

고무류의 마찰특성에 관한 실험적 연구

천길정*, 이동환**, 오성모**, 이봉구*, 김완두***

*원광대학교 기계공학부, **원광대학교 대학원, ***한국기계연구원

An Experimental Study on the Frictional characteristics of Rubbers

G. J. Cheon, D. H. Lee, S. M. Oh, B. G. Rhee, W. D. Kim

Abstract - Using a test apparatus developed in the laboratory, frictional characteristics of natural rubbers have been analyzed by experimental study. Friction coefficient has been calculated from the measured normal force and friction force under various speeds, loads, and temperatures. The relations between the various operating conditions and friction coefficients have been verified. Especially, drag friction due to the visco-elastic behavior of the rubber has been observed in this analysis.

Key Words : drag friction, friction coefficient, rubber, friction

1. 서 론

현대 산업에 쓰이는 공업용 고무는 사용범위가 매우 광범위하다. 고무는 탄성계수가 매우 작고 비선형적인 거동을 보이며, 파단까지의 신장율은 매우 크고, 응력 및 비틀림 변형이 쉬우며 전기 절연성과 내약품성을 지니고 있다. 고무 재료는 금속 재료와는 달리 점탄성이 강하고 마찰 마모특성도 금속과는 매우 다른데, 고무재료의 마찰특성은 온도와 하중 조건뿐만 아니라 마찰계면의 상태(표면 거칠기, 산화, 이차, 오염 등)와 마찰 방법(미끄러짐, 구름 등)에 따라서 크게 좌우된다.

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 [1~7]. 따라서 본 연구에서는 향후 고무가 이용되는 기계요소나 기계시스템의 거동을 예측하고 성능과 수명을 개선하는데 이용하고자 공업용으로 많이 사용되는 천연고무(NR)를 대상으로 다양한 운전조건하에서의 마찰특성을 측정하였다.

시험에 이용된 고무재료는 모두 천연고무계 열로서 첨가제에 따른 경도차이에 따라 각각 A, B, C, D, E로 분류하였다. 시험에는 본 연구팀이 자체 개발한 마찰·마모시험기를 이용하였다.

2. 실험

본 실험에는 초탄성체 고무류의 마찰 특성을 측정하고자 자체 개발한 마찰·마모시험기(FriWeT:Friction & Wear Tester)를 사용하였다(Fig. 1). 측정하고자 하는 시편이 항온조 상면에 고정되어 회전운동을 하고, 시편과 접촉하는 표준시편은 핀의 형태이며 수직상태로 고정된다.

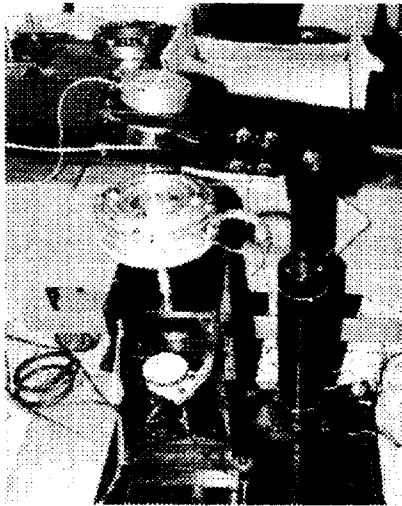


Fig. 1 Experimental apparatus

2.1 실험 조건

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

2.2 실험 방법

항온조 위에 시편을 설치하고 틱을 통하여 수직 하중을 가한 상태에서 시편을 정역전 회전시켜 상대운동을 일으킨다. 접촉면적과 경도등을 비교하기 위한 예비실험으로서, 온도 23.5℃에서 하중을 10N, 30N, 50N으로 변화시켜 가며 테스트리 볼과 시편의 접촉지름 및 접촉면적을 측정하고, 이 값을 이용하여 접촉압력을 계산하였다(Table.1).

Table 1. Contact pressure of tester ball

재 질		A	B	C	D	E
하중(N)	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 (kgf/cm ²)	6.41	6.41	6.41	7.72	7.53
10	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 (kgf/cm ²)	15.90	14.13	14.97	13.86	18.40
30	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 (kgf/cm ²)	21.85	22.67	19.63	20.33	24.95
50	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 (kgf/cm ²)	6.41	6.41	6.41	7.72	7.53

수직력은 틱이 부착된 테스트리 핀과 동일 선상에 설치된 로드셀을 이용하여 측정하고, 마찰력은 테스트리 핀에 부착된 스트레인게이지의 변형률에 의하여 동가적으로 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.

2.3 실험 결과 및 고찰

2.3.1 마찰계수의 일반적 특성

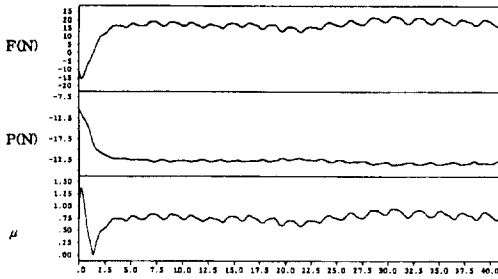


Fig. 2 Measured forces and friction coefficients(F: Friction force, P: Normal force, μ : Friction coefficient) [Test cond. : A, Temp; 23.5°C, Load; 20N, Velocity; 2.7mm/s]

Fig. 2는 저속·저하중 상온에서의 일반적 거동을 보여주는 측정 결과이다. 그림에 보이는 바와같이 시험에 이용된 모든 재질은 하중과 속도 및 온도 조건에 관계없이 stick-slip에 의한 것으로 추정되는 채터링 현상이 발생하여, 일방향 상대 운동의 경우에도 마찰계수 값이 일정하지 않고 주기적으로 변화한다. 이때의 최고치와 최저치를 각각 정마찰 계수(f_s)와 동마찰 계수(f_k)로 간주한다.

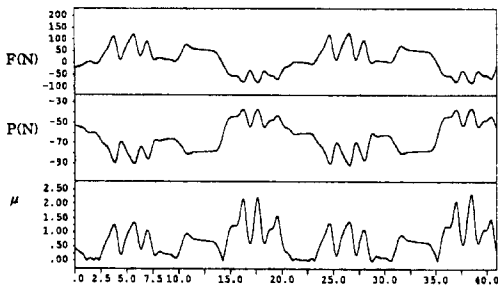


Fig. 3 Measured forces and friction coefficients(F: Friction force, P: Normal force, μ : Friction coefficient) [Test cond. : A, Temp; 60.0°C, Load; 70N, Velocity; 13.8mm/s]

Fig. 3은 60°C, 70N, 13.8mm/sec상태의 마찰계수를 보여주는 일반적인 거동 측정 결과이다. 저속, 저하중, 상온에서의 결과와는 달리, 일정한 크기의 정하중을 가하였음에도 불구하고 수직력이 현저한 변동을 보이고, 이에 따라 마찰력과 마찰계수도 급격한 변동을 보인다.

채터링 주기는 동일 재질의 경우에도 하중과 속도 및 온도 변화에 따라 상이하며, 따라서 채터링 진동은 시험기 고유의 진동특성이 아닌 재질 및 운전 조건에 따라 결정되는 변수로 추정된다.

2.3.2 속도 변화에 따른 마찰계수의 변화 경향

특정 재질(A)에 대한 하중과 온도에 따른 변화 경향을 Fig. 4에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 동일 조건하에서 속도가 증가하면 마찰계수도 증가한다. 이러한 경향은 고속의 상대운동시 국소적 움푹 표면을 형성할 시간이 충분하지 않음으로써 마찰계수가 줄어드는 금속의 일반적인 경향과는 상반되는 현상이다. 이러한 특성은 고무류 표면에서의 점탄성 특성에 기인 하는 것으로 추정된다.

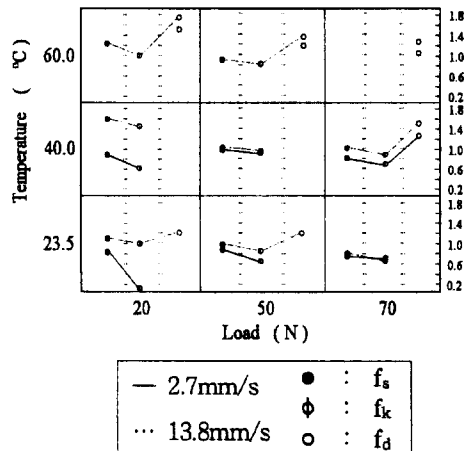


Fig. 4 Friction coefficients as a function of load and temperature[specimen: A]

2.3.3 하중 변화에 따른 마찰계수의 변화 경향

Fig. 5에서 보는바와 같이 동일 조건하에서 수직하중이 증가하면 마찰계수는 미소하게

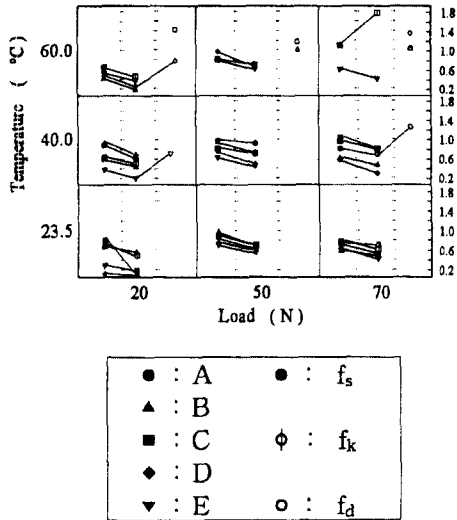


Fig. 5-1 Friction coefficients as a function of loads and temperature [Velocity = 2.7 mm/s]

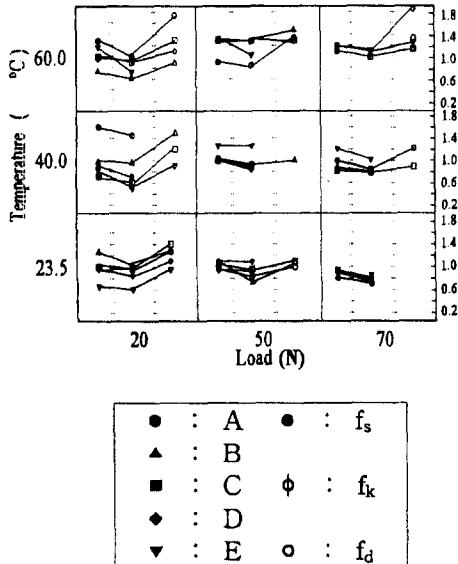


Fig. 5-2 Friction coefficients as a function of loads and temperature [Velocity = 13.8 mm/s]

감소하는 경향을 보인다. 하중이 증가함으로써 평균접촉 면적이 증가하고, 이로 인하여 접촉압력이 감소함으로써 접촉 표면간의 점착력이 감소하기 때문인 것으로 추정되며, 이러한 경향은 금속의 경우와 동일함을 알 수 있다.

2.3.4 온도변화에 따른 마찰계수의 변화 경향

온도 변화에 따라 마찰계수가 변화하나, 그 경향은 재질과 수직하중 조건에 따라 모두 상이하여 일관성이 없다. 단, 고하중일수록 재질에 따른 마찰계수의 차이가 줄어든다.

2.3.5 플립마찰(Drag Friction) 현상

대체로 고온 고속 조건하에서 마찰계수의 평균값이 일정하지 않고, 상대운동이 계속됨에 따라 마찰력이 계속해서 증가하고 이로 인하여 마찰계수 역시 선형적으로 증가하거나 급격히 증가하는 현상이 관찰된다(Fig. 6).

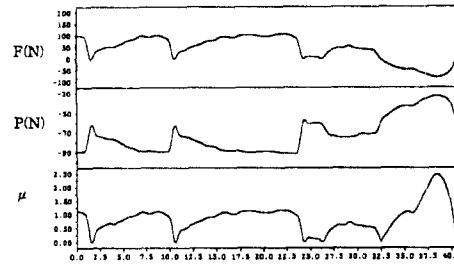


Fig. 6 Measured forces and friction coefficients(F: Friction force, P: Normal force, μ : Friction coefficient)
[Test cond. : C, Temp; 60°C, Load; 70N, Velocity; 2.7mm/s]

이것은 고무류 재질의 초탄성특성으로 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 기인 하는 것으로 추정된다. 특히 속도가

증가할수록 끌림마찰 현상이 현저해짐을 알 수 있다(Fig. 5).

3. 결 론

1. 개발된 시험기를 이용하여 경도가 다른 5가지의 천연고무류 시편에 대해 여러 가지 조건에서 마찰계수를 측정하였고 그 결과를 분석하였다.
2. 상대속도가 증가할수록 마찰계수가 증가한다.
3. 접촉압력이 증가함에 따라 마찰계수는 미소한 감소현상을 보이고, 고하중 일수록 경도 차이에 따른 마찰계수 차이는 줄어들었다.
4. 온도변화에 따른 마찰계수 변화 경향은 일관성을 찾을 수 없었다.
5. 금속과는 달리 초점탄성에 기인하는 끌림마찰현상이 발생하며, 이 경향은 특히 고속의 경우에 현저하다.
6. 마찰계수는 온도, 속도, 하중 및 표면조도와 상대 재질에 따라 최고 70%이상까지 변화하므로, 정확한 마찰계수의 측정은 실제 사용 상태와 동일한 시험조건하에서 수행되어야 한다.

참고문헌

1. R. P Brown, "Physical Testing of Rubber", 3rd ed., Chapman & Hall, 1996.
2. A. F. Alliston-Greiner, "Friction Test machines for Rubbery Materials", Tribotest journal 1-1, September, 1994.
3. M. Barquins and A. D. Roberts, "Rubber friction variation with rate and temp. : some new observations", J. Phys., Vol. 19, pp. 547-563, 1986.
4. M. Barquins, "Friction and wear of rubber-like material", Wear, Vol. 160, pp. 1-11, 1993.
5. M. Barquins, "On a new mechanism of rubber friction", Wear, Vol. 97, pp. 111-114, 1984.
6. M. Barquins, R. Courtel and D. Maugis, "Friction on stretched rubber", Wear, Vol. 38, pp. 385-389, 1976.
7. M. Barquins and A. D. Roberts, "Adhesion and friction of epoxidized natural rubber vulcanizates", J. Chim. Phys., Vol. 84, pp. 225-230, 1987.