

Gear Oil의 複合添加劑에 따른 潤滑特性에 關한 研究

한국어선협회 검사관리부
주임검사원 채 영 진

— 목 차 —

- 1. 서론
 - 1-1. 연구배경
 - 1-2. 연구목적과 내용
- 2. 실험
 - 2-1. 실험장치 및 실험방법
 - 2-2. 측정
- 3. 윤활제
 - 3-1. 공시유
 - 3-2. 첨가제
- 4. 실험결과 및 고찰
 - 4-1. 하중변화에 따른 단위압력특성
 - 4-2. 하중변화에 따른 마찰특성
 - 4-3. 하중변화에 따른 마모특성
- 5. 결론

시켜 효율을 향상시키고 동력손실의 절감을 도모하기 위하여 접촉하는 두 면 사이에 윤활유를 사용하여 유막을 형성시켜 기계의 손상을 방지하고 있지만 윤활의 문제는 접촉면의 형태나 종류 또는 첨가제의 종류와 희석량의 변화에 따른 여러가지 상태의 변화로 인하여 간단하게 해결될 수 없는 매우 복잡한 현상을 나타내고 있다. 한편 산업의 발달에 따라 기계의 고속화, 대형화에 따른 기계의 대출력, 고정밀도가 요구됨에 따라 기계의 부품은 고온, 고압하에서 회전하게 되고 Gear Oil 또한 높은 하중의 운전조건에서도 유막이 파괴되어 급속접촉이 일어날 우려가 없는 고급성질의 특성을 가져야 할 것이다. 그러므로 운전조건에 따라서 극압성, 내마모성, 내열성, 유동성, 점도 특성들의 물리적 성상과 산화안전성 등의 화학적성상의 향상을 도모할 필요가 있으며 이 중에서도 마찰과 마모의 특성을 규명하는 것이 무엇보다도 우선되어야 하며 특히 내마모 즉 극압성의 연구는 무엇보다도 중요하다.

1. 서론

1-1. 연구배경

두 물체가 서로 접촉하여 운동을 할 때에는 항상 마찰(friction)과 마모(wear)가 발생한다. 특히 상대운동을 하는 기계요소에서는 점접촉, 선접촉, 면접촉에 따라 마찰과 마모 현상은 피할 수 없는 상황이므로 이들 마찰과 마모 및 마찰열에 의한 표면손상을 감소

이러한 현상에 따라 소부(seizure) 현상과 경계윤활효과를 증대시켜 윤활특성을 향상시킬 목적으로 각종 첨가제가 사용되고 있는데 그중에서도 ZDDP(zinc-dialkyl-dithio phosphate)와 DEP는 다기능 첨가제로서 자동차 엔진용의 극압제로 널리 사용한다.¹⁾

이에따른 연구로써 Thorp²⁾는 Molyoil에 ZDDP 첨가제를 첨가하여 마모특성을 조사하였으며 그 결과 천이영역 이전에서 거의 영향을 미치지 않는 반면 천이영역의 이후에서는 어느 정도 마모에 영향을 주는 현상을 관찰하였다.

또한 ZDDP 첨가시 SAE#10 기유(基油 : base oil)에 비해 낮은 마모율을 나타내고 있으며 기유에서처럼 천이영역은 발생되지 않으나 미끄럼속도와 유온의 증감에 따라 마모는 증가 추세에 있다는 보고도 있다.³⁾

이는 윤활유의 열분해에 의한 반응열의 증가로 접점에서 형성된 보호막의 감쇄속도를 증가시키기 때문이라고 발표하였다.⁴⁾ 이와는 달리 DEP의 경우 미끄럼속도와 유온의 증가에 따른 일정한 마모율을 나타내고 있다. 이러한 경향은 기 보고된 바 있는 DEP와 같은 작용 메카니즘인 수소제거제 기능에 의해 보호막의 감쇄를 방지시키기 때문으로 해석된다. 또한 경계윤활효과증대를 위하여는 고체윤활제인 MoS₂가 널리 사용되고 있는데, MoS₂는 극압성, 내열성, 내마모성 및 화학적 특성이 우수하고 극한 조건에서도 광범위하게 사용되고 있는 추세로서 MoS₂에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데, Gansheimer⁵⁾는 MoS₂의 농도변화에 따른 마모특성의 조사에서 3(wt%)이하의 농도에서 낮은 마모율을 보인 반면 그 이상에서는 거의 변화없음을 제시 하였다.

또한 安濟⁶⁾ 등은 유체윤활에 있어서 MoS₂ 혼입에 의한 연구로서 속도특성에 따른 마찰력이 주기적으로 변동된다는 것을 발견하였으며, 曾田⁷⁾는 MoS₂의 윤활작용에 관한 연구로서 MoS₂를 혼합할 경우에는 무첨가윤활면의 경우보다 마찰계수가 크고, 그 값이 시종 심한 변동을 나타낸다는 것을 고찰하였다.

그리고 국내에서는 李奉九⁸⁾ 등이 Journal Bearing의 혼합윤활에 있어서 MoS₂의 혼합영향에 관한 연구에서 여러가지 상태의 MoS₂가

Bearing Metal에 미치는 영향을 고찰하였다.

이상과 같은 연구를 통하여 볼 때 Gear Oil의 첨가제가 극압성에 미치는 윤활특성은 많은 연구과제로 남아 있다.

한편 이러한 많은 과제를 연구하기 위하여 사구시험기(四球試驗機), Timken시험기·Falex E.P Tester 등이 사용되고 있는데 본 연구에서는 Gear oil에 극압첨가제인 ZDDP와 DEP 및 MoS₂를 혼합시켜 Falex E.P Tester를 사용하여 그의 특성을 연구코자 한다.

1-2. 연구목적과 내용

전항의 연구배경에서 기술한 바와 같이 본 연구에서는 Falex E.P Tester를 이용하여 Gear Oil의 기유(base oil)에 극압첨가제를 첨가하여 하중변화에 따른 단위압력특성, 마모의 특성 및 마찰계수의 변화 등을 고찰하고자 한다.

이러한 목적을 열거하면 다음과 같다.

- 1) Gear Oil의 기유에 극압첨가제 ZDDP와 DEP 및 MoS₂를 첨가하여 하중변화에 따른 단위압력을 측정 고찰한다.
- 2) Gear Oil의 기유에 극압첨가제 ZDDP와 DEP 및 MoS₂를 첨가하여 하중변화에 따른 마찰계수를 측정 고찰한다.
- 3) Gear oil의 기유에 극압첨가제 ZDDP와 DEP 및 MoS₂를 첨가하여 하중변화에 따른 마모량을 측정 고찰한다.

2. 실험

2-1. 실험장치 및 실험방법

본 실험에서 사용된 실험장치는 Gear oil에 ZDDP와 DEP 및 MoS₂혼입에 따른 마찰 및 마모특성 등을 측정하기 위하여 Falex E.P Tester를 이용하였으며 Fig. 2 1은 Falex E.P Tester의 개략도를 도시하였고 Fig. 2 2는 Journal

과 V-Block을 확대배열 및 조립상태를 도시 하였다.

실험장치의 주요부분으로는 시험부, 하중 작용부, 마모량측정부, 동력전달부, 윤활유급유 부로 되어 있다. 시험부는 Pin과 V-Block으로 구성되어 있으며 Pin의 직경은 1/4inch (6.35mm), 길이 1 1/4inch (31.75mm), 재질은 AISI steel이며 V-Block의 각도 $\pm 1^\circ$, 재질은 AISI C-1137 steel이다.

V-Table 1은 Pin 과 V-Block의 물리적성상 및 화학적성분을 나타낸 것이다.

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

Properties /Items	Journal	V-block
Surface Roughness	5-10 μ inch (1.3×10^{-3} - 2.5×10^{-3} m)	5-10 μ inch (1.3×10^{-3} - 2.5×10^{-3} m)
Hardness	87-91(HrB)	20-24(HrC)
Chemical Composition (Wt %)	C : 0.43-0.48 Mn : 1.60-1.90 S : 0.040 P : 0.040 Si : 0.20-0.035	C : 0.32-0.39 Mn : 1.35-1.65 S : 0.08-0.13 P : 0.040

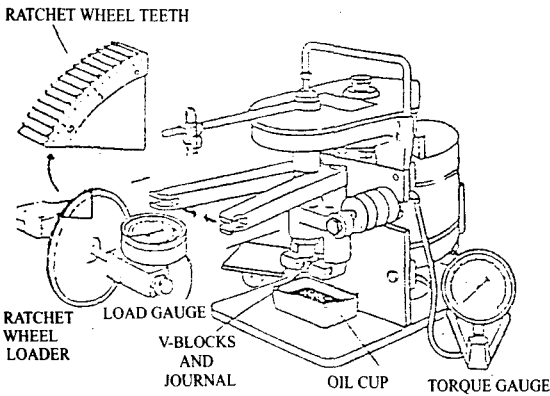


Fig. 2-1 Schematic Diagram of the Falex E. P Tester.

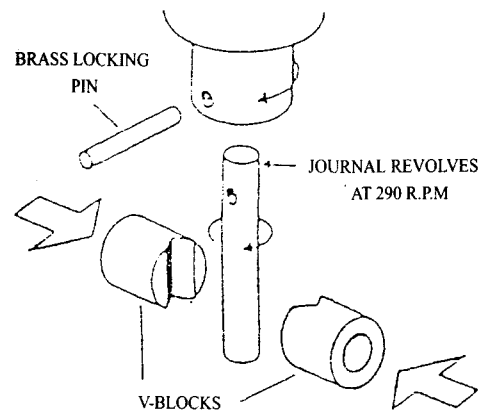


Fig. 2-2 Exploded View of V-Block and Journal Arrangement.

하중작용부는 Nut-cracker 형식으로 작동하는 Lever Arm 과 Spring Gauge 를 통하여 V-Block에 전달되며 그 하중은 Micro-Meter 와 같은 Ratchet Wheel 기구에 의하여 작동된다.

하중은 Load Gauge로 직접 측정할 수 있게 되었으며 Torque는 Torque Gauge 로 직접 측정한다. 마모량측정부는 Ratchet Wheel 기구와 Gauge로 나눌 수 있으며, 윤활유급유부는 Oil Cup과 Oil Cup을 올려 놓 수 있는 Table로 구성되는데, Table의 Spring 장치를 이용하여 시험편의 pin과 V-Block이 시험유속에 잠기도록 되어있다. 이때 시험유는 Oil cup에 60 [ml] 정도 채운다.

동력전달장치는 115/230(V), 1/2(HP)의 교류 전동기 1425/1725(RPM)를 이용하여 구동력을 발생시켰으며 Belt에 의하여 Spindle은 290 ± 10 (RPM) 으로 회전한다.

ZDDP와 DEP 및 MoS₂첨가에 따른 극압성을 연구하기 위한 실험은 Journal 과 V-Block 접촉면의 윤활상태를 고찰하기 위하여 SAE #80 에 ZDDP, DEP 및 MoS₂를 첨가하여 실험하였다. 이 실험은 시험유에 잠겨있는 두개의 정지된 steel V-Block 에 대하여 Steel Journal을 회전시키는 것으로 하중이 V-Block에 걸리고 Ratchet 기구에 의하여 유지되고 마모는 Ratchet Wheel의 잇수로 결정한다.

2-2. 측정

2-2-1. 하중변화에 따른 단위압력측정

하중변화에 따른 압력측정을 위하여 2 1 과 같은 실험방법으로 Torque Gauge와 하중 Gauge를 “0” 점에 맞춰 놓고 하중을 500 [lb], 1,000[lb], 1,500[lb], 2,000[lb]로 변화시키면서 Ratchet Wheel로 하중을 가하여 그때의 하중을 하중Gauge에서 측정하고 압력을 Torque Gauge에 의해서 측정한다. V-Block 과 pin이 서로 접촉하여 회전하는 상태에서 직접하중이 가해지면 하중이 발생하여 V-Block과 pin에 흠집이 생긴다. 각 하중에서의 V-Block 흠집폭을 표시하여 단위압력 [psi] 계산식에 의해 하중에 대한 값을 산출하며 반복 실험하여 평균값을 구한다.

아래에 이에 대한 계산식을 열거한다.

$$\begin{aligned}
 D.L &= \text{Direct Load [lb]} \\
 N &= \text{Normal Load per Face [lb]} \\
 X &= 0.125 \times \sin 42^\circ = 0.125 \times 0.669130 \\
 &= 0.0836 \text{ [in]} \\
 Y &= \sqrt{(0.250)^2 - (0.0836)^2} = 0.2356 \text{ [in]} \\
 2Y &= \text{scar length} = 2 \times 0.2356 = 0.4712 \text{ [in]} \\
 \text{Scar Area} &= 0.4712 \times \text{scar width [in]}^2
 \end{aligned}$$

Contact Pressure

$$\begin{aligned}
 \text{psi} &= N / \text{scar area} = 0.672816 \times D.L \\
 & / 0.4712 \times \text{scar width} \\
 & = 1.4279 \times D.L / \text{scar width}
 \end{aligned}$$

2-2-2. 하중변화에 따른 마찰계수의 측정

Fig. 2-3 에서 V-Block Groove에 접촉된 pin 이 회전하고 V-Block에 직접하중 D.L이 가하여지며 수직하중 “N”이 pin에 전달되고 Torque가 발생한다. 각 하중에 대한 Torque “T”를 표시하여 계산식에 의하여 산출하며 반복실험하여 평균 값을 구한다.

마찰계수는 다음 식에 의하여 구한다.

$$\begin{aligned}
 D.L & ; \text{Direct Load [lb]} \\
 T & ; \text{Torque [lb-in]}
 \end{aligned}$$

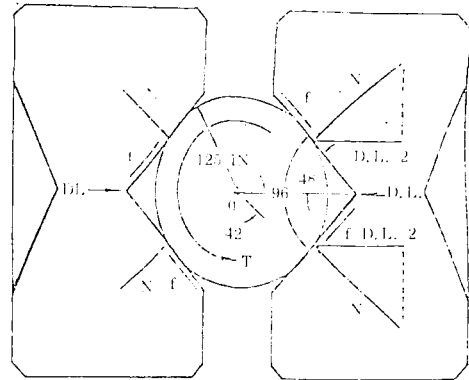


fig. 2 3 The Feature of pin and V-Block Friction Coefficient

$$\begin{aligned}
 N & ; \text{Normal Load per Face [lb]} \\
 \mu & ; \text{Coefficient of Friction} \\
 \Sigma M_o &= 0 = T - (4f \times 0.125) \\
 f &= T / (4 \times 0.125) = 2T \\
 L \cdot D / 2 &= N \times \cos 42^\circ \\
 N &= D \cdot L / (2 \times \cos 42^\circ) = 0.672816 D \cdot L \\
 \mu &= 2.9726 T / D \cdot L
 \end{aligned}$$

2-2 3. 하중변화에 따른 마모측정

Journal과 V-Block 접촉면의 마모의 측정은 일정한 시간동안 500[lb], 1,000[lb], 1,500 [lb], 2,000[lb]의 step up 하중에서 시험유에 대한 마모량을 측정한다.

Jaw Arm 위에 Gauge가 부착되고 Automatic Loading Device를 설치하고 Ratchet Wheel 을 움직여서 Assembly가 느슨한 것을 없애주고 하중gauge를 “0”으로 Setting조정한다. Ratchet Wheel 기구는 시험이 진행되는 동안의 마모의 측정치를 나타내며 Ratchet Wheel의 18 개 잇수는 0.001inch의 마모량에 해당한다.

시험하중에서 시험을 한 뒤 하중은 Load Gauge에서 측정하고 Ratchet Wheel에서 마모 량을 측정하여 기록한다. 이들 측정값은 반복시험하여 평균 값을 구한다.

3. 윤활제

3-1. 공시유(供試油)

본 시험에서 사용된 SAE #80W의 기유의 물리적 성상은 Table 2와 같다.

Table 2 Physical properties of Lubricant

Performances	SAE #80W
Specific Gravity	0.886
Viscosity [cSt] 40℃	73.4
" 100℃	7.5
Viscosity index	100
Flash Point ℃	206
Pour Point ℃	-35

3-2. 첨가제

첨가제로서는 극압 및 내마모 첨가제로 현재 많이 사용되고 있는 시판용 ZDDP(Zinc Dialkyl Dithio Phosphate)와 DEP 및 MoS₂를 첨가하였으며, Table 3은 성상을 나타냈고 Table 4는 첨가제 ZDDP와 DEP에 함유되어 있는 성분을 나타낸 것이다.

Table 3. Properties of Molybdenum disulfide Powder

Resolution Temperature [℃][°F]	1098(2010)
Bardness Moh's	1~2.5
Specific Gravity	48
MoS ₂ Content [Wt%]	98.9
Density	4.85~5.0
Heat Resistant[℃]	-193~450
Pressure Resistant [kg/cm ²]	29000

Table 4. Comparison of inorganic elements

Compound	elements	Wt%
DEP	P	9.6
	zn	6.1
ZDDP	s	9.7
	P	4.8

4. 실험결과 및 고찰

4-1 하중변화에 따른 단위압력 특성

Fig. 4-1은 기유와 기유에 첨가제 ZDDP와 DEP 및 MoS₂를 첨가하여 하중변화에 따른 단위압력을 나타낸 것으로서 종축에 단위압력(Psi)을 표시하고 횡축에 하중(lb)을 나타냈다.

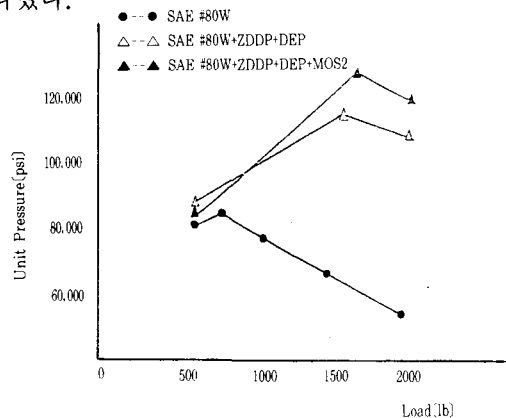


Fig. 4-1 Unit Pressure For Load

Fig. 4-1에서 나타낸 바와 같이 천이압력이 일어나는 하중에 도달할 때까지 단위압력이 증가하다가 그 점을 벗어나면서 단위압력은 급격히 떨어지는 것을 알 수 있었다.

또한 SAE #80W에서는 하중이 700[lb]에서 천이압력이 일어나고, SAE #80W+ZDDP+DEP는 1600[lb]에서, SAE #80W+ZDDP+DEP+MoS₂는 1700[lb]에서 천이압력이 일어나는 것을 알 수 있었다. 시험유에 혼합첨가제(ZDDP+DEP)를 첨가하여 실험한 결과 천이압력이 일어나는 점이 무첨가시보다 현저하게 증가하는 것을 알 수 있고 여기에 복합첨가제 MoS₂를 첨가했을 경우 더욱더 천이압력이 일어나는 점이 증가하는 것을 알 수 있으므로 복합첨가제 ZDDP+DEP+MoS₂를 첨가하는 것이 단위압력이 높아지는 것으로 보아 극압성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

4-2. 하중변화에 따른 마찰계수의 변화

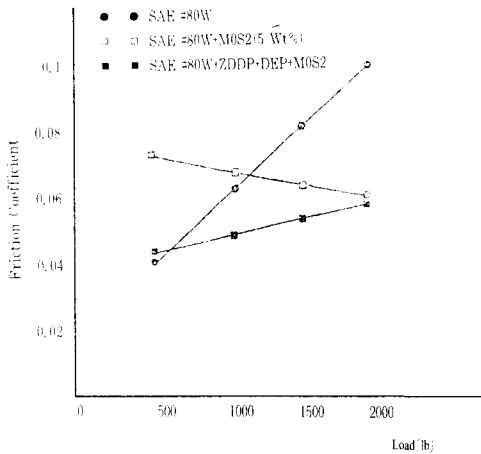


Fig. 4-2 Friction Coefficient for Load

Fig. 4-2는 하중변화에 따른 마찰계수의 변화를 도시하였으며 종축에는 마찰계수(μ)를 표시하였고, 횡축에는 하중(lb)을 표시하였다. Fig. 4-2에서 보는 바와 같이 SAE #80W은 500(lb)에서 마찰계수가 0.04에서 시작해서 2000(lb)에서는 0.1로 급격히 증가하였다.

SAE #80W+MoS₂(5Wt%)는 500(lb)에서 마찰계수가 0.07에서 시작해서 2000(lb)에서는 0.06으로 완만하게 감소되었다. 이것은 낮은 하중에서는 MoS₂첨가가 무첨가의 경우보다 오히려 높은 마찰계수를 나타냈으나 하중이 증가할수록 마찰계수는 낮아져서 MoS₂첨가시에는 낮은 하중보다 높은 하중에서 극압성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

SAE #80W+ZDDP+DEP+MoS₂는 500(lb)에서 마찰계수가 0.04에서 시작해서 2,000(lb)에서는 0.06 이하로써 마찰계수가 가장 낮다. 그러므로 대체적으로 전 하중영역에서 윤활특성이 우수하다는 것을 알 수 있었다.

4-3. 하중변화에 따른 마모특성

Fig. 4-3에는 하중변화에 따른 마모특성을

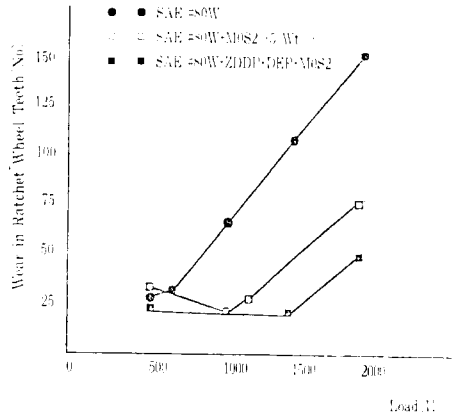


Fig. 4-3. Wear in Ratchet Wheel teeth for Load

나타낸 것으로 종축에 Ratchet teeth의 마모(No)를 표시하였고 횡축에 하중(lb)을 표시하였다. Fig. 4-3에서 나타난 바와 같이 횡축의 일정지점 이전에서는 작은 차이가 나타나지만 발생지점을 벗어나면서 급격한 마모가 발생되는데 이 점이 seizure 발생점이다.

SAE #80W oil에서는 하중이 600(lb)에서 마모가 급격히 상승하고 첨가제를 첨가한 SAE #80W+MoS₂ oil에서는 1200(lb)에서, SAE #80W+ZDDP+DEP+MoS₂에서는 1500(lb)에서 Seizure가 일어나는 것을 알 수 있다. 시험유에 첨가제 ZDDP 및 ZDDP+DEP를 첨가하여 실험한 결과는 Seizure 발생영역 이전에서는 마모가 작게 일어나고 하중증가에 따라 마모에 대한 효과가 크게 나타나며 혼합첨가제(ZDDP+DEP)에 MoS₂를 첨가(복합첨가제)하여 실험한 결과 혼합첨가제만을 첨가하였을 때보다 고하중에서 Seizure가 발생한 Seizure영역을 벗어나도 완만한 마모량을 나타내므로 복합첨가제를 첨가하는 것이 극압성이 우수하여 윤활특성을 향상시킴을 알 수 있었다.

5. 결론

이상과 같이 Falex. E.P Tester를 이용하여

Gear oil에 ZDDP+DEP 및 MoS₂ 혼입에 따른 윤활특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

가. 복합첨가제를 첨가한 경우에는 혼합첨가제나 무첨가시보다 단위압력의 천이영역이 높은 하중으로 이동되어 극압성이 우수하다.

나. 복합첨가제를 첨가한 경우에는 혼합첨가제나 무첨가제 때 보다 마찰계수가 가장 낮아서 윤활특성이 우수하다.

다. 복합첨가제를 첨가한 경우에는 혼합첨가제나 무첨가제 때 보다 마모량이 가장 작아서 마모특성이 우수하다.

따라서 윤활특성을 높이기 위해서는 복합첨가제의 첨가가 고려되어야 됨을 알 수 있었다.

“後記”

본 연구논문을 실험에서부터 분석, 교정에 이르기까지 지도하여 주신 원광대학교 산업대학원 기계공학과 이봉구 교수님께 감사의 뜻을 표합니다.

참 고 문 헌

1. 李奉九 “Tribology 개론” 동명사(1987),

179.

2. J.M. Thorp “The Mechanism of Lubrication by MoS₂ dispersed in oil and the effect of Zinc Dialkyl Dithio Phosphate Additive” wear, 23 (1973) 63~70.

3. Choi.U.S and Kwon, O.K “A Study on the effect of Physico-Chemical factors in wear Mechanism in a Lubricated Contact” KSLE. Vol. 4(1988) 48~55.

4. Abou H. H Naga E.L. and Salem, A.E “Testing Thermal Stability For Base oils Via Thermo-Gravimetric Balance and Differential Thernal Analyzer” Lub. Eng. 41. 8. (1985), 450~476.

5. J. Gansheimer and R. Holinsky, “Study of Solid Lubricants in oil and Grease Under Boundary Conditions” wear(1972), 439~449.

6. 安濟 外 “流體潤滑における 固形異物質混入の影響” 日本潤滑學會 研究發表會11 (1979) 249~252.

7. 曾田, “潤滑” 21, 2(1976) 90.

8. 이봉구의 “Journal bearing의 혼합윤활에 있어서 MoS₂ 혼입영향에 관한 연구” 대한기계학회 열유체부분(1984), 929~932.

내가 번돈 내가 써도

지나치면 흠이된다