

## 자동차 엔진의 ZnDTP 첨가제 농도에 따른 트라이볼로지 특성

오성모<sup>1\*</sup>

### Tribological Characteristics with Concentration ZnDTP Additives in Automotive Engine

Seong-Mo Oh<sup>1\*</sup>

**요약** 마찰 마모에 대한 트라이볼로지 특성은 표면 재질에 대하여 중대한 영향을 끼친다. 더욱이 자동차의 가혹한 운전조건하에서의 엔진오일의 경우 내스키핑성과 시저는 트라이볼로지 특성에 상당히 중요하다. 본 연구에서는 펠렉스 마찰 마모시험기를 이용 첨가제들을 자동차 엔진오일에 널리 쓰이는 윤활기유에 첨가하여 트라이볼로지 특성을 연구하였다. 연구결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 엔진오일에 표면거칠기의 특성을 가진 인산염(Phosphate)을 첨가하면 낮은 온도에서 우수하고, ZnDTP와 Ca-phenate를 첨가했을 때 높은 하중에서 내마모성, 극압성이 월등히 뛰어나며, ZnDTP와 P를 첨가했을 때는 높은 온도에서도 안정적으로 온도특성 또한 우수하였다.

**Abstract** The lubricational characteristics about friction and wear has an important effect on the material quality of surface. Therefore, in the case of automobile engine oil which is used under severe running condition, or therefore, the seizure and anti-scuffing is very important. We have studied the lubricational characteristics of auto engine oil with additives using Falex wear test machine. We have obtained the studied result is as follows. In order to more improved the surface roughness characteristics adding the P(phosphate) as additives is excellent at a low temperature. Adding the ZnDTP and Ca-phenate is excellent on the anti-wear and extreme pressure properties at the high load. Moreover, when the ZnDTP and P are added, the temperature properties is excellent because the stability is maintained in a high temperature.

**Key Words** : Lubrication, Friction, Wear, Anti-wear, Extreme-Pressure, Additive

### 1. 서론

최근 각종 기계요소들의 고성능화 및 소형화에 따라 상대적으로 접촉하고 있는 두 물체사이에는 기계적 메카니즘에 의해 힘의 전달 또는 직·간접으로 운동하고 있는 슬딩부에서는 필연적으로 마찰·마모가 뒤따르게 되고, 이러한 마찰·마모는 피팅(pitting), 스폐링(spalling), 스커핑(scuffing)등과 같은 변수들에 의한 표면손상을 초래하는 하나의 중요한 문제가 된다<sup>1-3)</sup>. 따라서 상대운동에 따른 기구학적 메카니즘에 있어서의 상대면의 형상과 접촉하고 있는 형태나 진행에 따라서 종래의 형상으로부터 변형에 의한 강도저하의 결과를 초래하게 되고, 또 기계적 메카니즘의 트라이볼로지 성능을 저하시키며, 이때의

마모분은 윤활유의 열화를 촉진시키는 등 직접적인 관계를 이루고 있는 만큼, 아주 다양한 해석이 필요하다<sup>4,5)</sup>. 이러한 관점에서 볼 때 윤활유의 점도에 대한 저 점도화가 지향되고 있으며 아직도 많이 검토되고 있으나, 이것은 윤활 성능과 표면강도 그리고, 스커핑 강도 등과 밀접한 관계가 있는 만큼 마모의 중요한 인자로서 아주 큰 영향을 미친다<sup>6-8)</sup>. 특히, 고온과 고압 그리고 고하중과 고속 회전 하에서의 엔진오일은 자동차, 선박, 항공기 등의 윤활유로 광범위하게 사용되므로 운전조건에 따라서 극압성, 내마모성, 내열성, 유동성, 점도 특성 등의 물리적 성상의 향상과 산화 안정성 등의 화학적 성상의 향상을 도모할 필요가 있다. 이러한 트라이볼로지 특성을 향상시키기 위해서는 첨가제가 널리 사용된다.

현재까지 개발되어 사용되는 윤활 첨가제는 종류가 매우 다양하지만 본 연구 실험에서 첨가 하고자 하는 첨가

<sup>1</sup>원광대학교 기계자동차공학부

\*교신저자 : 오성모

제는 마모방지제인 ZnDTP (Zinc Dialkyl Dithio Phosphate)와 S-P계의 극압 EP(Extreme Pressure)첨가제 등이며, 이중에서 EP첨가제는 엔진오일에서의 극압첨가제로, ZnDTP는 내마모 첨가제로서 널리 사용되고 있다<sup>9-11)</sup>. 본 연구에서 사용된 첨가제는 비교적 높은 하중영역에서 사용되고 있는 ZnDTP 내마모제와 청정제인 Ca-phenate, 극압제인 인(P)등을 기유에 첨가시켜 자동차 윤활유의 하중, 윤활유의 온도, 화학적 첨가제 및 윤활유의 온도가 마모에 미치는 영향을 고찰하고<sup>14,15)</sup>, 이 문제가 상대적으로 운동하고 있는 엔진의 마모에 미치는 특성을 연구하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

### 2.1 실험장치 및 방법

본 실험에 사용한 실험장치는 마찰계수 및 마모특성, 극압특성 등을 조사하기 위하여 펠렉스 시험기를 이용하였고, 그림 1에 본 실험장치의 개략도를 도시하였다.

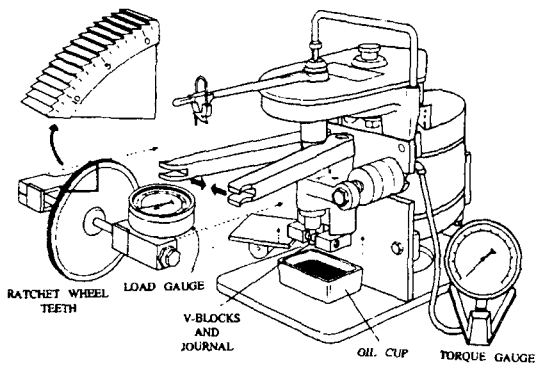


그림 1. 펠렉스 마찰 마모 시험기의 개략도

실험장치의 주요 구성 부분으로는 동력발생부, 동력전달장치, 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 스피들은 290±10[r.p.m]으로 회전한다. 시험부는 저널과 V-블록으로 구성되어 있으며, 저널은 2개의 V-블록과 맞닿아 4선 접촉을 하여 회전한다. 그 하중은 마이크로미터와 같은 랫치 1기구에 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 테

이블로 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 성상을 나타낸 것이다.

자동차 엔진오일의 트라이볼로지 특성을 연구하기 위하여 행한 실험은 저널과 V-블록 접촉면의 트라이볼로지 상태를 고찰하기 위하여 접촉면에 작용하는 하중을 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[kN]로 변화시키면서 저널과 V-블록에 공급되는 시험오일 즉, ZnDTP를 첨가한 오일(B Oil)과 P계 극압제(C Oil), 항공유에 ZnDTP를 첨가(D Oil), 기유에 ZnDTP와 Ca-phenate를 첨가(E Oil), 항공유에 P를 첨가(F Oil), 무첨가한 오일(A Oil)로 6종류의 시험유를 사용하여 하중, 온도, 시간을 단계적으로 변화시켜 가면서 실험하였다. 이때 실험실 실내온도는 22±3°C를 유지하도록 하였고, 온도의 측정을 위하여 블록에 0.1mm 구멍을 뚫어 서모커플을 삽입하였으며, 실험시작 상태에서 시험유의 온도는 24±3°C로 하였다.

표 1. 표준 시험편의 기계적 및 화학적 특성

Items	Journal (SNC 415)	V-Block (SNC 631)
Surface Roughness Ra [ $\mu\text{m}$ ]	( $1.3 \times 10^{-7}$ ~ $2.5 \times 10^{-7}$ m)	( $1.3 \times 10^{-7}$ ~ $2.5 \times 10^{-7}$ m)
Hardness [ $\text{H}_B$ ]	87~91[ $\text{H}_B$ ]	20~24[ $\text{H}_R C$ ]
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 실험재료

본 실험에 사용된 윤활제는 자동차 엔진오일로 널리 사용되고 있는 윤활기유 SAE#80를 사용하였으며, 표 2는 윤활기유에 대한 물리적 특성을 나타내었다. 첨가제로써는 극압 및 청정 내마모 첨가제로 현재 많이 사용되고 있는 시판용 ZnDTP와 Ca-phenate, P계 극압제를 첨가하여 실험하였고, ZnDTP 첨가제 농도에 따른 각각의 시험유들의 물리적 특성들을 표 3에 나타내었다.

표 2. 윤활기유의 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	

### 3. 측정

#### 3.1 마찰면 표면 거칠기 특성

다듬질면의 매끄러운 정도는 표면거칠기에 따르며 본 실험에서는 중심선 평균거칠기(Ra)를 사용하여 시험하였다. 중심선 평균 거칠기는 거칠기 곡선에서 그 중심선의 방향으로 기준길이(Lmm)의 부분을 채취하고 이 채취부분의 중심선을 X축, 세로방향을 Y축으로 하여 그 평균 높이에 해당하는 곳을 거칠기 곡선으로 표시하고, 측정된 결과를 이것과 비교해서 데이터로 사용하였다.

#### 3.2 하중변화에 따른 마찰 특성

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 2에 의해 각 하중에 대한 토크로 마찰계수변화를 펠렉스 마찰 마모 시험기의 규정에 의한 마찰계수 계산식에 의하여 산출 한다.

#### 3.3 온도변화에 따른 마모 특성

저널과 V-블록 접촉면의 마모측정을 위하여 하중을 일정한 시간동안 0.5, 1.0, 1.5, 2.0[kN]으로 변화시켜 가

면서 마모량을 측정한다. 마모량은 랫칭 휠의 18개 잇수는  $25.4 \times 10^{-5} \text{mm}$ 의 마모에 해당한다. 이들 각 측정값을 구하기 위해서는 그림 2에 의해 다음과 같은 식에 의하여 산출한다. 그리고 일정 하중에서 반복 실험하여 평균값을 구한다.

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

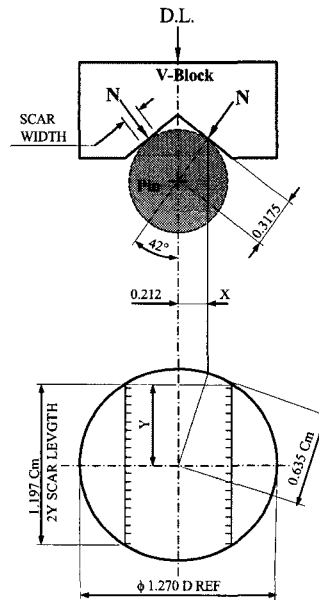


그림 2. V-블록 흡집 영역의 다이어그램

표 3. ZnDTP 첨가제 농도에 따른 각종 윤활유의 특성

Performances	A oil	B oil	C oil	D oil	E oil	F oil	
Kinematic Viscosity(cSt)							
	40 °C	200	200	32.2	32.5	19.9	25.3
	100 °C	16.1	16.0	6.75	6.72	15.9	5.19
Specific Gravity	1.009	0.976	0.997	1.008	0.996	0.859	
Pour Point °C	-58	-58	-56	-55	-56	-11	
Flash Point °C	256	259	258	259	257	214	
P wt%	780	3000	830	2400	880	40	
Additives	base oil (SAE#80)	base oil +ZDTP (2%)	base oil +P(3%)	aircraft turbine oil+ZDTP (2%)	base oil +Ca-phenate+ZDT P(2%)	aircraft turbine oil+P(3%)	

### 3.4 시간변화에 따른 온도 특성

시간변화에 따른 온도의 측정은 SAE#80에 2.5wt.%, 5wt.%, 10wt.%의 MoS<sub>2</sub>를 1/1000의 전자저울로 무게를 측정하고 혼입하여 믹서를 이용 8,000[rpm]으로 1분 동안 교반시킨 후 시험하중을 0.5[kN]으로 일정하게 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 온도변화에 따른 마찰면 표면 거칠기 특성

그림 3은 온도의 변화에 따른 표면 거칠기의 변화를 도시하였으며, 종축에는 마찰면 중심선 평균 거칠기(Ra,  $\mu\text{m}$ )를 표시하고, 횡축에는 시험오일을 표시하였다. 그림에서 나타낸 바와 같이 A유나 F유는 시저(Seizure)현상을 일으켜 마찰면의 손상이 심하게 표면 거칠기 측정이 불가능하다는 것을 알 수 있고, 무첨가인 기유에서는 온도가 150℃일 때 시저가 발생하므로 온도의 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다. 그러나 C유의 경우 마모는 미량이고 표면 거칠기는 타 품목에 비교해서 원활하였다. 이는 P를 첨가함으로써 표면 거칠기에 영향을 주었기 때문이다. 또한 어느 것의 합성유를 사용한 경우에도 마찰에 따른 표면 거칠기가 증가하며, 유온의 상승에 따라라도 거칠기가 증가한다. 온도에 따라서는 유온 100℃의 경우에 비해서 유온 150℃상태에서는 마찰면 거칠기가 모두 상승하는 것을 알 수 있어 유온 100℃에서 표면 거칠기가 양호한 것을 알 수 있다.

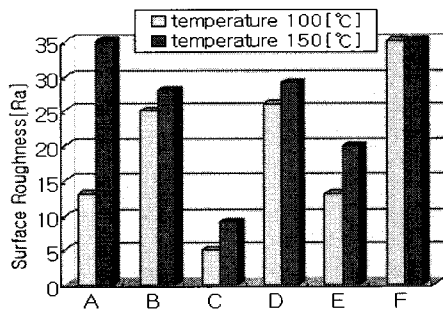


그림 3. 온도에 따른 각종 시험유의 표면 거칠기

### 4.2 하중변화에 따른 마모특성

그림 4는 하중의 변화에 대한 마모특성을 나타낸 것이며, 종축에는 하중[kN]을 표시하고 횡축에는 시험오일을

표시하였다.

그림에서 나타낸 바와 같이 기유에서는 저하중을 나타내며, ZnDTP를 첨가한 경우에는 고하중의 급격한 변화를 나타낸다. 또한 Ca-phenate와 ZnDTP를 병용한 E유의 경우 하중은 1.51[kN]이고, ZnDTP만 첨가한 B유 보다 발생 하중이 약 50% 높다. 항공터빈유인 F의 경우 시저 하중은 0.78[kN]이고, 같은 항공터빈유인 C유의 경우보다 0.28[kN] 높다. C유에 ZnDTP를 2%첨가한 D의 경우 소부하중은 0.56[kN]이고 같은 ZnDTP를 동량 급유계의 A유에 첨가한 B유의 경우에 비교하면 ZnDTP의 첨가효과가 약하다. 한편 D유의 경우는 윤활유의 증발에 따른 고갈현상으로 시저의 주요원인이 되기도 한다. 따라서 첨가제 ZnDTP를 첨가하는 것이 높은 하중을 나타내는 것으로 보아 첨가 효과가 우수한 것을 알 수 있다.

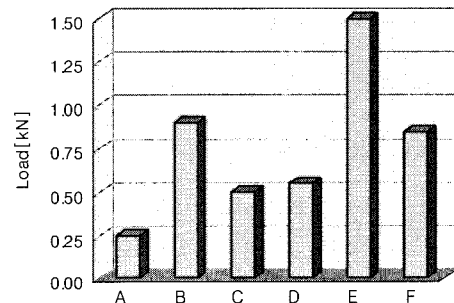


그림 4. 각종 시험유의 마모 하중

### 4.3 온도변화에 따른 마모특성

그림 5는 온도변화에 따른 마모량을 나타낸 것으로 종축에 랫치 휠의 잇수로 마모를 표시하고 횡축에 시험유를 도시하였다. 그림에서 나타난 바와 같이 A유의 경우 100℃에서 시험편이 거의 마모되지 않고 충분한 마모 방지효과가 나타났으나 150℃에서는 3분 이내에 시저현상이 발생하였고, B유의 경우 100℃에서 시험편이 마모량을 다른 시험유에 비해서 작아지지 않지만 150℃에서는 마모량은 증가하지 않고 안전한 마모 방지 효과를 나타낸다. 또한 C유의 경우 150℃에서 마모량이 적어지고 우수한 마모방지성을 나타내며, D유와 E유의 경우 시험편의 마모량은 온도의 상승에 반해서 증가하지만 그 경향은 D유가 보다 현저하다. 그러나 F유의 경우 100℃에서 1분 이내 시저가 발생하여 마모량을 측정할 수 없었다. 따라서 합성유의 마모방지효과는 배합되어 있는 P계 첨가량만으로는 될 수 없고, 그들의 조성 및 조합에 따라 크게 다르다. 즉, 100℃의 유온에 P계 극압제를 첨가한

것이 마모량이 적게 나타나는 것으로 보아 내마모성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

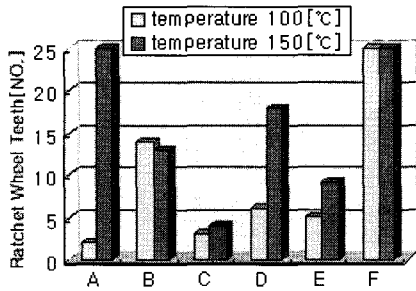


그림 5. 온도변화에 따른 각종 시험유의 마모량

#### 4.4 시간변화에 따른 온도특성

그림 6은 시간의 변화에 따른 온도특성을 나타낸 것으로 종축을 온도[°C], 횡축을 시간[min.]으로 도시하였다. 그림에 나타난 바와 같이 A유 및 C유의 경우 시간이 지남에 따라 높은 온도상승을 나타냈으나 ZnDTP를 첨가한 B유 및 D유의 경우 비교적 낮은 온도상승이 나타났다. 그러나 ZnDTP만 첨가한 D유의 경우 길들인 운전후의 온도상승이 ZnDTP+ Ca-phenate인 E유의 경우보다 급경사진 구배이다. 이는 청정제인 Ca-phenate의 청정영향효과 때문으로 판단된다. 또한 F유의 경우 P계 극압제 첨가한 오일은 흡착특성이 습동부에 부적합한 것으로 나타났으나 Ca-phenate와 ZnDTP를 첨가한 E유는 낮은 온도에서 약간 스커핑이 발견되었을 뿐이다. 따라서 극압첨가제와 내마모제, 특히 P를 첨가한 극압제를 사용하는 것이 고온에서도 안정성을 유지하여 온도특성을 향상시킬 수 있다.

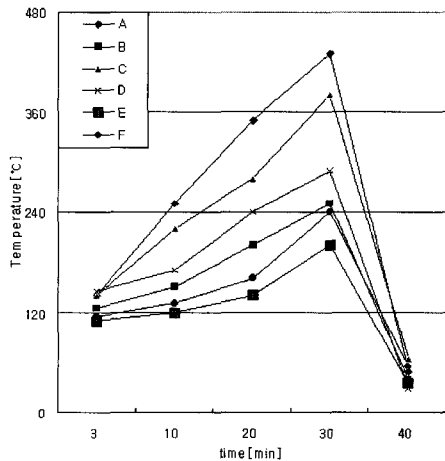


그림 6. 시간에 따른 각종 시험유의 온도의 영향

## 5. 결 론

- (1) 마찰면 중심선 평균 거칠기는 낮은 온도에서 내마모제인 인(P)을 첨가하면 거칠기 특성이 우수하다.
- (2) 엔진오일에 극압첨가제 ZnDTP를 첨가하면 고하중 영역에서 시저하중이 발생하여 극압성이 우수하다.
- (3) 엔진오일에 청정제인 Ca-phenate를 첨가시 무첨가한 경우보다 내스커핑성을 향상시킬 수 있다.
- (4) 무첨가한 경우는 초기에 온도가 상승하여 내스커핑성이 발생하나 극압첨가제와 ZnDTP와 내마모제인 인(P)을 첨가하면 고온에서 안정성을 유지하여 온도특성이 우수하다.

## 참고문헌

- [1] 李奉九, "Tribology 概論", 東明社, p.160, 1987.
- [2] J.M. Thorp, "The Mechanism of Lubrication by MoS<sub>2</sub> dispersed in oil and the effect of Zinc Dialkyl Dithio Phosphate Additive", Wear, Vol. 23, pp. 1023-1029, 1977
- [3] Barcroft, F.t., Bird, R.J. Hutton, J.F., and Park, D., The Mechanism of Action Zinc Thio Phosphate as Extreme Pressure gents, Wear, Vol. 28, pp.26, 1982
- [4] Kawamura, M and Fujika., "Organic Sulphur and Phosphorous Compounds Extreme Pressure Additives", Wear, Vol. 27, pp. 45-53, 1981.
- [5] W.J. Bartz, "Solid Lubricant Additives", Wear, Vol. 17, pp. 421-432, 1971
- [6] 君島 外, 日本潤滑學會 第34期 春季發表會豫告集. pp. 105-108, 1990
- [7] 市丸 外, 日本潤滑學會 第30期 春季發表會豫告集. 豫告集. pp. 289-292, 1986.
- [8] 木村 外, 日本潤滑學會 第30期 春季發表會豫告集. 豫告集. pp. 293-296, 1986.
- [9] 小西 外. 日本潤滑學會 秋田大會豫告集. pp. 449-452, 1985.
- [10] ASTM D2670-67, "Measuring of wear Properties of Fluid Lubricants", 1961.
- [11] Bulletin 5.61, "Field Checking of Load Guages by Brinell Procedure", Falex Instruction Manual. 8
- [12] Faville, F.A.U.s patent p. 109, 1965.
- [13] Ryon, Victor A., "Measurement of Lubricant Film Strength in the Region of Boundary Friction", Lubrication Engineering, pp. 101-106, 1946.
- [14] 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, Vol. 11, pp.249-252, 1979  
[15] 曾田 外, 潤滑, Vol. 21, No. 2, p. 90, 1976

---

오 성 모(Seong-Mo Oh)

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교  
기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교  
기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교  
기계공학과 (공학박사)
- 2002년 3월 ~ 현재 : 원광대학  
교 기계자동차공학부 강사

<관심분야>

Tribology, micro/nano Tribology.....