

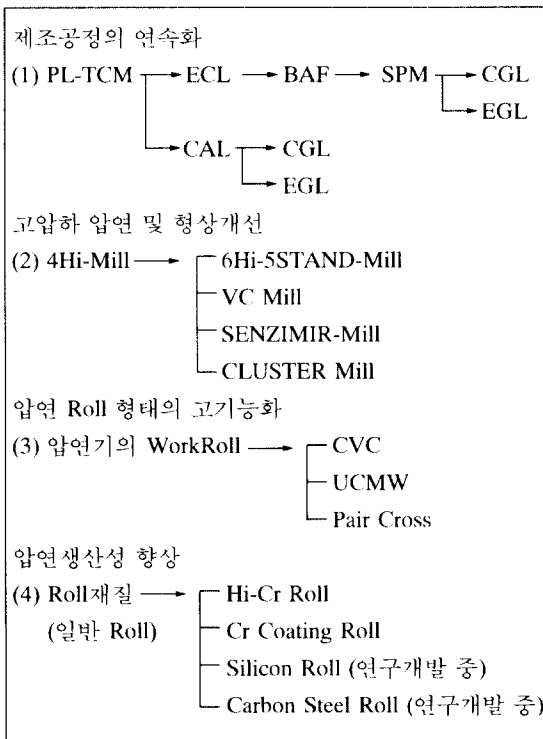
최근 철강용 수용성 냉간압연유의 동향

송 교 봉 부장

범우화학공업(주) 기술연구소 압연기술부

1. 서론

최근 철강산업에서는 생산성과 실수율, 강판표면품질 등을 고도로 향상시키기 위한 여러가지 제조 기술들을 개발해오고 있으며, 압연 설비들을 냉연탄템압연기의 연속화, 후공정과의 직결화, 자동화시키고 고속화, 고능율화시키는 등 기술면에서 눈부신 발전이 거듭되어 왔다.



강판의 냉간압연 공정도 종래에는 극박압연재를 생산하려면 압연 Stand수가 6대가 연속으로 된 탄템압연설비를 기본으로 생각했으나 최근에는 고압하능력을 보유한 6단압연기, Cluster Mill 등이 등장함에 따라 탄템기의 스탠드수가 5대만으로 설계하는 추세이

고, 각계의 별개공정(PL-TCM, ECL, BAF 등)이 점차 한개의 연속 Line으로 통합되어 일체화하는 경향도 나타나고 있다.

한편, 전자산업, 자동차 산업 등과 같은 고정밀 산업의 발달과 함께 강판의 시장수요가 점차 늘어나는 추세에 있으며, 최종 제품표면의 청정성 등 수요가들의 제품표면품질에 대한 요구도 날로 엄격해지고 있다.

따라서, 이와 같은 요구에 부응하여 냉간압연유는 종래보다 극심한 압연하중 및 압연속도 조건하에서도 Roll과 압연강판간의 균일한 윤활피막을 형성시켜 Heat Scratch를 방지시키고, 여러가지 종류의 압연기 특성과 압연조건에 맞는 윤활 및 마찰상태를 부여시켜 안정된 조업을 유지시켜야 한다.

또한, 최근 우리나라뿐만아니라 국제적인 환경 추세에 부응하여 기본적인 압연윤활성 및 미찰특성이외에 작업환경 개선(Mill Clean화, 폐수처리용이성, 생분해성), 보다 우수한 강판표면 품질(Oil Stain, 이물 Mark, 광택성 등)을 생산할 수 있는 특성을 나타내어야 한다. 본 보에서는 이와같은 철강용 냉간압연유의 전반적인 동향에 대해 기술코자 한다.

2. 각 재료별 냉간압연유의 종류

2-1. 일반강용 냉간압연유

2-1-1. 박판용 냉간압연유

BP (0.15~0.2 mm) 및 아연 도금강판(0.5 mm)에 사용되는 대표적인 압연강판은 탄템압연기에서 고속고압하하여 압연된다. 따라서, 여기에 이용되는 압연유는 특히 윤활성이 요구된다.

박판 냉간압연유에는 공급방식에 따라 직접방식과 순환방식의 2가지 방식으로 운영되고 있다.

직접방식은 50~60년대부터 사용된 방식이지만 현재 가장 빠른 2100~2800 mpm의 압연기 속도를 낼수 있는 특성을 갖고 있으며, 압연 Coolant System 특성

에 따라 다소 차이가 있으나 주로 저유동성이 있는 팜 또는 우지를 Plate Out성을 좋게 하기위해 80°C이상의 온수에 10~25%의 농도로 희석하여 교반기에 의해 강제분산시켜, 판표면에 직접 분사하여 사용해 왔다. 이때, 에멀전의 유화안정지수(ESI-15분)를 10~40수준을 유지한다. 이 방식은 항상 신유 또는 재생유를 신액과 같은 상태로 유지 공급하기 때문에 유회상태가 안정하고, 농도 및 분사량 조절에 의해 유회대응이 쉽다. 또한, 저유점의 천연유지를 신액과 같이 사용하여 압연기 주변의 청결성도 우수한 장점을 갖고있다. 그

러나, 사용농도가 높아 압연유 사용량이 많고, 또한 강판을 냉각시키는 냉각수가 많이 사용되므로 폐수처리비용이 높은 단점이 있다.

그러나, 최근에는 저유동점 팜유에 인계극압제나 유회지방산을 첨가하여 유회성을 향상시키거나, 고분자 양이온 유화제의 첨가에 의해 에멀전 입자경크기를 크게하여 강판부착량을 향상시키는 방법에 의해, 저농도에서 유회성을 유지시키거나, 재생장치의 활용에 의해 압연유의 원단위를 감소시키는 성과를 나타내고 있다.

순환방식은 안정된 압연작업과 균일한 표면품질을 위해 직접방식보다 더 많이 사용하고 있으며 압연기에 Hybrid System을 도입한 최고 압연속도는 1900~2300 mpm으로 운영되고 있으며, 통상 압연유의 Coolant온도를 50~60°C, 압연유의 농도 2~5%의 에멀전으로써 사용되고 있다. 종래에 천연유지, 유회지방산, 인계극압제 등을 내 Heat Scratch방지제로써 첨가하고, 여기에 방청첨가제, 산화방지제, 유화제 등을 첨가하는 것이 일반적으로 사용되어 왔다.

이와같은 조성의 압연유는 유회성이 우수하지만, 순환사용시 압연 중 발생하는 마분분이 유분과 결합되어 Scum이라는 점조성 물질이 생성되기 쉽고, 이 오염물질이 Mill Pit 또는 Mill Housing을 부착 오염시킨다. 또한 강판 표면에 떨어져 판표면유회성을 저하

표 1. 직접방식과 순환방식의 장단점 비교

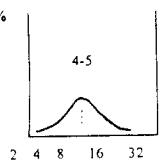
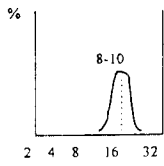
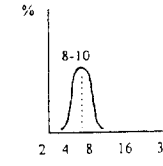
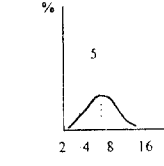
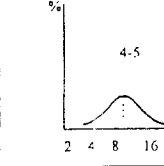

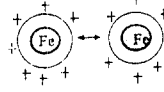
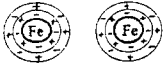
항 목	공급방식	직접방식	순환방식
경제성(원단위)		2~4 l/Ton	0.2~1 l/Ton
작업안정성		×	○
제품의 품위		×	○
고속압연성		○	△
농도 조정성		○	△
Mill 오염성		○	△~○
Coolant System 규모		大	小
수처리 비용		大	小
Spray노즐관리 및 영향성		大	小
재생장치		有	無
Hoffman Filter		有	有
Mg-S		有	有

법례 ○: 양호, △: 보통 ×:불만

표 2. 각종 합성 ESTER의 일반 성상

종류	알콜 GROUP	지방산 GROUP	점도 40°C cSt	점도 40°C cSt	점도 지수	비 중	유동점 (°C)	인화점 (°C)
MONO ESTER	2-에칠 헥사놀	팔미틴산	8.1	2.7	188	0.862	0	204
	"	우지지방산	10.6	3.1	166	0.862	7	
	이소스테아릴 알콜	이소스테아린산	157.2	3.8		0.855	-17.5	215
Di-ESTER	2-에칠 헥사놀	아디핀산	7.7	2.3	177	0.927	-65	192
	"	세바틴산	11.6	3.2	149	0.915	-60	215
	"	아제라인산	10.3	2.9	142	0.918	-57	213
	"	아디핀산	13.9	3.6	151			
Polyol ESTER	네오펜칠 글리콜	2-에칠헥산	8.6	2.4	91		-54	195
	트리메칠올 프로판	카프릴산	17.1	4.0	130		-59	260
	"	C ₈ -C ₁₂ 의 혼합산	19.6	4.3	125	0.947	-40	248
	"	올레인산	48.3	9.2	176	0.916	-30	300
	"	펜타에리스트롤	52.7	7.4	101		-40	279
	"	"	카프릴산	26.3	5.4	144		-4
"	"	올레인산	71.0	12.9	182	0.927	-20	300
Complex ESTER	트리메칠올 프로판	C ₈ C ₁₂ 의 혼합산 +2 염기산	245.0	29.5	159	1.024	-32.5	265

표 3. 압연유제 TYPE별 특성

항목형태	유화형	분산형	Mill Clean형	입자균일형	합성유형
유화입자경	7~12 μm	7~30 μm	4~5 μm	4~6 μm	7~12 μm
유화입자 분포도					
분포형태	BROAD	SHARP	SHARP	BROAD	BROAD
특 징	<ol style="list-style-type: none"> Scum 화가 쉽다. 입자특성  <ol style="list-style-type: none"> 유회성이 좋다. Mill 오염이 많다. 탈지성이 좋다. 	<ol style="list-style-type: none"> 액색상이 검고 철분이 분산되어 있다. 입자 특성  <ol style="list-style-type: none"> 유회성이 좋다. Mill 오염이 많다. 탈지성이 좋다. 	<ol style="list-style-type: none"> 액색상이 희백색 이다. 철분이 침전된다. 유회성이 작고 소둔성이 좋다. Mill 오염이 적다. 탈지성이 좋다. 	<ol style="list-style-type: none"> 액색상이 희백색 이다. 입자 특성  <ol style="list-style-type: none"> 유회성이 부족하다. Mill 오염이 적다. 탈지성이 좋다. 	<ol style="list-style-type: none"> 유회성이 좋다. 소둔성이 좋다. Mill 오염이 적다.
압연유관리	쉽다	어렵다	쉽다	쉽다	쉽다

시켜 때때로 Roll의 흠, 강판에 이물Mark를 발생시키는 원인이 되는 경우도 있다.

최근에는 저용점에서 유회성이 우수한 각종 합성유를 단독, 천연유지와와의 조합 또는 고분자 유회제를 첨가하는 것에 의해 유회성을 향상시켜 더욱 낮은 농도로 압연작업이 가능하게 되었다.

일반적으로 압연성은 압연유의 검화가, 점도 및 Plate Out성과 더불어 상관관계를 갖는다. 한편 Plate Out성은 압연유의 입자경 크기의 영향을 받기 때문에 종래의 박판 압연유는 에멀전 입자경을 가능한 한 크게 조정하는 것이 많아서 때때로 유화불안정에 의해 순환사용시 문제를 일으키는 경우도 많다.

최근에는 고분자분산제, 양이온 또는 비이온 분산제를 이용하여 에멀전의 입자경을 크게하고, 또한 안정화시키는 기술을 접목시켜 새로운 유화 Type의 압연유가 개발사용되어 좋은 결과를 나타내고 있다.

2-1-2. SHEET용 냉간압연유

주로 압연두께 0.4 mm이상으로 작업되는 Sheet용 냉간압연은 대표적으로 자동차강판 또는 도금용원판이 생산되고 있다.

각 지역 유럽, 호주 등지에서는 냉간압연 후 세정을

하지않고 소둔되어지는 재료, 즉 MC재라 불리는 형태로 많이 생산되고 있으며, 일본, 국내에서는 CAL(연속소둔 Line)에 의해 주로 작업되고 있다. 냉연 강판에 부착되어 있는 유분과 철분은 CAL에 연결되어 있는 탈지탱크(Brush Roll, 전해청정장치 등)내에서 세정되며, 탈지액의 오염도를 줄이기위해 Filter장치가 부착이 되어있어 지속적으로 깨끗한 청정성을 유지하도록 노력하고 있다.

한편, 자동차 강판의 외판재로 주로 사용되는 고장력강판 등은 재료의 경질성의 증가 등을 위해 고압압연이 증가되고 있어 박판용 냉간압연유와 동일한 정도의 유회성이 요구되고 있다.

또한, 자동차용 강판은 탄템압연기 또는 가역식 압연기로 생산될 경우, 후공정의 도금성, 표면처리성 등을 고려하여 판면의 조도가 거칠은 것이 요구되고 있으며 이에 따라 최종 압연공정에서 Dull압연(Roll조도가 2~4 μRa max)을 실시하는 경우가 많기 때문에 압연시 마모철분의 발생이 많아져 Roll의 주변오염, 압연기의 주변오염이 크고, 이와같은 오염물질이 떨어짐에 따라 강판의 표면품질에 영향을 받게되므로, Sheet용 냉간압연유는 오염이 적도록 설계하는 것이

필요 조건으로 되어 버렸다.

최근에는 윤활성이 우수하고 저온 유동성이 양호한 각종 합성유를 Base로 이용하고 유화특성을 변화시킴에 따라 종래의 우지계 압연유에 비해 압연기 주변의 오염 및 강판의 표면 청정성이 대폭 개선되고 있다.

한편, 유럽 또는 미국에서는 Mill Clean Sheet용 압연유를 많이 사용하고 있으며, 최근에는 100% 수소분위기하에서 사용되는 소둔로가 소둔시간의 단축,

균일한 제품경도유지, 표면 청정성 향상면에서 애용되고 있으며, Mill Clean성에 대한 조건이 여러가지면(세정설비, Filter설비, 철분제거 설비)으로 개선되어 그결과 열취산성이 우수하고, CBD방지를 위한 첨가제가 들어있는 높은 검화가의 압연유의 사용이 가능하게되어 보다 높은 윤활성을 필요로 하는 압연작업도 원활히 이루어지고 있다.

표 4. 냉간압연유의 조성(대표예)

종류	대표예	화학구조식
광유	스핀들유 기계유 등	C_nH_{2n+2} (파라핀계, 나프텐계, 아로마틱계)
유지	팜유, 우지, 돈지 등	$C_iH_{2i}(COOR)_2$
합성유	지방산 ESTER 펜타에리스리톨 트리메틸올프로판의 부분 ESTER 등	$RCOOR'$ $\begin{matrix} / CH_2OOCR \\ HOH_2C-C-C-CH_2OH \\ \backslash CH_2OOCR \end{matrix}$
극압제	알킬포스페이트 디 알킬포스파이트 알킬포리에틸렌옥시 포스페이트 황화유지 디 벤질디설파이드 폴리설파이드 등	$(RO)_2P=O$ $(RO)_2P=O$ O \parallel CR' $RO(CH_2CH_2O)_n-P-CH$ $R-S \dots S-R$ $벤질-CH_2SSCH_2-벤질$
유성제	고급지방산 고급알콜 석유산화물 등	$RCOOH$ RCH 산, ESTER, 알콜, 산화물 등의 혼합물
점도 지수 향상제	폴리부틸렌 폴리이소부틸렌 등	$H-(CH_2-C \begin{matrix} / CH_3 \\ \backslash CH_3 \end{matrix})_n-CH_2-C \begin{matrix} / CH_2 \\ \backslash CH_2 \end{matrix}$
산화 방지제	2, 6 디터셔리부틸퍼 라크레졸 Zn 디알킬디치오포 스페이트 부틸하드록시톨루엔 등	$t-C_4H_9-벤질-t-C_4H_9$ CH \parallel CH $CH-벤질-CH$ \backslash CH_3 $[(RO)_2PS_2]_2Zn$
방청제	지방아민	RNH_2
유화제	지방아민석검 석유설포산소다 ESTER 계 유화제 ESTER 계 유화제 양이온유화제 고분자분산제 등	$RCOO(H)N(C_2H_4OH)_2$ RSO_3Na $RO(O-CH_2-CH_2)_nOH$ $R(O-CH_2-CH_2)_nOH$

2-2. STAINLESS강용 압연유

스텐레스 강은 변형저항이 높고 Heat Scratch가 발생하기 쉬운것, 제품표면의 광택성과 균일성이 요구되어지기 때문에 Senzimir-Mill등의 소경 Roll을 사용한 압연기에서 압연되어진다. 이 압연기는 중간Roll 구동이기 때문에 Slip이 나타나기 쉽다. 일반적으로 고속의 경우 6.5~8 cSt, 저속의 경우 10~15 cSt 정도의 저점도로 비교적 마찰계수가 높은 비수용성 형태의 압연유가 사용되어진다. 그러나 제품 차별화 차원에서 화재 위험성 등을 고려하여, 냉각성이 우수한 수용성 압연유를 이용한 탠덤 압연기, 가역식 압연기 등의 고속 압연기에서는 광택성을 유지하면서 생산성을 향상시키는 시험이 많이 연구되어지고 있으며, 일부 광택을 중시하지 않는 제품(자동차 배기관 등)과 Senzimir-Mill 등의 압연에 사용되는 원재료로서 이용되고 있다. 수용성 Stainless 압연유의 경우는 대부분 고점도의 합성유를 특수유화제를 사용하여 Base Oil로 이용하고 작은 입자경도를 유지시켜 윤활성과 표면 광택성의 향상을 도모하고 있다.

2-3. 규소강판용 압연유

규소강판은 Si함량이 높아 변형저항이 크고 연신도가 어려운 특징이 있으며, 강판온도를 제품의 전자특

표 5. Stainless수용성 및 비수용성 압연유의 특징

항목	구분	수용성	비수용성
	광택성		△~○
표면오염		△	◎
압연성		◎	△
냉각성		◎	△
점도(40°C)		100~300 cSt	6.5~15 cSt
부착유분		적다	많다
부착철분		많다	적다

법례 ◎:우수 ○:양호 △:보통

성 향상을 위해 가능한 한 높게 압연가공을 하고 있으며, 균일한 표면조도가 요구되고 있다.

압연작업은 Senzimir-Mill이나 Cluster Mill과 같은 소경 Work Roll을 이용하여 압연되어지고 있으며, 최근 생산성 향상을 목적으로 비교적 변형저항이 낮은 재료 등은 대경 Roll을 사용하는 탄템압연기에서 작업되기도 한다.

일본, 유럽, 한국 등에서는 거의 수용성 압연유를 사용하고 있으며, 소경 Roll의 압연기에서는 광유 Base에 유성향상제로써 소량의 지방산, 합성유를 첨가한 에멀전 입자경이 비교적 작은 안정된 유화형 압연유 또는 분산형 압연유가 사용된다.

규소강판용 압연유는 사용온도가 높기 때문에 Base Oil의 내 산화안정성, 내 가수분해성, 유화안정성이 더욱 필요하며, Mill특성상 Slip의 발생이 쉽기 때문에 마찰계수가 비교적 높은 압연유가 이용되고 있다.

한편, 대경 Roll의 압연기 경우에는 압연하중 감소, 표면 균일성, 오염방지 등의 목적으로 천연유지나 고유효 합성유를 Base로 하고, 세정성 및 분산성이 우수한 압연유가 이용되고 있다.

2-4. 고탄소강판용 압연유

고탄소강판도 규소강판과 마찬가지로 변형저항이 높기 때문에 중소경 Roll에 의한 가역식압연기가 주로 이용되고 있으며, 탄템압연기에서도 압연하려는 노력이 지속되고 있다.

그러나, 우리나라에서는 주로 자동차 부품에 많이 이용되고 있고 그 수용량이 크지 않기 때문에 주로 재압연 업체에서 생산을 하고 있다.

이와같은 고탄소강은 재료 특성상 녹(Oil Stain)이 발생되기 쉽기 때문에 압연시 Coil의 온도관리, 수절장치 등의 관리가 중요한 요인이 되며, 가공경화가 쉽기 때문에 용도에 따라 탈지하지않고 중간소둔을 행하는 경우도 있으므로 소둔성 또한 중요한 요소가 된다.

따라서, 압연유의 조성은 광유 Base에 유효첨가제 합성유 등을 첨가하고 특히, 녹발생을 고려한 방청성, Oil Stain방지성이 우수한 첨가제, pH향상제 등이 첨가된 압연유가 사용되어지고 있다.

2-5. 초극박용 압연유

초극박용 강판은 압연두께가 0.15~0.17 mm정도의

아주 얇은 정도를 나타내고 있으며 주로 DCR(Double Reduce Cold Rolling Mill), 또는 DR이라 불리우는 2, 3Stand 압연기에서 작업된다.

세계적으로 DR압연기는 일반 탄템압연기에서 작업된 강판을 소둔하여 재압연하는 형태로 이용되고 있으며 통상 Skin Pass라 불리우는 조절압연과 겸용으로 사용되고 있다.

일본지역에서는 1965년부터 이 작업을 수행하여 왔고 구미, 유럽지역에서도 냉연제품의 고부가가치 창출을 위해 압연이 실시되고 있으며, 주로 AL 캔과 경쟁이 치열한 음료수시장의 대부분을 점유하고 있다.

DCR제품은 음료수 캔, 세도우 Mask, Amber 등의 초극박의 제품을 요하는 곳에 사용되며, 현재에는 그 수용량이 크게 많지않아 일본지역의 경우 압연기 가동율이 60~70% 수준에 이르고 있다.

DCR용 압연유는 초극 박압연의 고유효 냉간압연유가 이용되기 때문에 Base Oil로써 우지, 액상 팜유에 의존하고 있는 경우가 많으나, 최근에는 일반냉간 압연유와 같이 내오염성, 고유효성을 부여하기 위해 합성유가 Base Oil로 사용되기도 한다.

압연유의 공급방식은 직접방식(Direct)과 순환방식(Recirculation)이 모두 가동되고 있다.

유효성과 식품 Can의 위생성을 요구하는 분야에서는 아직까지는 천연유지의 직접방식이 많이 이용되고 있으나, 향후 합성유 Base Oil의 순환방식으로 전환될 것으로 보인다.

DCR압연의 경우, 압연유의 판표면 품질에 영향을 주로 Mottling, 선상 Stain 등의 관리가 특히 중요하다. 그 이유는 DCR제품의 후공정이 주로 Cr도금된 Tin-free Steel이기 때문이다.

따라서, DCR압연유는 에멀전 크기가 작고 Sharp한 입자경분포를 가지면서도 유효성이 요구되는 특성에 압연유의 Plat Out성, 균일한 분산성이 우수한 유화제의 선택이 중요하다.

3. 맺음말

서론에서 언급된 바와 같이 철강산업의 비약적 발전과 더불어 국내 압연회사에서도 종래 압연유의 문제점, 즉 Scum 누적에 의한 노동환경, 화재 또는 경시 변화에 따른 압연 안정성 등을 고려하여 합성유 Base의 압연유, 유화분산성이 우수하여 Mill청정성을 유

지할수 있는 압연유가 개발되어 좋은 성과를 나타내고 있다.

그러나, 합성유 자체는 일반 천연유지에 비해 유동점 저하, 윤활성 향상, 고온열산화안정성이 우수한 반면 가격이 2~3배 이상 비싸기 때문에 압연유 설계시에 적정품질 및 가격 설정이 필요하다고 생각된다.

또한, 압연기 작업조건, Coolant System, 사용 공업용수 수질 등에 적합하게 설계하고, 후공정에 악영향을 미치지 말아야 한다.

따라서, 향후 21C형 냉간압연유는 환경에 미치는 악영향이 적고, 폐수처리가 용이하며, 관리가 쉽고, 고윤활성을 가지며, 후공정에 좋은 품질을 낼수 있는

압연유만이 고객을 만족시키는 압연유이며, 국제 경쟁력에서 살아남을수 있는 압연유라 생각한다.

참 고 문 헌

1. 최대영; 윤활강습회 교재9회, P.127, 1993.
2. 최대영; 윤활강습회 교재 12회, P.119, 1996.
3. 소성과 가공(일본소성가공학회지) 제36권 제417호 (1995-10).
4. 한석영, 송교봉, 이준정; 기유와 극압제가 압연유의 윤활성 및 내소부성에 미치는 영향, 대한기계학회 제 6권 제7호, P.1365,1992