

윤활유 성질이 마모특성에 미치는 영향(제1보)

오성모 · 이봉구*

원광대학교 대학원 기계공학과
*원광대학교 기계공학과

Effects of Tribological Characteristics on Lubricants Properties (The 1st)

Seong-Mo Oh and Bong-Goo Rhee*

Graduate School, Wonkwang University
*Department of Mechanical Engineering, Wonkwang University

Abstract—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. Moreover, the temperatures of three kinds of oils which have very different viscosities at room temperature, were varied between 60°C and 115°C while the oil viscosity was unchanged. It was shown from the test results that surface 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 wider the scratching 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

최근 각종 기계요소의 고성능화 및 소형화에 따라 상대적으로 접촉하고 있는 두 물체사이에는 기계적 메카니즘에 의해 힘의 전달 또는 변형시킴으로써 직·간접으로 운동하고 있는 두 측면, 즉 슬립동부에서는 필연적으로 마찰·마모가 뒤따르게 된다. 이러한 마찰·마모는 피팅(pitting), 스폐링(spalling), 스키프(scuffing) 등과 같은 변수들에 의한 표면손상을 초래하는 하나의 중요한 문제가 된다[1,2,3]. 따라서 상대운동에 따른 기구학적 메카니즘에 있어서의 상대면의 형상과 접촉하고 있는 형태에 따라서 아주 다양한 해석이 필요하다. 마모의 형태나 진행에 따라 종래의 형상으로

부터 변형에 의한 손실률과 소음 등의 증대와 강도저하의 결과를 초래하게 된다. 또 접촉형태에 따라서 기계적 메카니즘의 윤활성능을 저하시키고, 이때의 마모분은 윤활유의 열화를 촉진시키는 등 직접적인 관계를 이루고 있다. 윤활유의 성질은 순수오일인 기유(Base Oil)와 첨가제를 첨가한 시제품으로 구분해 볼 수 있는데, 이 중에서 기유는 자체만으로는 특정지어질 수 있는 성질이 아니므로 첨가제와의 상호관계로 상승효과를 얻을 수도 있고, 반대의 경우도 있을 수 있으므로 첨가제와의 상호관계를 살펴보는 것도 매우 중요하다[4,5]. 이러한 관점에서 볼때 에너지 대책의 측면에서는 윤활유의 점도에 대한 저점도화가 지향되고 있으며 많이 검토되고 있으나, 이것은 윤활성능과

표면강도 그리고 스커핑 강도 등과 밀접한 관계가 있는 만큼 마모에는 중요한 영향을 미친다[6,7,8]. 따라서 본 논문에서는 펠렉스 마찰·마모 시험기를 이용하여 윤활유의 종류를 변환시킬 때와 윤활유의 점도 및 첨가제를 변환시킴으로써, 하중, 윤활유의 온도, 화학적 첨가제 및 윤활유의 온도가 마모에 미치는 영향을 고찰하고[9,10], 이 분체가 상대적으로 운동하고 있는 표면의 마모에 미치는 영향을 밝히고자 한다.

2. 실험조건

2-1. 실험장치

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

시험장치의 주요부는 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 스핀들은 290 ± 10 [r.p.m] 으로 회전한다. 시험부의 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접축을 하여 회전한다.

표준 시험형 저널의 외경은 1/4 inch(6.35 mm)이고, 길이는 1 1/4 inch(31.75 mm)이며 V-블록 홈의 각도는 96 ± 1 [°] 로 두 블록사이에서 회전하며 미끄럼운동을 하는 형태의 시험기이다.

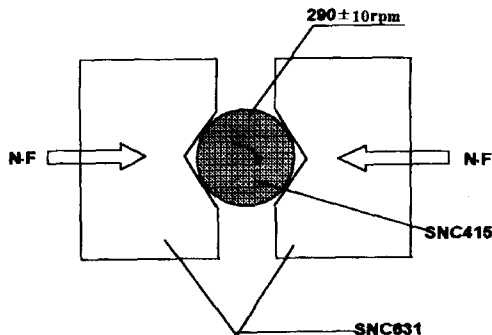


Fig. 1. Schematic diagram of test machine.

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

Items	Journal (SNC 415)	V-Block (SNC 631)
Surface Roughness [μm]	1.5	1.5
Tensile strength [Kgf/mm^2]	≥ 80	≥ 85
Elongation [%]	≥ 17	≥ 18
Reduction of Area [%]	≥ 45	≥ 50
Hardness [H_{B}]	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

2-2. 윤활유

본 연구에서 사용된 윤활유는 파라핀계 광유로써 점도에 따라 4종류를 선택하였으며 물성을 Table 2에 나타내었다. 기유 I은 대개 스핀들유, 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 또는 EP첨가제를 첨가하여 사용하였다. 첨가제의 성분은 Table 3, 4에 나타내었다.

2-3. 실험조건 및 실험방법

실험은 표면손상에 따른 스커핑(Scuffing)이 발생하여 파괴(failure)에 이르기까지 일정하중 또는 단계적

Table 2. Properties of base oil

Base oil	I	II	III	IV	
Kinematic viscosity	40°C	8.98	55.6	198	401
$\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$	100°C	2.47	7.86	18.1	28.6
Specific gravity 15/4°C		0.87	0.88	0.89	0.93
Viscosity index		84.9	99.9	100	99.0
Flash temperature °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 EP 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 temperature, °C	120	
Pour point, °C	-18	
Density, kg/m ³	1.04 × 10 ⁻³	

으로 하중을 상승시켜 가면서 운전을 행하였다. 그리고 비마모량 측정을 하기 위해서는 running in을 행하고, 운전을 안정하게 하기 위하여 일정하중하에서 스커핑 발생시까지의 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 100°C의 2종류 온도를 사용하였다. 이때 첨가제는 ZnDTP를 0.5wt%, EP제를 6.0 wt% 첨가하였다. 다음으로는 기유 II, III, IV를 사용하여, 유온을 변화시켜 윤활유의 동 점성계수를 같게 하였고($v=25 \times 10^{-6} \text{m}^2/\text{s}$), 첨가제는 ZnDTP를 0.5wt% 첨가하였다.

2-4. 비마모량

Fig. 2는 일정하중에서 운전한 마모곡선을 나타내었다.

그림에서 보면 마모곡선의 기울기가 스커핑 발생으로 인하여 급한 증가를 보이고 있으며 따라서 마모량

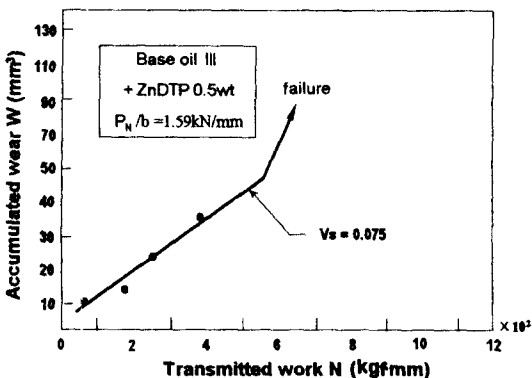


Fig. 2. Friction curve.

이 급증하는 것을 알 수 있다.

이 마모곡선의 기울기가 일정한 범위, 즉 약 0.5~5.5 Kgf·mm 범위를 비마모량 Vs (mm²/kgf)라고 정의하고, 관계식은 아래와 같은 식으로 나타내었다.

$$Vs = W/NS \text{ (mm}^2/\text{kgf)}$$

3. 실험결과 및 고찰

3-1. 점도에 따른 비마모량의 영향

Fig. 3에 윤활유의 점도가 비마모량 Vs (mm²/kgf)에 미치는 영향을 나타내었다.

첨가제로는 ZnDTP를 0.5 wt% 첨가하였고, 유온을 60°C로 하였다. 비마모량 Vs은 점도에 따른 하중 PN/b의 증가와 함께 거의 일률적으로 증가하는 것을 알 수 있다. 그리고 기유 I, II, III, IV에서 점도가 높음에 따라 비마모량 Vs는 낮은 것을 알 수 있다.

3-2. 첨가제에 따른 비마모량의 영향

Fig. 4는 ZnDTP 마모방지제의 첨가량에 따른 하중과 비마모량과의 관계를 나타내었다.

시험조건은 기유 I에 온도를 60°C로 일정하게 하고 ZnDTP를 0.2, 0.5, 1.5 wt%씩 첨가하여 변화량을 관찰하였다. 첨가율을 0.2 wt%이상으로 한 이유는 보다 높은 하중의 영역에서 운전하므로 제반 손상발생 방지와 안정된 상태를 유지하기 위함이었다. ZnDTP가 0.2 wt%와 0.5 wt%에서는 비마모량 Vs의 차이가 거의 없었으나, 1.5wt% 첨가한 경우의 평균치는 사선내의 영역안에 있지만, 이 영역내에서 낮은 값을 나타내

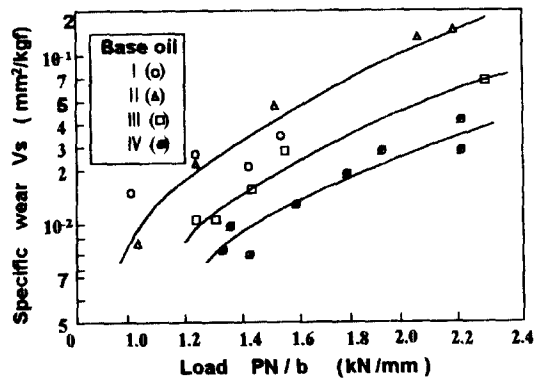


Fig. 3. The effects of specific wear on viscosity (Test condition: Temperature; 60°C. Additive; ZnDTP 0.5 wt%).

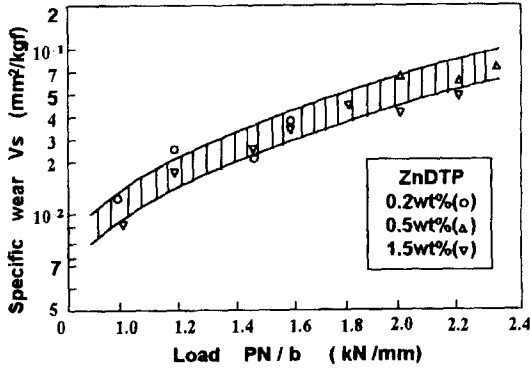


Fig. 4. The effect of specific wear with ZnDTP (Test condition: Temp. 60°C, Base oil I).

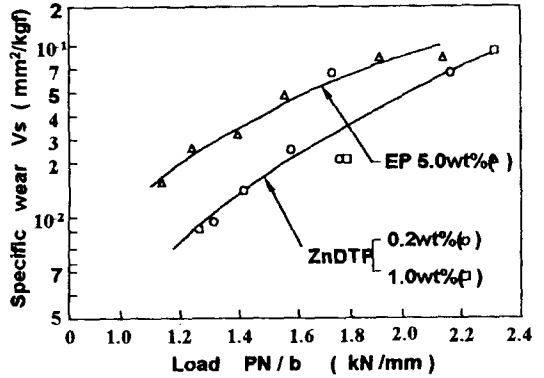


Fig. 6. The effect of specific wear on ZnDTP and EP Additive (Test Cond.: Temp. 60°C, Base oil III).

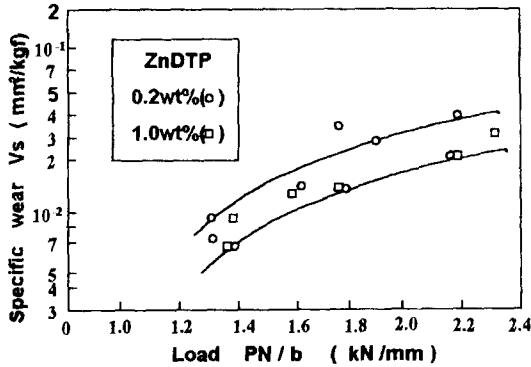


Fig. 5. The effect of spesific wear with ZnDTP (Test condition: Temp. 60°C, Base oil IV).

3-3. 온도에 따른 비마모량의 영향

Fig. 7은 기유 III에 ZnDTP와 EP세를 각각 달리 첨가하여 온도에 따른 비마모량에 미치는 영향을 나타

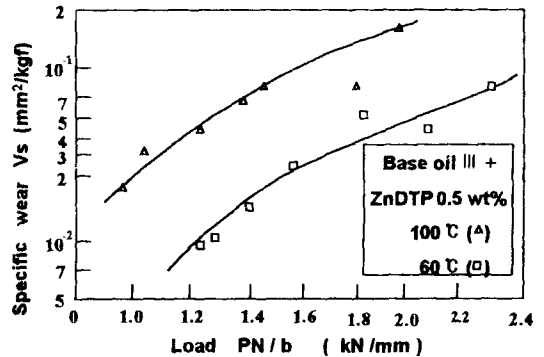
고 있다.

Fig. 5는 기유 IV에 ZnDTP를 0.2 wt%와 1.0 wt%를 첨가하였는데 마찬가지로 양쪽의 첨가율에 따른 차이는 없었고, 1.0 wt%를 첨가한 경우가 0.2 wt%를 첨가한 경우보다 비마모량 값이 약간 낮은 값을 알 수 있다.

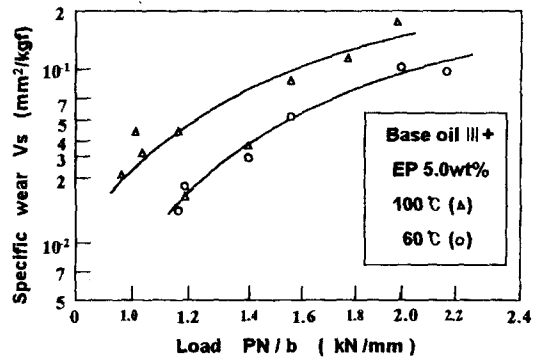
결국 일정 하중하에서의 ZnDTP 마모방지제는 비마모량을 감소시키는 경향이 있지만, 그 효과는 그다지 크지 않은 것으로 사료된다.

Fig. 6은 기유 III에 ZnDTP를 0.2, 1.0 wt%와 EP첨가제를 5.0 wt% 첨가한 윤활유의 비마모량에 대한 영향을 나타내었다.

ZnDTP를 0.2 wt%첨가한 경우보다 EP첨가제를 첨가한 경우가 약 2배 정도 높은 값을 나타내는데 이는 EP첨가제가 스키핑 방지등 극압하에서는 강한 작용을 하지만 마모방지에 대해서는 ZnDTP와 비교하여 그다지 효과가 크지 않은 것을 알 수 있다.



(a) ZnDTP Additive



(b) EP Additive

Fig. 7. The effect of specific wear on the lubricant temperature.

내었다. Fig. 7(a)는 기유 III에 ZnDTP를 0.5wt%첨가한 경우로써 100°C에서의 비마모량이 60°C의 경우보다 약 3배 정도 높은 것으로 나타났다. 한편 Fig. 7(b)는 같은 기유 III에 EP제 0.5wt%를 첨가하여 60°C와 100°C에서 비마모량을 비교한 것으로 (a)에서의 ZnDTP 경우보다 그 영향은 크지 않지만 100°C의 비마모량이 60°C의 경우보다 약 50% 정도 높은 것을 알 수 있었다. 이러한 일련의 결과로부터 윤활유의 온도는 비마모량에 아주 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3-4. 표면강도에 따른 내구성의 영향

Fig. 8, Fig. 9는 표면강도와 점도에 따른 내구성(Endurance wear)과의 관계를 나타내었다. 사용한 첨가제는 ZnDTP로써 0.5 wt%를 첨가하였고, 기유 I, II, III, IV 가운데서 기유 II를 기준으로 하여 다른 윤활유의 표면강도 내구한도(PN/b)lim를 나타내었다[7,11].

Fig. 8에서 기유 I의 표면강도는 II보다도 약 14% 낮은 값을 가진 반면, 기유 II 이상의 점도를 가진 윤

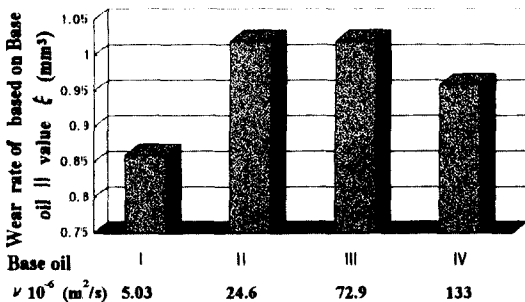


Fig. 8. Relationship of endurance life on the viscosity and the surface strength (Test condition; temperature 60°C, additive ZnDTP 0.5 wt%).

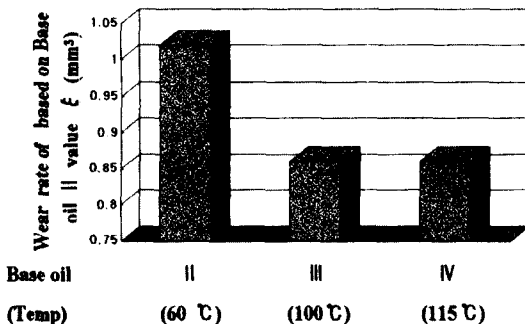


Fig. 9. Relationship of endurance life on the temperature and the surface strength (Test cond.; additive: ZnDTP 0.5 wt%, $\nu=25 \times 10^{-6}$).

활유에 대해서는 표면강도는 점도를 높여도 변화하지 않는 것을 알 수 있다. 기유 I은 점도가 매우 낮은 윤활유이므로 실제로는 잘 쓰이지 않고 통상적으로 기여유인 기유 II와 III의 것을 많이 쓴다.

그리고 Fig. 9는 윤활유의 온도와 표면강도에 따른 내구성과의 관계를 나타낸 것으로써 기유 II와 기유 III, 그리고 IV의 온도를 변화시키면서 점도를 일정하게 하였다. 이때 ZnDTP를 0.5 wt%의 일정량을 첨가하였다. 그리고 윤활유의 온도를 100°C와 115°C의 강도는 60°C의 경우보다도 약 15% 낮은 값을 나타낸다. 이상으로 볼 때 윤활유의 온도는 마모량 및 강도에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

상대운동 전달면의 표면강도에 있어서의 마모에 관하여는 윤활유의 점도, 첨가제의 종류와 첨가량 및 온도를 변화시켜 얻은 실험결과는 다음과 같다.

1. ZnDTP(마모 방지제)가 비마모량에 미치는 영향은 작다. 그러나 EP(극압)제를 포함한 윤활유는 ZnDTP를 포함한 윤활유보다도 비마모량이 크다.

2. 윤활유의 점도는 비마모량에 큰 영향을 미치고 온도가 일정할 경우에는 점도가 높게됨에 따라서 비마모량은 작아지게 된다.

3. 윤활유의 온도를 60°C에서 100°C로 상승시킬 때 ZnDTP와 EP제를 첨가한 경우에도 비마모량은 2배 정도 상승한다.

또 점도를 일정하게 한 경우도 온도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. 윤활유의 종류 및 그 온도를 비마모량에 미치는 영향으로 고찰함과 동시에 하중을 일정하게 한 경우에는 비마모량이 작아짐에 따라 표면강도에 따른 수명이 길어지는 경향이 있다.

감사의 글

이 논문은 '97년도 원광대학교의 교비 지원에 의해 연구되었으며, 이에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

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," Vol.27, No.11, pp.59, 1982.
4. 이봉구, "Journal Bearing에서의 혼합윤활 특성에 관한 연구," pp.1-5, 1985.
5. 이봉구, "엔진오일의 혼합첨가제에 따른 윤활특성에 관한연구," 한국윤활학회지 제11권, 제1호, pp50-57, 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 carrying capacity of Solid Film Lubricants."
11. 灰塚外 3人, "機論C," Vol.53, No.487, pp. 855, 1987.