

자동차 기관의 마운팅 고무에 대한 마찰특성 연구

이봉구¹, 오성모^{1*}

¹원광대학교 기계자동차공학부

A Study on the Friction Characteristics for Mounting Rubbers on the Automotive Engine

Bong-Goo Rhee¹ and Seong-Mo Oh^{1*}

¹Division of Mechanical & Automotive Engineering, Wonkwang University

요약 우리는 자동차 엔진을 지지하기 위한 고무에 대한 마찰특성을 연구하였다. 본 논문은 실험실에서 개발된 테스트 장비를 사용하여 여러 고무의 마찰 마모 특성을 실험적 연구에 의해 분석하였다. 마찰특성은 하중과 온도, 속도 등과 같은 여러 가지 조건 하에서의 마찰력과 수직하중으로부터 측정되었다. 따라서 자동차는 물론 각종 구조용으로 사용되어 지고 있는 고무는 여러 조건에 따라 마찰특성의 관계를 연구하였다.

Abstract We have studied on the frictional characteristics for mounting rubbers varieties structures on the automotive engine. This paper are using a test apparatus developed in the laboratory, friction and wear characteristics of various rubbers have been analyzed by experimental study. Frictional characteristics has been measured from the normal force and friction force under various operating conditions, such as, loads, speed and temperatures. Therefore, the rubbers are used in a several varieties structures as well as automotive, the relations between the various conditions and frictional characteristics have been investigated.

Key Words : Automotive, Rubber, Tribology, Friction, Wear, Friction Coefficient

1. 서론

최근 고무 재료의 성능이 다양하게 개선됨에 따라 공업용 재료로서의 고무는 사용범위가 매우 광범위해지고 있다. 고무는 먼지의 유입을 방지하고 기밀을 유지하기 위한 밀봉 요소나 소음과 진동 방지를 위한 방진요소, 그리고 구조요소나 동력을 전달하기 위한 요소로 주로 사용되고 있다. 천연고무는 기계적 강도, 내마모성, 동적특성이 합성고무에 비해 우수하여 항공기 부품, 자동차 타이어, 방진용으로 사용되고 있다[1-5]. 기계적 특성은 탄성계수가 매우 작고 비선형적인 거동을 보이며, 파단까지의 신장율은 매우 크고, 응력 및 비틀림 변형이 쉬우며 전기 절연성과 내약품성을 지니고 있다. 고무재료의 동적특성에 따른 내마모성은 금속 재료와는 달리 점탄성이 강하고 마찰 마모특성도 금속과는 매우 다른데[6], 고무

재료의 마찰특성은 온도와 하중 조건뿐만 아니라 마찰계면의 상태(표면 거칠기, 산화, 이차, 오염 등)와 마찰 방법(미끄러짐, 구름 등)에 따라서 크게 좌우된다[7]. 이 때문에 고무의 특성이나 거동을 예측하기 위해 필요한 마찰계수를 결정하기가 어렵고 해석이 곤란하다. 마찰계수를 결정하기 위한 실험 방법도 국제적인 표준화가 되어있지 않기 때문에 각 회사나 연구기관에서 독자적인 시험방법과 장치를 이용하여 평가하고 있다[8-12]. 따라서 현재 고무가 사용되는 모든 분야에서 고무의 마찰특성은 매우 중요한 문제로 인식되고 있다.

본 연구에서는 자동차 엔진을 지지하기 위한 고무에 대한 마찰특성을 고찰 하였으며, 또한 향후 고무가 이용되는 기계요소나 기계시스템의 거동을 예측하고 성능과 수명을 개선하는데 이용하고자 공업용으로 많이 사용되는 천연고무(Natural Rubber)와 합성고무(Synthetic

본 논문은 2009년도 원광대학교의 교비 지원에 의해서 수행됨.

*교신저자 : 오성모(tiger@joongbu.ac.kr)

접수일 10년 01월 26 일

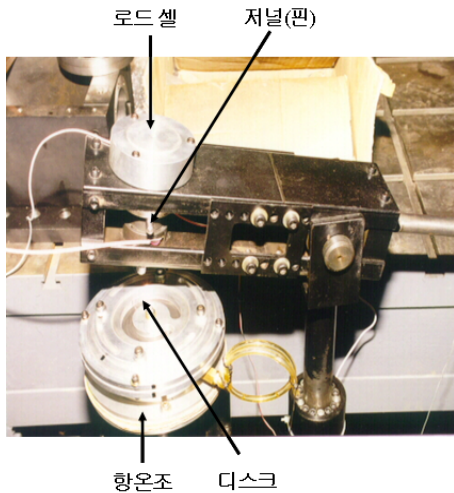
수정일 (1차 10년 03월 21일, 2차 10년 04월 08일)

계재확정일 10년 04월 09일

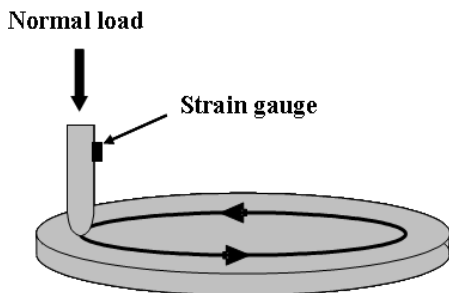
Rubber)를 대상으로 다양한 운전조건하에서의 마찰특성을 측정하였다. 시험에 이용된 고무재료는 NR(Natural Rubber:천연고무; A), ENR(Epoxyclized Natural Rubbers; 에폭시화 천연고무 ; B)의 천연고무 2종류와 BR (Polybutadiene Rubber: 폴리부타디엔 고무; C), SBR (Styrene Butadiene Rubber:스티렌부타디엔 고무; D), NBR(Nitrile Butadiene Rubber:니트릴 부타디엔 고무; E)의 합성고무 3종류이다. 첨가제에 따른 경도 차이에 따라 각각 A, B, C, D, E로 분류하였다. 시험에는 본 연구팀이 자체개발한 마찰마모시험기를 이용하였다[13].

2. 실험

2.1 시험장치



[그림 1] 마찰 마모 실험장치



[그림 2] 시험부의 저널과 디스크의 확대 모델

본 실험에는 초탄성체 고무류의 마찰특성을 측정하고자 자체 개발한 마찰마모시험기(Fri WeT:Friction & Wear

Tester)를 사용하였다(그림 1, 2). 측정하고자 하는 시편이 향온조 상면에 고정되어 회전운동을 하고, 시편과 접촉하는 표준시편은 핀의 형태이며, 수직상태로 고정된다.

2.2 실험 조건

시편과 상대마찰을 하는 표준 시편은 직경이 8.7mm이고, 끝이 구의 형태이며, 재질은 베어링강이다. 시편이 설치되는 향온조의 표면온도는 상온과 40℃, 그리고 60℃로 조절된다. 수직 하중은 각각 20N, 50N, 70N으로 변화시키고, 시편의 속도는 2.7mm/sec와 13.8mm/sec이다. 고무시편은 직경 150mm인 원판으로 두께가 1.5mm인 것을 사용하였다.

2.3 실험 방법

향온조 위에 시편을 설치하고 팁을 통하여 수직 하중을 가한 상태에서 시편을 정·역회전 시켜 상대운동을 일으킨다. 접촉면적과 경도 등을 비교하기 위한 예비실험으로서, 온도 23.5℃에서 하중(N)을 10N, 30N, 50N으로 변화시켜 가며 테스터 볼과 시편의 접촉지름 및 접촉면적(A)을 측정하고, 이 값을 이용하여 접촉압력 계산식($P=N/A$)에 의하여 계산하였다[표1].

수직력은 팁이 부착된 테스터 핀과 동일 선상에 설치된 로드 셀을 이용하여 측정하고, 마찰력은 테스터 핀에 부착된 스트레인게이지의 변형률에 의하여 등가적으로 측정한다. 수직력(P)과 마찰력(F)을 A/D보드를 통하여 실시간으로 수집 저장하고 PC에서 마찰계수($\mu = F/P$)를 계산 처리한다. 이때 측정 온도, 부하 하중, 재질 및 형상 등을 동시에 기록 저장하고 동일한 조건에서 5회 이상 수행한 후 평균값과 표준편차를 0.15% 범위 이내에서 판정하여 계산한다.

[표 1] 테스터 볼에 대한 접촉압력

하중(N)		재 질				
		A	B	C	D	E
10	접촉지름(mm)	4.5	4.5	4.5	4.1	4.15
	접촉면적(mm ²)	15.90	15.90	15.90	13.20	13.53
	접촉압력(MPa)	0.64	0.64	0.64	0.77	0.75
30	접촉지름(mm)	4.95	5.25	5.1	5.3	4.6
	접촉면적(mm ²)	19.24	21.65	20.43	22.06	16.62
	접촉압력(MPa)	1.59	1.42	1.50	1.39	1.84
50	접촉지름(mm)	5.45	5.35	5.75	5.65	5.1
	접촉면적(mm ²)	23.33	22.48	25.97	25.07	20.43
	접촉압력(MPa)	2.19	2.27	1.96	2.03	2.50

3. 실험결과 및 고찰

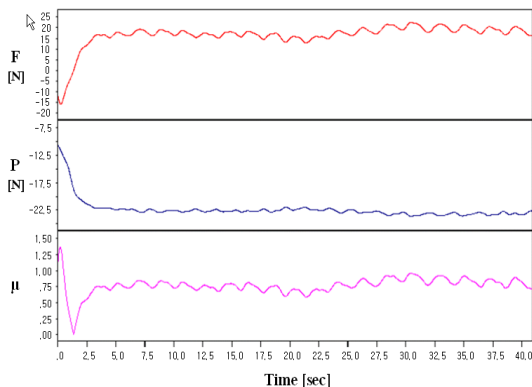
3.1 고무의 일반적 마찰특성

건조 상태에서 고무의 일반적 마찰특성은 접지부분의 마찰특성에 크게 의존되고, 접지면 내에서의 접촉 압력, 미끄럼 속도 등에 영향을 준다.

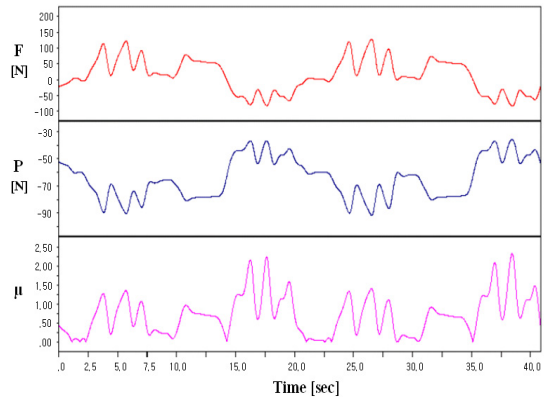
따라서 마찰력은 무게 또는 하중에 의해 수직으로 작용하는 힘과 비례관계를 갖고 이때의 비례정수를 마찰계수로 정의한다.

그림 3은 온도 23.5℃, 하중 20N, 속도 2.7 mm/sec 저속저 하중 상온에서의 고무 시편 A, B, C, D, E의 일반적 거동을 보여주는 측정 결과이다. 그림에서 보이는 바와 같이 시험에 이용된 모든 재질이 일정한 크기의 낮은 정하중을 가하였을 때 수직력(P)과 마찰력(F)등은 초기이후 안정적인 형태가 나타났으나 이것은 고무의 일반적인 성질 가운데 점탄성에 기인된 떨림현상 즉 채터링 현상으로서 하중과 속도 및 온도 조건에 관계없이 stick-slip에 의한 것으로 추정되는 채터링 현상이 나타났다. 일방향 상대 운동의 경우에도 마찰계수 값이 일정하지 않고 주기적으로 변화한다. 이때의 최고치와 최저치를 각각 정마찰 계수(μ_s)와 동마찰 계수(μ_k)로 간주하고, 이들의 평균값($\mu_s=0.85$, $\mu_k=0.7$)에 대한 하중과 속도에 따른 마찰계수에 대한 변화를 그림 6과 그림 7에 나타내었다. 그리고 이때에 나타나는 μ_d 는 플립 마찰 계수이다.

그림 4는 온도 60℃, 하중 70N, 속도 13.8mm/sec로서 그림 3보다 비교적 높은 상태에서의 마찰계수를 보여주는 일반적인 거동 측정 결과이다. 각 마찰계수의 평균값이 $\mu_s=0.9$, $\mu_k=0.85$, $\mu_d=1.35$ 로서 그림 3의 저속, 저하중, 상온에서의 결과와는 달리, 플립 마찰이 발생하여



[그림 3] 시간변화에 따라 측정된 힘과 마찰계수(1) [F:마찰력, P:수직력, μ :마찰계수, 시험조건 : 온도; 23.5℃, 하중; 20N, 속도; 2.7mm/sec]



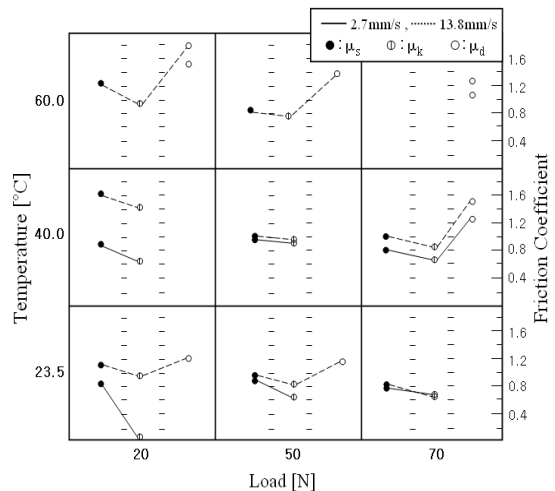
[그림 4] 시간변화에 따라 측정된 힘과 마찰계수(2) [F:마찰력, P:수직력, μ :마찰계수, 시험조건: 온도; 60.0℃, 하중; 70N, 속도; 13.8mm/sec]

일정한 크기의 정하중을 가하였음에도 불구하고 수직력(P)이 현저한 변동을 보이고, 이에 따라 마찰력(F)과 마찰계수도 급격한 변동을 보인다.

채터링 주기는 동일 재질의 경우에도 하중과 속도 및 온도 그리고 시험기 고유의 진동특성이 아닌 재질 및 운전형태에 따라 상이하며, 따라서 채터링 진동은 조건에 따라 결정되는 변수로 추정된다. 따라서 고무의 일반적 마찰특성은 금속 등의 고형 물질과 다르고, 상대 속도, 온도, 면압의 변화 등에 영향을 주고 있다.

3.2 속도변화에 따른 마찰계수의 특성

천연고무(A)에 대한 하중과 온도에 따른 마찰계수의 변화경향을 그림 5에 나타내었다.



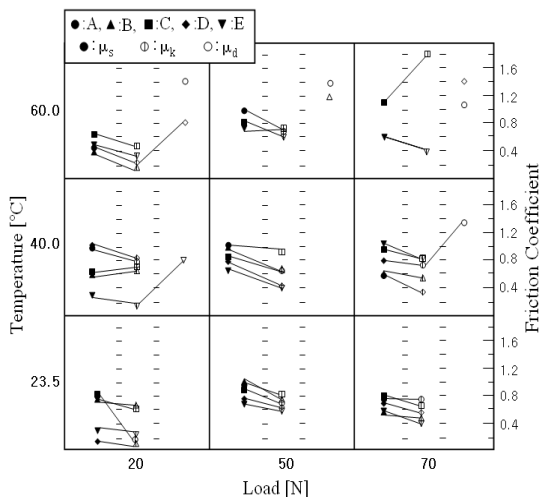
[그림 5] 고무 A에서 속도변화에 따른 마찰계수 특성

마찰계수는 마모성능 및 내구성능 등과 밀접한 상관성을 갖고 있다. 따라서 그러한 국부 마찰력에 따른 마찰계수 전체로서 고무류 전체를 파악하려고 할 때 단순하지 않게 다른 거동을 나타낸다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 조건하에서 속도가 증가하면 마찰계수도 증가한다. 초기에는 정마찰에서 동마찰로 0.2 정도 다소 감소현상을 보이다가 결국은 0.4에서 약 1.2정도까지 마찰계수가 증가되는 것을 알 수 있었다. 더욱이 고온(60℃)과 고 하중(70N)일수록 끌림 마찰 현상이 현저하며, 이러한 경향은 고속의 상대운동시 국소적 융착 표면을 형성할 시간이 충분하지 않음으로써 마찰계수가 줄어드는 금속의 일반적인 경향과는 상반되는 현상이다. 이러한 특성은 고무류의 일반적 성질 중 점탄성 특성에 기인하는 것으로 추정된다.

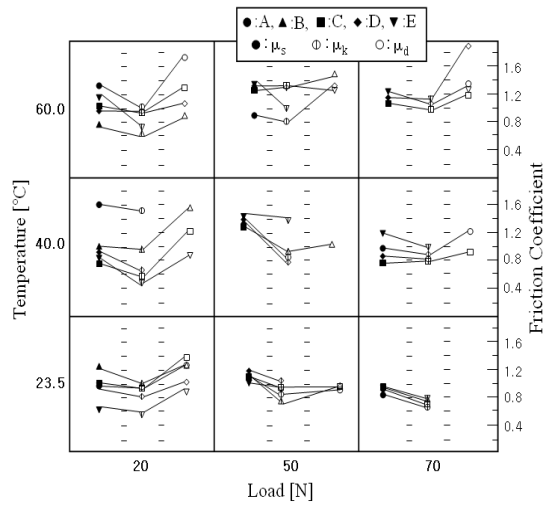
결론적으로 대체로 고하중 고속 조건하에서 마찰계수의 평균값이 일정하지 않고, 상대운동이 계속됨에 따라 마찰력은 감소하고 이로 인하여 마찰계수 역시 선형적으로 미소하게 감소하거나 급격히 증가하는 현상이 관찰된다.

3.3 하중과 온도변화에 따른 마찰계수의 특성

그림 6과 7에서 보는바와 같이 낮은 하중(20N)에서 고온으로 갈수록 합성고무 C의 마찰계수가 0.8정도로 가장 높았고, 같은 합성고무 D와 천연고무 B가 0.2~0.4의 분포로 가장 낮은 마찰계수를 보인 반면 고온으로 갈수록 급격한 마찰계수의 증가와 더불어 끌림 마찰이 일어남을 알 수 있었다.



[그림 6] 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 특성
(속도 : 2.7mm/sec)



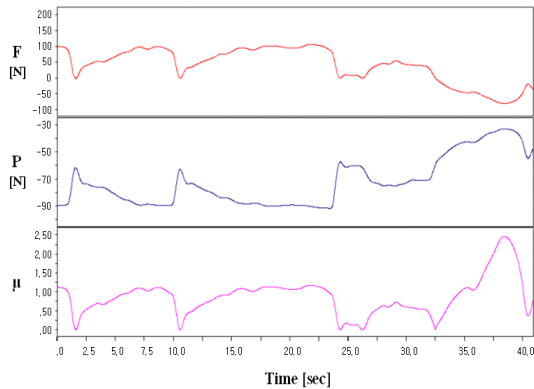
[그림 7] 하중과 온도변화에 따른 마찰계수 특성
(속도 : 13.8mm/sec)

따라서 동일 조건하에서 수직하중이 증가하면 마찰계수는 약 0.2정도 미소하게 감소하는 경향을 보인다. 이것은 하중이 증가함으로써 평균접촉 면적이 증가하고, 접촉압력이 감소함으로써 접촉 표면간의 점착력이 감소하기 때문인 것으로 추정되며, 이러한 경향은 금속의 경우와 동일함을 알 수 있다. 더욱이 그림 7의 속도가 높은 경우 온도 변화에 따라 마찰계수가 0.6~1.6으로 변화하나, 그 경향은 재질과 수직하중 조건에 따라 모두 상이하여 일관성이 없었다. 단, 고하중일수록 재질에 따른 마찰계수의 차이가 줄어든다.

예를 들어 표 1에 의하면 접촉압력 분포에서 30N과 50N 하중에서의 천연고무가 합성고무보다 압력 값이 크게 나타나는 부분은 마모진행이 빠른 부분으로 판단할 수 있다. 이러한 면적의 변화와 접촉율의 변화에 따라 접촉압력에 변화가 발생하고, 수직하중의 변동에 대한 마찰계수의 변화는 수직하중은 증대하나 평균적으로 접촉압력이 증가한 것이 아니라 접촉면 끝단만의 압력의 증가에 기인하고 있다고 판단할 수 있다.

3.4 끌림 마찰(Drag Friction) 현상

대체로 고온(60℃) 고속(13.8m/sec) 조건하에서 마찰계수의 평균값이 일정하지 않고, 상대운동이 계속됨에 따라 마찰력이 계속해서 증가하고 이로 인하여 마찰계수 역시 선형적으로 증가하거나 0.2~2.4까지 급격히 증가하는 현상이 관찰된다(그림 8).



[그림 8] 시간변화에 따른 하중과 마찰계수(1)
 [F:마찰력, P:수직력, μ :마찰계수, 시험조건: 온도; 60 °C, 하중; 70N, 속도; 13.8mm/sec, $f_d=1.1$]

이것은 고무류 재질의 초탄성 특성으로 인하여 마찰 표면이 큰 전단탄성 변형을 일으키고, 이 탄성변형에 비례하는 탄성력이 그대로 마찰력으로 작용하며, 운동방향으로 밀린 표면이 돌기를 형성하여 상대운동에 저항함으로써 급격한 탄성회복이 이루어지는 현상에 기인하는 것으로 추정된다. 이와 상반된 관계로 접촉면적을 증가시키는 것은 평균 접촉압력을 낮게 하고 마찰계수의 증가에 유효하다. 특히 시간 및 속도가 증가할수록 끌림 마찰 현상이 현저해짐을 알 수 있다(그림 6, 7).

4. 결론

본 연구에서는 경도가 다른 천연고무 2종류와 합성고무 3종류에 대해 여러 가지 조건에서 마찰특성을 측정하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 1) 접촉압력이 증가함에 따라 마찰계수는 약 0.2정도 미소한 감소현상을 보이고, 고 하중 일수록 경도 차이에 따른 마찰계수 차이는 줄어들었다. 그리고 상대속도가 증가할수록 마찰계수가 증가하였다.
- 2) 낮은 하중(20N)에서 고온으로 갈수록 합성고무 C의 마찰계수가 0.8정도로 가장 높았고, 같은 합성고무 D와 천연고무 B가 0.2~0.4의 분포로 가장 낮은 마찰계수를 보였다.
- 3) 속도가 높은 경우 온도변화에 따른 마찰계수는 0.6~1.6으로 변화하여 일관성을 찾을 수 없었으나 금속과는 달리 초점탄성에 기인하는 끌림 마찰현상이 발생하며, 이 경향은 특히 고속의 경우에 현저하였다.

- 4) 마찰계수는 온도, 속도, 하중 및 표면조도와 상대재질에 따라 최고 70%이상까지 변화하므로, 정확한 마찰계수의 측정은 실제 사용 상태와 동일한 시험 조건하에서 수행되어야 한다.

참고문헌

- [1] R. P. Brown, "Physical Testing of Rubber" 3rd ed. Chapman & Hal. 1996.
- [2] A. Schallamach, "How does rubber slide?" Wear, Vol. 17, pp.301-312. 1971.
- [3] M. Barquins and R. Courte, "Rubber friction and the rheology of viscoelastic contact" Wear, Vol. 32, pp.133-150. 1975.
- [4] A. Schallamach, "The velocity and temperature dependence of rubber friction" Proc. Phys. Soc B, Vol. 66, pp.386-392. 1953.
- [5] F. L. Roth, R. L. Driscoll and W. L. Holt, "Frictional properties of rubber" J. Res. Nat. Bur. Stand. USA, Vol. 28, pp.439-462. 1942.
- [6] 오성모, "물리적 증착 방법에 의한 TiC, TiN코팅에 따른 자동차 구조용 재료의 트라이볼로지 특성" 한국산학기술학회논문지, 제8권, 제3호, pp. 432- 436, 2007.
- [7] 이봉구, 오성모, "자동차 타이어의 마찰 특성에 관한 연구", 한국산학기술학회논문지, 제9권, 제6호, pp. 1535-1540, 2008.
- [8] K. A. Grosch, Relation between friction and viscoelastic properties of rubber" Proc. R. Soc. London, Ser. A, Vol. 274, pp.21-39. 1963
- [9] M. Barquins and A. D. Roberts, "Rubber friction variation with rate and temperature" some new observations, J. Phys. D, Vol. 19, pp. 547-563. 1986.
- [10] A. D. Roberts and A. G. Thomas, "Static friction of smooth cleaned vulcanized rubber" NR Technology, Vol. 7, pp.38-42. 1976.
- [11] M. Barquins, "On a new mechanism of rubber friction" Wear, Vol. 97, pp.111-114. 1984.
- [12] M. Barquins, R. Courtel and D. Maugis, "Friction on stretched rubber" Wear, Vol. 38, pp.385-389. 1976.
- [13] 오성모, 천길정, 이봉구, 김완두, "고무 마찰 시험기의 개발" 한국윤활학회 제 28회 추계학술대회, pp. 139-143, 1998.

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, 트라이볼로지

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