

# 자동차 타이어의 마찰 특성에 관한 연구

이봉구<sup>1</sup>, 오성모<sup>1\*</sup>

## Study on the Friction Characteristics for Automotive Tires

Bong-Goo Rhee<sup>1</sup> and Seong-Mo Oh<sup>1\*</sup>

**요약** 본 논문은 실험실에서 개발된 테스트 장치를 사용하여 여러 고무의 마찰 마모 특성을 실험적 연구에 의해 분석하였다. 마찰 계수는 하중과 온도 등과 같은 여러 가지 속도 조건 하에서의 마찰력과 측정된 수직하중으로부터 계산되었다. 자동차에 사용되는 타이어는 여러 가지 작동 상태에 따라 마찰 특성의 관계가 확인되었다.

**Abstract** This paper are using a test apparatus developed in the laboratory, friction and wear characteristics of various rubbers have been analyzed by experimental study. Friction coefficient has been calculated from the measured normal force and friction force under various speed operating conditions, such as, loads and temperatures. The tire are used in a automobile, the relations between the various operating conditions and friction characteristics have been verified.

**Key Words** : Automobile, Tire, Tribology, Friction, Wear, Friction coefficient

### 1. 서론

최근 자동차는 주행 성능과 서스펜션의 완충 성능의 급속한 향상에 의해 일반적 패밀리카로 불리는 차량도 스포츠카 수준의 성능을 가지게 되었다. 이에 따라 자동차의 기본 성능의 한 부분인 타이어 성능 또한 주행한다는 개념이상의 성능이 요구되고 있다.

자동차 타이어는 언제나 평탄한 아스팔트 도로에서 사용되지는 않고 산길을 내려오는 경우, 또 유럽의 아우토반같이 시속 200km를 넘는 것처럼 고속으로 달리는 경우에도 사용된다. 그리고 중동의 아프리카와 중남미에서는 아주 뜨거운 도로 상을 주행하고 캐나다 및 북미 같은 매우 추운 지역에서는 영하 상태를 주행하며, 때로는 결빙을 방지하기 위해 뿌려진 소금에 의해 만들어진 염수 도로상을 주행한다. 더욱이 최근에는 RV차 등으로 대표되는 비포장 도로 주行的 경우에 진흙길 혹은 물속에서 주행하여 타이어는 과혹한 환경에서 사용된다. 이러한 상황 속에서 타이어는 결함이 있으면 운전자와 동승자의 생명에 중요한 영향을 미치므로 그 요구 성능이 고도화와 다양화되고, 이것과 함께 타이어에 부과된 요구도 고

도화 및 고기능성으로 발전되어 왔다[1-5].

한편 타이어에 요구되고 있는 기능을 분류하면 첫째 내구성으로 내마모에 의한 타이어 고장과 둘째 운동 성능의 마찰 특성과 코너 링크 특성, 셋째 거주성의 승차감과 타이어 소음, 넷째 저연비성에 따른 구름 저항 그 밖에 저 공해성, 중량비용 등으로 되지만 승용차 타이어에 있어서 또한 상품가치를 정하여 왔던 마모 등의 내구성이 비약적으로 향상하였고, 현재는 상품 가치의 주체가 운동 성능을 중심으로 한 트라이블로지에 관련된 특성이 주목되고 있다[6].

따라서, 자동차 타이어의 특징과 보다 안전하게라고 하는 요구로부터 타이어의 트라이블로지 가운데에서 타이어 마찰 특성에 관하여 고찰하고자 한다.

### 2. 실험

#### 2.1 시험장치

본 실험에는 초탄성체 고무류의 마찰 특성을 측정하고 자 자체 개발한 마찰·마모시험기를 사용하였다(그림 1,

본 논문은 2008년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

<sup>1</sup>원광대학교 기계자동차공학부

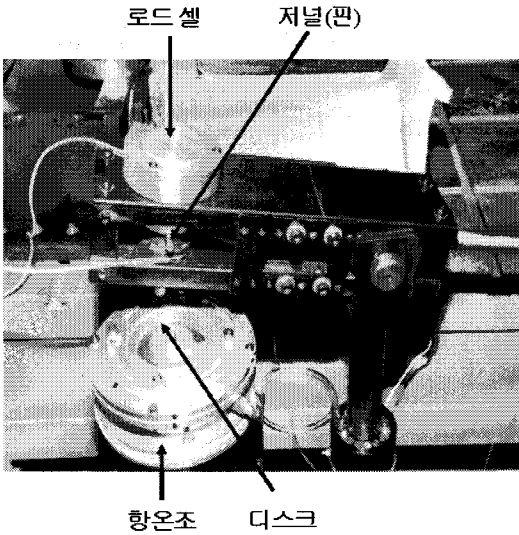
\*교신저자: 오성모(seongmo@wonkwang.ac.kr)

접수일 08년 10월 01일

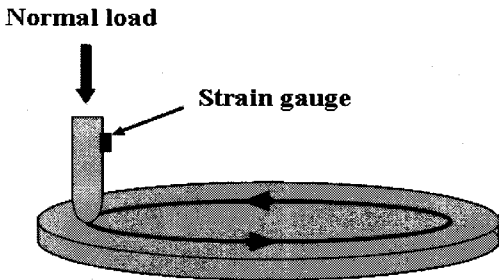
수정일 (1차 08년 11월 21일, 2차 08년 12월 01일)

게재확정일 08년 12월 16일

2). 측정하고자 하는 시편이 항온조 상면에 고정되어 회전운동을 하고, 시편과 접촉하는 표준시편은 핀의 형태이며, 수직상태로 고정된다.



[그림 1] 마찰 마모 실험장치



[그림 2] 시험부의 저널과 디스크의 확대 모델

### 2.2 실험 조건

시편과 상대마찰을 하는 표준 시편은 직경이 8.7mm이고, 끝이 구의 형태이며, 재질은 베어링강이다. 시편이 설치되는 항온조의 표면온도는 상온과 40℃, 그리고 60℃로 조절된다. 수직 하중은 각각 1.5kg, 3.0kg, 4.5kg, 6.0kg, 7.5kg으로 1.5kg 단위로 변화되고, 시편의 속도는 10km/h, 30km/h, 50km/h, 70km/h, 90km/h, 110km/h마다 측정한다. 고무시편은 직경 150mm인 원판으로 두께가 1.5mm인 것을 사용하였다.

### 2.3 실험 방법

항온조 위에 시편을 설치하고 틱을 통하여 수직 하중

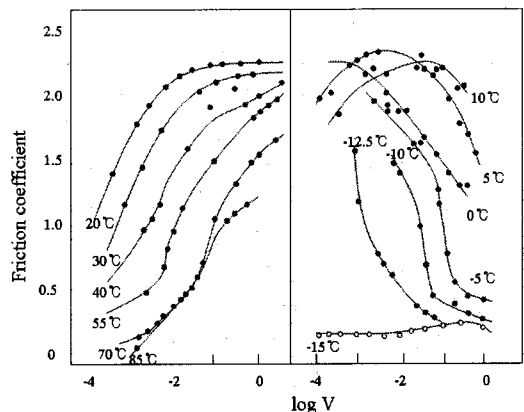
을 가한 상태에서 시편을 정회전 시켜 상대운동을 일으킨다. 접촉면적과 경도 등을 비교하기 위한 예비실험으로서, 온도 23.5℃에서 하중을 1.5kg에서 7.5kg까지 1.5kg 단위로 변화시켜 가며 테스터 볼과 시편의 접촉지름 및 접촉면적을 측정하고, 이 값을 이용하여 접촉압력에 따라 1000을 곱하여 컴퓨터 시뮬레이션을 행하여 계산한다. 수직력은 틱이 부착된 테스터 핀과 동일 선상에 설치된 로드 셀을 이용하여 측정하고, 마찰력은 테스터 핀에 부착된 스트레인게이지의 변형률에 의하여 등가적으로 측정한다. 수직력과 마찰력을 A/D보드를 통하여 실시간으로 수집 저장하고 PC에서 마찰계수를 계산 처리한다. 이때 측정 온도, 부하 하중, 재질 및 형상 등을 동시에 기록 저장하고 동일한 조건에서 5회 이상 수행 한 후 평균값과 표준편차를 계산한다.

## 3. 실험결과 및 고찰

### 3.1 고무의 마찰 특성

타이어의 마찰 특성은 타이어의 트레드를 형성하고 있는 고무의 블록과 노면간의 마찰현상이기 때문에 먼저 고무의 마찰특성에 관하여 고찰하였다. 고무의 재질은 SBR (Styrene Butadiene Rubber : 스티렌 부타디엔 합성 고무)로서 천연고무(NR : Natural Rubber)보다 탄성과 내마모성 및 내노화성이 우수하고 값이 저렴하여 자동차 타이어에 주로 사용되고 있다.

그림 3에 의하여 고무의 마찰 특성은 금속 등의 고형 물질과 다르고, 상대 속도, 온도, 변압의 변화 등에 영향을 주고 있다[7, 8].

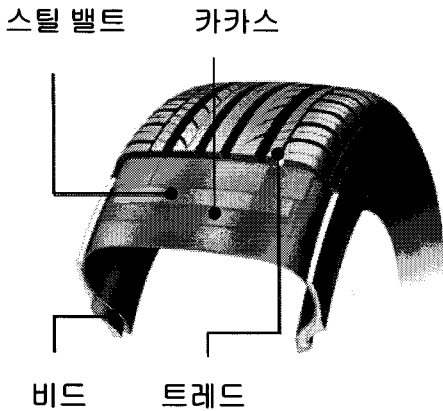


[그림 3] 고무(SBR)의 마찰계수와 미끄럼속도 및 온도의 영향

또한 고무의 마찰현상은 고무와 노면의 분자 인력에 의한 응착력에 의한 마찰과 노면의 요철에 의하여 고무가 변형한 것에 기인한 히스테리시스 손실이 마찰 일이 되고 열에너지의 형태로 마찰력이 히스테리시스 마찰로 나누어 생각되고 있다[9]. 일반적으로 건조한 유리판위에 고무 덩어리를 끌 경우는 대부분 히스테리시스 마찰로 생각된다.

### 3.2 타이어의 마찰 특성

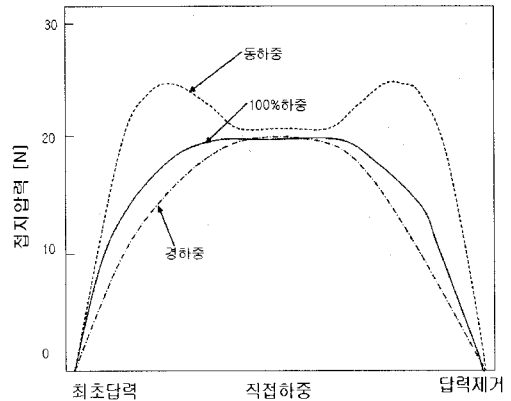
타이어는 내압을 유지하는 카카스라고 하는 타이어 코드로 보강된 고무 부재에 다양한 패턴의 고무 블록을 씌운 것으로 레이디얼 구조의 일반 사계절용 타이어를 적용하였다(그림 4).



[그림 4] 레이디얼 구조의 사계절용 타이어

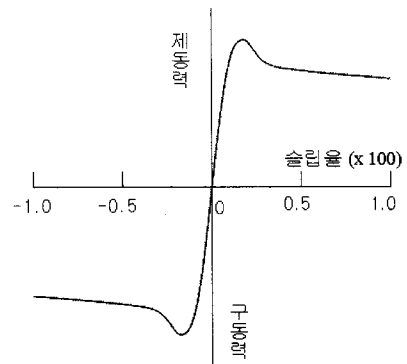
이들의 블록은 접지면 내에 있어서 다양한 하중과 힘을 분담하여 다양한 상대 속도로 노면을 미끄러지고 있다. 즉 타이어와 노면사이의 접지 형상은 타이어의 마모 성능, 내구성능 등과 밀접한 상관성을 갖고 있다. 따라서 그러한 국부 마찰력 전체로서 타이어 전체의 마찰력을 파악하려고 할 때 단순한 고무 덩어리와는 다른 거동을 나타낸다.

예를 들어 그림 4에 의하면 접지압력 분포에서 100%의 하중을 기준으로 할 때 동하중의 압력값이 크게 나타나는 최초 답력과 답력 제거 부분은 마모진행이 빠른 부분으로 판단할 수 있다. 이러한 면적의 변화와 접지율의 변화에 따라 접지압력에 변화가 발생하고, 수직 하중의 변동에 대한 마찰 계수의 변화는 타이어 전체가 고무 덩어리보다도 적지만 이것은 타이어의 수직 하중은 증대하나 평균적으로 접지압력이 증가한 것이 아니라 접지면의 끝단만이 압력의 증가에 기인하고 있다.



[그림 5] 승용차용 타이어의 접지 특성

그리고 타이어의 마찰 특성은 주행 중 제동 시 타이어와 노면과의 마찰력으로 인하여 차량 속도와 차륜 속도에 차이가 생기는데 이 슬립에 의해 타이어와 노면사이에 발생하는 마찰력이 제동력이 된다. 그러므로 제동력은 슬립의 크기에 의존하는 특성을 나타내며 일반적으로 슬립율이 약 20% 전후에서 최대의 그립력을 발휘하여 마찰계수가 얻어지지만 이후에는 감소한다. 즉 다시 말하면 감속할 경우에는 제동력이 발생한다고 할 수 있다. 따라서 타이어의 회전속도가 차량속도와 딱 일치하고 있는 상태를 슬립율 0%, 풀 로크 상태를 100%이라고 하면 20%의 아주 조금씩 미끄러지고 있는 상태가 좋다고 할 수 있다. 이러한 상태를 그림 6에 나타내었다.



[그림 6] 슬립율에 따른 제동력과 구동력

가로축은 타이어의 슬립율을 표시하고, 0 %는 차륜의 노면에 대하여 완전히 회전하는 상태를 나타내며, 100 %는 차륜이 로크된 상태를 보여준다. 따라서 슬립율이 약 20 % 전후에 최대의 마찰계수가 얻어지지만 이후에는 감소한다.

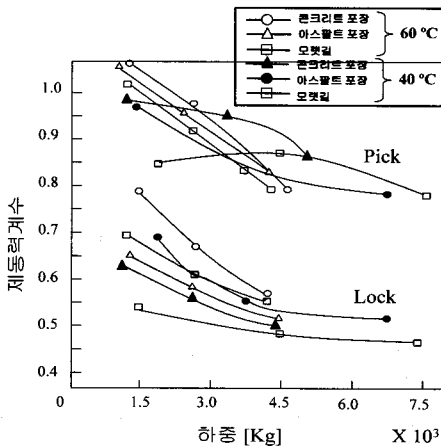
[표 1] 노면종류에 따른 미끄럼 마찰계수의 범위

노면의 종류	마찰계수의 범위	
	건조	습윤
콘크리트포장	1.0 ~ 0.5	0.9 ~ 0.4
아스팔트포장	1.0 ~ 0.5	0.9 ~ 0.3
모래길	0.6 ~ 0.4	-
동판(유리)등	0.8 ~ 0.4	0.5 ~ 0.2
적설노면	-	0.5 ~ 0.2
빙판길	-	0.2 ~ 0.1

또한 코너링포스의 특성에서도 슬립율이 증대하면 마찰계수는 감소되어 슬립율이 100 %에서는 마찰계수가 0 이 된다. 이러한 현상은 어느 조건에서도 마찬가지이다. 슬립율은 차량속도가 빠를수록 제동 토크가 클수록 크다. 이처럼 타이어의 마찰 특성은 다양한 전동 형태에 있어 타이어의 주속과 자동차의 속도에 의하여 발생한 슬립에 의하여 크게 영향을 준다. 더욱이 타이어의 마찰 특성은 노면의 형태나 상황(표1)에 따라서도 의존되기 때문에 이 점에서도 고려하지 않으면 안 된다.

### 3.3 건조 상황에서의 마찰 특성

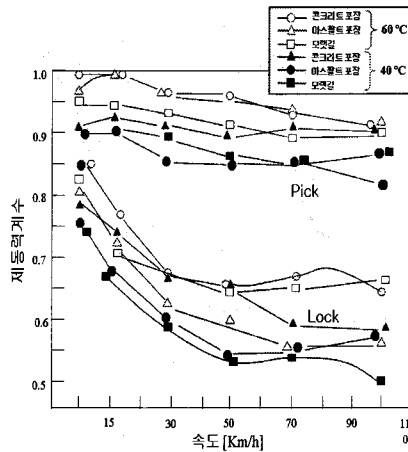
타이어의 건조 상황에서의 마찰 특성은 접지부분의 트레드 고무의 마찰 특성에 크게 의존되고, 접지면 내에서의 접지 압력, 미끄럼 속도 등에 영향을 준다[9]. 따라서 제동 시 마찰력은 자동차 무게와 적재화물에 의해 수직으로 작용하는 힘과 비례관계를 갖고 이때의 비례정수를 마찰계수 또는 제동력계수로 정의하고, 타이어의 하중과 속도에 따른 제동력계수에 대한 변화를 그림 7과 그림 8에 나타내었다. 피크 값은 차륜의 노면에 대하여 완전히 회전하는 상태를 나타내며, 로크 값은 차륜이 정지된 상태를 보여준다.



[그림 7] 하중에 의한 마찰계수 변화

그림에서 보는바와 같이 콘크리트와 아스팔트포장, 그리고 모랫길의 3가지 조건하에서 온도를 60°C와 40°C로 하여 각각 5회씩 측정하여 평균을 구하였다. 결론적으로 그림 7은 수직하중이 증가하면 제동력계수는 미소하게 감소하는 경향을 보인다. 이것은 하중이 증가함으로써 평균접촉 면적이 증가하고, 이로 인하여 접촉압력이 감소함으로써 접촉 표면간의 점착력이 감소하기 때문인 것으로 추정되며, 이러한 경향은 금속의 경우와 동일함을 알 수 있다.

그림 8은 동일 조건하에서 속도가 증가하면 제동력계수도 약간 감소한다. 이러한 경향은 고속의 상대운동시 국소적 용착 표면을 형성할 시간이 충분하지 않으므로 마찰계수가 줄어드는 금속의 일반적인 경향과 비슷한 현상이다. 이러한 특성은 고무류 표면에서의 점탄성 특성에 기인 하는 것으로 추정된다. 따라서 트레드 고무의 점탄성과 결부된다고 생각하고 있다.



[그림 8] 속도에 의한 마찰계수 변화

결론적으로 대체로 고하중 고속 조건하에서 제동력계수의 평균값이 일정하지 않고, 상대운동이 계속됨에 따라 제동력이 감소하고 이로 인하여 제동력계수 역시 선형적으로 미소하게 감소하거나 급격히 증가하는 현상이 관찰된다(그림 8).

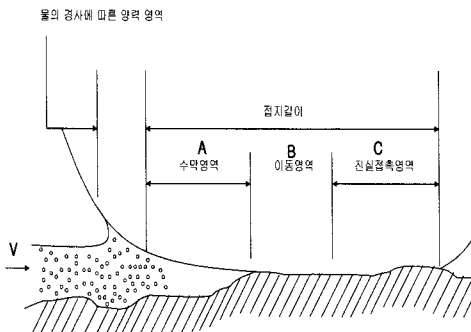
이것은 고무류 재료의 초탄성 특성으로 인하여 마찰 표면이 큰 전단탄성 변형을 일으키고, 이 탄성변형에 비례하는 탄성력이 그대로 제동력으로 작용하며, 운동방향으로 밀린 표면이 돌기를 형성하여 상대운동에 저항함으로써 급격한 탄성회복이 이루어지는 현상에 기인하는 것으로 추정된다. 이와 상반된 관계로 접지 면적을 증가시키는 것은 평균 접지 압력을 내리고 마찰 계수의 증가에 유효하다. 건조용 타이어에 흠이 없는 것으로 그리고

고성능 타이어가 편평화의 방향으로 되는 것은 이 때문이다. 또, 이 편평화의 방향은 공기체적을 증대시키는 방향이기도 해서 마찰 특성의 개선이 기대되고 저 발열성에서도 유리하게 작용한다[1].

### 3.4 습윤 상황에서의 마찰 특성

물로 덮인 노면이나 젖었던 노면에서는 타이어와 주행면의 직접 접촉한 면적이 현저하게 감소되어(그림 9) 결과로서 마찰 성능이 손상된다.

타이어의 습윤 마찰 성능에 미치는 주된 요인은 노면 형상(표면 거칠기), 수심, 주행속도의 3개 이고[11], 이러한 조합에 의하여 저속시의 미끄럼이나 고속시의 하이드로 플레이닝 현상이 발생한다. 따라서 수막현상이 일어나지 않는 80km/h 이하 중, 저속 시에서 모델을 확립하여 그림 9와 같이 3개의 영역으로 습윤 노면에 적용 하였다. 제동 후 잠금 상태인 바퀴가 바퀴 앞에 모아지는 썩기형태로서 수막을 밀고 있기 때문에 바퀴가 잠금 상태가 놓여 있고 제동력계수가 증가한다. 습윤 마찰 성능에 있어 접지압력을 높이는 것은 점성 수막의 배제 및 관성력에 의한 동압에 대항이라고 한 관점에서 장점이 있다. 따라서 접지압력 상승에는 이동영역 중에서 진실접촉영역으로의 천이과정에서 공기압의 증가 및 타이어 접지 면적의 감소 등이 효과가 있으며, 건조 상황에서의 마찰에 효과가 있던 타이어의 편평화는 습윤 마찰에 불리하다. 따라서 고성능 타이어와 같이 편평 타이어로는 트레드 면에 들어 왔던 물을 접지면으로 V자형으로 한 스트랜드 홈에서 넓은 원주 방향 홈으로 들어가서 항상 뒤쪽으로 배출되는 고성능 타이어를 사용하는 것을 권장하고 있다.



[그림 9] 접지 면내의 3개의 영역

한편 노면이 동결되어 있거나, 눈이 쌓인 경우, 마찰계수는 상당히 낮아지고 특히 0℃부근에서의 마찰계수는 대단히 낮다(그림8)[12]. 이것은 타이어가 주행할 때 물이나 눈이 녹은 물의 유효작용에 의한 것이고 타이어가 노

면과 직접 접촉하고 있는 면적이 습윤 때와 같이 훨씬 적어지고 있기 때문이라고 생각된다.

## 4. 결론

타이어의 운동성능에 중요한 마찰특성을 고찰하였다.

1. 마찰계수는 온도, 속도, 하중 및 표면조도와 상대 재질에 따라 최고 70%이상까지 변화하고, 상대속도가 증가할수록 마찰계수는 감소한다.
2. 건조한 노면의 마찰계수는 0.9 $\mu$  이지만 습윤때는 마찰계수가 0.3 $\mu$  아래로 급격히 떨어진다.
3. 급속과는 달리 초점탄성에 기인하는 끌림 마찰현상이 발생하며, 이 경향은 특히 고속의 경우에 현저하다.

## 참고문헌

- [1] 川口保美(1990), "自動車技術" Vol. 43, No. 3, p. 8
- [2] 景山克三監修 (1980), 타이야, 그레이키, 自動車工學全書 12, 山海堂
- [3] 酒井秀男 (1987), 타이야工學, 그랑프리出版
- [4] R. P. Brown (1996), Physical Testing of Rubber 3rd ed. Chapman & Hall
- [5] A. Schallmach (1971) "How does rubber slide?" Wear, Vol. 17, pp. 301-312
- [6] M. Barquins and R. Courtel (1975), "Rubber friction and the rheology of viscoelastic contact" Wear, Vol. 32, pp. 133-150
- [7] H. W. KUMMER & W. E. MEYER (1962), ASTM spec. techpubl. No.326, 3
- [8] K. A. GROSCH (1964), R. C. T. 37
- [9] A. G. VEITH (1977), "Tire traction-A comprehensive review" tire mechanics
- [10] D. F. MOORE (1972), "friction and lubrication of elastomers (RUBBER)" Fergammon press
- [11] G. C. STANGHTON & T. H. WILLIAMS (1970), "Tire performance in tire surface conditions" R. R. L. report, No. LR-355
- [12] K. A. GROSCH (1974), "The speed and temperature dependence of rubber friction and its bearing on the skid resistance of tires, the physics of the tire traction" G. M. research laboratories plenumprenn
- [13] M. Barquins and A. D. Roberts (1986), "Rubber friction variation with rate and temperature: some new observations" J. Phys. D, Vol. 19, pp. 547-563

**이 봉 구(Bong-Goo Rhee)**

[정회원]



- 1971년 2월 : 전북대학교 기계공학과 (공학사)
- 1974년 2월 : 전북대학교 기계공학과 (공학석사)
- 1985년 2월 : 전북대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1980년 3월 ~ 현재 : 원광대학교 기계자동차공학부 교수

<관심분야>

윤활공학, 트라이블로지

**오 성 모(Seong-Mo Oh)**

[정회원]



- 1992년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : 원광대학교 기계공학과 (공학박사)
- 2008년 현재 : 원광대학교 기계자동차공학부 강사

<관심분야>

Tribology, micro/nano Tribology...