

〈論 文〉

# 기유와 극압제가 압연유의 윤활성 및 내소부성에 미치는 영향

한석영\* · 송교봉\*\* · 이준정\*

(1992년 3월 23일 접수)

## Influence of Base Oils and Extreme Pressure Additives on Lubricity and Anti-Seizure Property of Lubricant in Cold Rolling

S.Y. Han · K.B. Song and · J.J. Yi

**Key Words :** Lubricity(윤활성), Anti-Seizure Property(내소부성), Lubricant(압연유), Cold Rolling(냉각압연), Extreme Pressure Additives(극압제)

### Abstract

The effects on lubricity and the anti-seizure property of lubricant according to base oils and extreme pressure additives of sulfur type and phosphorous type in cold rolling were evaluated by a laboratory scale rolling mill, where the contact conditions between work roll and strip are very close to actual cold rolling mill. The important results were obtained as follows : (1) synthetic oil has better effect on lubricity than tallow, (2) lubricant with extreme pressure additives of sulfur type of phosphorous type has better effect than base oil only, (3) the more amount of extreme pressure additives is, the better effect on lubricity is, (4) sulfur type has better effect on lubricity than phosphorous type and (6) phosphorous type has better effect on anti-seizure property than sulfur type.

## 1. 서 론

아연도금 및 자동차 산업으로부터의 박판소재에 대한 요구와 연속소둔라인의 보급에 의한 고압하울의 필요성, 전자산업 분야의 고경도이면서도 극박판인 소재의 요구, 최종 제품 표면의 청정성 등 수요자들의 고압하울 및 제품 표면 품질에 대한 요구<sup>1)</sup>가 증대됨에 따라 고압하울 및 고속 냉간압연에서 사용 가능한 압연유의 개발<sup>2)</sup>이 활발히 진행되고 있다.

고속 냉간압연의 경우 압연유가 갖추어야 할 구

비조건은 매우 까다로와지는데 그 이유는 고속 냉간압연시 롤과 스트립 사이의 상대 미끄럼(relative slip)에 의하여 온도가 상승하게 되면 압연유의 점도가 감소되어 롤 바이트(roll bite)에서는 경계윤활과 유체윤활의 공존상태인 혼합윤활 상태가 존재하게 되기 때문이다. 이러한 조건하에서 유막이 파괴되면 "프릭션 픽업(friction pick up)", "히트 스크래치(heat scratch)", 또는 "히트 스트릭(heat streak)"이라는 여러가지 이름으로 불리우는 표면결함<sup>3)</sup> (이하 "히트 스크래치"라 함)이란 표면 또는 롤 표면에 나타나게 되는데 히트 스크래치의 발생은 고속 냉간압연시 판 표면의 품질저하, 운전능률의 저하, 작업 롤(work roll)의 교환주기 증가 등의 가장 큰 원인이 되며 실제 압연시 설계된 최

\*정회원, 산업과학기술연구소 강재연구부

\*\*범우화학공업주식회사 기술연구소

대 압연속도보다 낮은 속도로 운전 속도가 제한되고 압하율의 한계를 결정하는 직접적인 원인<sup>(4~5)</sup>이 된다. 더우기 고속 냉간압연시 높은 윤활성을 주기 위해서는 고농도의 에멀션(emulsion)을 사용해야 하기 때문에 압연유의 경제성 역시 문제가 된다. 이와 같이 고속 냉간압연에서의 압연속도는 압연유에 의하여 제한되기 때문에 앞으로 냉간 압연의 고속화, 박판화의 경향에 대응하기 위해 고속, 고압하 압연공정에 알맞는 압연유의 개선과 개발이 시급한 실정이다.

따라서, 본 논문에서는 고속 냉간 압연유를 개발하기 위한 기초 연구로써 압연유의 기본이 되는 기유(基油)의 종류와 압연유에 첨가되는 각종 첨가제(添加劑) 중 고속, 고압하 압연에서 가장 문제가 되는 히트 스크래치를 방지하는 역할을 하는 극압제(極壓劑)의 종류 및 함량이 압연유의 윤활성(潤滑性)과 내소부성(耐燒付性)에 어떠한 영향을 주는가를 소다(soda)식 진자형 마찰계수 시험기, Falex 시험기 그리고 Four Ball 시험기와 같은 실험실적 평가방법<sup>(6)</sup>과는 달리 실제 롤과 스트립 사이의 접촉조건이 상사한 시험압연기를 사용한 윤활성 및 내소부성 평가 실험을 통하여 검토하였다. 본 평가 실험에 사용된 시험압연기는 압하배분, 압연 채터링(chattering), 장력 제어, 압연윤활 특성, 압연재 형상(形狀) 제어, 이주속(異周速) 압연 특성 등을 시험할 수 있는 다목적 냉간 압연기로써 그 구조와 제원을 Fig. 1과 Table 1에 나타내었다. 또한 극압제를 함유하고 있는 압연유와 스트립 표

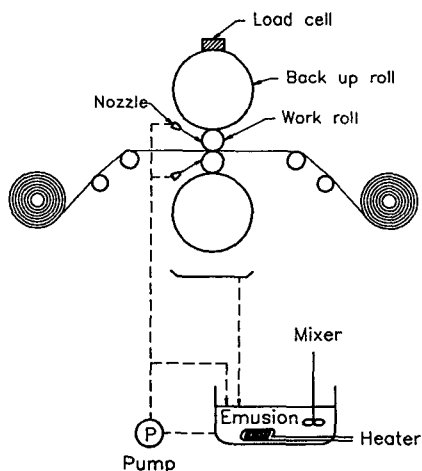
**Table 1** The specifications of a laboratory scale mill

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	3 m <sup>3</sup>
· Max. Spray Capacity	0.25 m <sup>3</sup> /min
· Temperature	30~60°C
· RPM of Agitator	1800 rpm

면간의 화학반응에 의한 극압막(極壓膜)의 존재 여부를 확인하기 위하여 EDS (energy dispersive spectrometer) 분석법과 ESCA (electron spectroscopy for chemical analysis) 분석법을 이용하여 분석하였다.

## 2. 시험유의 선정

시료의 종류는 기유, 지방산, 극압제로 나누어 기유는 동물성 유지인 우지(牛脂)와 돈지(豚脂), 식물성 유지인 팜유, 그리고 합성유로는 힌더드 에스테르(hindered ester)계의 펜타에리치올 트리탈로우 에스테르(pentaerythritol tritallow ester), 트리 메칠올 프로판 올레이트(trimethylol propane oleate), 트리메칠올 프로판 올레이트에 고급지방산 에스테르 부가물 등을, 지방산으로는 우지지방산, 올레인산, 다이머산 등을, 극압제 중에 인계 극압제로는 알킬 포스페이트 에틸렌 옥사이드(alkyl phosphate ethylene oxide) 부가물, 아민 포스페이트(amine phosphate) 두 종류, 황계 극압제로는 황화유지, 폴리 알킬 설파이드(poly alkyl sulfide) 등을, 그리고 인과 황을 모두 함유한 아



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

Table 2 The properties of test materials

Materials		Viscosity <sup>1</sup> [cSt]	Specific <sup>2</sup> gravity	AV [mg-KOH/g]	SV [mg-KOH/g]	Remarks <sup>3</sup>
Base Oils	Tallow	30~34	0.89	3	195~200	
	Lard	25~30	0.89	3	190~200	
	Palm	25~30	0.89	5	190~200	
	Pentaerythiol tritalow ester	60~65	0.90	5	190~200	
	Trimethylol propane oleate	60~65	0.90	10	170~185	
Fatty Acids	Tallow Fatty acid	55~60	0.90	199~210	199~210	
	Oleic acid	25~35	0.90	195~205	199~205	
	Dimer acid	70~80	0.95	200~220	200~220	
E.P. Additives	Alkyl phosphate ethylene oxide	10~15	0.96	0	0	P : 1-1.5
	Amine phosphate	60~70	0.99	0	0	P : 5~6
	Sulfurized animal fat	55~65	0.90	3	190~200	S : 10
	Poly alkyl sulfide	45~55	0.90	0	0	S : 32
	Zinc dithio phosphate	35~45	1.18	0	0	P : 9.5 S : 20 (wt%)

\*1 : Viscosity at 50°C for base oils and fatty acids but 40°C for E.P. additives

2 : Specific gravity at 60°C for base oils and fatty acids but 15°C for E.P. additives

3 : Amount of P or S in each E.P. additived

Table 3 Compositions and properties of test rolling oils

Compositions	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Remarks
Tallow	92	45.5	86.5	81.5	90.5	85.5	85.5	80.5	45	(unit : wt%)
Synthetic Oil		45.5							45	
Fatty Acid	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
Phosphorous-type E.P A					2.5	4.5	2.5	2.5	2.5	
Phosphorous-type E.P B					2.5	5.5	2.5	2.5	2.5	
Sulfur-type E.P			5	10			5	10		
Particle Size( $\mu$ )	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	6.0	
ESI-30	82	82	77	82	59	67	68	73	72	
pH(X25)	6.5	6.4	6.5	6.5	2.7	2.2	2.7	2.7	2.7	
Specific Weight (60°C)	0.886	0.893	0.892	0.895	0.887	0.891	0.891	0.895	0.898	
Viscosity (40°C)	31	43	32	32	33	35	33	34	47	
AV	9.06	9.04	9.9	10.0	15.7	21.4	15.3	15.2	15.8	
SV	194	193	198	201	201	194	199	201	195	

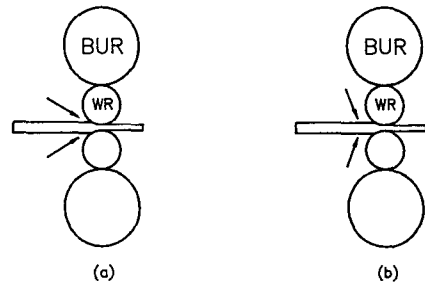
연 디치오 포스페이트(Zinc dithio phosphate) 등을 선택<sup>7)</sup>하였으며 시료들의 물성치는 Table 2와 같다. 이들 각각의 시료에 대해 소다식 진자형 마찰계수 시험기와 Falex 시험기를 이용하여 온도에 따른 마찰계수와 내압도를 측정하였으며 그결과로부터 기유, 지방산, 극압제의 종류 중에서 고속 냉간압연 조업 조건(압연속도, 압하율, 강판의 온도 등)을 고려하여 마찰계수가 작고 온도에 따른 변화가 적은 시료들을 선정하였는데 기유로는 우지와 합성유 1종, 지방산 1종, 인계 극압제 2종, 황계 극압제 1종이 선정되었다.

선정된 시료들을 이용하여 기유, 인계 극압제와 황계 극압제가 윤활성과 내소부성에 미치는 영향을 조사하기 위하여 기유와 극압제의 종류 및 함유량을 변화시켜 9종류의 시험유를 조제하였으며 그 조성과 기본 물성치들은 Table 3과 같다. 조제방법은 단기간내의 성능, 즉 철 석검 형성 등이 어려운 관례로 시험압연기 시험시 효과가 충분하지 않을 수 있기 때문에 극압제의 함량을 높게 설정하였고 그 외의 변수를 없애기 위해 산화방지제와 제면활성제의 종류는 동일하게 선택하였으며 유화(乳化)상태와 에멀션의 입자경(粒子徑)도 시험유 모두 동일상태로 조제하였다.

### 3. 실험방법

#### 3.1 윤활성 평가 실험방법

200 mm의 작업 롤을 사용하여 SPCC 강종의 두께 2.2 mm, 록 145 mm의 스트립을 두께 2.0 mm로 균일하게 압연한 후 압연속도 30 mpm, 압연유량 120 liters/min, 전 후방장력은 입측두께에 따른 변형저항의 25%로 고정하고 압연하중을 60~70 kgf/mm<sup>2</sup>의 극압상태를 부여할 수 있는 100 ton으로 유지하면서 압하율이 90%가 되는 두께까지 반복압연하여 패스 수에 따른 마찰계수의 변화를 검토하였다. 압하율이 90% 가까이 되면 작업 롤의 편평변형이 심하게 일어나 두께의 변화가 거의 없어 마찰계수의 변화로 윤활성을 비교하기가 어렵기 때문이다. 마찰계수는 Brand & Ford식의 압연하중식<sup>8)</sup>으로부터 역산하여 구하였으며 시험유는 물에 희석하여 압연유 온도를 50~55°C, 농도는 5 wt%로 유지하였고 압연유의 분사위치는 Fig. 2(a)와 같이 작업 롤과 스트립 사이에 분사되도록 하였



(a) lubricity evaluation (b) anti-seizure evaluation

Fig. 2 The injection angle of rolling oil for

#### 3.2 내소부성 평가 실험방법

100 mm의 작업 롤을 사용하여 윤활성 평가 실험시와 동일한 소재를 압하율 50%로, 전방장력을 3200 kgf, 후방장력을 600 kgf로 하여 압연속도를 10 mpm부터 10 mpm씩 증가 시키면서 60 mpm까지 3분간씩 압연하였으며 2분간씩 공랭하였다. 100 mm의 작업 롤을 사용한 이유는 200 mm의 작업 롤을 사용할 경우에 비해 작업 롤과 스트립의 표면 온도가 상승하는데 소요되는 시간이 짧고 히트 스크래치를 발생하는 압연속도가 상대적으로 낮기 때문이다. 시험유는 물에 희석하여 압연유 온도를 50~55°C, 농도는 5wt%로 유지하였고 압연유의 분사위치는 히트 스크래치의 발생이 용이하도록 작업 롤의 온도를 올리기 위하여 스트립에만 분사되도록 어드저스터블 조인트(adjustable joint)로 조정하였다. 압연유량은 10개의 노즐 중 양끝의 두 개는 바이패스(by-pass)용으로 사용하였고 나머지 7개는 밀폐시켰으며 나머지 중앙부분의 한 개만 이용하여 상하에서 노즐당 1.9 liters/min로 분사되도록 하였다. 압연이 끝난 후 각각의 압연 속도의 3분되는 지점에서 길이 15 cm의 시편을 채취하여 현미경 관찰을 실시하였다. 내소부성 평가 실험시 압연유의 분사위치는 Fig. 2(b)와 같다.

#### 3.3 극압제의 반응여부 관찰

극압제를 함유하고 있는 압연유는 스트립 표면에 극압막을 생성하여 윤활성 및 내소부성 향상에 기여한다는 많은 실험실적 연구 보고<sup>(9-10)</sup>는 있으나 실험조건이 모두 물에 희석하지 않은 원유(原油)상태에서 실험한 경우들이며 실제 냉간압연 공정시와 같이 농도 3~5 wt%로 희석하여 사용되는 압연유로 압연하여 채취한 시편에서 극압막을 발견하였다

는 보고는 아직 없는 것으로 알고 있다. 따라서 본 실험에서는 이미 발표된 보고와 같이 원유상태에서 작용하는 경우의 극압막의 생성여부를 확인하기 위하여 시험유를 제조한 후 원유상태에서 내압도를 측정된 Falex 시험핀과 농도 5wt%로 희석한 극압제를 함유하고 있는 압연유와 스트립 사이의 화학반응에 의한 극압막의 생성여부를 확인하기 위하여 윤활성 실험시 첫 패스와 마지막 패스에서 표면 분석용 시편을 채취하였다. 표면 분석법으로는 화합물의 형태로는 알 수 없지만 공존하는 원소의 존재를 알 수 있어 표면의 극압제의 반응여부를 아는데 유용한 EDS(energy dispersive spectrometer) 분석법<sup>(9)</sup>과 X선을 표면에 조사(照射)하여 표면 원소의 결합에너지를 측정함으로써 표면 아래 20 Å 두께 정도까지도 존재하는 화합물의 원소를 확인할 수 있는 ESCA(electron spectroscopy for chemical analysis) 분석법<sup>(9-10)</sup>을 이용하였다.

#### 4. 결과 및 고찰

윤활성의 비교 평가는 압연 패스에 따라 측정된 스트립의 두께를 측정 후 Bland & Ford의 압연하중식을 이용하여 마찰계수를 역산하였으며 마찰계수가 작을수록 윤활성이 양호한 것으로 평가하였다. 압연 실험결과 3번 패스에서 85~89%, 4번 패스에서 90~91%의 압하율을 보였으며 따라서 윤활성 평가는 3번 패스까지의 마찰계수를 비교하되 작업 물의 편평변형이 심하지 않은 2번 패스까지의 비교에 가중치를 두었다.

##### 4.1 기유와 극압제가 윤활성에 미치는 영향

기유가 우지로만 구성되어 있는 RT-1과 우지와 합성유가 각각 45.5 wt%씩 첨가된 RT-2, 그리고 우지와 합성유가 각각 45 wt%씩 첨가되고 여기에 인계 극압제의 2종이 각각 2.5 wt%씩 첨가된 RT-9에 대한 윤활성 평가 실험결과와 시료 선정시 실험한 합성유와 우지만의 온도에 따른 마찰계수의 측정결과 (100°C에서 합성유 : 0.088 우지 : 0.095, 200°C에서 합성유 : 0.069 우지 : 0.177)로부터 합성유가 우지보다 윤활성이 양호하며, 극압제가 첨가된 RT-9가 동일한 기유를 사용한 RT-2보다 윤활성이 더욱 양호하다는 결과를 얻었다. 이것은 압연시 롤 바이트에서 많은 열이 발생하여 압연유의 점도를 저하시키고 저하된 점도는 윤활성을 저하시키

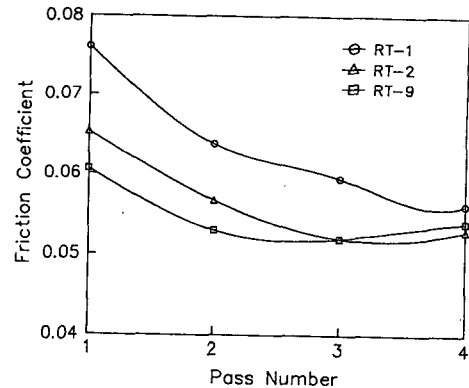


Fig. 3 Comparison of friction coefficient between RT-1, RT-2 and RT-9

게 되는데 합성유의 경우는 점도 지수가 높고 유리된 수산기(OH<sup>-</sup>)가 압연시 흡착성이 높아 윤활성이 양호한 것<sup>(11)</sup>으로 생각되며, 또한 RT-9의 경우는 극압제에 의한 화학 작용으로 인하여 합성유만 사용한 경우보다 윤활성이 더욱 양호한 것<sup>(10)</sup>으로 생각된다. 이 결과를 정리하면 다음과 같으며 Fig. 3에 RT-1, RT-2 그리고 RT-9에 대한 압연 패스에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었다.

$$RT-9 > RT-2 > RT-1$$

또한 기유를 우지로하고 여기에 인계 극압제 혹은 설파이드(sulfide)계 황계 극압제를 첨가한 RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, RT-7, 그리고 RT-8의 윤활성 평가 실험결과로부터 극압제 종류에 상관없이 윤활성 향상에 양호한 효과를 보이는 것을 알 수 있었으며, 이는 극압제에 의한 화학 작용으로 인하여 우지만을 사용한 경우보다 윤활성이 더욱 양호한 것으로 생각된다. 이 결과를 정리하면 다음과 같으며 Fig. 4에 대표적으로 RT-1, RT-3, RT-5 그리고 RT-7에 대한 압연 패스에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었다.

$$RT-3, RT-4, RT-5, RT-6, \\ RT-7, RT-8 > RT-1$$

동일한 우지를 기유로 사용하여 인계 극압제의 함량만을 변화시킨 RT-5와 RT-6, 그리고 황계 극압제의 함량만을 변화시킨 RT-3과 RT-4의 윤활성 평가 실험으로부터 인계와 황계 극압제의 경우 모두 함량이 증가할수록 윤활성이 양호하다는 결과를 얻었으며 정리하면 아래와 같다. 이로부터 인계와

황계 극압제가 모두 윤활성 향상에 기여한다는 사실을 확인할 수 있었다.

$$RT-6 > RT-5$$

$$RT-4 > RT-3$$

동일한 5wt%의 황계 극압제와 인계 극압제로 조제되어 있는 RT-3와 RT-5, 그리고 동일한 10 wt%의 황계 극압제와 인계 극압제로 조제되어 있는 RT-4과 RT-6의 윤활성 평가 실험 결과로부터 극압제의 함량이 동일한 경우 황계 극압제가 인계 극압제에 비해 윤활성 향상에 더욱 양호한 영향을 미친다는 결과를 얻었다. 이것은 극압조건에서 동일한 기유에 황계 극압제를 첨가한 경우가 인계 극압제를 첨가한 경우에 비해 내압도가 더욱 우수하다는 Toshio<sup>(9)</sup>의 연구결과로부터 이해된다. 그 결과를 정리하면 다음과 같으며 Fig. 5에 RT-3, RT-

4, RT-5 그리고 RT-6에 대한 압연 패스에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었다.

$$RT-3 > RT-5$$

$$RT-4 > RT-6$$

황계 극압제와 인계 극압제가 혼용되어 있는 RT-7과 RT-8에 대한 윤활성이 동일량의 황계 극압제와 인계 극압제가 각각 단독으로 함유되어 있는 시험유와 비교할 때 어떤 차이가 있는가를 검토하기 위하여 RT-7의 경우는 RT-3, RT-5와 윤활성을 비교하였고 RT-8의 경우는 RT-4, RT-5와 윤활성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었다. Fig. 4에 RT-3, RT-5 그리고 RT-7에 대한 압연 패스 수에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었으며, Fig. 6에 RT-4, RT-5, 그리고 RT-8에 대한 압연 패스에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었다.

$$RT-3 > RT-7 > RT-5$$

$$RT-4 > RT-5 > RT-8$$

이 결과로부터 인계 극압제와 황계 극압제가 각각 5wt%씩 혼용되어 있는 RT-7의 경우는 황계 극압제가 단독으로 5wt% 함유되어 있는 RT-6 보다는 윤활성이 양호하다는 것을 알 수 있다. 또한 인계 극압제와 황계 극압제가 각각 10wt%씩 혼용되어 있는 RT-8의 경우는 황계 극압제가 단독으로 10wt% 함유되어 있는 RT-4와 인계 극압제가 단독으로 10wt% 함유되어 있는 RT-5에 비해 윤활성이 떨어진다는 것을 알 수 있다.

따라서 위의 두 결과를 종합하여 보면, 인계 극

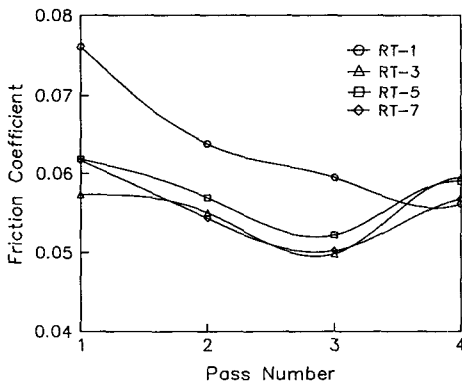


Fig. 4 Comparison of friction coefficient between RT-1, RT-3, RT-5 and RT-7

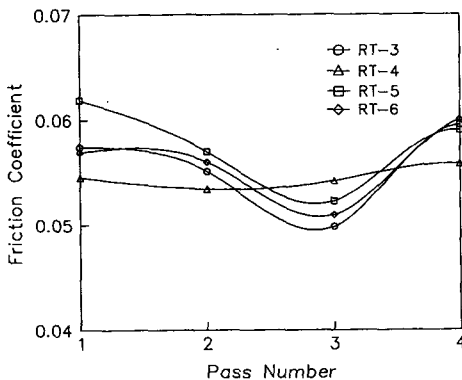


Fig. 5 Comparison of friction coefficient between RT-3, RT-4, RT-5 and TR-6

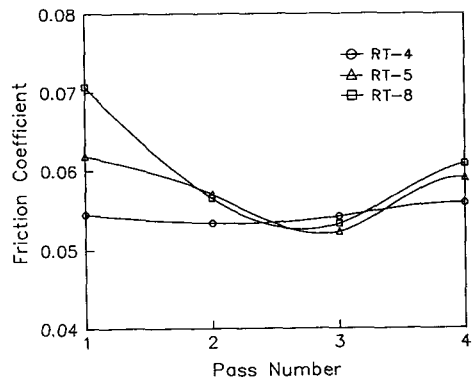


Fig. 6 Comparison of friction coefficient between RT-4, RT-5 and RT-8

압제와 황계 극압제가 혼용되어 있는 함량이 10 wt% 이하일 경우에는 인계 극압제와 황계 극압제가 단독으로 함유되어 있는 압연유의 중간 정도의 윤활성을 가지지만, 혼합되어 있는 극압제의 함량이 10wt% 이상일 경우에는 인계 극압제와 황계 극압제가 단독으로 함유되어 있는 압연유에 비하여 윤활성이 떨어진다는 것을 알 수 있다. 즉, 극압제의 총 함량이 증가한다고 해서 윤활성이 양호해지는 것은 아니라는 것을 알 수 있으며, 단독으로 사용할 경우 인계 극압제와 황계 극압제가 모두 윤활성 향상에 도움을 주지만 두 종류의 극압제를 혼용하는 경우는 두 극압제간의 화학적인 반응에 의하여 그 효과가 오히려 감소된다는 것을 알 수 있다. 이 결과는 극압제의 종류 및 함량에 따라 윤활성에 미치는 영향도가 달라진다는 Masuhiko<sup>(12)</sup>의 보고와 일치한다.

또한 기유, 극압제의 종류 및 함량 등이 서로 다른 9종류의 시험유들의 윤활성을 비교하여 다음과 같은 결과를 얻었으며 Fig. 7에 가장 윤활성이 양호한 RT-3과 RT-4, 가장 윤활성이 떨어지는 RT-2와 RT-8에 대한 압연 패스에 따른 마찰계수의 비교 그래프를 나타내었다.

$$RT-4 > RT-3 > RT-6 = RT-9 > RT-7 > RT-5 > RT-2 > RT-8 > RT-1$$

위의 결과로부터 합성유를 기유로 하고 인계 극압제가 5wt% 함유되어 있는 RT-9가 우지를 기유로 하고 인계와 황계 극압제가 각각 5wt%씩 함유되어 있는 RT-7보다 윤활성이 양호하다는 결과와 합성유와 우지가 각각 45.5wt%씩 첨가된 RT-2가 우지를 기유로 하고 극압제의 함량이 10wt%를 초과한 RT-8보다 윤활성이 양호하다는 결과로부터 합성유가 윤활성 향상에 매우 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

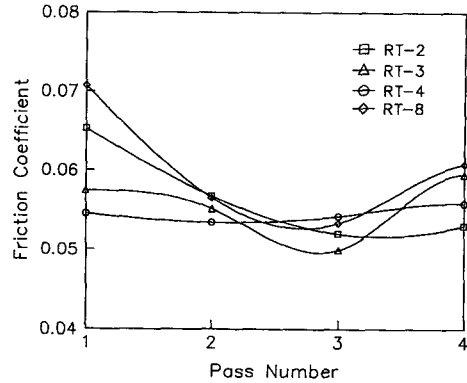


Fig. 7 Comparison of friction coefficient between RT-2, RT-3, RT-4 and RT-8

#### 4.2 기유와 극압제가 내소부성에 미치는 영향

극압제의 종류 및 함량에 따라 내소부성에 어떠한 영향을 미치는가를 규명하기 위해 RT-1에서 RT-9종류의 시험유 중에서 RT-3, RT-5, RT-7, 그리고 RT-9의 4종류의 시험유에 대하여 내소부성 평가 실험을 수행하여 Table 4와 같은 결과를 얻었다.

위의 결과를 정리하면 다음과 같다.

$$RT-5 = RT-9 > RT-7 > RT-3$$

기유의 종류는 다르나 인계 극압제의 함량이 동일한 RT-5와 RT-9의 내소부성 비교로부터 내소부성은 기유의 종류와는 무관하고 극압제의 함량에 비례하여 향상된다는 것을 알 수 있으며 RT-5와 RT-3의 내소부성 비교로부터 윤활성 평가 실험결과와는 반대로 인계 극압제가 황계 극압제에 비해 내소부성을 향상시키는데 효과적이라는 것을 알 수 있다. 또한 RT-3, RT-5, 그리고 RT-7의 내소부성 비교로부터 인계 극압제와 황계 극압제를 혼용

Table 4 The results of anti-seizure property evaluation

Test Oils	Rolling Speed (mpm)					
	10	20	30	40	50	60
RT-3	○	○	○	●	●	●
RT-5	○	○	○	○	●	●
RT-7	○	○	○	○	●	●
RT-9	○	○	○	○	●	●

○ heat scratch not occurred      ● ● ● heat scratch occurred

하여 사용한 RT-7의 내소부성이 인계 극압제를 단독으로 사용한 RT-5와 황계 극압제를 단독으로 사용한 RT-3의 중간에 위치하는 것으로부터 인계 극압제와 황계 극압제를 혼용할 경우 화학적인 반응에 의해 내소부성이 오히려 감소된다는 것을 알 수 있다.

따라서, 윤활성과 내소부성을 동시에 향상시키기 위해서는 인계 극압제와 황계 극압제의 함량을 적절히 조정할 필요가 있음을 알 수 있다.

### 4.3 극압제의 반응여부 관찰결과

EDS 분석법으로 각각의 압연유에 대한 Falex 시험편과 윤활성 실험시 칩 패스와 마지막 패스에서 채취한 시편을 표면 분석해 본 결과 Falex 시험편에서는 인계 극압제를 포함하고 있는 압연유 RT-5, RT-6, 그리고 RT-9에서는 P의 peak가, 황계 극압제를 포함하고 있는 압연유 RT-3과 RT-4에서는 S의 peak가, 그리고 인계 극압제와 황계 극압제를 동시에 함유하고 있는 압연유 RT-7과 RT-8에서는 P와 S의 peak가 동시에 검출되었다. Fig. 8에 RT-4, RT-5, 그리고 RT-8에 대한 EDS 표면 분석결과를 보인다.

그러나 윤활성 실험시 채취한 시편에 대하여는 인계 또는 황계 극압제가 단독으로 사용된 압연유는 물론 동시에 사용된 압연유에서도 P 또는 S의 peak가 전혀 검출되지 않았다. 윤활성 실험시 채취한 시편에 대해서는 표면의 극압막이 너무 얇아 검출되지 않았을 가능성을 생각하여 ESCA 분석법으로 표면 분석을 실시하였으나 EDS 분석결과와 마찬가지로 어느 시편에서도 P 또는 S의 auger peak가 전혀 검출되지 않았다. Fig. 9에 RT-8에 대한 ESCA 표면 분석결과를 보인다.

이 결과들로부터 원유상태에서는 극압제가 반응하여 생성된 극압막의 존재를 확인할 수 있었으나 농도 5wt%로 희석된 압연유의 경우에는 압연유에 함유된 극압제의 량도 소량이고 이것이 다시 희석되어 실제 압연유내에 함유되어 있는 극압제의 량이 너무 미량이어서 EDS 분석법은 물론 ESCA 분석법으로도 극압제의 반응여부를 확인하기에는 힘들지 않았는가 추정된다. 그러나 윤활성 및 내소부성 평가 실험결과 극압제의 영향이 반영되었다는 점과 원유상태에서 극압막의 존재가 확인되었다는 점에서 실제 압연공정시에도 극압제가 표면과 화학반응한다는 것을 추측할 수 있다.

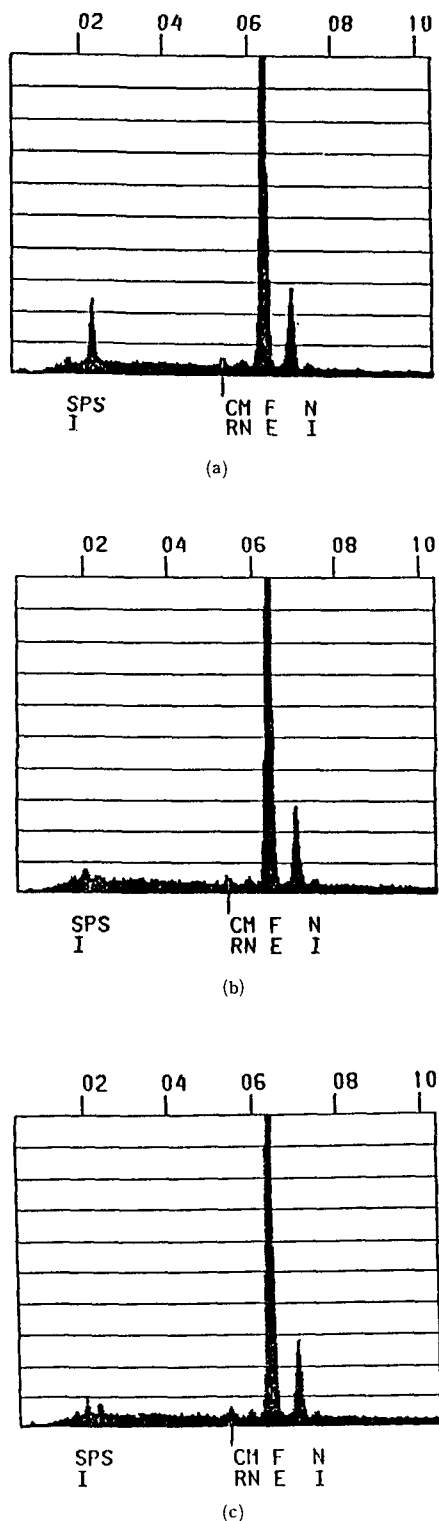


Fig. 8 The results of EDS using Falex test pins for (a) RT-4 (b) RT-5 (c) RT-8



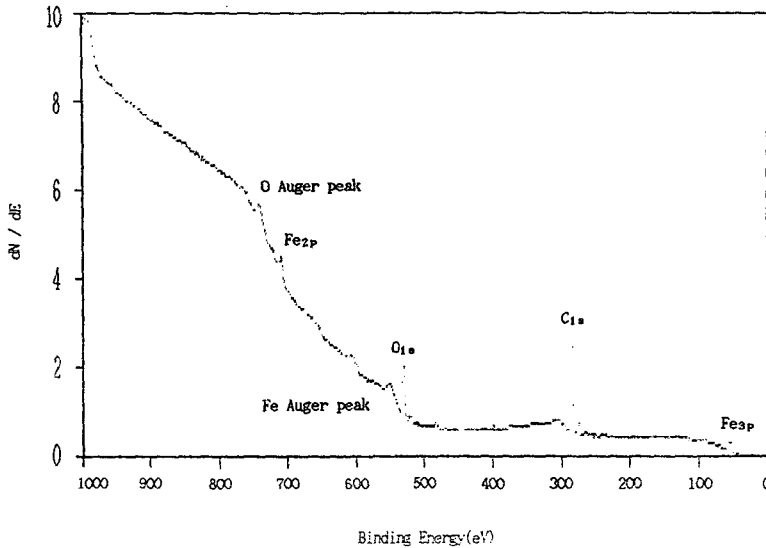


Fig. 9 The result of ESCA using a specimen of lubricity test for RT-8

### 5. 결 론

기유의 종류와 극압제의 종류 및 함량의 변화에 따라 압연유의 윤활성 및 내소부성에 미치는 영향을 실제 압연공정과 접촉조건이 상사한 시험압연기를 통하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 우지와 극압제를 첨가한 압연유가 합성유 또는 우지를 단독으로 사용한 압연유보다 윤활성이 우수함.

(2) 동일한 기유를 사용할 경우 인계 극압제의 함량이 많을수록 윤활성이 양호함.

(3) 동일한 기유를 사용할 경우 황계 극압제의 함량이 많을수록 윤활성이 양호함.

(4) 동일한 함량의 경우 황계 극압제가 인계 극압제에 비해 윤활성 향상에 효과적임.

(5) 인계 극압제와 황계 극압제가 혼합되어 있는 경우

a. 극압제의 함량이 10wt% 이하일 때는 인계 극압제와 황계 극압제의 중간정도의 윤활성을 보임.

b. 극압제의 함량이 10wt% 이상일 때는 인계 극압제와 황계 극압제가 단독으로 함유된 압연유에 비해 윤활성이 떨어짐.

(6) 기유의 종류에 무관하고 극압제의 함량에 비

례하여 내소부성이 향상됨.

(7) 인계 극압제가 황계 극압제에 비하여 내소부성 향상에 효과적임.

(8) 윤활성과 내소부성을 동시에 향상시키기 위해서는 인계 극압제와 황계 극압제의 함량을 적절히 조정할 필요가 있음.

(9) EDS 분석법에 의한 표면 분석결과 원유상태에서 극압제의 화학반응에 의한 극압막의 존재를 확인하였고 윤활성 및 내소부성 평가 실험결과 극압제의 영향이 반영되었다는 점으로부터 실제 압연 공정시에도 극압제가 표면과 화학반응한다는 것을 추측할 수 있음.

### 참고문헌

- (1) Valienburg, F.P., "New Developments in Rolling Oils for the Steel Industry, the Practical Approach," 4th International Steel Rolling Conference at IRSID, E51.1~E51.8.
- (2) Azushima, A., Kihara, J. and Gokyu, I., 1975 "Characteristics of Lubrication in High Speed Cold Rolling," Proceedings of JSLE-ASLE International Lubrication Conference, pp. 101~105.
- (3) Kitamura, K., 1979, "Analysis on Pick Up in Cold Rolling," Proceedings of 30th Conference in JSTP, pp. 81~84.

- (4) Fukuyama, S., Iwasaki, M. and Nishimura, K., 1979, "Effect of Pick Up on Rolling Conditions in Cold Rolling," Proceedings of Spring Conference in JSTP, pp. 383~386.
- (5) Tamura, H., 1979. "Occurrence of Pick Up in Cold Rolling Mill," Preceedings of Spring Conference in JSTP, pp. 387~390.
- (6) 일본철강협회, 1983, "판압연의 이론과 실제", pp. 211~214.
- (7) 김주향, 1989, "Water Soluble Type의 Cold Strip Rolling Oil," 윤활학회지, 제5권, 제2호, pp. 21~31.
- (8) 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, p174.
- (9) Toshio, S., 1979, "The Rele of Chemical Reaction in Boundery Lubrication," 윤활, 제24권, 제7호, pp. 416~423.
- (10) Kihara, J., Nagamori, H., Matsuda, H. and Nakagawa, Y., 1980, "Effect of properties of Lubricants and Emulsion Stability on Lubricating Behavior in Cold Rolling of Low Carbon Steel," International Symposium for Metalworking Lubrication, published by ASME, pp. 177~181.
- (11) Yoshihito, K., 1985, "合成潤滑油 最近의 進歩 (5) 合成ester油", PETROTECH, 제8권, 제5호, pp. 443~447.
- (12) Masuhiko, K., Kenji F. and Kiyoshi N., 1980, "Lubrication Properties of Surface Films under Dry Conditions," 윤활, 제30권 제9호, pp. 665~670.