

윤활유 성질이 마모특성에 미치는 영향(제2보)

오성모 · 이봉구

원광대학교 기계공학과

Effects of Tribological Characteristics on Lubricants Properties (The 2nd)

Seong-Mo Oh and Bong-Goo Rhee

Department of Mechanical Engineering, Wonkwang University

Abstract – It was reviewed that the kinds of lubricating oil, viscosity, temperature and strength of materials affected the wear of the surface heat treatment. When lubricants is used under severe running conditions, their tribological characteristics are very important. We have studied the lubricating oil viscosity, kinds of additives and their amounts, and lubricating oil temperatures were changed. In order to study the effect of oil temperature on the wear of the surface, the temperature of the oil was changed for the same sample. It was shown from the test results that wear is not greatly affected by the amount of ZnDTP (Zinc dialkyl dithio phosphate) antiwear agent, but EP (Extreme pressure) additives are less effective against wear than ZnDTP additives. The viscosity of lubricating oil and its temperature greatly affect the wear of the surface. Combining all the wear data with those of the surface strength, it was observed that the higher the load, the lower the scratch of wear, and also in the case of the same running load, the lower the wear, the longer the life of the surface strength.

Key words – Tribology, lubrication, wear, antiwear, additives, extreme pressure.

1. 서 론

현대의 기계는 고성능화 및 소형화에 따라 상대적으로 접촉하고 있는 두 물체 사이에는 기계적 메카니즘에 의해 힘의 전달 또는 변형시킴으로써 직접 또는 간접으로 운동하고 있는 두 금속마찰면에서는 필연적으로 마찰·마모가 뒤따르기 마련이다. 이러한 마찰·마모는 피팅(pitting), 스폐링(spalling), 스커핑(scuffing) 등과 같은 변수들에 의한 표면손상을 초래하는 하나의 중요한 문제가 된다[1,2,3]. 금속표면의 마모는 금속윤활성을 저하시킬 뿐만 아니라 윤활유의 열화를 촉진하는 것에 직접 관계하고 있다. 그러므로, 금속표면의 마모를 가능한 작게 할 필요가 있는 것이다. 또한 성에너지 대책의 관점에서 기어유에 관계된 저점도화가 검토되고 있다. 이러한 기어유의 저점도화는 효율, 표면강

도, 스커핑강도 등과 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라 마모에도 중요한 영향을 미친다. 이러한 문제에 관한 기초적 연구는 몇 개 보고되었지만 지금까지 충분히 밝혀지지 않는 것이다. 침탄소입처리 금속면에 관해서 윤활유의 점도 및 급유온도가 마모량에 미치는 영향에 관해서는 이미 보고가 되었다[4,5]. 본 논문에서는 조절처리 금속면에 있어서 윤활유의 점도종류, 급유 온도 및 재료의 경도가 마모량에 미치는 영향을 연구하였다. 여기에서 말하는 마모량은 스커핑강도의 시간강도내에 있어서 비교적 높은 하중 영역에서의 마모량에 있다. 또한, 조절 처리 금속 면에 생기는 마모량은 스커핑강도와 밀접한 관계가 있으므로 마모에는 중요한 영향을 미친다[6,7,8]. 따라서 본 논문에서는 펠렉스 마찰·마모 시험기를 이용하여 일정 윤활유의 온도를 변환시킨 경우와 상온에서 크게 다른 점도를 가진 윤활유를 사용하여 윤활유의 성질에 따른 마모특성을 연구하고자 한다. 또한 온도를 변화시키는 것에 따라 점

[†]주저자 · 책임저자 : seongmo@wonkwang.ac.kr

도를 같게 하고, 윤활유의 점도 및 첨가제를 변환시킴으로써, 하중, 윤활유의 온도, 화학적 첨가제가 마모에 미치는 영향을 고찰하며[9,10,11], 이 문제가 상대적으로 운동하고 있는 표면의 마모에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 실험

2-1. 실험장치

본 실험장치는 펠렉스 마찰·마모시험기로써 시험부인 핀과 V-블럭을 Fig. 1에 나타내었다. 시험편은 펠렉스 시험기의 표준사양으로써 테스트 핀은 피스톤이나 핀등에 사용되는 니켈크롬강(SNC 415)을, V-블럭은 크랭크샤프트와 기어 등에 사용되는 니켈크롬강(SNC 631)을 사용하였다. 이들의 기계적·화학적 특성을 다음의 Table 1에 나타내었다. 시험장치의 주요

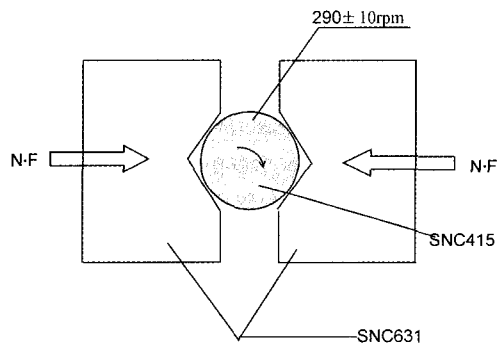


Fig. 1. Schematic diagram of test machine.

Table 1. Physical and Chemical properties of journal and V-block

Properties	Items	Journal (SNC 415)	V-Block (SNC 631)
Surface Roughness [μm]		1.5	1.5
Tensile strength [N/mm^2]		≥ 80	≥ 85
Elongation [%]		≥ 17	≥ 18
Reduction of Area [%]		≥ 45	≥ 50
Hardness[H_A]		235~341	248~302
C [%]		0.12~0.18	0.27~0.35
Si [%]		0.15~0.35	0.15~0.35
Mn [%]		0.35~0.65	0.35~0.65
P [%]		≤ 0.030	≤ 0.030
S [%]		≤ 0.030	≤ 0.030
Cu [%]		≤ 0.030	≤ 0.030
Ni [%]		2.00~2.50	2.50~3.00
Cr [%]		0.20~0.50	0.60~1.00

부는 동력 발생부, 시험부 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다.

동력전달장치는 220[V]-1/2[HP]의 교류전동기 1425/1725[r.p.m]를 이용하여 구동력을 발생시키고, 벨트에 의하여 스피들은 290 ± 10 [r.p.m]으로 회전한다. 시험부의 저널은 2개의 V-블럭과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다. 표준 시험편 저널의 외경은 6.35 mm이고, 길이는 31.75 mm이며 V-블록 홈의 각도는 96 ± 1 [$^\circ$]로 두 블럭사이에서 회전하며 미끄럼운동을 하는 형태의 시험기이다.

2-2. 윤활유

본 연구에서 사용된 윤활유는 점도에 따라파라핀계 광유 5종류와 합성유 2종류를 선택하였으며, 물성을 Table 2에 나타내었다.

여기서 기유는 윤활유의 기능을 얻기 위하여 산화방지제, 녹방지제 및 기포 방지제 등이 성상에 포함되어 첨가되었다. 기유 I은 대개 스피들유, II는 터빈유, III는 기어유, IV는 실린더유이다. 또 사용된 첨가제는 비교적 높은 하중영역에서 있어서 사용되고 있는 ZnDTP 마모 방지제와 S-P계의 극압 EP 첨가제 2종류로써, 기유 I, II, III, IV에 ZnDTP 마모 방지제(0.5 wt%) 또는 EP 첨가제(5.0 wt%)를 첨가하여 사용하였다. 첨가제의 성상은 Table 3, 4에 나타내었다. 그리고 기유 III에 Table 4에 보이는 극압 첨가제를 첨가한 하이포이드 기어유(hypoid gear oil)를 HG5로 사용했다. Table 5는 본 연구에 쓰이는 합성유(합성 탄화수소 SHF와 폴리글리콜)의 성상을 가리킨다. 윤활방법은 강제 윤활에서 시험부의 상부에서 풀어준다. 유량은 2.0 l/min이다.

Table 2. Properties of base oil

Base oil	I	II	III	IV	
Kinematic	40 $^\circ\text{C}$	8.98	55.6	198	401
viscosity $\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$	100 $^\circ\text{C}$	2.47	7.86	18.1	28.6
Specific gravity 15/4 $^\circ\text{C}$		0.87	0.88	0.89	0.93
Viscosity index		84.9	99.9	100	99.0
Flash temperature $^\circ\text{C}$		170	226	270	308

Table 3. Compositions of ZnDTP

Additive	Elements	wt [%]
ZnDTP	Zn	6.1
	S	9.7
	P	4.8

Table 4. Properties of E-P additive

Sulphur, wt [%]	27.5	
Phosphorus, wt [%]	1.8	
Kinematic viscosity, m ² /s	40°C	81.0 × 10 ⁻⁶
	100°C	10.6 × 10 ⁻⁶
Viscosity index	120	
Flash Point, °C	120	
Pour point, °C	-18	
Density, kg/m ³	1.04 × 10 ⁻³	

Table 5. Properties of synthetic oils

Kinds of oil	SHF	Polygly -col
Kinematic viscosity m ² /s × 10 ⁻⁶	40°C	220
	100°C	22.6
Specific gravity 15/4°C	0.85	1.01
Viscosity index	145	164
Flash Point °C	238	280

2-3. 실험조건 및 실험방법

실험은 표면손상에 따른 스커피(Scuffing)이 발생하여 파괴(failure)에 이르기까지 일정하중 또는 단계적으로 하중을 상승시켜 가면서 운전을 행하였다. 그리고 비마모량 측정을 하기 위해서는 길들이기를 행하고, 운전을 안정하게 하기 위하여 일정하중 하에서 스커피 발생 시까지의 마모량을 산출하였다.

시험시간은 15분으로 고정하였다. 윤활유 점도 또는 첨가제가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서는 윤활유 온도를 60°C로 하였고, 윤활유 온도가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서는 기유 III에 유온을 60°C 및 90°C의 2종류 온도를 사용하였다. 이때 첨가제는 ZnDTP를 0.5 wt%, EP제를 5.0 wt% 첨가하였다. 다음으로는 기유 II, III, IV를 사용하여, 유온을 변화시켜 윤활유의 동 점성계수를 같게 하였고 ($\nu = 25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), 첨가제는 ZnDTP를 0.5 wt% 첨가하였다.

2-4. 비마모량

Fig. 2는 일정하중에서 운전한 마모곡선을 나타내었다. 그림에서 보면 마모곡선의 기울기가 스커피 발생으로 인하여 급한 증가를 보임에 따라서 마모량이 급증하는 것을 알 수 있다. 이 마모곡선의 기울기가 일정한 범위, 즉 약 0.5~5.5 N·mm 범위를 비마모량 V_s (mm^2/N)라고 정의하고, 관계식은 아래와 같은 식으로 나타내었다.

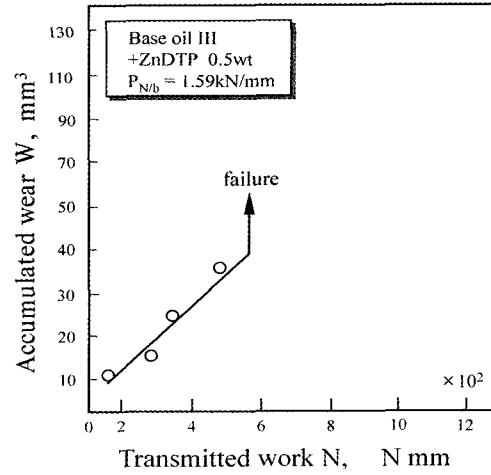


Fig. 2. Friction curve.

$$V_s = W/NS \text{ (mm}^2/\text{N)} \tag{1}$$

여기서, W 는 총마모량, N 은 전달하중, S 는 미끄럼 거리를 나타낸다.

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 점도에 따른 비마모량의 영향

Fig. 3은 윤활유의 점도가 비마모량 V_s (mm^2/N)에 미치는 영향을 나타내었다. 유온은 60°C이고 기유 I, II, III, IV의 η ($\text{N} \cdot \text{s}/\text{m}^2$)은 각각 4.25, 23.7, 64.4, 121이다. 그래프에서 보듯 비마모량 V_s 는 점도에 따른 하

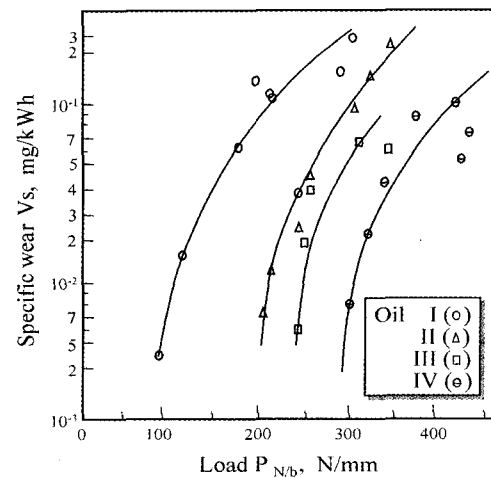


Fig. 3. Influence of oil viscosity on V_s .

중 PN/b의 증가와 함께 거의 일률적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 기유 II와 기유 III의 비마모량의 차이는 작지만 기유 I, II, III, IV와 윤활유의 점도가 높아지는 동시에 비마모량은 저하한다. 그러므로, 유온이 같아지는 경우에는 윤활유의 점도가 높아질수록 마모량이 작아지는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 Fig. 3의 윤활유의 점도가 비마모량에 미치는 영향을 점성계수 η 및 하중과의 관계를 나타내었다. 그림에서 밝혀진 바와 같이 V_s , η 와 $P_{N/b}$ 는 거의 직선 관계에 있고, 여기에서도 비마모량과 점도의 곱은 하중의 증가와 함께 직선관계로 증가함을 알 수 있다. 따라서 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$V_s \propto \eta \cdot (P_{N/b}) \quad (2)$$

3-2. 윤활유의 종류에 따른 비마모량의 영향

Fig. 5은 윤활유의 종류가 서로 다름이 비마모량에 미치는 영향을 나타낸다. 윤활유는 광유의 기유 III, 합성유의 SHF 및 폴리글리콜 3종류이다. 그림에서 밝혀진 바와 같이 어느 쪽의 윤활유에 있어서도 하중은 비마모량에 미치는 기울기 방향은 거의 같아지고 있다. 이때의 유온은 60°C로 일정하게 하였다. 각각의 윤활유의 점도에 따른 비마모량은 하중의 증가와 함께 증가하는 것을 알 수 있고 점성계수는 폴리글리콜>SHF>기유 III의 순으로 되었다. 그리고, 광유의 경우는 Fig. 3에 나타낸 것처럼 윤활유의 점도가 높을수록 비마모량은 작다. 그러나 실험결과에서는 이러한 3종류의 윤활유중 중간 정도의 점도를 가진 SHF가 가장 낮은 비마모량을 나타내고, 가장 점도가 높은 폴리글리콜이 가장 높은 비마모량을 나타낸다. 따라서, 비마모량은 폴리글리콜>기유 III>SHF의 순으로 나타나는 것을 알 수 있다. 그러므로 윤활유의 종류는 비마모량에 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

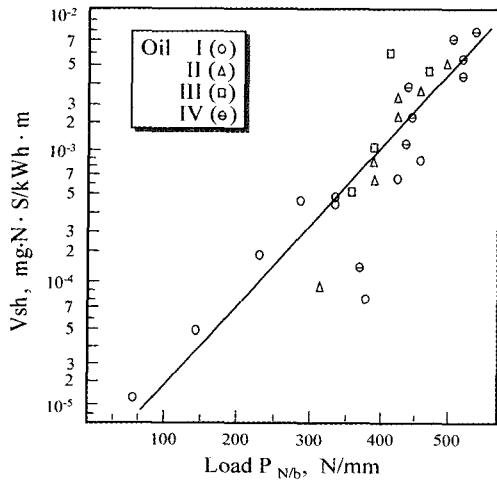


Fig. 4. Relationship among V_s , η and $P_{N/b}$.

3-3. 온도에 따른 비마모량의 영향

3-3-1. 윤활유가 일정하고 온도를 변화시킨 경우

Fig. 6은 윤활유의 온도가 비마모량 V_s 에 미치는 영향을 나타내었다. 유온은 60°C와 90°C로 하였고 윤활유는 기유 III과 하이포이드 기어유(EP제 5.0 wt% 첨가)를 사용하였다. 각 온도에 따른 비마모량은 하중의 증가와 함께 거의 직선적인 증가를 하고 있음을 알게

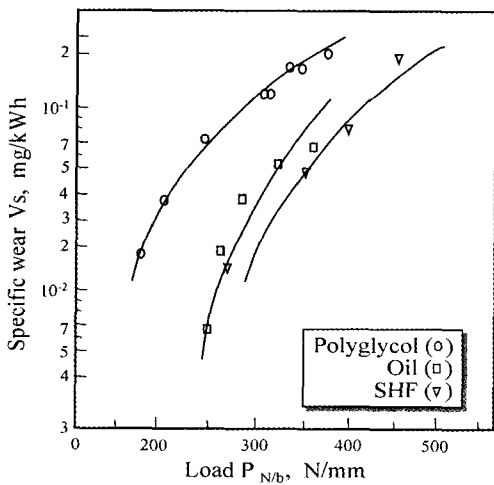


Fig. 5. Influence of kinds of oil on V_s .

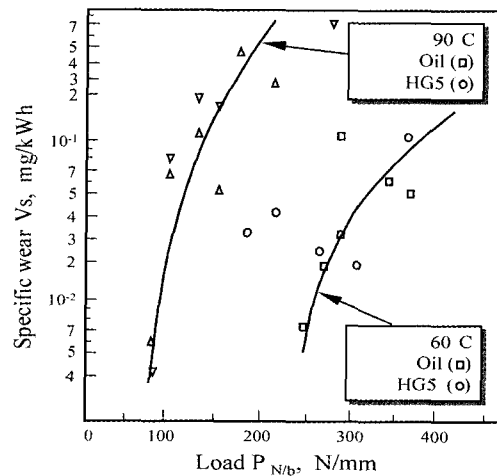


Fig. 6. Influence of oil temperature on V_s .

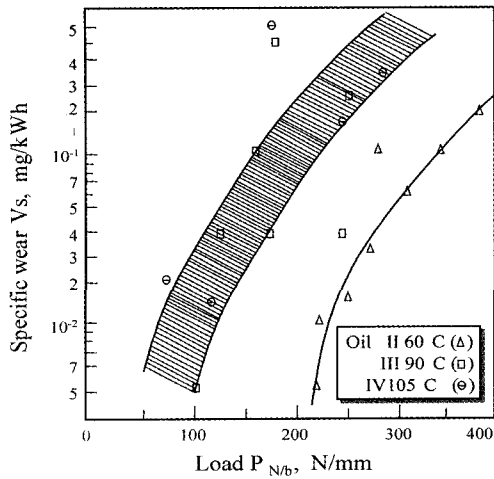


Fig. 7. Influence of oil temperature on Vs.

된다. 그림에서 나타난 것과 같이 HG5의 경우 60°C에서의 비마모량의 흐트러짐은 크게 전체의 기울기 방향이 불명료하다. 이 흐트러짐을 고려하여 전체의 기울기 방향을 보고 60°C 및 90°C의 어떤 것의 온도에 있어서도 기유 III과 하이포이드 기어유의 비마모량의 차는 거의 발견하지 못했다. 또, 어떤 윤활유에 있어서도 90°C에서의 비마모량은 전하중에 걸쳐 60°C의 경우보다 훨씬 높은 기울기이다. 그러므로 유온은 마모량에 극히 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

3-3-2. 점도는 일정하고 윤활유의 종류와 온도를 변화시킨 경우

Fig. 7은 3종류의 윤활유의 점도를 일정하게 하기 위하여 온도를 변화시킨 경우에서 급유온도의 서로 다른 비마모량에 미치는 영향을 나타내었다. 동점성계수를 일정하게 하고 기유 II는 60°C, 기유 III은 90°C, 기유 IV는 105°C에서 실험하였다. 그림에서 나타난 것과 같이 90°C와 105°C의 경우의 양자의 비마모량은 거의 그림중의 사선의 영역중에 포함되고 있으며 90°C와 105°C의 온도차이가 비마모량에 크게 영향을 미치지 않았다. 그러나, 90°C와 105°C의 비마모량은 60°C의 경우보다 약 20~30배 정도 크다. 그러므로 위에 나타난 윤활유의 온도만의 요인은 마모량에 큰 영향을 미치는 것으로 나타난다.

3-4. 경도에 따른 비마모량의 영향

Fig. 8은 재료의 경도 Hv가 비마모량 Vs에 미치는 영향을 나타낸다. 유온은 60°C, 기유 III을 사용하였고 SNC 415 Ra=1.5 μm을 사용하였다. 경도에 따른 비

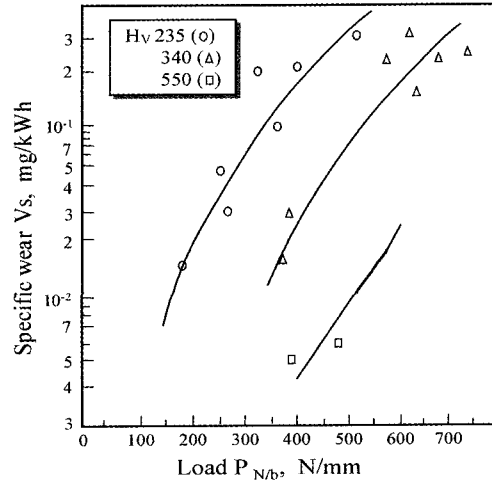


Fig. 8. Influence of hardness on Vs.

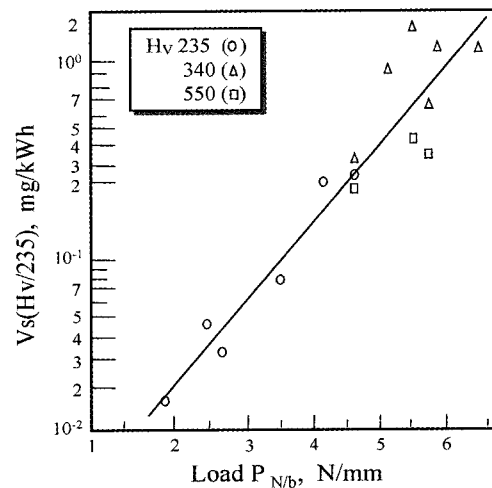


Fig. 9. Relationship among Vs, Hv and P N/b.

마모량은 하중의 증가와 함께 증기추세를 나타낸다. 그림에서 Hv=340의 경우에는 높은 하중에 의하여 비마모량의 흐트러짐이 다소 큰 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 즉, 경도 Hv가 235, 340, 550과 같이 높아지는데 따른 비마모량은 크게 감소하는 것을 알 수 있다. 또, Hv=550의 경우에 높은 하중에서 파단이 일어났을 수 있다. Fig. 9는 비마모량, 경도 및 하중과의 관계를 나타내었다. SNC 415, 기유 III, 유온은 60°C로 하였다. 그림에서 비마모량과 경도의 곱은 하중의 증가와 함께 거의 일률적으로 직선적인 분포를 알 수 있다. 따라서 비마모량 Vs, 경도 Hv 및 하중 P N/b의 관계를 다음과 같은 관계식을 얻을 수 있다.

$$V_{S^{\infty}}(Hv/235) \cdot (P_{N/b}) \quad (3)$$

4. 결 론

상대운동 전달면의 표면강도에 있어서 윤활유의 점도, 온도, 경도의 변화가 비마모량에 관하여 미치는 영향의 결과는 다음과 같다.

1. 윤활유의 점도는 비마모량에 큰 영향을 미치고 윤활유의 온도가 일정한 경우에는 점도가 높아지기 이전의 비마모량은 작아지지 않는다.
2. 윤활유의 종류에 따른 금속표면의 비마모량에 큰 영향을 미치는 것을 알 수가 있다.
3. 윤활유의 온도는 비마모량에 큰 영향을 미치고 윤활유의 온도를 60°C에서 90°C로 상승시키고 마모방지제 또는 극압첨가제를 포함한 어느 것의 경우에 있어서도 비마모량은 극히 크게 상승한다.
4. 재료의 경도가 경한 만큼 비마모량은 감소한다. 그러나 경도가 지나치게 높은 경우에는 금속면간의 절손마모량이 커지므로 이를 고려하여 적당한 경도의 재료를 사용해야 한다.

참고문헌

1. Winter, H. : Industrieblatt Vol.5, No.5, pp.309, 1960.
2. Rettig, H. und Plewe, H. : Antriebstechnik, Vol.16, No.6, pp.357, 1977.
3. 君島, 比護, “潤滑” Vo.27, No.11, pp.59, 1982. Vol.14, No.2, pp.57~62
4. 이봉구, 오성모 “윤활유 성질이 마모에 미치는 영향(제1보)”, 한국윤활학회지
5. 이봉구, “엔진오일의 혼합첨가제에 따른 윤활특성에 관한연구”, 한국윤활학회지 Vol.11, No.1, pp.50~57, 1995.
6. 有浦外 3人, “潤滑”, Vol.24, No.10, pp.662, 1979.
7. 灰塚外 3人, “機論C” Vol.52, No.483, pp. 2906, 1986.
8. D. BRIGGS & M.P.SEAH, “Practical Surface Analysis.” John Wiley & Sons, (1983)
9. ASTM D2625-27 “Measurment of wear properties of Fluid Lubricant.”
10. D2625-69 “Standard Test Method for Endurance (wear) Life and Load carry-ing capacity of Solid Film Lubricants”
11. 灰塚外 3人, “機論C” Vol.53, No.487, pp. 855, 1987.