한국윤활학회지(1997), 제13권 제2호
Journal of KSTLE(1997) Vol. 13, No. 2, pp.74~81

윤활성 및 압연기 청정성을 겸비한 냉간 압연유의 개발

한석영 · 송교봉* · 이준정**

한양대학교 기계공학부
*범우화학공업주식회사 기술연구소
**포항산업과학연구원

Development of a Cold Rolling Oil with Lubricity and Mill Cleanness Property

S. Y. Han*, K. B. Song and J. J. Yi*****

Department of Mechanical Engineering, Hanyang University
**BumWoo Institute of Technology Research*
***Research Institute of Industrial Science & Techanology*

Abstract—The purpose of this study is to develop a cold rolling oil with lubricity and mill cleanness property under the rolling conditions of high reduction ratio and high rolling speed. Six kinds of oil samples were blended. Evaluation of lubricity and anti-seizure property of the samples were carried out with a laboratory scale rolling mill, where the contact conditions between work roll and strip are very close to actual cold rolling mill. Laboratory evaluation for dispersion, contamination, anti-oil stain property and residual carbon, etc. were carried out with several testers such as long-term circulation tester, Coulter counter and Conradson tester. A new high speed cold rolling oil with good lubricity and mill cleanness property was developed compared with the previously developed rolling oil.

Key words—added carbon content, ε monophase, polyphase, delamination.

1. 서 론

최근 아연도금 및 자동차 산업으로부터의 박판소재에 대한 요구와 생산성 향상을 위한 연속소둔라인(Continuous Annealing Line) 등의 강판 제조의 연속화 설비 보급에 따른 고압하율의 필요성, 전자산업 분야의 고경도이면서 극박판 소재의 요구, 최종 제품 표면의 청정성 등 수요자들의 고압하율 및 제품 표면 품질에 대한 요구가 날로 증대됨에 따라 고압하율 및 고속 압연조건하에서 사용가능한 고속 냉간 압연유의 개발[1]이 활발히 진행되고 있다. 또한, 작업환경의 개선을 위한 압연기의 청정화, 압연 중 발생되는 스컴(scum)량의 극소화 및 처리용이성, 생산제품의 공정 단축에 의한 에너지 성력화, 제품의 표면품질 결함의 극소화, 균일한 에멀션(emulsion) 입자경 유지에 의한 고속압연에서의 조업 안정성, 전기청정라인(Electrical Cleaning Line) 및 연속소둔라인의 정체시 발생되는 습식얼룩(stain) 방지가 수용성 고속 냉간 압연유 개발의 주요 목표가 되고 있다.

본 연구에서는 전에 얻은 연구결과[2]로부터 개발된 고속 냉간 압연유를 비교유로 하여 윤활성과 내소부성을 비교유의 동등수준 이상으로 유지하면서 여기에 내오염성(압연기 청정성), 분산성, 내항유화성, 산화안정성, 내오일스테인(oil stain)성 그리고 소둔성(잔류탄소량) 등을 향상시킴으로써 기능적으로 우수한 수용성 고속 냉간 압연유를 개발하고자 하였다. 2단계로 나누어 각 단계당 3종의 시험유를 조제한 후 각각의 시험유에 대한 원유의 기본적인 성질과 농도 5

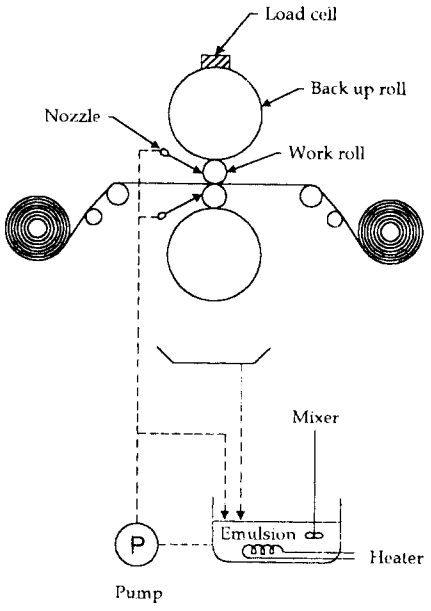

Fig. 1. Schematic diagram of a laboratory scale mill.

wt%의 에멀션 상태에서의 내오염성, 분산성, 내항유화성, 산화안정성, 내오일스테인성 및 소둔성(잔류탄소량) 등을 실험실적 실험장치로 평가하고 실제의 압연조건과 유사한 냉간 시험압연기를 이용하여 윤활성 및 내소부성에 대한 평가실험을 수행하였다. 본 평가실험에 사용된 시험압연기는 압하배분, 압연 떨림(chattering), 장력 제어, 압연윤활 특성, 압연재 형상 제어, 이주속 압연특성 등을 시험할 수 있는 다목적 냉간압연기로서 그 구조와 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다.

Table 1. The specification of a laboratory scale mill

Mill Type	4 Hi Reverse Mill
Max. Rolling Force	2.94 MN
Max. Tension	39200 N
Max. Rolling Speed	200 mpm
Work Roll Dia.	100 mm, 200 mm
Work Roll Barrel	470 mm
Coil Specification	
·Inside Dia.	508.6 mm
·Max. Outside Dia.	1250 mm
·Max. Coil Weight	19600 N
·Max. Strip Width	350 mm
·Max. Strip Thickness	5 mm
Lubrication System	
·Type	Recirculation
·Tank Capacity	3000 liters
·Max. Spray Capacity	250 liters/min
·Temperature	30-60°C
·Speed of Revolution of Agitator	1800 rpm

2. 시료의 선정 및 시험유의 구성

시료의 종류[3]는 기유, 지방산, 극압제, 유화제, 산화방지제 및 오일스테인 방지제 등으로 나누어 기유는 천연유지인 우지와 팜유, 합성유인 힌더드 에스테르(hindered ester)와 트리메칠올 프로판 에스테르(TMP-Tri ester)류를 선택하였으며, 지방산으로는 스테아린산, 라우린산, 우지지방산, 오레인산, 다이머산, 이소스테아린산 등의 고급지방산과 폴리(poly) 지방산 등을 선택하였다. 극압제로는 인계 극압제로서 트리메탄올 아민의 인산염 유도체, 아연 디치오 인산염(Zinc dithio phosphate), 트리알킬 인산염(Trialkyl phosphate), 디옥타데실 하이드로젠 인산염(Dioctadecyl-hydrogen phosphate) 등을, 황계 극압제로는 황화유지, 디도데실 트리설파이드(Didodecyl trisulfide), 디벤질 펜타설파이드(Dibenzyl pentasulfide)와 같이 방향족 혹은 알킬그룹에 C-S, -S-S-, -S-S-S-의 구조를 갖는 극압제를 선택하였다.

유화제로는, 비이온의 경우에는 폴리옥시에칠렌(polyoxyethylene) 알킬 에스테르, 솔비탄 알킬 에스테르, 알킬인산 에스테르, 스테아릴 알콜 에칠렌 산화 부가물을, 양이온의 경우에는 알킬아민(alkyl amine) 유도체를, 고분자 분산제의 경우는 스틸렌 아민 블록 코폴리머(styrene-amine block copolymer) 등을 사용하였다.

오일스테인 방지제로는 비철금속(Al, Cu 등)에 이용되고 있는 벤젠유도체 화합물을 사용하였으며, 산화방지제로는 페놀계와 황계 산화방지제로 나누어 페놀계 고온 산화방지제로는 비스 페놀계 즉 2,6-디-sec-부틸파라크레졸, 2,6-디-tert-부틸파라크레졸, 2,2'-메틸렌-비스-(4-메틸-6-tert-부틸페놀), 1,3,5-트리메칠-2,4,6-트리스-(3,5-디-tert부틸-4-히드록시 벤질) 벤젠 등을 선택하였으며, 황계 산화방지제로는 벤조트리아졸의 혼합물, 폴리 알킬 설포네이트 등을 선택하였다.

본 연구에서 사용한 시험유는 윤활성 및 내소부성은 물론 내오염성, 분산성, 내항유화성, 산화안정성, 내오일스테인성 및 소둔성 등의 기능성을 부여하기 위하여 위에 기술한 시료 중에서 기유 7종, 지방산 2종, 극압제 5종, 유화제 3종, 산화방지제 2종 및 오일

Table 2. The compositions of test oils

Test Oils	SE-0	SE-1	SE-2	SE-3	SE-4	SE-5	SE-6	Remarks
Tallow	61.9							
Palm		42	49.6	57.7	29.6	24.4	25.0	
Hindered (A)	19	20	20	20	20	20	20	
TMP (B)		20						
〃 (C)					27.3			
〃 (D)						26.7		
〃 (E)							26.3	
Nonion Emulsiffier	4.8	2.4	3.5	3.2	4.5	4.4	3.2	
Cation Emulsiffier			2.9			0.7	1.3	
High polymer dispersant			3.5		2	2	2	
Anti-oxidant (F)	0.9	0.5	1.5		1.4	1.4	0.7	Phenol type
" (G)		0.5	2.9	0.3	0.7	0.7	0.7	Sulfur type
Fatty acid(long chain)	4.8	2	2	2	2	2	2	
Poly fatty acid		3	3	3	3	3	3	
E.P. Additive (H)	0.9	0.5	2.3	0.5	1.4	1.3	1.3	P-type
〃 (I)		1	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	P-type
〃 (J)	7.7	8.1	8.1	8	2.7	10.7	10.5	S-type
〃 (K)				4.6				S,P-type
〃 (L)					4	1.3	2.6	S-type
Rust prevent agent (L)					0.7	0.4	0.4	
〃 (M)						0.3	0.3	

*P-type and S-type indicate phosphorous type and sulfur type, respectively.

스테인 방지제 2종을 선정하여 각 시료의 종류 및 함량에 따른 영향을 조사하기 위하여 2단계로 나누어 총 6종의 시험유를 조제하였으며 시험유 각각에 대한 조성 및 기본 성상을 Table 2와 3에 나타내었다.

1 단계의 시험유 SE-1, 2 그리고 3은 비교유의 윤활성 및 내소부성을 유지하면서 기능부여 즉 내오염성,

Table 3. The basic properties of test oils

Test Oils	SE-0	SE-1	SE-2	SE-3	SE-4	SE-5	SE-6	Remarks
Viscosity ($50^{\circ}C$, cSt)	43	42	46	42	38	43	44	
SV (KOH mg/g)	195	203	202	195	205	205	205	Saponification Value
AV (KOH mg/g)	16	17	18	15	15	15	15	Acidity Value
ESI-30*	87	76	76	72	68	69	79	5000 rpm × 10 min stop after 30 min.
Specific gravity ($50^{\circ}C$)	0.89	0.9	0.89	0.89	0.89	0.89	0.9	
Emulsion size	9.2	10.8	10.8	11	11.4	12.1	9.7	5000 rpm × 10 min
Pour point ($^{\circ}C$)	5	8.5	9	5	5.5	6	5	
pH (5 wt%)	4.7	3.5	4.2	4	3.7	3.8	3.9	
Extreme pressure property (lb)	130 200	160 250	160 250	160 315	200 250	160 250	160 250	

*ESI: Emulsion Stability Index

$$\text{ESI-30} = \frac{\text{초기 농도} - \text{30분 정치후 하부 농도}}{\text{초기 농도}} (\%)$$

분산성, 내항유화성 및 산화안정성 등을 고려하여 구성하였다. SE-1은 천연유지인 팜유와 저점도 합성유를 혼용한 기유에 각 시료를 변경하여 구성하였으며, SE-2와 3은 SE-1의 조성을 참조하여 SE-2는 양이온 및 고분자 분산제, 산화방지제와 극압제의 함량을 조정하여 구성하였고, SE-3은 산화방지제의 종류 및 복합 극압제의 함량을 조정하여 구성하였다.

2단계의 시험유 SE-4, 5 그리고 6은 1단계의 윤활성, 내소부성 및 기능성에 대한 평가결과를 바탕으로 저점도 합성유 첨가에 의한 소둔성 및 내오염성의 향상, 합성유와 황계 극압제의 조정에 의한 윤활성 및 내소부성의 향상, 오일스테인 방지제, 산화방지제, 그리고 유화제의 함량 등을 변화시켜 구성하였다. 시험유 모두 저점도 합성유의 함량을 증가시켰으며, SE-5와 6은 양이온 유화제의 함량을 증가시키고 윤활성의 향상을 위해 황계 극압제의 함량을 증가시켰으며, 오일스테인 방지제의 종류를 변경하였다. 또한 SE-6은 산화방지제의 함량을 조정하여 구성하였다.

3. 실험방법

3-1. 윤활성 및 내소부성 평가방법

시험유에 대한 윤활성 평가는 지름 100 mm의 작업롤을 사용하여 SPCC 강종의 두께 2.2 mm, 폭 145 mm의 압연재를 두께 2.0 mm로 균일하게 압연한 후 압연속도 15 mpm (meters per minute), 압연유량 120 liters/min, 전방장력은 입측두께에 따른 변형저항의 15%, 후방장력은 전방장력의 25-50%로 고정하고, 압연하중을 극압상태를 부여할 수 있는 55-60 ton으로 유지하면서 압하율이 90%가 되는 두께까지 반복압연하여 패스 수에 따른 마찰계수의 변화를 검토하였다. 압하율이 90% 가까이 되면 작업롤의 편평변형이 심하게 일어나 두께의 변화가 거의 없어 마찰계수의 변화로 윤활성을 비교하기가 어렵기 때문이다. 마찰계수는 Brand & Ford의 압연하중식[4]으로부터 역산하여 구하였으며 시험유는 물에 희석하여 압연유 온도를 50-55°C, 농도는 5 wt%로 유지하였고 압연유의 분사위치는 윤활성을 충분히 주기 위하여 Fig. 2(a)와 같이 롤 바이트(roll bite)에 직접 분사되도록 노즐각도를 조정하였다.

내소부성 평가는 지름 100 mm의 작업롤을 사용하여 윤활성 평가 실험시와 동일한 소재를 압하율 50%로, 전방장력을 21.56 kN, 후방장력을 7.84 kN으로 하여 압연속도를 40 mpm부터 10 mpm씩 증가시키면서 80 mpm까지 3분간씩 압연하였으며 2분간씩 공랭하였다. 시험유는 물에 희석하여 압연유 온도를 50-55°C, 농도는 5 wt%로 유지하였고 압연유는 중앙부분의 한 개의 노즐만을 이용하여 상하에서 노즐당 1.9 liters/min로 분사되도록 조정하였으며, 압연유의 분사위치는 히트 스크래치의 발생이 용이하도록 작업롤의 온도를 올리기 위하여 Fig. 2(b)와 같이 압연재에만 분사되도록 어드저스터블 조인트(adjustable joint)로 조정하였다. 압연이 끝난 후 각각의 압연속도가 3분되는 지점에서 길이 15 cm의 시편을 채취하여 현미경 관찰을 실시하였다.

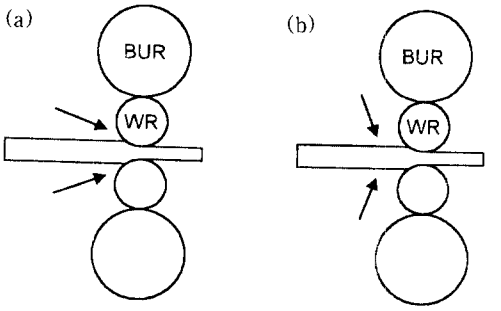

Fig. 2. The injection angle of rolling oil for (a) lubricity estimation (b) anti-seizure estimation.

3-2. 내오염성, 분산성 및 내항유화성 평가방법

내오염성 평가방법은 시험유를 공업용수 (전기전도도: 90 μs/cm, 총경도: 60 ppm)에 5 wt% 에멀션으로 희석하여 Fig. 3과 같은 순환펌프가 부착된 20리터 조에 충진한 후 여기에 200 Å의 활성철분을 300 ppm 넣어 50°C에서 72시간 순환시키면서 시간별(12, 24, 48, 72시간)로 조 벽의 오염상태를 관찰하였다. 이것은 압연유로 인한 압연기 주위의 오염정도를 모사하기 위한 평가방법이다.

분산성 평가방법은 위의 방법으로 72시간 순환시킨 후 실린더에 시료 100 ml를 받아 일정시간 유지하면 위에 스컴이 뜨게 되는데 분산성이 양호할 수록 흔들어주면 바로 스컴이 에멀션 속으로 쉽게 재분산되어 녹아들어가게 된다. 이것은 압연유 조의 교반기(agitator)에 의해 스컴이 에멀션내에 균일하게 재분산되는 정도를 측정하기 위함이며 또한 압연기에 오염된 스컴을 제거할 때 얼마나 용이하게 제거되는 가를 평가

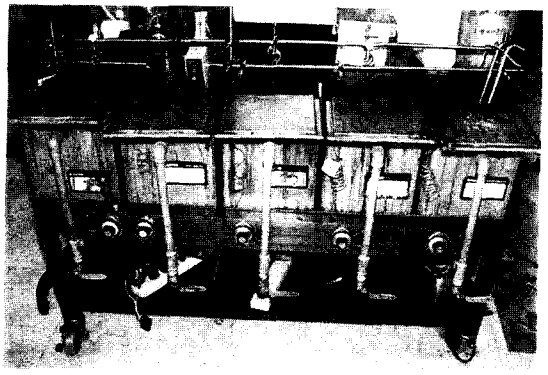

Fig. 3. Long-term circulation tester.

하는 방법이 된다.

내항유화성 평가방법(ASTM D-2711)은 Fig. 3의 시험기에 각각의 시험유를 농도 5 wt% 에멀션으로 희석하고 여기에 현재 압연기에 사용되고 있는 모그유(Morg oil: 점도 2000 cst, 40°C)를 압연유 대비 30 wt%를 첨가하여 3시간 경과후 검화가의 저하된 정도로 평가하였다. 이것은 압연시 압연기의 작동유인 모그유가 압연유에 혼입됨에 따라 윤활성이 열화되는 정도를 측정하기 위한 것이다.

3-3. 산화안정성, 내오일스테인성 및 소둔성 평가방법

산화안정성 평가방법은 시험유 100 g을 철가루(iron chip)와 혼합하여 충분히 젖게한 후 120°C로 유지된 항온조(Fig. 4 참조)에 10, 15, 20시간을 유지하면서 그 때의 점도변화로 평가하였다. 점도의 저하가 작을수록 산화안정성이 양호한 것으로 평가하였다.

내오일스테인성 평가는 SPCC재(8×12 cm) 표면위에 시험유 0.5 g을 적하한 후, 2매를 서로 중첩시키고 100 g의 분동을 그 위에 올려놓고 이 시편을 항온조에서 80°C로 24시간을 유지시킨 후 표면의 얼룩상태를 관찰하였다. 이것은 강판이 코일상태로 권취되어 있을 때 발생할 수 있는 오일에 의한 얼룩을 모사하기 위한 것이다.

소둔성(잔류탄소량) 평가는 시험유 10 g을 용기에 넣어 Fig. 5와 같은 콘라드슨(Conradson) 잔류탄소 시험기에 넣은 후 KS 시험법(M2017)에 따라 30분간 유지시킨 후 잔류탄소량을 3회 반복 측정하여 산출한 평균값으로 평가하였다. 잔류탄소량이 많을 수록 소둔성이 불량한 것으로 평가하였다.

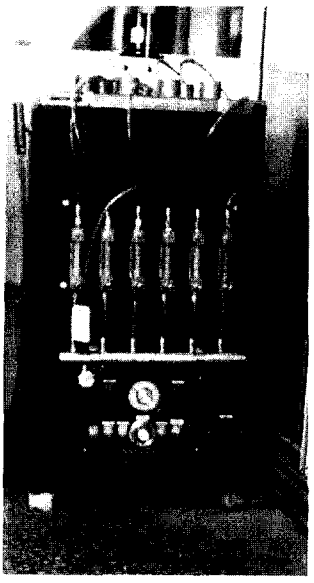

Fig. 4. Oxidation stability tester.

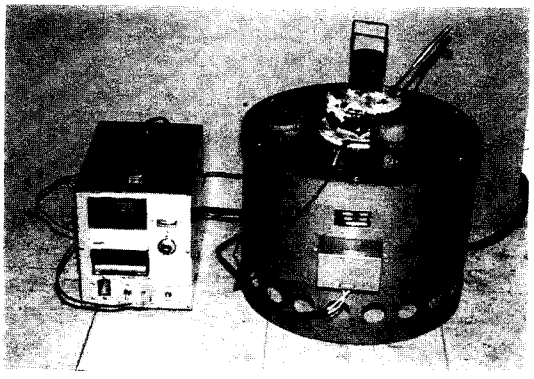

Fig. 5. Carbon residual tester (Conradson method).

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 윤활성 및 내소부성 평가결과

시험유 SE-1, 2 그리고 3에 대한 윤활성 평가를 위한 압연조건은 전방장력을 입측두께에 따른 변형저항의 15%, 후방장력을 전방장력의 50 %로 고정하고 압연하중을 극압상태를 부여할 수 있는 60 ton으로 유지하면서 압하율이 90%가 되는 두께까지 반복압연하여 패스 수에 따른 마찰계수의 변화를 검토하였으며 Fig. 6에 결과를 나타내었다. 또한, 냉간 시험압연기를 통한 내소부성 평가 실험결과는 Table 4에 나타내었다.

실험결과로부터 SE-1은 비교유에 비해 윤활성이

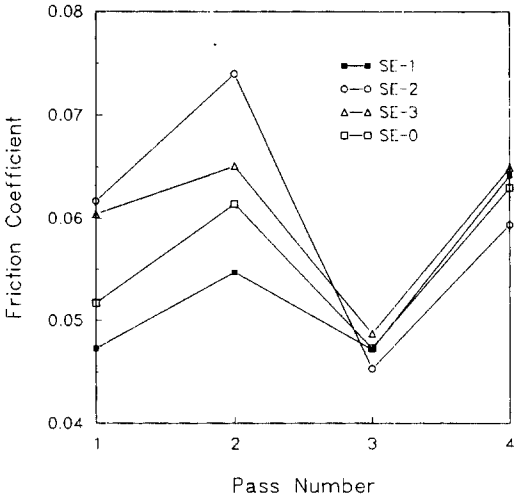

Fig. 6 Comparison of friction coefficient between SE-1, SE-2, SE-3 and SE-0.

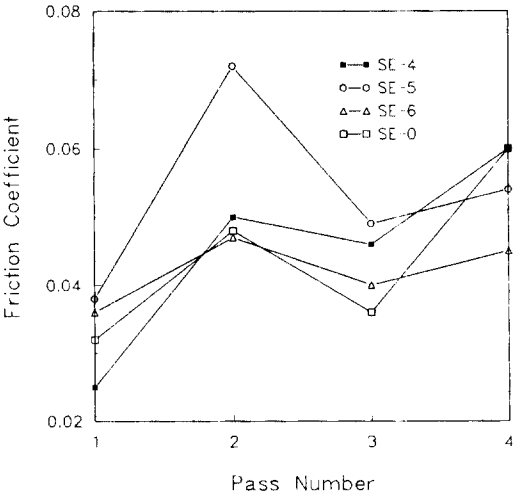

Fig. 7. Comparison of friction coefficient between SE-4, SE-5, SE-6 and SE-0.

양호한 결과를 보였으며, SE-2와 3은 복합 극압제를 포함한 극압제의 함량이 증가함에 따라 에멀션이 불안정하게 되어 유수분리 현상이 발생되었으며 그 결과 비교유에 비해 윤활성이 저하되는 결과[5,6]를 나타내었다. 그러나 내소부성은 시험유 모두 다소 향상된 결과를 보였다.

1 단계의 윤활성, 내소부성 및 기능성에 대한 평가 결과를 바탕으로 저점도 합성유 첨가에 의한 소둔성 및 내오염성의 향상, 합성유와 황계 극압제의 조정에 의한 윤활성 및 내소부성의 향상, 오일스테인 방지제, 산화방지제, 그리고 유화제의 함량 등을 변화시킨 시험유 SE-4, 5, 그리고 6에 대한 윤활성 평가를 위한 압연조건은 전방장력을 입측두께에 따른 변형저항의 15%, 후방장력을 전방장력의 25%로 고정하고 압연하중을 극압상태를 부여할 수 있는 55 ton으로 유지하면서 압하율이 90%가 되는 두께까지 반복압연하여 패스수에 따른 마찰계수의 변화를 검토하였으며 그 결과를 Fig. 7에 나타내었다. 또한, 냉간 시험압연기를 통한 내소부성 평가 실험결과는 Table 5에 나타내었다.

위의 결과로부터 SE-4, 5, 6 모두 비교유에 비해 윤활성의 향상은 없었으나 SE-6은 비교유와 비슷한 수준의 윤활성을 보였으며, 내소부성은 시험유 모두 우수한 결과를 나타내었다.

4-2. 내오염성, 분산성 및 내항유화성 평가결과

내오염성, 분산성 및 내항유화성 등에 대한 결과를 Table 6에 나타내었다. 내오염성은 압연기 청정성 및 정비작업성 등의 개선을 위하여 양이온 및 고분자 분산제를 적용한 SE-2, 5, 그리고 6에서 우수하게 나타났으며, 양이온 유화제를 포함하지 않은 SE-1, 3, 그리고 4에서는 다소 떨어지는 결과를 나타내었다.

분산성은 양이온과 고분자의 함량이 많은 SE-2와 6에서 매우 우수하게 나타났으며 양이온 유화제의 함량이 다소 적은 SE-5는 양호한 결과를 나타내었다. 또한, 내항유화성은 양이온이나 고분자 분산제가 들어

Table 4. The results of anti-seizure property evaluation

Test Oils	Rolling Speed (mpm) 40	50	60	70	80
SE-0	○	○	•	●	●
SE-1	○	○	○	•	◉
SE-2	○	○	•	◉	●
SE-3	○	○	•	◉	●

○ Heat scratch not occurred • ◉● Heat scratch occurred

Table 5. The results of anti-seizure property evaluation

Test Oils	Rolling Speed (mpm) 40	50	60	70	80
SE-0	○	○	•	●	●
SE-4	○	○	○	•	◉
SE-5	○	○	○	◉	●
SE-6	○	○	•	◉	●

○ Heat scratch not occurred • ◉● Heat scratch occurred

Table 6. The experimental results for dispersion, contamination and demulsibility of test oils

Test Oils	SE-0	SE-1	SE-2	SE-3	SE-4	SE-5	SE-6
Dispersion	×	△	◎	○	○	○	◎
Contamination	○	○	◎	○	○	◎	◎
Demulsibility	△	△	◎	△	○	◎	◎

*◎—○—△—X
better <-------> worse

있는 SE-2, 4, 5 그리고 6 등에서 양호한 결과를 나타냈으며 특히 양이온과 고분자 분산제가 포함되지 않은 SE-1과 3에서 매우 떨어진 결과를 나타내었다.

따라서, 이상의 결과로부터 내오염성, 분산성 그리고 내항유화성의 향상을 위해서는 양이온 및 고분자 분산제를 혼용하여 사용하는 것이 효과적이며 특히 양이온 유화제의 영향이 매우 크다는 것을 알 수 있었다.

4-3. 산화안정성, 내오일스테인성 및 소둔성 평가 결과

산화안정성 및 내오일스테인성 그리고 소둔성(잔류탄소량) 등에 대한 결과를 Table 7에 나타내었다. 산화안정성은 황계와 페놀계의 산화방지제를 혼용한 SE-1, 4, 5, 그리고 6이 매우 우수한 효과를 나타냈으며, 황계와 페놀계의 산화방지제를 다량사용한 SE-2와 황계 산화방지제를 단독사용한 SE-3 에서 다소 떨어진 결과를 나타내었다. 따라서 산화안정성의 향상을 위해서는 황계와 페놀계의 산화방지제를 혼용사용하고 적정량을 사용하는 것이 효과적[7]임을 알 수 있었다.

내오일스테인성은 오일스테인 방지제 2종을 혼용한 SE-5와 6에서 매우 우수한 효과를 보였으며 단독사용한 SE-4에서 양호, 전혀 사용하지 않은 SE-1, 2, 그리고 3에서 불량한 결과를 나타내었다. 따라서 내오일스테인성의 향상을 위해서는 오일스테인 방지제 2종을 혼용사용하는 것이 효과적[8]임을 알 수 있었다.

Table 7. The experimental results for oxidation stability, rust prevent property and residual carbon of test oils

Test Oils	SE-0	SE-1	SE-2	SE-3	SE-4	SE-5	SE-6
Oxidation stability property	○	◎	△	△	◎	◎	◎
Rust prevent property	△	○-△	◎-○	○-△	○	◎	◎
Residual carbon (%)	0.28	0.20	0.28	0.30	0.16	0.18	0.15

*◎—○—△—X
better <-------> worse

잔류탄소량(소둔성)의 측정결과 합성유의 함량이 적은 SE-2와 3에서 잔류탄소량이 많았으며 합성유의 함량이 많은 SE-1, 4, 5 그리고 6에서 잔류탄소량이 감소하였다. 또한 같은 합성유에 있어서는 탄소사슬(carbon chain)의 길이가 짧을수록 잔류탄소량이 감소하는 결과를 나타내었다. 따라서, 소둔성의 향상을 위해서는 천연유지에 탄소사슬이 짧고 융점이 낮은 합성유를 혼용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다.

5. 결 론

조성이 다른 총 6종의 시험유에 대한 윤활성, 내소부성, 내오염성, 분산성, 내항유화성, 산화안정성, 내오일스테인성 그리고 소둔성 등에 대한 평가 실험을 수행한 결과, 내오염성, 분산성 및 내항유화성을 향상시키기 위해서는 잔류탄소가 적고 융점이 낮은 합성유를 천연유지와 혼용한 기유에 양이온 유화제 및 고분자 분산제를 적용하는 것이 효과적이며, 산화안정성의 향상을 위해서는 황계와 페놀계의 산화방지제를 혼용사용하고 적정량을 사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 또한 내오일스테인성의 향상을 위해서는 오일스테인 방지제를 혼용사용하는 것이 효과적임을 알 수 있었으며, 소둔성의 향상을 위해서는 천연유지에 탄소사슬이 짧고 융점이 낮은 합성유를 혼용하는 것이 효과적임을 알 수 있었다. 위에 기술한 평가실험을 통하여 윤활성, 내소부성 및 기능성이 우수한 고속 냉간 압연유를 개발하였다.

참 고 문 헌

1. 岩崎 芳明, 堀 恭平, "강의 열간, 냉간압연유의 최근 과제," 제148회 소성가공 심포지움, 1992. pp. 71-81.
2. 산업과학기술연구소, "고속 냉간 압연유의 개발(I)," 범우화학공업주식회사 위탁과제 연구결과보고서, 1991. 7.
3. 김주항, "Water Soluble Type의 Cold Strip Rolling Oil," 윤활학회지, 제5권, 제2호, 1989, pp. 21-31.
4. Brand, D. R. and Ford, H., "The Calculation of Roll Force and Torque in Cold Strip Rolling with Tensions," Proc. I. Mech. E., Vol. 158, p. 174.

5. 小松崎茂樹, 上松 翁, 奈良原 俊和, "극압제/油 Emulsion의 윤활성능," 소성과 가공, 제30권, 제337호, 1989, pp. 242-245.
6. Kunio Tsuji, Seiji Ban, Tomiharu Matsushita, Shigeharu Itoh, Yasumasa Inoue, "밀크린성이 있는 극박 강판의 냉간압연용 윤활유의 시작," 소성과 가공, 제21권, 제228호, 1980, pp. 67-72.
7. 劍持一仁, 阿部英夫, 佐夕木徹, 伊東統一, 永森弘之, 松田弘之, "금속재료의 냉간 압연용 윤활유," 가와데즈 제철소, 특허출원 공개 昭61(1986)-213296.
8. 太田 一强, 工藤宣顔, "금속 또는 합금의 압연가공에 대한 4단 냉간압연기용 압연유," 일본광업주식회사, 특허출원 공개 昭62(1987)-285991.