

자동차 기어오일의 혼합첨가제 첨가에 따른 트라이볼로지 특성에 관한 연구

최낙정* · 윤석범†

(원고접수일 : 2008년 2월 15일, 심사완료일 : 2008년 5월 15일)

A Study on the Tribological Characteristics of Automobile Gear Oil with Addition of Compound Additives

Nag-Jung Choi* · Suk-Bum Youn†

Abstract : In this paper, experiments have been performed for the investigation of tribological characteristics of automobile gear oil with the addition of ZDDP and DEP by using the FALEX WEAR TEST MACHINE.

The results are as follows. The wear characteristics of gear oil was improved by adding compound additives. The extreme pressure of gear oil increases and then decreases with the applied load. The maximum extreme pressure of gear oil with compound additive is bigger than that of pure gear oil.

The friction coefficient of pure gear oil monotonically increases with the temperature, but that of gear oil mixed with the additives decreases at the high temperature.

Key words : Tribological characteristics(윤활특성), Compound additive(첨가제), Wear(마모), Extreme pressure(극압)

1. 서 론

기계의 고급화, 대형화에 의한 고정밀도, 대출력이 요구됨에 따라 기어 등은 고정밀도, 고온, 고압 하에서 회전하게 된다. 이에 따라 윤활유의 극압제를 첨가함으로써 윤활특성을 향상시키려는 노력이 강구되어 왔다. 윤활유의 극압제로는 유황계, 할로젠계, 인계의 3종류의 그룹으로 분류된다. 그리고 이와 같은 원소가 2종류이상 들어있는 것이 혼합제

이다^[1]. 일반적으로 유황계는 유화철, 할로젠계는 염화철, 인계는 인산철을 형성하고 이 중에서 염화철은 용점이 낮으며 가수분해를 쉽게 받기 때문에 특수한 용도로 사용되고 있다.

한편 유화철은 1194℃라는 매우 높은 용점을 갖고 있기 때문에 고온까지 유효하다.

유기금속 화합물의 그룹은 이들과는 전혀 별도로써 나프텐산염을 상당히 오랫동안 유황계 극압제와 결합되어 사용되어 왔지만 납(Pb)이라고 하는 뒤

† 교신저자(전북대학교 기계설계공학부, E-mail : ychat@chonbuk.ac.kr, Tel : 063)850-0784)

* 전북대학교 기계설계공학부

처리에 곤란한 원소를 함유하고 있기 때문에 최근에는 널리 사용하지 않고, 티오인산염 그중에서도 디알킬디티오인산염인 ZDDP(zinc dialkyl dithio phosphate)가 다기능 첨가제로써 자동차 엔진용의 극압제로 널리 사용된다^[2]. 최근까지 윤활시스템에 적용되고 있는 모든 극압 및 내마모 첨가제들도 윤활 접점에서 화학반응 혹은 물리화학적 흡착반응에 의한 보호막 형성의 기능으로 계 내에서 내마모성 및 극압성 등의 윤활성능을 증가시키고 있으며 이 기능은 단지 형성된 보호막의 전단력의 세기에 기인된다.

그러나 이는 윤활조건이 가혹해짐에 따라 탄화수소로 구성되어 있는 윤활유의 열분해로 생성된 수소원자의 분자화 및 환원반응과 더불어 접점에 형성된 보호막의 감쇄속도를 가속화시키며 분해 생성물에 의한 금속의 부식현상을 초래하여 기계요소의 마모에 직접적인 원인이 되고 있다는 보고도 있다^{[3]-[4]}. 따라서 윤활제의 극압성 현상에 대한 많은 연구가 진행되고 있고, Bartz는 극압윤활첨가제 첨가시 첨가제의 농도가 증가함에 따라 첨가제의 무첨가시 보다 좋은 마모특성을 나타낸다는 발표를 하였다^[5]. 한편 ZDDP의 첨가시 SAE#10W에 비해 낮은 마모율을 나타내고 있고 기유에서처럼 천이영역은 발생되고 있지 않으나 미끄럼 속도와 유온의 증가에 따라 마모는 증가추세에 있다는 보고도 있으며^[6], 이는 윤활유의 열분해에 의한 반응열의 증가로 접점에서 형성된 보호막의 감쇄속도를 증가시키기 때문이라고 발표한 바도 있다^[7].

이와는 달리 DEP(diethyl-3, 5-ditbuty, 4-hydroxy benzyl phosphonate)의 경우 미끄럼속도와 기유의 증가에 따라 일정한 마모성을 나타내고 있고, 이러한 경향은 이미 보고된 바 있는 DEP의 작용 메카니즘인 수소제거제 기능에 의해 보호막의 감쇄를 방지시키기 때문인 것으로 해석되어진다.

이상과 같은 연구배경을 통하여 볼 때 기어오일의 첨가제가 극압성에 미치는 영향^[8]은 많은 연구과제를 가지고 있기 때문에 본 연구에서는 첨가제가 단일체가 아닌 혼합체를 첨가시켜 기어오일에 대한 윤활특성을 실험을 통하여 수행하였다.

2. 실험 장치 및 실험 방법

2.1 실험 장치

본 실험에 사용한 실험 장치는 마찰, 마모, 극압 특성 등을 조사하기 위하여 펠렉스시험기를 이용하였으며, Fig.1에 본 실험장치의 개략도를 도시하였고, Fig.2에 저널과 V-블록을 확대 도시하였다. 실험장치의 주요 구성 부분으로는 동력 발생부, 동력전달장치, 시험부, 하중 작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다.

동력전달장치는 220V-1/2HP의 교류전동기 1425/1725rpm을 이용하여 구동력을 발생시키고, 벨트에 의하여 스피들은 290±10rpm으로 회전한다. 시험부는 저널과 V-블록으로 구성되어 있으며, 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접촉하여 회전한다.

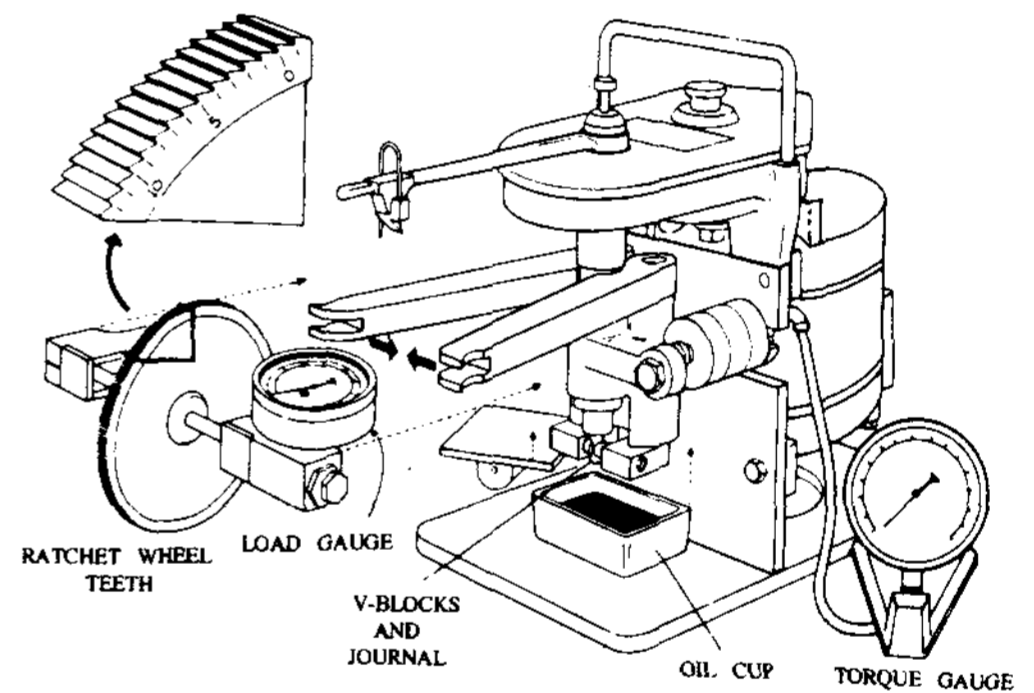


Fig. 1 Schematic diagram of test machine

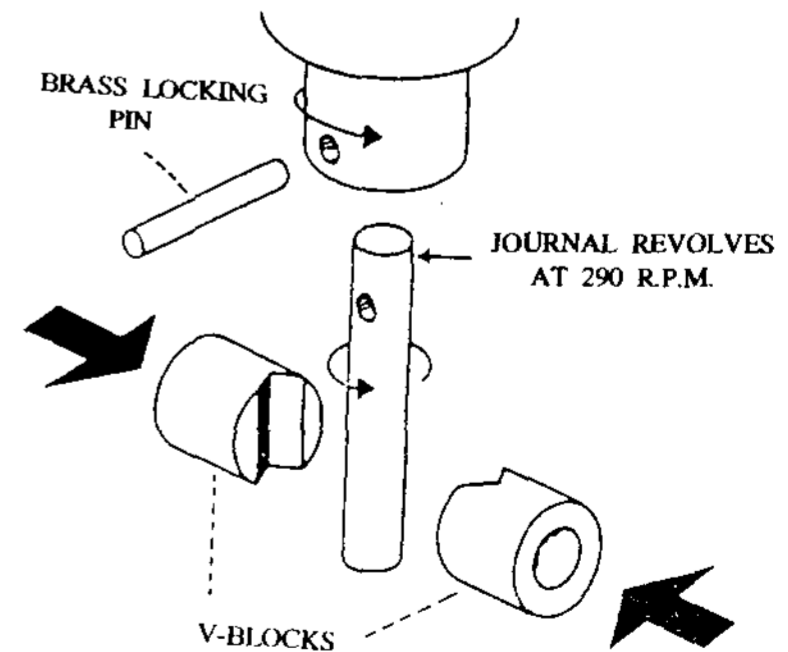


Fig. 2 Exploded view of V-blocks and journal arrangement

하중작용부는 래칫 휠 기구로 하중을 증가시키도록 되어 있으며, 하중은 레버 아암 스프링 게이지를 통해 V-블록에 전달하도록 설계되어 있다. 윤활유 급유부는 유육식을 행하였고, 온도측정시 히팅 코일을 사용한다.

2.2 공시유 및 첨가제

본 실험에 사용된 공시유는 기어오일의 기유로 널리 사용되는 SAE#80W를 사용하였다.

기유의 물리적 성상은 Table 1에 나타낸 바와 같다. 첨가제로서는 극압 및 내마모 첨가제로 현재 많이 사용되고 있는 시판용 ZDDP와 DEP를 0.5wt%와 5wt%를 각각 첨가하였다.

Table 2는 첨가제 ZDDP와 DEP에 함유되어 있는 성분을 표시한 것이다.

Table 1 Physical properties of base oil SAE#80W

Properties	Values
Specific Gravity 15/4	0.886
Kinematic Viscosity 40[°C]	73.4
[cSt] 100[°C]	7.5
Viscosity Index	100
Flash Point [°C]	206
Pout Point [°C]	-35

Table 2 Comparison of inorganic elements

compound	elements	wt%
DEP	P	9.6
ZDDP	Zn	6.1
	S	9.7
	P	4.8

2.3 실험방법 및 측정

Fig. 2에서와 같이 저널을 시험기 축에 끼워 넣은 후 고정 편으로 고정시킨다.

그리고 자동 하중 래칫 휠을 물린 다음 전동기를 작동시키고, 래칫 휠로 하중을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0kN 등으로 0.5kN씩 단계적으로 변화시켜 가

면서 실험을 하였다. 그리고 게이지에서 하중을 제거시킨 후 래칫 휠에 의하여 실험 하중으로 되돌린다. 이렇게 하여 다음과 같은 연구내용의 실험결과를 컴퓨터 처리한 후 데이터를 사용하였다.

2.3.1 하중변화에 따른 마모 측정

Fig. 3에서 저널이 V-블록 홈에 접촉하여 회전하고, V-블록에 직접하중이 가해지면 수직법선하중이 저널에 전달되고 토크가 발생한다. 이렇게 해서 얻어진 각 하중을 5kN로 일정하게 가하면서 1시간 마다 접촉면의 마모량을 측정하였다. 마모량은 진행된 래칫 휠 잇수에 의해 구하여지며 래칫 휠 잇수 18개는 25.4×10^{-5} mm 마모에 해당하며, 측정 한 값을 평균값으로 구하였다.

2.3.2 하중변화에 따른 극압 측정

하중변화에 따른 접촉압력 측정을 위하여 상기의 실험과 같은 방법으로 토크 게이지와 하중 게이지를 0점에 맞춰놓고 하중을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0kN으로 변화시키면서 래칫으로 하중을 가하여 그때의 하중을 하중 게이지에서 측정하고 압력은 토크 게이지에 의하여 측정한다.

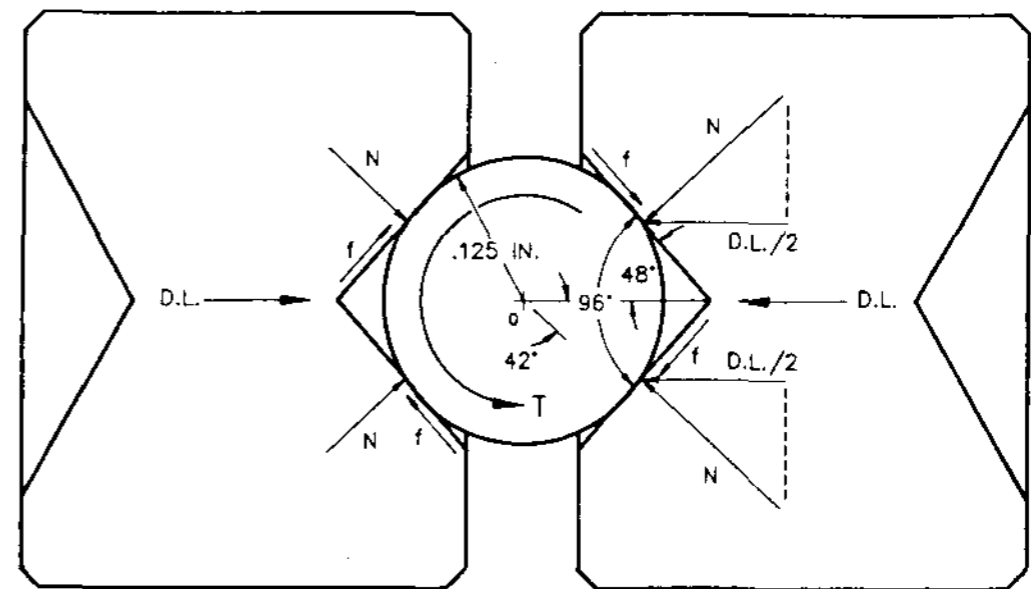


Fig. 3 The feature of journal and V-block friction coefficient

Fig. 4에서는 V-블록과 저널이 서로 접촉하여 회전하는 상태에서 직접하중이 가해지며 수직 법선하중이 발생하여 저널과 V-블록에 흠집이 생긴다. V-블록 흠집 폭을 아래 원형으로 확대 표시하였고, 이때 각 하중에 대한 접촉압력 값과 마모량을 구한다.

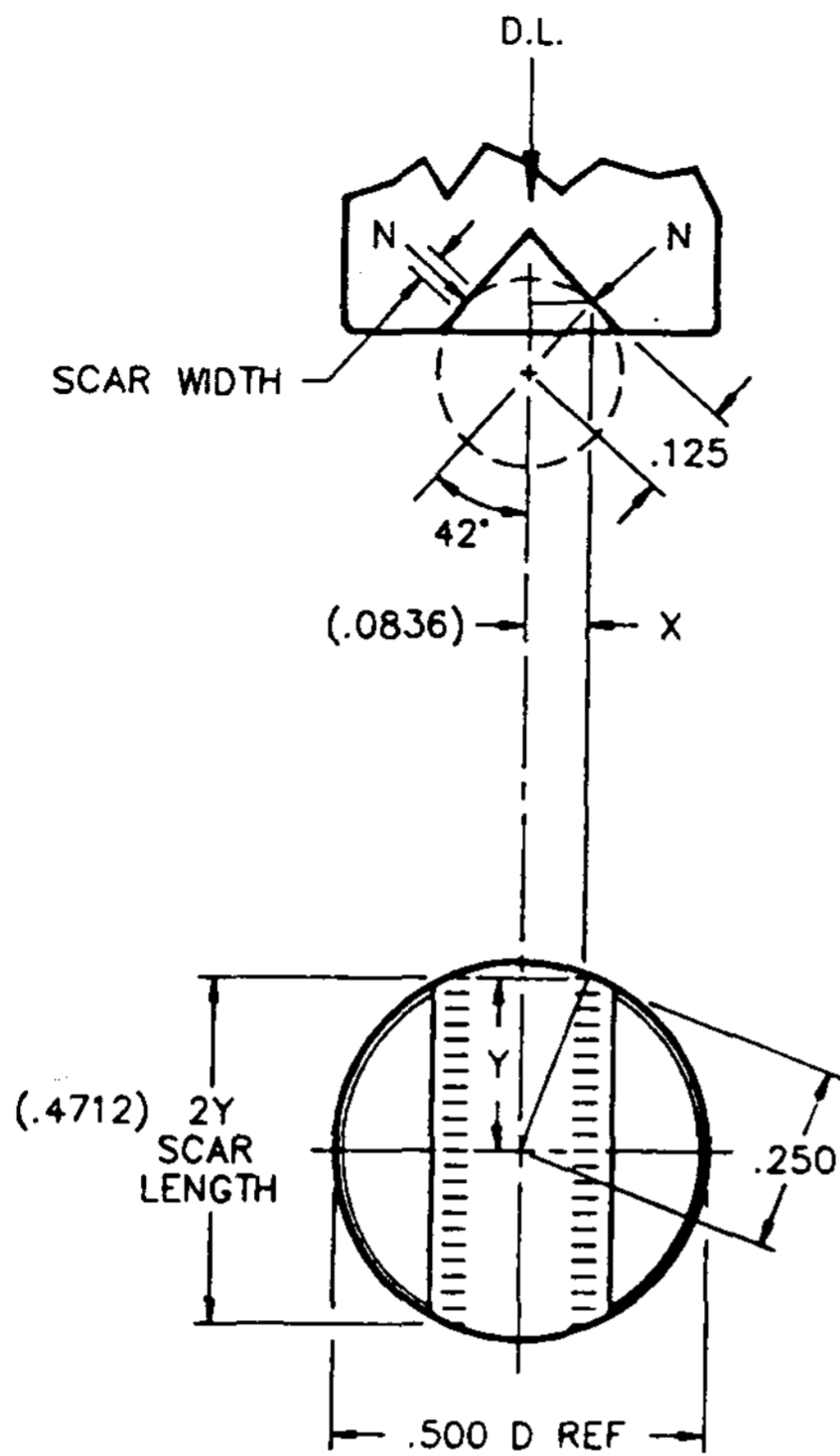


Fig. 4 Journal and V-block scar area

2.3.3 온도변화에 따른 마찰계수 측정

Fig. 3에서 저널과 V-블럭이 접촉하여 상대운동을 하면서 회전하기 때문에 온도가 상승하지만 시험유에 히팅 코일을 삽입하여 온도가 초기 상온으로부터 200℃까지 변하는 상태에서 시험조건에 따라 하중을 제거하고 시간에 따라 측정하였다. 열전대는 V-블록 홈에 자리파기하여 삽입 부착하였다. 이렇게 해서 얻어진 각 하중에 대한 토크로 마찰계수변화를 마찰계수 계산식에 의하여 산출하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 하중변화에 따른 마모 특성

Fig. 5에는 하중변화에 따른 마모 특성을 나타낸 것으로 실험결과 종축에 마모량과 횡축에 하중 kN을 도시하였다. 시험조건은 상온에서 각 0.5, 1.0, 1.5, 2.0kN에서 3분간 운전 뒤 하중을 제거하고 이때의 V-블록 홈에 마모된 흠집 폭을 측정

하여 마모량을 산출 하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 일반적으로 세 경우 모두 횡축의 일정 지점 이전에서는 작은 차이가 나타나지만 일정 지점을 벗어나면서 급격한 마모가 발생되는데 이 점이 시저(늘어붙음, seizure)발생점이다. SAE#80W에서는 하중이 0.6kN에서 마모가 급격히 상승하고 첨가제를 첨가한 SAE#80+ZDDP는 1.0kN에서, SAE#80+Z DDP에서는 1.6에서 시저가 일어나는 것을 알 수 있다.

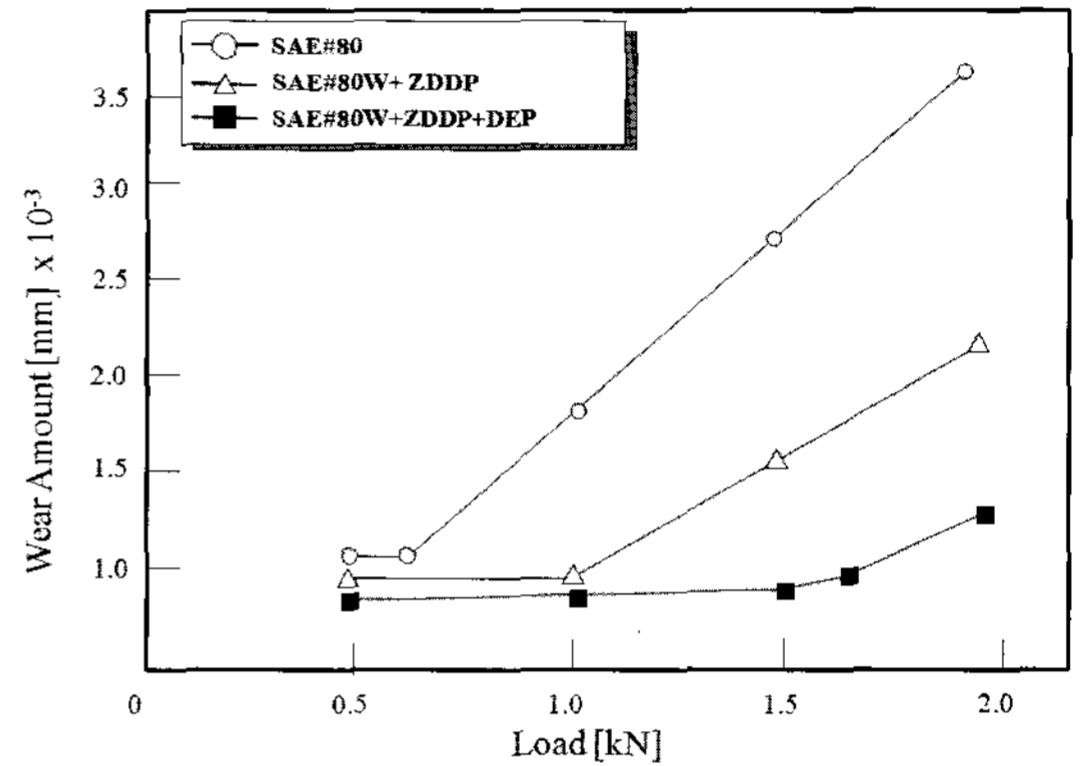


Fig. 5 Wear amount for load

시험유에 첨가제 ZDDP를 첨가하여 실험한 결과 늘어붙음 발생영역 이전에서는 마모가 적게 일어나고 ZDDP에 DEP를 첨가하여 실험한 결과 ZDDP만을 첨가하였을 때 보다 고 하중에서 늘어붙음이 발생하므로 첨가제 DEP를 첨가하는 것이 마모 특성을 향상시킴을 알 수 있다.

3.2 하중 변화에 따른 극압 특성

Fig. 6은 기유와 기유에 첨가제 ZDDP, DEP를 첨가하여 하중변화에 따른 압력을 나타낸 것으로 종축에 접촉압력과 횡축에 하중[kN]을 도시하였다.

그림에서 나타난 바와 같이 일반적으로 천이압력 이전에서는 압력이 증가하다가 그 점을 벗어나면 압력이 급격히 떨어지는 것을 알 수 있다.

한편 SAE#80W에서는 하중이 0.7kN에서 천이압력이 일어나고 SAE#80W+ZDDP는 1.2kN에서, SAE#80W+ZDDP+DEP는 1.6kN에서 천이압력이 일어나는 것을 알 수 있다. 시험유에서

첨가제 ZDDP를 첨가하여 실험한 결과 천이압력이 일어나는 지점이 현저하게 증가하는 것을 알 수 있고, ZDDP와 DEP를 첨가했을 경우 ZDDP만을 첨가했을 때 보다 천이압력이 일어나는 점이 증가하여 접촉압력이 높아지는 것으로 보아 극압성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

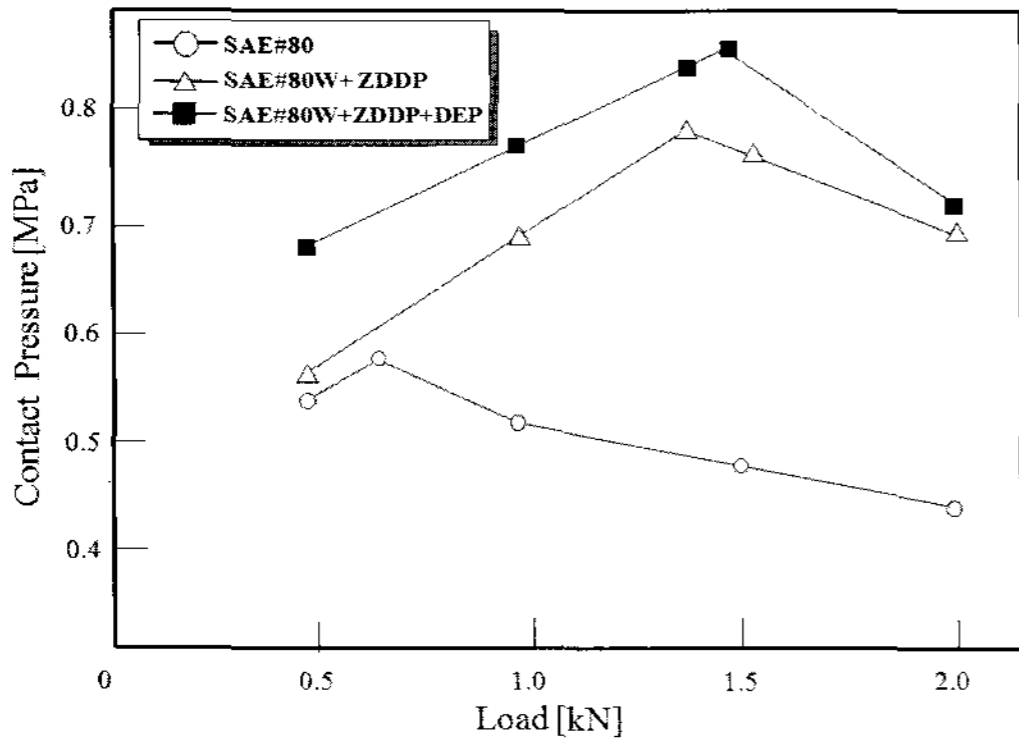


Fig. 6 Contact pressure for load

3.3 온도변화에 따른 마찰특성

Fig. 7은 하중 1.5kN에서 일정하게 유지하고, 온도를 초기 상온 20℃부터 200℃까지 매 20℃간격으로 하중을 제거한 뒤 온도변화에 따른 마찰계수변화를 나타낸 것으로 종축에 마찰계수와 횡축에는 온도를 도시하였다.

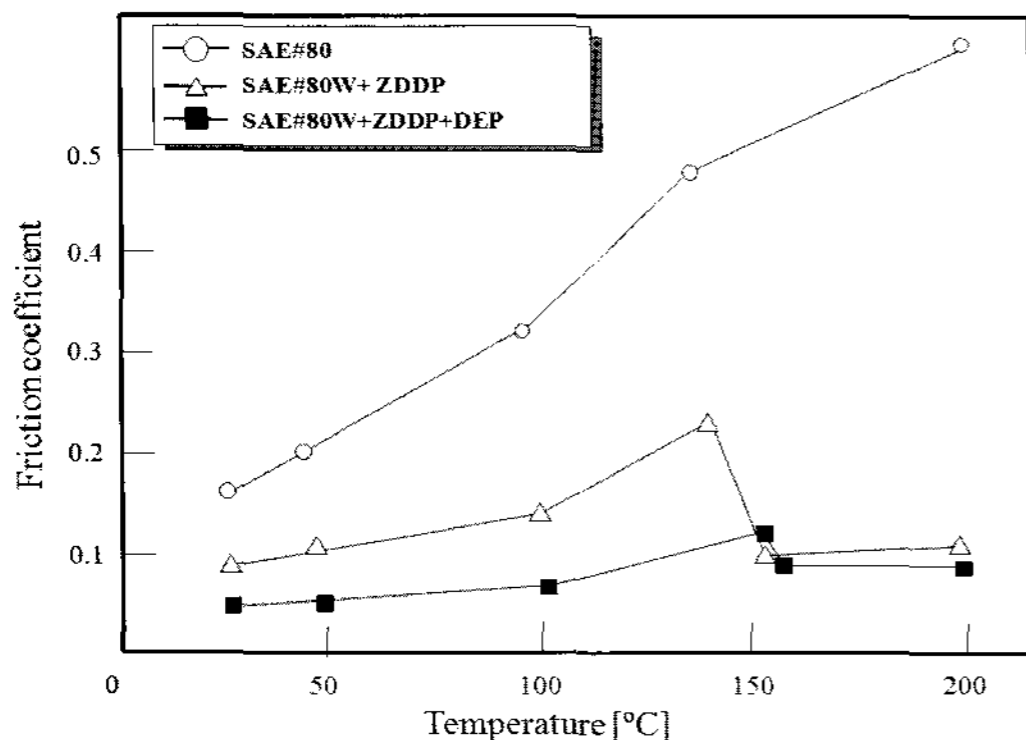


Fig. 7 Friction coefficient for oil temperature

그림에서 나타난 바와 같이 SAE#80W은 마찰계수가 일정하게 상승하고 극압제 ZDDP를 첨가했을 경우 처음에는 마찰계수가 일정하게 증가하다

가 140℃에서 급격히 감소된다. 그리고 ZDDP와 DEP를 첨가했을 경우 160℃에서 갑자기 감소되므로 극압제는 저온영역에서 보다 온도가 높은 점에서 마찰특성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

이상과 같이 펠렉스 마찰마모 시험기를 이용하여 자동차 기어오일의 기유 SAE#80W에 혼합첨가제인 ZDDP와 DEP를 첨가하여 윤활특성을 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째. 기유에 혼합첨가제를 첨가하면 무 첨가나 단일첨가제보다 마모량이 적어 마모 특성이 우수하다.

둘째. 기유에 혼합첨가제를 첨가하면 접촉압력의 변화가 적고 하중 영역에서 천이 되므로 극압 특성이 우수하다.

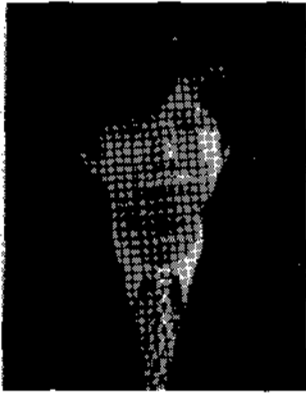
셋째. 기유에서 혼합첨가제를 첨가하면 고온부에서 마찰계수가 적어 마찰특성이 우수하다.

참고 문헌

- [1] 이봉구, Tribology 개론, 동명사, 2005.
- [2] F. T. Barcroft, R. Bird, J. Hutton and D. Park, "The Mechanism of Action Zinc Dithiophosphate as Extreme Pressure Agents", Trans. of Wear, Vol 32, pp. 26-35, 1982.
- [3] M. Kawamura and K. J. Fujika, "Organic Sulphur and Phosphorus Compounds Extreme Pressure Additives", Trans. of Wear, Vol. 31, pp. 45-53, 1981.
- [4] U. S. Choi and O. K. Know, "A study on the Effect of Physicochemical factors in Wear Mechanism in a Lubricated Contact", KSLE, Vol. 4, pp. 48-55, 1988.
- [5] W. J. Bartz, "Solid Lubricant Additives", Trans. of Wear, Vol. 21, pp. 421-432, 1971.

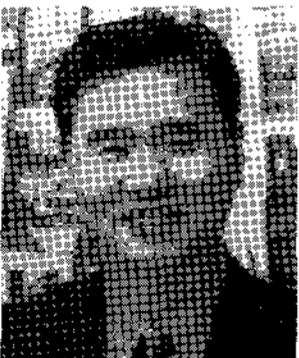
- [6] J. M. Thorp, "The Mechanism of Lubrication by MOS_2 dispersed in Oil and the Effect of Zinc Dialkyl Dithio Phosphate Additive", Trans. of Wear, Vol. 23, pp. 63-70, 1973.
- [7] H. H. Abou, E. L. Naga and A. E. Salem, "Testing Thermal Stability for Base Oils Via Thermogravimetric Balance and Differentia Thermal Analysis" Lub. Eng., Vol. 41, pp. 450-475, 1985.
- [8] ASTM D 2670, "Measuring of Wear Properties of Fluid Lubricants", Falex Wear Test Machine Manual, 1967

저 자 소 개



최낙정(崔洛挺)

1956년 8월생, 한양대학교 대학원 기계공학과(공학박사), 현재 전북대학 기계설계공학부 교수



윤석범(尹錫凡)

1951년 9월생, 1973년 한국해양대학 기관학과 졸업, 1982년 단국대학교 대학원 기계공학과(공학석사), 1988년 동대학원 기계공학과(공학박사), 현재 전북대학교 기계설계공학부 교수