

윤활유의 성질이 마모특성에 미치는 영향(제1보)

오 성 모 · 이 병 구*

원광대학교 대학원
*원광대학교 기계공학과

The Effect 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 condition, tribological characteristics is very important. I have studied the lubricating oil viscosity, kinds of additives 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 while the oil viscosity was unchanged. It was shown from the test results that wear is not greatly affected by the amount of ZnDTP antiwear agent, but E-P 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 : Lubrication, Wear, antiwear, additives, Extreme, Pressure, Tribology

1. 서 론

최근 각종기계요소의 고성능화 및 소형화에 따라 상대적으로 접촉하고 있는 두 물체 사이에는 기계적 메카니즘에 의해 힘의 전달 또는 변형시킴으로써 직·간접으로 운동하고

있는 두 측면, 즉 습동부에서는 필연적으로 마찰·마모가 뒤따르게 된다. 이러한 마찰·마모는 피팅(pitting), 스폐링(spalling), 스커핑(scuffing)등과 같은 변수들에 의한 표면손

상을 초래하는 하나의 중요한 문제가 된다. 그러나 이에 따른 기초적 연구가 많이 보고가 되어 있으나, 아직도 불분명한 점이 많다 [1~3]. 따라서 상대운동에 따른 기구학적 메카니즘에 있어서의 상대면의 형상과 접촉하고 있는 형태에 따라서 아주 다양한 해석이 필요하다. 마모의 형태나 진행에 따라 종래의 형상으로부터 변형에 의한 손실률과 소음 등의 중대외 강도저하의 결과를 초래하게 된다. 또 접촉형태에 따라서 기계적 메카니즘의 윤활성등을 저하시키고, 이때의 마모분은 윤활유의 열화를 촉진시키는 등 직접적인 관계를 이루고 있다.

에너지 대책의 측면에서 볼 때 윤활유의 점도에 대한 저점도화가 지향되고, 많이 검토되고 있으나, 이것은 효율과 표면강도 그리고 스커핑 강도등과 밀접한 관계가 있는 만큼 마모에는 중요한 영향을 미친다. 그러나 이 문제 또한 기초적 연구가 전반적으로 충분히 검토되지 않고 있다[4~6].

따라서 여기에서는 윤활유의 종류를 변환시킬 때와 더 나아가 윤활유의 점도 및 첨가제를 변환시킴으로써, 이 문제가 상대적으로 운동하고 있는 표면의 마모에 미치는 영향을 밝히고자 한다. 윤활유의 성질은 순수오일인 기유(Base Oil), 즉 신유(New Oil)와 화학적 첨가제를 첨가한 시제품으로 구분해 볼수 있는데, 이 중에서 기유는 자체만으로 구분해서 특정지어 질 수 있는 성질이 아니므로 첨가제와의 상호관계로 상승효과를 얻을 수도 있고, 반대의 경우도 있을 수 있으므로 첨가제와의 상호관계를 살펴보는 것도 매우 중요하다[7~8].

본 연구에서는 펠렉스 마찰·마모 시험기 [9~10]를 이용하여 하중, 윤활유의 온도, 화학적 첨가제 및 윤활유의 온도가 마모에 미치는 영향을 구하였고, 사용된 윤활유는 점도크기에 따른 광유계 4종류이며, 그에 따른 특성을 Table.2에 나타내었다.

또 사용된 화학적 첨가제는 ZnDTP 마모방지제와 S-P계의 극압 E-P 첨가제(Extreme

Pressure Additives)의 2종류로써 비교적 높은 하중영역에 있어서 마모량을 구한 실험결과이다.

유온의 마모량에 미치는 영향에 대해서는, 온도를 변화시킬 때 보다 점도를 하나로 동일하게 하여 마모에 미치는 온도를 고찰하고, 또 첨가제의 영향에 비해서 윤활유의 온도가 마모특성에 어떠한 영향을 주는지에 관하여 연구결과를 소개하고자 한다.

2. 실험조건

2.1 실험장치

본 실험장치는 펠렉스 마찰·마모시험기로서 실질적인 실험부인 핀과 V-블록을 Fig.1에 나타내었다.

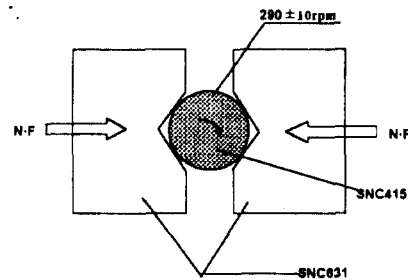


Fig. 1 Schematic diagram of test machine

그리고 시험편은 펠렉스 시험기의 표준사양으로 테스트 핀은 피스톤과 핀등에서 사용되는 니켈크롬강(SNC 415)의 재료와 V-블록은 크랭크샤프트와 기어등에 사용되는 니켈크롬강(SNC 631)의 재료로써 이에 따른 기계적·화학적 특성은 다음의 Table. 1에 나타내었다. 시험장치의 주요부는 동력 발생부, 시험부, 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다.

동력 전달 장치는 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 2

개의 V-블럭과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다.

Table. 1 Physical and Chemical properties of Journal and V-Block

Items Properties	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[HB]	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

표준 시험편 저널의 외경은 1/4inch(6.35mm)이고, 길이는 1 $\frac{1}{4}$ inch(31.75mm)이며 V-블록 홈의 각도는 $96 \pm 1[^\circ]$ 로 두 블록사이에서 회전하며 미끄럼운동을 하는 형태의 시험기이다.

2.2 실험조건 및 실험방법

실험은 표면손상에 따른 스커핑(Scuffing)이 발생하여 파괴(failure)까지 일정하중 및 단계적으로 상승시켜 가면서 운전을 행하였다. 그리고 비마모량 측정을 하기 위해서는 running in 운전을 행하고, 운전을 안정하게 할 필요가 있으므로 본 연구에서는 일정하중에서 운전을 행하는 과정에 대해서 스커핑 발생하기까지의 마모량을 산출한다. 운전시간은 15분이다.

2.3 윤활유

본 연구에서 사용한 윤활유는 파라핀계 광유로써, Table. 2에 나타난 기유 I, II, III, IV에 ZnDTP 마모방지제 또는 EP첨가제를 첨가하여 사용하였다. 첨가제의 성상은 Table. 3, 4에 나타내었고, 기유 I은 대개 스피들유, 기유 II는 터빈유, 기유 III는 기어유, 기유 IV는 실린더유이다.

Table. 2 Properties of Base oil

Base oil		I	II	III	IV
Kinematic viscosity $\text{m}^2/\text{s} \times 10^{-6}$	40 $^\circ\text{C}$	8.98	55.6	198	401
	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 Composition of ZnDTP

Additive	Elements	wt%
ZnDTP	Zn	6.1
	S	4.9
	P	4.8

Table. 4 Properties of E-P Additive

Sulphur wt %		27.5
phosphor wt %		1.8
Kinematic viscosity m^2/s	40 $^\circ\text{C}$	81.0×10^{-6}
	100 $^\circ\text{C}$	10.6×10^{-6}
Viscosity index		120
Flash temperature $^\circ\text{C}$		120
Pour point $^\circ\text{C}$		-18
Density kg/m^3		1.04×10^{-3}

윤활유 점도 또는 첨가제가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서 윤활유온도를 60 $^\circ\text{C}$ 로 하였고, 윤활유 온도가 마모량에 미치는 영향을 조사한 실험에서는 기유III에 유온을

60℃ 및 100℃의 2종류 온도를 사용하였다. 이때 첨가제는 ZnDTP가 0.5 wt%, EP제를 6.0 wt%를 첨가하였다. 다음에 기유Ⅱ, Ⅲ, Ⅳ를 이용하여, 유온을 변화시켜서 윤활유의 동점성계수를 같게 하고($\nu \approx 25 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$), 첨가제는 ZnDTP를 0.5 wt% 첨가 하였다.

2.4 비마모량

Fig.2는 일정하중에서 운전한 마모곡선을 나타내었다.

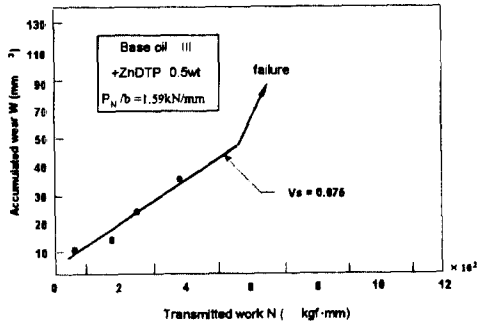


Fig. 2 Friction Curves

그림에서 나타난것처럼 정속운전후에는 마모곡선의 경사가 스킵핑 발생으로 인한 마모량의 급한 증가를 보이고 있다.

이 마모곡선의 경사가 일정한 범위, 약 0.5~5.5KN·mm 범위를 비마모량 $V_s(\text{mm}^2/\text{kgf})$ 라고 정의하고, 마모량은 랫치 필 잇수 18개를 0.001in에 해당하며 관계식은 아래와 같은 식으로 정의되며 단위면적당 비마모량을 산출하는 모델을 Fig.3에 나타내었다.

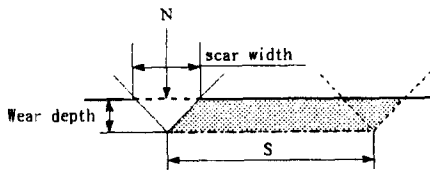


Fig. 3 Wear model for the contact of Journal on V-block

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

3. 실험결과 및 고찰

3.1 점도에 따른 비마모량의 영향

Fig.4는 윤활유의 점도가 비마모량 V_s (mm^2/kgf)에 미치는 영향을 나타내었다.

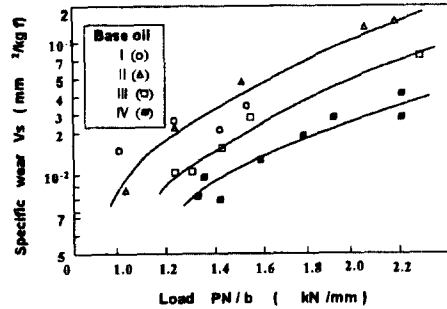


Fig. 4 The effect of Specific wear on Viscosity (Test condition ; Temperature 60℃ Additive;ZnDTP 0.5wt%)

첨가제는 ZnDTP를 0.5wt% 첨가하였고, 유온을 60℃로 하였다. 비마모량 V_s 는 점도에 따른 하중 P_N/b 의 증가와 함께 거의 일률적으로 증가하는 것을 알수 있다. 그리고 기유 I,Ⅱ,Ⅲ,Ⅳ에서 점도가 높음에 따라 비마모량 V_s 는 낮은 것을 알수 있다.

3.2 첨가제에 따른 비마모량의 영향

Fig.5는 ZnDTP마모방지제의 첨가량에 따른 비마모량과의 관계를 나타내었다.

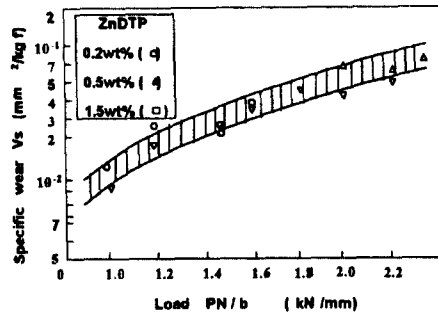


Fig. 5 The effect of specific wear with ZnDTP (Test condition; Temp 60℃, Base oil I)

시험조건은 기유 I 에 온도를 60℃로 일정하게 하고 ZnDTP를 0.2, 0.5, 1.5wt%씩 첨가하여 변화량을 관찰하였다. 그리고 첨가율은 0.2wt%이상으로 한 이유는 보다 높은 하중의 영역에 운전하므로 제반 손상발생 방지와 안정된 상태를 유지하기 위함이었다. 따라서 ZnDTP가 0.2wt%와 0.5wt%에서는 비마모량 Vs의 차이가 별로 없었으나, 1.5wt% 첨가한 경우의 평균치는 사선내의 영역으로 낮은 값을 나타내고 있다.

Fig.6은 기유IV에 ZnDTP를 0.2wt%와 1.0wt%를 첨가하였는데 마찬가지로 양쪽의 첨가율에 따른 차이는 없었고 1.0wt%를 첨가한 경우가 0.2wt%를 첨가한 경우보다 비마모량 값이 약간 낮은 값을 알수 있다.

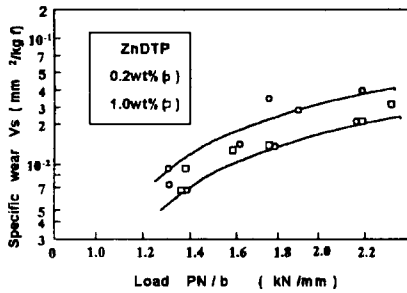


Fig. 6 The effect of spesific wear with ZnDTP (Test condition; Temp 60℃, Base oil IV)

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

Fig.7은 기유 III에 ZnDTP를 0.2wt%, 1.0wt%와 EP첨가제를 5.0wt% 첨가한 윤활유의 비마모량의 영향을 나타내었다. 이때 ZnDTP를 0.2wt%첨가한 경우보다 EP첨가제를 첨가한 경우가 약 2배정도 높은 값을 나타내는데 이것은 스커핑 방지등 극한압력에 강한 작용을 하지만 ZnDTP와 비교해 볼 때 마모방지에 대해서는 그다지 효과가 크지가 않은 것을 알수 있다.

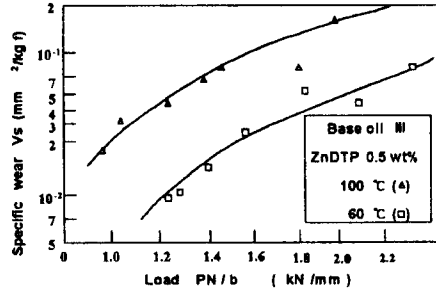
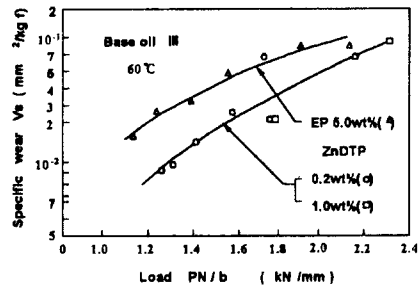


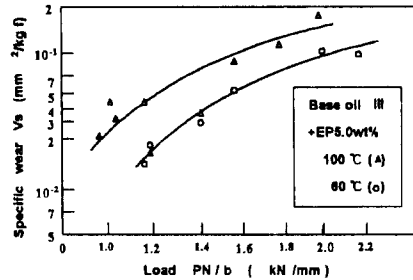
Fig. 7 The effect of specific wear on ZnDTP and EP Additive

3.3 온도에 따른 비마모량의 영향

Fig. 8은 기유III에 첨가제를 ZnDTP와 EP제로 달리하여 온도에 따른 비마모량에 미치는 영향을 나타내었다.



(a) ZnDTP Additive



(b) EP Additive

Fig. 8 The effect of specific wear on the Lubricant temperature

Fig. 8은기유III에 ZnDTP를 0.5wt%첨가한 경우(a)로써 100℃에서의 비마모량은 60℃의

경우보다 약 3배 정도 높고, 같은 기유Ⅲ에 EP제 0.5wt%를 첨가한 경우(b)에 있어서는 60℃와 100℃와의 비마모량을 비교한 것으로써 (a)에서의 ZnDTP 경우보다 그 영향은 크지 않지만 100℃의 비마모량은 60℃의 경우보다 약 50%정도 높다.

이러한 일련의 결과로부터 윤활유의 온도는 비마모량에 아주 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.

3.4 감도에 따른 비마모량의 영향

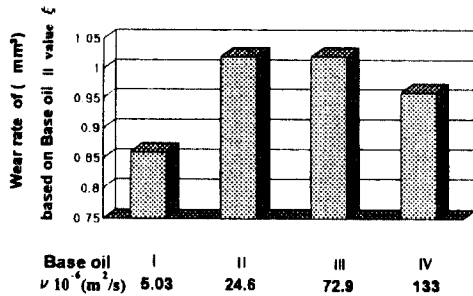


Fig. 9 A Relationship of Endurance life on the viscosity and the surface strength (Test condition ; Temp. 60℃ ZnDTP 0.5wt%)

Fig. 9는 표면강도에 따른 내구성(Endurance wear)과의 관계를 나타내었다. 이때 첨가제 또한 ZnDTP로써 0.5wt%를 첨가하였고, 기준 오일은 기유Ⅱ이다. 기유Ⅰ의 표면강도는 Ⅱ보다도 약 14% 낮은 값을 가지는데 기유Ⅰ은 점도가 매우 낮은 윤활유이므로 실제로는 잘 쓰이지 않고 통상적으로 기어유인 기유Ⅱ와 Ⅲ의 것을 많이 쓴다.

그리고 Fig.10은 윤활유의 온도와 표면강도에 따른 내구성과의 관계를 나타내었다. 이것은 기유Ⅱ와 기유Ⅲ, 그리고 Ⅳ의 온도를 변화시키면서 점도를 일정하게 하였다. 이때 ZnDTP를 0.5wt%의 일정량을 첨가하였다. 그리고 윤활유의 온도를 100℃와 115℃의 강도는 60℃의 경우보다도 약 15% 낮은 값을 나타낸다.

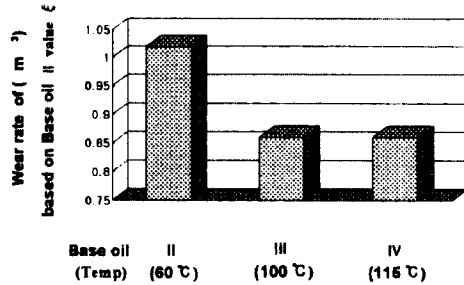


Fig. 10 A Relationship of Endurance life on the Temperature and the surface strength (Test condition ; ZnDTP 0.5wt%, ν ≒ 25×10⁻⁶)

이상으로 볼 때 윤활유의 온도는 마모량 및 강도에 큰 영향을 미친다는 것을 알 수 있다.

4. 결론

상대운동 전달면의 표면강도에 있어서의 마모에 관해서는 윤활유의 점도, 첨가제의 종류와 첨가량 및 온도를 변화시켜 얻은 실험 결과는 다음과 같다.

- (1) ZnDTP(마모방지제)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 높게 됨에 따라서 비마모량은 작아지게 된다.
- (3) 윤활유의 온도는 60℃에서 100℃로 상승시킬 때 ZnDTP와 EP제를 함유된 경우에서도 비마모량은 2배정도 상승한다. 또 점도를 일정하게 한 경우도 온도에 큰 영향을 미치는 것으로 나타났다.
- (4) 윤활유의 종류 및 온도 또한 하중을 일정하게 한 경우에는 비마모량이 작아지며, 장시간의 내구성을 가진다.

참 고 문 헌

1. Winter, H. : Industieblatt 5,5 (1960), 309.
2. Rettig, H. und Plewe, H., : Antrieb-technik, 16, 6 (1977), 357.
3. 君島, 比護, 潤滑 27-11 (1982), 59.
4. 有浦他 3名, 潤滑 24-10 (1979), 662.
5. 灰塚他 3名, 機論C 52-483, (1986), 2906.
6. D. BRIGGS & M.P.SEAH, "Practical Surface Analysis." John Wiley & Sons, (1983)
7. 이봉구, Journal Bearing에서의 혼합윤활 특성에 관한 연구" (1985)
8. 이봉구, "엔진오일의 혼합첨가제에 따른 윤활특성에 관한연구", 한국윤활학회지 (1985) Vol No. 1, pp50~57
9. ASTM D2625-67 "Measurement of wear properties of Fluid Lubricant."
10. ASTM D 2625-69 "Standard Test Method for Endurance (wear) Life and Load-carrying capacity of Solid Film Lubricants"