting Up of Tension at Beginning of the Rolling

2.4.2 Deflector Roll Scratch 방지

실제 압연속도를 계속할수 있도록 Pulse Generator가 부착된 Deflector Roll은 Idle로 구동되며 전강재 압연시 고장력 부여로 Roll을 압축하는 힘이 높는데 반해 냉연재는 최저장력으로 압연함에 따라 Strip과 Roll의 Slip에 의한 제품표면에 미세 Scratch가 발생되었으며 이를 방지하기위해 Roll의 조도를 0.5에서 2~3 μ m로 상향하여 마찰력 증가로 Scratch를 방지할 수 있었다.

2.4.3 S.R.Bearing Mark 방지

Crown Device 장치는 고정 Wedge와 Adjusting Wedge 간의 Sliding 접촉부의 경사각 차이에 의해 Fig 5와 같이 Adjusting Wedge를 (+) 또는 (-)방향으로 작동시 분할 Roll인 S.R.B (SupportRoller Bearing)가 Bending되어 제품 형상을 $\pm 4/100$ mm까지 제어가 가능하다.

그런데 다분할 구조의 S.R.B이 IMR간의 접촉부와 비접촉부의 차이에 의해 압연제품 표면에 그대로 전사되어 줄무늬 Mark가 나타나므로 최종제품화가 곤란하였다.

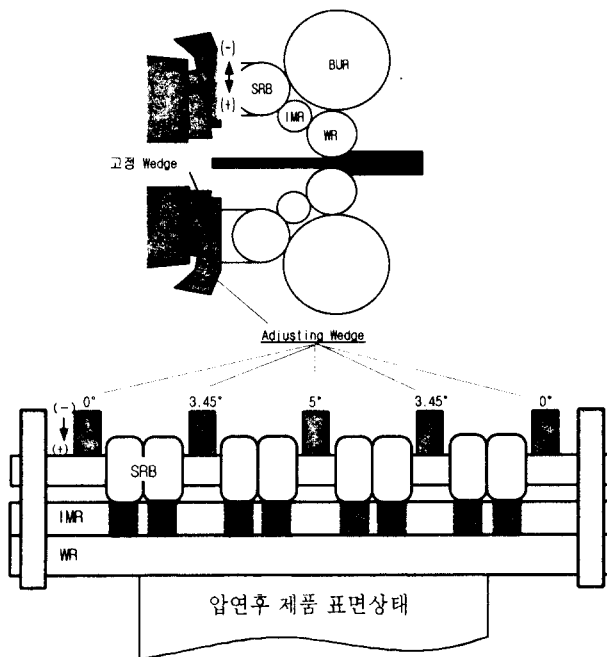


Fig 5. Printed Shape of the Product Surface by Support Roller Bearing

이것은 Roll이 전면접촉구조가 되도록 설비를 개조하여 완벽하게 방지하는 방법과 발생이 더더라도 최소화되도록 Roll의 경도를 상향하는 방법을 강구해 볼수 있다.

먼저, S.R.B 구조 변경에 있어 전제조건으로 Roll Force는 600Ton, S.R.B의 Bending은 최대 2/100mm이내이고 Roll경은 최대 400mm이내에서 설계되도록 하여 가장 간단히 개조가 가능하게 S.R.B부분을 Roller형으로 변경코자 하였으며 개략도는 Fig 6과 같으며 간단히 검토사항에 대해 살펴본다.

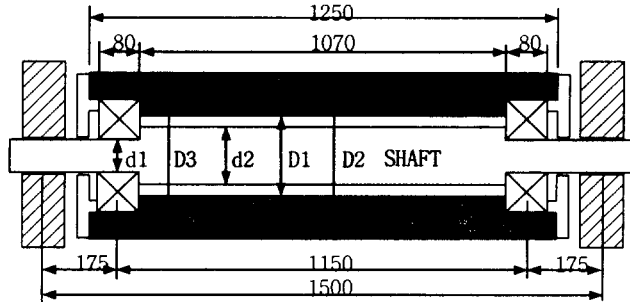
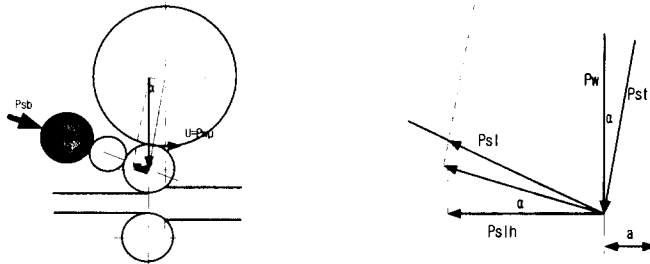


Fig 6. Remodeling Drawing of Support Roller Bearing

상기의 설계조건에서 Fig 7와 같이 S.R.B으로 미치는 하중은 48.87Ton이 작용하였으며 이에 따라 Table 8을 기준으로 Bending량이 2/100mm이내 가능한지 검토하였다.



- P_w : Work Roll 수직 압하력 ()
- P_{str} : Work Roll 중심에서 BUR 중심으로 미치는 힘
- P_{sh} : Support Roller Bearing 방향으로 미치는 힘
- P_{sb} : Support Roller bearing 반력
- U : Work Roll과 BUR의 마찰력 ($= P_w \mu$)
- a : Work Roll 중심과 BUR 중심의 편심량 ($= 63 \sim 80$)

Fig 7. Distribution of Rolling Force

Table 5. Calculation Table of S.R.B Shaft and Shell Diameter

구 분	d2	d1	D2	D1	D3	비 고
CASE 1	140	130	330	170	225	기존 축 및 SRB와 동일 조건
CASE 2	150	140	365	170	225	중간 조건
CASE 3	160	150	400	170	225	SRB의 최대 크기 제한 조건

하중은 Shell이나 Shaft에 24.435Kg(48.87/2)이 작용하여 Node에 균일하게 분포하는 것으로 하여 유한해석법(사용 S/W : PAFEC-FE & PIGS)으로 Bending량을 계산하였는데 Table 6와 같이 적용이 불가능한 것으로 나타났으며 이외의 여러가지 형태로 Roll구조를 변경하여 설계하였으나 48Ton에서 조건내 만족하는 것은 없었다.

Table 6. Calculation Result on S.R.B Bending Amount

구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	비 고
SHAFT 경(d2)	φ 140	φ 150	φ 160	● 허용변위(0.02mm)를 모두 초과
BEARING 지지부 변위(mm)	0.287	0.225	0.179	
구 분	CASE 1	CASE 2	CASE 3	비 고
SHELL 경(d2)	φ 330	φ 365	φ 400	● 허용변위(0.02mm)를 모두 만족
중양의 최대 변위 (mm)	0.0078	0.0054	0.0039	

상기의 방법으로 개조가 불가능하여 차선택으로 I.M.R(Intermediate Roll)을 크롬코팅하여 경도를 78에서 82(HsD)로 상향하여 압연작업에 투입하였으나 초기작업분 3~4코일은 확연하게 발생되었으나 그이후 코일은 아주 미세하게 발생되었다. 그래서 냉연재 작업전 전기강판 2회압연 강종중 1차압연재를 3~4코일 투입하여 작업한후 냉연재를 투입하는 작업단위 최적편성으로 Mark 발생을 확연히 줄일수 있어 제품판매가 가능하였으나 완전히 방지할 수는 없었다.

2.4.4 HSS Roll 적용

전기강판에서 사용되는 W.R(Work Roll)은 Table 7과 같이 2.5%Cr단조강과 HSS Roll의 2종류가 있으며 HSS는 합금원소가 다량함유된 고경도 Roll로, 수년전에 지식변경을 여러번 시험하였으나 연마후 조도가 0.18μm이하로 표면이 너무 미려하여 B.U.R(Back Up Roll)구동방식인 이 압연기에서는 Slip위험이 높고, 미세한 연마Scratch가 잔존하여 일부강종에만 국한되어 사용하고 있는 실정이었다. 그러나 S/M강판의 압연생산성 및 품질향상을 위해 우선 전강재의 연마수준으로 압연에 투입하였으나 연삭불량 Mark가 그대로 제품에 전사되어 나타났다.

Table 7. Characteristics of HSS Roll

구 분	Dia범위(mm)		경도(HsD)		성 분(wt%)					제조특기
	초기	폐기	초기	폐기	C	Cr	W	Mo	V	
HSS Roll	228	193	88	84	1.3	3.9	6.0	4.9	3.1	고합금 POWDER SINTERED ROLL
2.5%Cr W.R	228	193	88	78	0.8	2.5	-	0.3	-	LOW ALLOY FORGED ROLL

그래서 W.R연마기에서 연마된 HSS Roll의 문제점인 빗살무늬 Mark, 떨림Mark와 표면 Scratch 발생 방지를 위해 다시 연마지식 변경시험하였는데 연마지식은 Table 8와 같이 C.B.N 지식을 사용한 경우가 연마품질이 가장 우수하였으나 지식의 회전에 의해 발생하는 미세 빗살무늬 형태의 Mark가 완전히 제거되지 않아서 전문업체에 의뢰하여 연마기 정밀도를 측정하였으며, 그결과 연

마기의 정밀도보다 HSS Roll을 연마할 만큼 지석 Spindle의 축강도가 강하지 않기 때문에 발생 되는 현상으로 결론내렸다.

Table 7. Testing Result of Grinding Wheel on HSS Roll

ROLL	지석 종류	회전속도(rpm)			연마량 (황삭2회, mm)	연마 조도 (μm)	연마 시간 (분)	연마결과
		Wheel	Roll	Table				
2.5%Cr ROLL	SA	1290	60~64	1500~150	0.05	0.30~0.40	45	연삭성, 조도양호하며 약간의 SCRATCH 발생되나 전강재 사용시 문제 없음
HSS Roll	SA	902~963	40~45	1100~150	0.02	0.13~0.17	50~60	조도가 너무 미려하고 연마 시간 과다 소요. 미세 떨림MARK 잔류로 전강재 일부강종 제한적용
"	SSG	902~963	40~45	1100 ~ 165	0.02	0.16~0.20	45~50	SCRATCH, 떨림MARK, 황삭 MARK 잔류로 사용불가
"	CBN	1032 ~1091	60~64	1100 ~ 120	0.03	0.30~0.65	45~50	연삭성과 표면품질이 양호하며 미세 빛살무늬 Mark 발생되나 전강종 사용 (저석 高價)

그래서 상기와 같이 연마방법을 정립하여 S/M강판 압연작업에 투입하여 Table 10과 같이 기존 대비 생산성과 형상품질이 개선되었으며, 또한 앞에서 설명한 S.R.B Mark를 확실히 방지하는 효과가 있었다.

Table 8. Rolling Result of HSS Roll

구분	T/H	두께적중율(%)	급준도(%)	기타
2.5%Cr W.R	12.0	98.5	0.85	S.R.B.Mark 미세 발생
HSS Roll	13.5	99.0	0.75	S.R.B Mark 없음

2.4.5 압연유종 변경으로 탈지성 개선

S/M강판은 탈지미흡으로 청정도가 불량하면 고객사 가공시 에칭불량이 발생되므로 표면상태를 엄격관리하는데 냉연 PCM에서 압연된 강판은 일반적으로 탈지가 양호한데 반해, 전기강판 CRM은 고급방향성 압연시 자성안정화를 위해 강판표면온도를 높이는 온간압연작업을 실시함에 따라 압연유의 부식이 빠르고 고압하에 따른 마모철분이 높게 관리되어 후공정 탈지성에 매우 불리할수 밖에 없다. 그래서 CRM 압연작업 완료후 재공기간을 최대한 단축하여 일일이내에 전해청정설비에 투입될수 있도록 공정관리를 하고 있다. 그러나 생산량이 증가하거나 물류흐름이 원활하지 않을 경우 제품표면에 문제가 발생될수 있으므로 근본적인 탈지성 개선을 위해 Table 12와 같이 압연유 Base Oil의 요오드가를 낮추어 내열안정성을 높여 탈지성을 개선하고 점도를 조정하여 유화

및 압연유회성을 기존과 동등수준으로 유지가능토록 하였으며 현재 Pilot Mill에서 성능시험을 완료하였고 9월중에 현장적용에 들어 갈예정이다.

Table 9. Basic Property of Cold Rolling Oil

구 분		기존유	개량유	특 징
조 성	유 지	40.2	10.2	● 내열안정성 개선 ● 탈지성 개선
	합성에스테르	-	30	
일 반성 상	pH(5%순수)	8.9	8.9	
	점도(50℃)	35	30	● 내 SLIP성
	검화가(mgKOH/g)	120	130	● 유회특성
	요오드가(mgKI/g)	64	31.4	● 내열안정성 개선

3. 결론

Shadow Mask강판은 TV Brown관으로 사용되며, 25인치 평면에 수십만개의 동일한 크기의 구멍을 가공하기 때문에 표면품질이 최고 엄격한 제품임에도 불구하고 전기강판공장의 가역식냉간압연기를 이용하여 압연작업시작점부터 안정적으로 장력제어가 이루어지도록 Parameter를 조정하였고 다분할 형상제어기구Roll의 형태가 제품표면에 그대로 Print됨에 따라 중간oil의 경도상향과 작업롤을 HSS ROLL로 변경하여 전사Mark를 완전히 방지할수 있었고, Idle구동Roll과 Strip과의 속도차에 의해 발생된Scratch는 Roll의 조도를 증가시켜 개선하므로써 양산 조업기술을 확보할수 있었다.

또한 앞으로 고객만족과 대외신뢰도를 더욱 높이기 위해 표면품질의 지속적 개선과 제품실수를 향상이 요구된다.

참고문헌

1. J. Nicicawa, Memorial symposium of 100th rolling theory committee, Tokyo, Japan, ISIJ, pp. 151-163(1994)
2. Mitsuo Hashimoto, Nippon Steel Technical Reports, no.38, pp.66-82(1990).
3. Tetsuro Kawai, Nippon Steel Technical Reports, no.55, pp.57-65(1992).
4. Kazuhito Kenmochi, Sosei-To-Kakou, vol.40, no.457, pp.129-138(1999).
5. B.A.Sartwell, Surface Coatings & Technology, vol. 115, no.1, p.17-23(1999).