

자동차 기어오일의 MoS₂ 첨가에 따른 마찰마모 특성

오성모^{1*}

Wear and Friction Characteristics with MoS₂ Adding in Automotive Gear Oil

Seong-Mo Oh^{1*}

요약 자동차의 가혹한 운전조건하에서 사용되는 기어오일의 경우 시저(소부:seizure)에 잘 견디고 내구성을 증가시키기 위하여 여러 가지 첨가제들을 사용한다. 본 논문에서는 자동차 기어오일에 MoS₂를 첨가하고, 펠렉스 마찰 마모 시험기를 사용하여 마찰마모 특성을 고찰하였다. 실험결과 MoS₂의 함유량이 2.5~5wt.%일 때 마찰 마모특성이 가장 우수하였다.

Abstract In the case of gear oil which is used under severe running condition in automotive, the various additives is used for increasing the ability of enduring against seizure. In this paper, the wear and friction characteristics observed using the Falex friction and wear test machine in adding the MoS₂ to auto gear oil. As the result of experimentation, the friction and wear characteristics is the most excellent in adding concentration range of the MoS₂ 2.5~5wt.%.

Key words : Lubrication, Gear Oil, Friction, Wear, Anti-wear, Extreme-Pressure, Additive, MoS₂

1. 서론

최근 고도의 산업발달에 따라 기계는 고속화, 대형화에 따른 대 출력, 고정밀도, 고성능화가 요구되고 있다. 특히, 고온과 고압 그리고 고하중과 고속 회전하에서의 기어오일은 자동차, 선박, 항공기 등의 윤활유로 광범위하게 사용되어 윤활유의 종류와 첨가제의 변화에 따라 여러 가지 상태의 변화로 인하여 간단하게 해결될 수 없는 매우 복잡한 현상을 나타내고 있으므로 운전조건에 따라서 극압성, 내마모성, 내열성, 유동성, 점도 특성 등의 물리적 특성의 향상과 산화안정성 등의 화학적 특성의 향상을 도모할 필요가 있다.

한편 자동차 엔진의 고속화와 대형화에 따른 대출력 및 높은 정밀도가 요구됨에 따라 변속기의 기어는 고온, 고압에서 회전하게 되며 기어오일 또한 높은 압력과 하중에 대한 운전 조건에도 견딜수 있도록 고급성질의 특성을 가져야만 한다. 그리고 가장 문제가 되는 것은 국부적 시저(seizure:소부)인 내스커팅(Anti-scuffing)성으로 윤활특성에 관한 여러 가지 문제를 일

키며 특히 자동차 변속기의 기어에 큰 손상을 가져온다[1]. 최근까지 윤활시스템에 적용되고 있는 모든 극압제 및 내마모첨가제들도 윤활 접점에서의 화학반응 혹은 물리화학적인 흡착반응에 의한 보호막 형성의 기능으로 계내에서 내마모성 및 윤활성능을 증가시키고 있으며, 이 기능은 단지 형성된 보호막의 전단력의 크기에 기인된다[2]. 따라서 기어오일에 대한 윤활제의 윤활특성에 대한 많은 연구가 진행되고 있는데, 고체윤활제로서의 유기화합물인 MoS₂(2황화몰리브덴)와 PTFE(Polytetra Fluoro Ethylene, 4황화 에틸렌 수지)는 극압성, 내열성, 내마모성 및 화학적 특성이 우수하고 극한 조건에서도 광범위하게 사용되고 있는 추세로서 많은 연구가 진행되고 있고[3], W.J. Baetz[4]는 극압 및 첨가제 첨가시 첨가제의 농도가 증가됨에 따라 첨가제의 무첨가시 보다 좋은 마모특성을 나타내었으며, Thorp[5]는 MoS₂와 Ca-phenate의 첨가제를 첨가하여 마모특성을 연구하여 Ca-phenate첨가시 새로운 오일(New Oil)에 비해 낮은 마모율을 나타내었다. 또한 이들의 시험으로서로는 주로 펠렉스 시험기, 사구 시험기, 텀켄 시험기 등이 사용되는데, 市丸 등[6]은 동력 순환식 치차 시험기에서 엔진유의 성능 시험을

¹충부대학교 자동차관리학과

*교신저자: 오성모(tiger@joongbu.ac.kr)

통하여 하중변화에 따른 마모의 변화를 측정하였고, 木村 등[7]은 원통 미끄럼 접촉 시험에서 시저현상을 엔진오일을 사용하여 성능 시험을 하였으며, 小西 등[8]은 사구시험에 의한 윤활유의 마모 성능을 연구한 바 있다. 이 중 펠렉스 시험기는 저속으로 회전하고 부하 하중의 상태가 큰 상태에서 실험하므로 극압성, 시저현상을 정확히 측정할 수 있으므로 실질적으로 실험중에 일어나는 마찰이나 토크 현상은 쉽게 결과를 얻을 수 있으며, 특히 현장에서의 측정 방법은 이 실험기계의 중요한 특징을 가지고 있다[9,10]. 또한 새로운 오일이나 알려지지 않은 오일에 관해서도 단계적 시험에서 오일 특성에 관한 일반적인 특성과 시저 값 결정, 임계 전이압력 범위에서 단위압력과 마모율을 결정할 수 있다[11]. 따라서 본 연구는 펠렉스 시험기를 사용하여 자동차 기어오일에 MoS₂의 첨가에 따른 성능시험을 행하여 하중의 변화에 따른 마모량과 MoS₂의 첨가농도를 측정하여 마찰 마모 등의 현상과 스커핑 현상을 고찰함으로써 마찰 마모 특성을 연구하고자 한다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 시험장치 및 방법

본 실험에 사용한 시험장치는 마찰계수 및 마모특성, 극압특성 등을 조사하기 위하여 펠렉스 시험기를 이용하였고, 그림 1에 본 시험장치의 개략도를 도시하였으며, 그림 2에 시험부의 저널과 V-블록을 확대 도하였다.

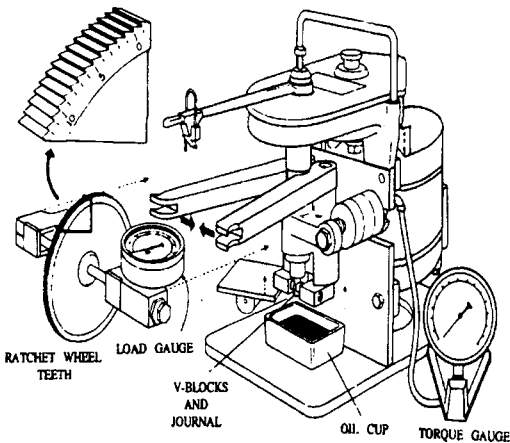


그림 1. 펠렉스 마찰 마모 시험기의 개략도

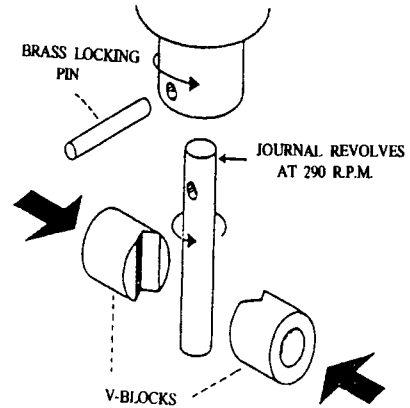


그림 2. 실험부의 핀과 블록의 확대도

실험장치의 주요 구성 부분으로는 동력발생부, 동력 전달장치, 시험부, 하중작용부, 마모량 측정부, 윤활유 급유부로 구성되어 있다. 동력전달장치는 220[V]-1/2[HP]의 교류전동기 1425/1725[rpm]를 이용하여 구동력을 발생시키고 벨트에 의하여 스피들은 290±10[rpm]으로 회전한다. 시험부는 저널과 V-블록으로 구성되어 있으며, 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다. 그 하중은 마이크로미터와 같은 랫치 휠 기구에 의해 작동되고, 하중 게이지로 직접 측정할 수 있도록 되어 있으며, 토크는 토크 게이지에서 직접 측정 한다. 마모량 측정부는 랫치 휠 기구와 게이지로 나눌 수 있으며, 윤활유 급유부는 오일 컵과 오일 컵을 올려 놓을 수 있는 테이블로 구성 되는데 테이블의 스프링 장치를 이용하여 시험편의 저널과 V-블록이 오일 속에 잠기도록 되어 있다. 표준시험 저널의 외경은 6.35mm이고, 길이는 31.75mm이며, 저널과 V-블록 재질은 AISI 1137 스틸로써 홈의 각도는 96±1[°]로 되어 있다. 표 1은 저널과 V-블록의 기계적 및 화학적 특성을 나타낸 것이다.

기어오일의 윤활특성을 연구하기 위하여 행한 실험은 저널과 V-블록 접촉면의 윤활상태를 고찰하기 위하여 접촉면에 작용하는 하중을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[kN]로 변화시키면서 저널과 V-블록에 공급되는 시험오일에 MoS₂첨가제를 0.5(wt.%)씩 첨가하여 실험을 행하였다. 이때 실험실의 실내온도는 항온장치를 통하여 20[°C]를 유지하도록 하였으며, 시험시작 상태에서 시험유의 온도는 24±3[°C]로 하였다.

표 1. 표준 시험편의 기계적 및 화학적 성상

Items Properties	Journal (SNC 415)	V-Block (SNC 631)
Surface Roughness [μm]	5~10μin (1.3×10 ⁻⁷ ~2.5×10 ⁻⁷ m)	5~10μin (1.3×10 ⁻⁷ ~2.5×10 ⁻⁷ m)
Hardness [HB]	87-91[HRB]	20~24[HRC]
chemical Composition (wt. %)	C : 0.43-0.48 S : 0.04 P : 0.035 Mn: 1.60-1.90 Si : 0.20-0.35	C : 0.32-0.39 S : 0.08-0.13 P : 0.04 Mn: 1.35-1.65 Si : 0.15-0.30

2.2 시험재료

본 실험에 사용된 윤활제는 자동차 기어오일로 널리 사용되고 있는 SAE#80를 사용하였으며, 표 2는 기어오일의 물리적 특성을 나타내었다. 첨가제로는 극압 및 내마모 첨가제로 현재 많이 사용되고 있는 유기 화합물인 MoS₂의 고품첨가제를 첨가하였고, 표 3에 첨가제 MoS₂에 함유되어 있는 성분들을 나타내었다.

표 2. 기어오일의 물리적 특성

Performance	SAE#80
Specific Gravity	0.886
Kinematic Viscosity(cSt)	
40 [°C]	73.4
100[°C]	7.5
Viscosity Index	100
Flash Point	206
Pour Point	-35

표 3. MoS₂ 첨가제의 물리·화학적 특성

Properties	Value
Hardness [Mor's]	1~2.5
MoS ₂ Concent [wt.%]	98.9
Density	4.85~5.0
Heat Resistant [°C]	-193~450
Pressure Resistant[kg/cm ²]	29,000
Specific Gravity	4.8

3. 측정

3.1 하중변화에 따른 마찰계수 측정

접촉된 저널이 회전하고 V-블록에 직접하중(D.L.) 이 가해지면 법선하중[N]이 아암에 전달되고 토크[T]가 발생한다. 그리고 마찰계수 값을 구하기 위해서는 그림 3에 의해 다음과 같은 식에 의하여 산출한다.

D.L. = Direct Load [N]

T = Torque [N-m]

N = Normal Load per Face [N]

μ = Coefficient of friction

ΣMo = 0 = T - (4f × 0.125)

f = T/(4 × 0.125) = 2T

D.L./2 = N × Cos 42°

N = D.L./(2 × Cos 42°) = 0.6728 D.L.

μ = f/N = 2T/(0.672816 D.L.)

= 2.9726 T/D.L.

∴ μ = 2.9726 T/D.L

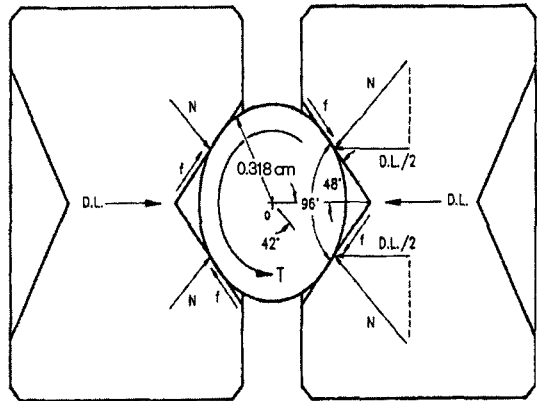


그림 3. 저널과 V-블록 접촉면의 다이어그램

3.2 하중변화에 따른 마모량 측정

저널과 V-블록 접촉면의 마모측정을 위하여 하중을 일정한 시간동안 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[kN]로 변화시켜 가면서 마모량을 측정한다. 마모량은 랫치 휠의 18개 잇수는 25.4×10⁻⁵mm의 마모에 해당한다. 이들 각 측정값을 구하기 위해서는 그림 4에 의해 다음과 같은 식에 의하여 산출한다. 그리고 일정 하중에서 반복 실험하여 평균값을 구한다.

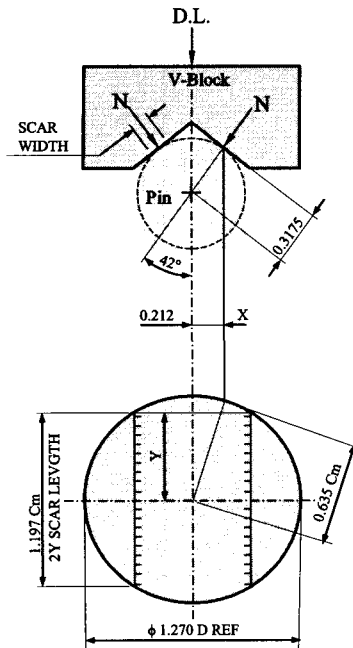


그림 4. V-블록 홈집 영역의 다이어그램

D.L. = Direct Load [N]

N = Normal Load per Face [N]

$$X = 0.125 \times \sin 42^\circ = 0.125 \times 0.669130 = 0.0836 \text{ [m]}$$

$$Y = \sqrt{(0.250)^2 - (0.0836)^2} = 0.2356 \text{ [m]}$$

$$2Y = \text{Scar length} = 2 \times 0.2356 = 0.4712 \text{ [m]}$$

$$\therefore \text{Scar area} = 0.4712 \times \text{Scar width [m}^2\text{]}$$

3.3 첨가 농도변화에 따른 마모량 측정

첨가 농도변화에 따른 마모의 측정은 SAE#80에 2.5wt.%, 5wt.%, 10wt.%의 MoS₂를 1/1000의 전자저울로 무게를 측정하고 첨가하여 믹서를 이용 8,000[rpm]으로 1분 동안 교반시킨 후 시험하중을 0.5[kN]으로 일정하게 30분 동안 실험하며, 이때 진전된 랫칭 휠의 잇수에 의한 마모량을 측정한다. 그리고 그림 4와 마모량 산출식에 의해 반복 실험하여 평균값으로 구한다.

3.4 온도변화에 따른 마찰특성 측정

유온은 온도장치를 부착하여 블록에 열전대를 삽입한 후 시간에 따라 측정하였고, 재료의 온도는 접촉부까지 0.1mm 접근할 때까지 온도가 변하는 상태를 측정하였다.

4. 실험결과 및 고찰

4.1 하중변화에 따른 마찰특성

그림 5는 일반기어오일 SAE#80와 SAE#80+MoS₂(5wt.%)의 하중의 변화에 따른 마찰특성을 나타낸 것으로 종축에는 마찰계수를 표시하고, 횡축에는 하중[kN]을 표시 하였다. 그림 5에서 나타난 바와 같이 MoS₂의 첨가의 경우 낮은 하중에서는 일반 기어오일보다 오히려 높은 마찰계수를 보이고 있으나 1.0~1.5[kN]의 하중사이에서 부터 점차 낮아지기 시작하여 하중이 증가할수록 마찰계수가 상당히 감소하였다.

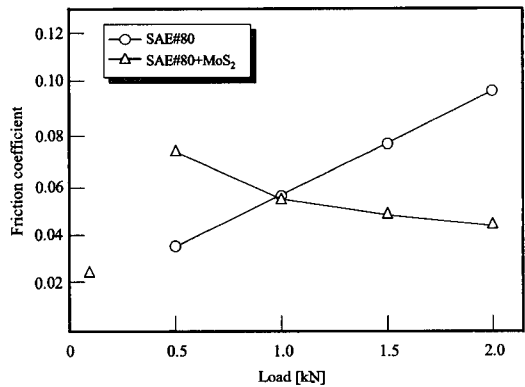


그림 5. 하중변화에 따른 마찰계수

한편 일반 기어오일 SAE#80은 전반적으로 시저의 발생 영역이 일어나는 하중에 도달할 때까지 마모는 가속화 되어 높은 하중에서는 마찰계수가 매우 높을 값으로 증가 되는 것을 알 수 있으므로 상대적으로 MoS₂를 첨가한 기어오일이 마모가 적게 일어나는 것을 알 수 있다. 또한 일반 기어오일에서는 2.0[kN]에서 시저가 일어나 더 이상 실험을 할 수가 없을 정도 이었으나 MoS₂를 첨가한 기어오일에서는 2.0[kN]이상에서도 시저가 일어나지 않아 안정적이었다. 따라서 MoS₂를 첨가한 기어오일이 마찰계수가 적게 나타나는 것으로 보아 내마모성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

4.2 하중변화에 따른 마모특성

그림 6은 하중의 변화에 대한 마모량의 변화를 나타낸 것이다. 종축에 랫칭 휠 잇수에 따른 마모량 [No.]을 표시하고 횡축에는 하중의 변화[kN]를 표시 하였다.

그림 6에서 나타난 바와 같이 일반적으로 일반 기어오일 SAE#80이나 SAE#80+ MoS₂(5wt.%)오일

모두 초기 0.75[kN]까지는 다소 낮은 마모량으로 안정적이었으나 점차 하중이 증가할수록 마모량의 차이는 있으나 공히 모두 증가하는 것을 알 수 있다. 초기의 일반 기어오일 SAE#80이나 SAE#80+MoS₂ (5wt.%)오일 모두 안정적인 영역은 짧은 구간이나 마다 다소 길들여진(Running-in) 구간으로 사료되고, 일반 기어오일 SAE#80보다 SAE#80+MoS₂오일이 다소 높은 마모량을 보인 것은 MoS₂의 고품첨가제에 의한 고품물이 금속과의 완전한 흡착, 즉 코팅이 되기 이전으로 사료된다. 한편 일반 기어오일 SAE#80오일인 경우에는 0.75[kN]부근에서, MoS₂를 첨가한 오일인 경우 1.2[kN]정도에서 천이압력이 일어나는 것을 알 수 있었고, 시저가 일어나는 시점 또한 일반 기어오일에서는 랫치 휠의 잇수가 150개가 넘는 2.0[kN]에서 시저가 일어난 반면 MoS₂를 첨가한 기어오일에서는 2.0[kN]이상에서도 랫치 휠의 잇수가 70여개로 시저가 일어나지 않아 안정적이었다.

따라서 일반 기어오일 SAE#80이나 SAE#80에 MoS₂(5wt.%)를 첨가한 결과 천이압력이 일어나는 점을 알 수 있었고, SAE#80에 MoS₂를 첨가한 경우 높은 하중에서도 시저에 상당히 안정적인 것으로 보아 극압성이 매우 우수하므로 마모특성을 향상시킬 수 있다는 것을 알 수 있다.

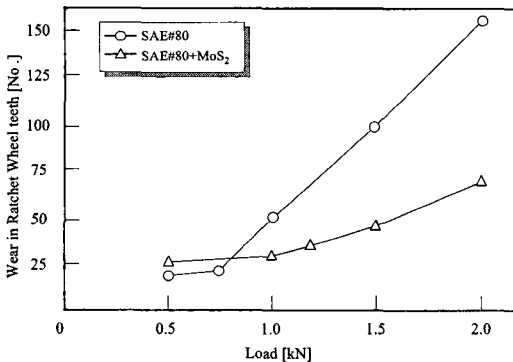


그림 6. 하중변화에 따른 랫치 휠의 잇수(마모량)

4.3 첨가 농도변화에 따른 마모특성

그림 7은 SAE#80에 2.5wt.%, 5wt.%, 10wt.%의 MoS₂를 1/1000의 전자저울로 무게를 측정하고 첨가하여 하중을 0.5[kN]으로 일정하게 하여 첨가농도의 변화에 따른 마모량의 변화를 도시하였으며, 종축에는 랫치 휠의 잇 수[No.]를 표시하고, 횡축에는 MoS₂의 농도변화를 표시 하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 SAE#80의 경우 랫치 휠의 잇 수, 즉 마

모량은 16~20정도를 나타내고 있고, 농도에 따른 MoS₂는 첨가량을 증가함에 따라 마모량이 감소하였으나 5wt.%이상을 첨가한 경우 반대로 마모량이 증가를 하였다. 따라서 너무 많은 양의 첨가제를 첨가하여도 오히려 마모를 일으키게 되므로 과다한 첨가제의 첨가는 지양해야 할 것으로 사료된다. 결과적으로 실험결과 MoS₂의 첨가량이 2.5~5wt.%에서 가장 낮은 마모량을 나타냄으로 가장 이상적인 MoS₂의 첨가량(농도)은 2.5wt.%~5wt.%이다. 그러므로 MoS₂를 첨가한 기어오일이 윤활특성이 우수하다.

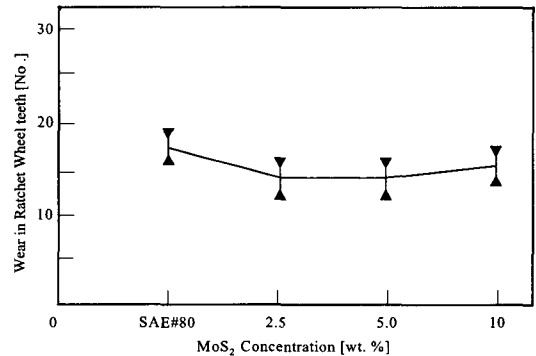


그림 7. MoS₂의 농도변화에 의한 마모량

4.4 온도변화에 따른 마찰특성

그림 8은 온도의 변화에 따른 마찰계수의 변화를 도시하였으며, 종축에는 마찰계수를 표시하고 횡축에는 온도[°C]를 표시하였다.

그림 8에서 나타난 바와 같이 무첨가한 오일의 경우 온도에 따른 마찰계수는 일정하게 연속적으로 증가를 보이고 있으나, MoS₂를 첨가한 오일은 처음에는 마찰계수가 일정하게 증가하다가 200[°C]에서 감소되므로 첨가제를 첨가한 오일이 마찰계수가 낮아지는 것을 알 수 있어 마찰특성이 우수하다.

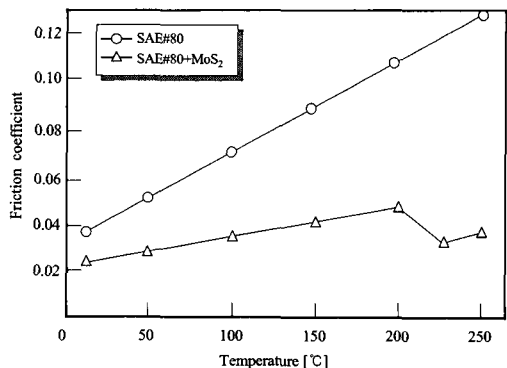


그림 8. 온도변화에 따른 마찰계수

5. 결론

- (1) MoS₂(5wt.%)를 첨가한 기어오일이 첨가하지 않은 경우보다 하중이 증가할수록 마찰계수가 낮아 내마모성이 우수하다.
- (2) MoS₂(5wt.%)를 첨가한 기어오일이 첨가하지 않은 경우보다 하중이 증가할수록 천이압력과 시저에 상당히 안정적으로 극압특성이 매우 우수하다.
- (3) MoS₂의 함유량이 2.5~5wt.%일 때 가장 낮은 마모율을 나타내므로 가장 이상적이다.
- (4) MoS₂를 첨가한 기어오일이 첨가하지 않은 경우보다 고온에서도 안정성을 유지하므로 마찰 마모특성이 우수하다.

참고문헌

- [1] 李奉九, "Tribology 概論", 東明社, p.160 1987.
- [2] Kawamura, M and Fujika., "Organic Sulphur and Phosphorous Compounds Extreme Pressure Additives", Wear, Vol. 27, pp. 45-53, 1981.
- [3] W.J. Bartz, "Solid Lubricant Additives", Wear, Vol. 17, pp. 421-432, 1971
- [4] J.M. Thorp, "The Mechanism of Lubrication by MoS₂ dispersed in oil and the effect of Zinc Dialkyl Dithio Phosphate Additive", Wear, Vol. 23, pp. 1023-1029, 1977
- [5] 市丸 外. 日本潤滑學會 第30期 春季發表會 豫告集. pp. 289-292, 1986.

- [6] 木村 外. 日本潤滑學會 第30期 春季發表會 豫告集. pp. 293-296, 1986.
- [7] 小西 外. 日本潤滑學會 秋田大會豫告集. pp. 449-452, 1985.
- [8] ASTM D2670-67, "Measuring of wear Properties of Fluid Lubricants", 1961.
- [9] Bulletin 5.61, "Field Checking of Load Guages by Brinell Procedure", Falex Instruction Manual. 8
- [10] Faville, F.A.U.s patent p. 109, 1965.
- [11] Ryon, Victor A., "Measurement of Lubricant Film Strength in the Region of Boundary Friction", Lubrication Engineering, pp. 101-106, 1946.

오 성 모(Seong-Mo Oh)

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2004년 3월 ~ 현재 : 중부대학교 자동차관리학과 겸임조교수

<관심분야>

Tribology, 윤활, 표면개질, 자동차공학