

## 윤활상태에서 플라스틱의 마찰특성에 관한 연구

강 석 춘

공군사관학교 기계공학과

### A Study of the Friction Characteristics of Plastics on Lubricated Condition

Sukchoon Kang

Korea Air Force Academy

**Abstract**—The friction characteristic of plastics (PTFE, Nylon, Acetal and phenolic) was studied on the lubricated condition with a pin on disk machine. Mineral oil without additive (base oil) and water were used as liquid lubricants at the controlled temperature. From the experimental work, it was found out that the coefficient of friction of plastics was controlled by the mechanical properties of plastic more than that of liquid for various load and temperature. Viscosity of liquid has affected on the friction only at low temperature under light load. Among the tested plastics, the coefficient of friction of PTFE was the lowest under light load and at low temperature while Nylon at medium load and temperature, and Acetal at heavy load and high temperature. The coefficient of friction of soft plastics like PTFE and Nylon were increased as the load and temperature were increased, while that of hard plastic (Acetal) was decreased and that of thermo setting plastic (phenolic) was mixed. Also for soft plastics, the coefficient of friction under heavy load was always higher than that under light load, while hard plastic was vice versa.

## 1. 서 론

플라스틱과 플라스틱 복합재들은 금속 베어링 재료에 비해 값이 저렴할 뿐 아니라 자기윤활성질을 갖고 소음이 적으며 부식에 강한 동시에 낮은 마찰특성을 가지고 있어서 건조마찰재료(tribological material)로써 대단히 중요시 되고 있다[1-5].

현재 플라스틱 계열의 마찰재료는 저널 베어링, 볼 베어링 케이스 슬라이더, 기어 등의 많은 부분에서 응용되고 있으며 그 활용 영역이 점점 더 넓어지고 있다. 그러나 금속재료에 비해 열전달 계수가 작을 뿐 아니라 강도가 작고 열에 약해 사용범위가 제한되어 있어 이를 극복하고자 하는 노력들이 많이 진행되고 있으며[6], 플라스틱 베어링 재료로써의 건조 마찰특성을 설명하고 저 하는 연구가 활발하게 진행되고 있다[7-9]. 각 플라스틱 재료들이 가지고 있는 고유의 성질에 따라 마찰, 마모현상이 서로 달라 단순한 이론으로 정립하여 설명한다는 것은 매우 어려운 일이다.

Suh는 “The Genesis of Friction”[10]에서 마찰의 변화 추이를 6단계로 구분하고 각 단계별로 마찰특성을 분석한 바 있는데 이는 금속간의 마찰특성이므로 금속과는 성질이 다른 플라스틱 재료에 적용시키는데 무리가 있다. 따라서 유체윤활에서 플라스틱의 재료에 대해 작동조건과 사용한계, 기대수명 등에 관련된 마찰, 마모특성에 관한 충분한 실험적 연구가 필요하다.

본 연구에서는 여러 플라스틱 재료 중에서 PTFE(Polytetrafluoroethylen ; teflon), Acetal(Polyformaldehyde), Nylon 및 Phenolic(Polyphenolformaldehyde)에 대해 유체속에서 하중과 유체온도에 따른 마찰계수의 변화에 관한 실험적 연구를 통하여 플라스틱의 마찰 메커니즘을 설명하고 이들의 유체마찰 관련부품으로의 이용을 더욱 확대시킬 수 있는 가능성에 관한 연구를 하였다.

## 2. 마찰시험 장치와 재료

### 2-1. 마찰시험 장치와 시험방법

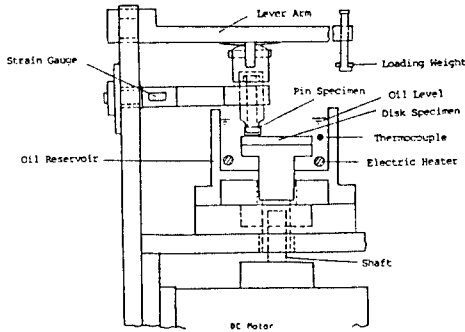


그림 1. pin on disk 마찰 시험기의 개략도

본 실험에 사용된 실험장치는 Pin on disk type의 마찰시험기로써 최대 1750 rpm의 회전수를 갖는 DC Motor와 slider, strain gauge 등으로 구성되어 있으며 장치의 개략도를 그림 1에서 보여준다. 유체 유탈시험에서 유체의 온도를 15, 45, 90°C 및 135°C로 가열하고 각 온도에서 ±3°C의 범위내로 일정하게 유지하기 위하여 전압 조정장치에 의한 자동 항온장치를 이용하여 마찰 시험을 하였다.

플라스틱 디스크 시편에 대한 상대마찰의 재료인 Pin은 직경이 6 mm, 길이 8 mm인 AISI 52100으로 만들어진 롤러베어링을 축방향으로 선접촉시키고 회전하지 못하도록 장착하였고 disk는 각 플라스틱을 50×50×5 mm의 크기로 제작하여 시험하였다. 마찰계수는 strain gauge에 의해 측정된 후에 환산한 마찰력을 가해준 수직하중으로 나누었고 마모량은 10 g까지 측정 가능한 전자식 정밀저울을 사용하여 측정하였다. 시험방법은 4개의 polymer계 plastic에 대하여 시험시작에서 약 30 분간 일정한 하중을 가하는 일정하중 시험법(constant loading method)과 일정시간(본 실험에서는 1분) 마다 하중을 증가시켜주는 계단식 하중시험법(step loading method)을 이용하였다. 이때 하중은 2.5 kg에서 30 kg 까지 매 단계마다 2.5 kg씩 16단계로 증가시켰다. 마찰 회전속도는 200 rpm(40 cm/sec)에서 모든 시험을 실시하였고 각 조건에서 2회 내지 3회씩 시험하여 결과를 분석하였다.

유체 유탈시험에서 시험유체는 매 시험마다 새것을 사용하였고 마모된 물질이나 오염을 제거하기 위하여 시험장치의 주요부분과 핀 및 시편을 hexan으로 세척하였다.

2-2. 시험 마찰 플라스틱의 성질

유탈제 없는 상태에서 저널 베어링의 재료로 사용하고 있는 플라스틱은 열가소성(thermoelastic)과 열경화성

표 1. 플라스틱 마찰재료의 화학적 성질

재료명	분자구조	융점(Tm)
PTFE(Polytetrafluoroethylene)	$  \begin{array}{cccc}  F & F & F & F \\    &   &   &   \\  -C & -C & -C & -C- \\    &   &   &   \\  F & F & F & F  \end{array}  $	327°C
Acetal	$  \begin{array}{cc}  H & H \\    &   \\  -C & -O-C-O- \\    &   \\  H & H  \end{array}  $	175°C
Polyhexamethylene adipamid (Nylon 6/6)	$  \begin{array}{ccc}  & H & O & O \\  &   &   &   \\  N & -(CH_2)_6 & -N & -C(CH_2)_4 & -C \\    & & & & \\  H & & & &   \end{array}  $	265°C
Phenolic	$  \begin{array}{cccc}  OH & H & OH & H \\    &   &   &   \\  -C_6H_4 & -C & -C_6H_4 & -C- \\    &   &   &   \\  H & & & H  \end{array}  $	

표 2. 플라스틱 마찰 시험 재료의 기계적 성질

성질 \ 재료명	Acetal	Nylon	Phenolic	PTFE
비중	1.42	1.13-1.15	1.37-1.46	2.2
인장강도(MPa)	50-70	60-90	30-60	0-50
충격강도(Joules/cm)	1-2	2-3	1.5	3-25
경도	M 36	M 40	M 110	D 55
베어링으로의 한계온도(°C)	149	204	149-209	260
탄성계수(MPa×10 <sup>3</sup> )	3	2	34	0.5
최대하중(MPa)	36	34	28	7
마모계수 (cm <sup>3</sup> /min/kg-m/hr)	50	50	2000	2500

(thermosetting)으로 대별되는데 열가소성에는 PTFE, UHMWPE(Ultra Higt-Molecular-Weight-Poly-Ethylene), Acetal, Nylon, FEP(Fluoro Ethylene Propylene) 등이 있으며 열경화성에는 Polyamide, Polyurethane, Phenolic, Epoxy, Polyester 등이 있다.

본 연구에서 시험한 플라스틱의 재료는 PTFE, Acetal, Nylon, Phenolic으로써 마찰, 마모특성에 영향을 줄 것으로 예상되는 분자구조, 융점과 경도, 탄성계수 등의 중요한 기계적 성질은 표 1 및 2와 같다.

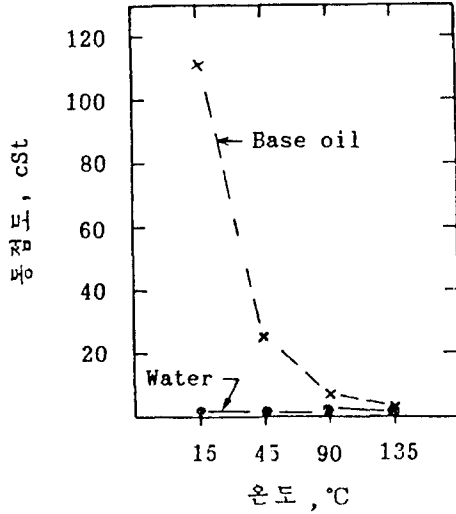


그림 2. 유체의 온도에 따른 점도 변화

2-3. 시험유체의 성질

시험에 사용된 유체는 물, 광유계열인 기유(base oil)로써 온도 및 하중에 따른 플라스틱의 마찰특성을 살펴보았다. 기유는 150N(쌍용정유)으로 첨가제가 포함되지 않은 순수한 광유이고 액체 윤활제에 대한 온도에 따른 점도의 변화는 그림 2와 같으며 기유는 온도에 대해 점도변화가 크고 물은 거의 없음을 보여준다.

3. 결과와 고찰

3-1. 물을 윤활제로 사용한 경우 마찰계수의 변화

물을 윤활제로 하고 마찰시편이 모두 물속에 잠긴 상태에서 유체의 온도를 15, 45°C와 90°C로 일정하게 유지하면서 마찰계수를 측정하였다.

그림 3은 PTFE의 마찰계수의 변화와 각 하중 및 온도에서 30분간의 마모량을 나타낸 것이다. 15°C에서 가장 낮은 마찰계수를 갖고 하중이 낮은 경우에는 온도에 따른 영향이 있으나 하중이 커질수록 마찰계수의 변화는 일정하지 않았다. 특히 낮은 온도에서 증가율이 크고 온도가 45°C에서는 낮은 반면에 20 kg의 하중에서는 높은 온도에서 증가율이 다시 증가하였으나 30 kg의 하중에서는 물의 온도와 관계없이 거의 같은 값인 0.1 정도가 되었다.

물의 온도에 따른 점도의 변화보다 하중 증가에 의한 영향을 많이 받고 최소 마찰계수는 0.02에서 최대 약 0.1까지 약 5배 가량 크게 증가하므로써 하중증가에 따른 마모량의 증가에 의한 영향으로 마찰계수가 커지고 있음을 알 수 있다.

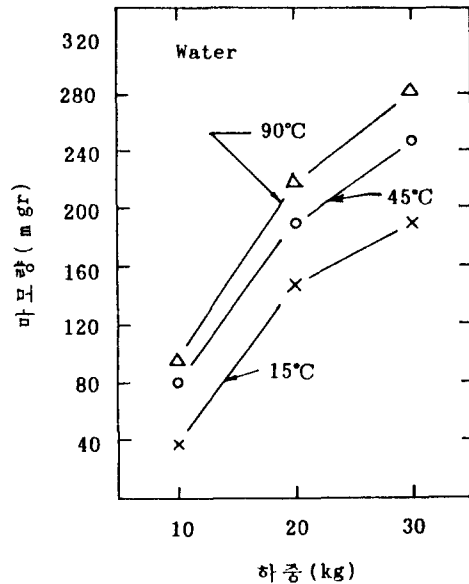
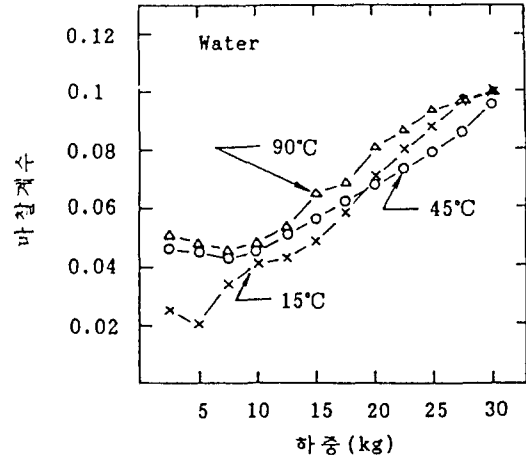


그림 3. 하중과 온도에 따른 PTFE의 마찰계수와 마모량

그림 4는 나일론에 대한 물속에서 마찰계수의 변화를 보여주고 있다. 낮은 온도(15°C)의 경우 마찰계수는 0.04-0.06 정도로 매우 낮고 하중에 의한 변화가 적으나 높은 온도인 45°C와 90°C에서는 0.07-0.1까지 변화하면서 온도의 영향이 분명하지 않고 15°C의 경우보다 2배 가량 모두 증가하였다. 또 마찰계수가 하중이 낮아도 증가하고 커지면 또한 증가하므로써 하중에 의한 영향이 일정하지 않았다.

Acetal을 물속에서 마찰한 경우 마찰계수의 변화를 그림 5에 나타내었다. 앞의 PTFE나 Nylon과는 많은 차이가 있음을 보여주고 있다. 즉 하중의 증가에 따라

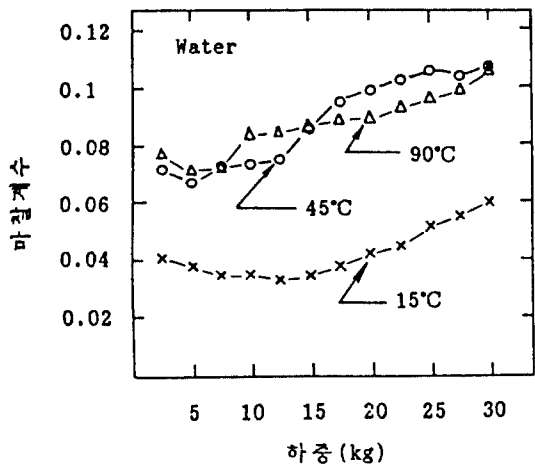


그림 4. 나일론의 하중과 온도에 따른 마찰계수

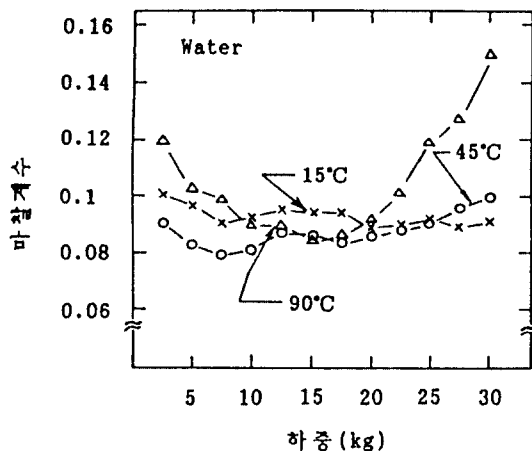


그림 6. Phenolic의 온도와 하중에 따른 마찰계수

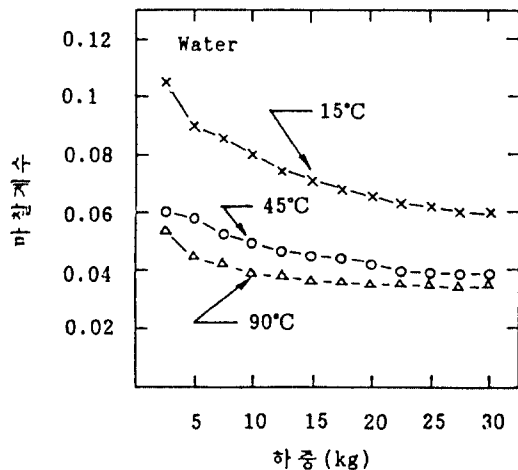


그림 5. Acetal의 온도와 하중에 따른 마찰계수

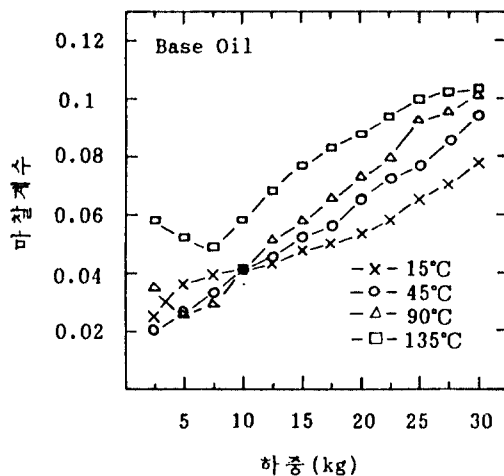


그림 7. 온도와 하중에 따른 PTFE의 마찰계수

마찰계수가 모두 감소하고 있고 온도가 높을수록 마찰계수는 작아지고 있음을 알 수 있다. 모든 하중에 대하여 낮은 온도(15°C)에서 가장 큰 마찰계수를 갖는다. 또 40°C와 90°C에서도 마찰계수는 0.06에서 0.035 정도로 비교적 낮으나 15°C에서는 0.1에서 0.06까지 높고 변화율도 크게 되었다.

그림 6은 Phenolic의 마찰계수 변화를 나타낸 것이다. 이 재료는 열경화성 재료로서 탄성계수가 크고 수분흡수가 활발하며 피막손상에 의한 마모가 급격히 일어나는 특성을 갖고 있다. 그림에서 마찰계수는 온도나 하중에 따라 일정한 변화 경향을 보여주지 않는다. 즉 낮은 하중과 높은 하중에서는 90°C에서 최대 마찰계수를 갖지만 최소 마찰계수는 45°C에서와 중간 정도의 하중에서 나

타나고 15°C에서는 비교적 중간하중에서 높은 마찰계수를 보여주고 있다. 또 90°C와 20 kg 이상의 하중에서 마찰계수가 급격한 증가를 하고 있고 전반적으로 0.08에서 0.12 범위내에 있고 4개의 플라스틱 중에서 가장 큰 마찰계수를 갖고 있음을 알 수 있다.

### 3-2. 기유를 유체 윤활제로 사용한 경우

광유인 기유를 윤활제로 하고 플라스틱을 철과 마찰 시험한 경우에 마찰계수의 변화를 속도 200 rpm에서 측정하였다. 그림 7은 PTFE를 마찰시험한 것으로서 마찰계수는 낮은 온도인 15°C와 45°C에서는 작은 하중에서 가장 작은 값을 보이다가 하중이 증가함에 따라 점차 증가하였고 15°C에서는 0.025에서 0.08로, 45°C에서는

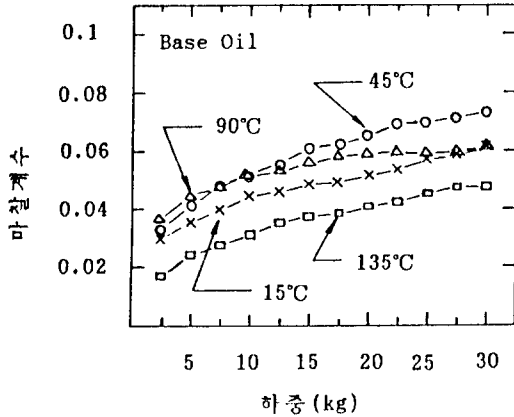


그림 8. 온도와 하중에 따른 Nylon의 마찰계수

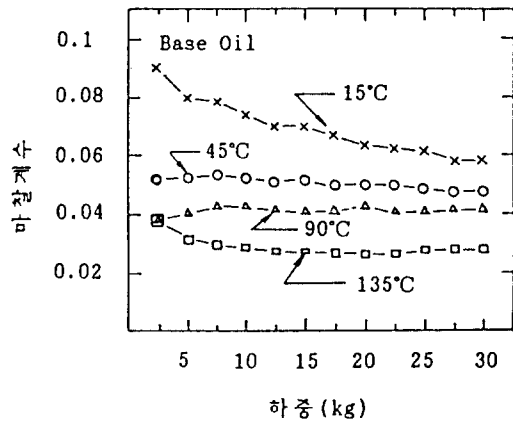


그림 9. 온도와 하중에 따른 Acetal의 마찰계수

0.02에서 0.095로 증대하였다. 또 10 kg보다 낮은 하중에서는 45°C에서 15°C의 경우보다 낮았으나 그 이상의 하중에서는 15°C의 경우가 더 커졌다. 또 90°C의 경우 5 kg의 하중에서 최소로 되었다가 다시 증가하면서 10 kg의 하중에서 15°C나 45°C보다 더 커지고 있다. 그러나 135°C의 온도에서는 하중이 15 kg에서 최소로 되었다가 다시 증가하였고 모든 하중의 범위에서 가장 높은 값을 유지하였으며 30 kg 하중에서는 45°C에 대한 마찰계수와 비슷하게 되었다.

따라서 10 kg의 하중에서 15°C나 45°C와 90°C에서 기유의 점도변화에 영향을 크게 받고 또 표면의 상태(연화)에 의한 영향을 받다가 10 kg 하중 이상에서는 점도와 경도의 감소에 따라 마찰계수의 일정한 비율로 증가율이 변하고 있다. 또 높은 온도에서는 7.5 kg에서 최소로 감소하였고 그 이상의 하중에서는 증가함으로써 마모의 영향이 주로 지배함을 알 수 있고 전반적으로 높은 하

중과 온도에서 마모량이 크게 증가하면서 마찰계수를 증가시키고 이 경우에는 물을 윤활제로 사용한 경우와 같은 현상을 보여주고 있다.

그림 8은 Nylon의 경우에 대한 마찰계수의 변화를 나타낸 것으로서 15°C의 오일에서 마찰계수는 0.03에서 증가하기 시작하였고 0.035에서 시작하여 증가하는 90°C의 경우와는 30 kg의 하중에서 마찰계수가 같다. 그러나 90°C의 오일은 7.5 kg 정도에서 45°C의 오일에 대한 마찰계수보다 낮아지기 시작하였고 30 kg 하중에서는 15°C의 오일에 대한 마찰계수와 교차하려는 경향을 보여준다.

135°C의 오일에서 시험한 경우에 마찰계수는 모든 하중에서 가장 낮은 값을 갖고 마찰계수의 증가율도 비교적 적다. 이 결과로써 나일론은 기유의 온도가 높은 경우에만 전체적으로 마찰계수는 작은 경향이 있으나 중간 온도에서는 낮은 하중에서만 점도의 영향을 많이 받고 낮은 온도에서는 점도에 지배를 받고 있음을 알 수 있다. 즉 Nylon이 높은 온도(135°C)에서는 점도보다 표면의 연화에 의한 낮은 마찰계수를 갖고 있으나 하중 증가에 따라 탄성변형의 증가로 마찰계수는 점차 증가하는 것으로 생각된다. 따라서 점도의 변화가 적은 물의 마찰계수 변화와 비슷한 경향을 보여주지만 표면 연화의 특성을 갖는 135°C에서는 큰 차이가 있다.

그림 9는 Acetal의 하중과 윤활유 온도에 따른 마찰계수 변화를 나타낸 것으로 물속에서 시험한 결과와 거의 비슷하다. 다만 전체적으로 윤활제의 온도증가에 따라 마찰계수가 좀 작아졌고 45°C와 90°C에서는 하중변화에 영향없이 일정한 값을 가지나 15°C와 135°C에서는 하중 증가에 따라 마찰계수는 감소하는 경향이 있으며 15°C에서 더 크게 나타나 있다.

따라서 낮은 온도에서는 탄성변형이 적은 이유로, 높은 온도에서는 표면연화가 큰 원인에 의한 것으로 생각된다. 또 135°C에서 마찰계수는 0.03 정도로 매우 작은 편이며 온도나 하중 증가에 따른 마찰계수의 감소가 비교적 적게 영향을 받고 있으며 마찰특성이 탄성계수가 낮은 나일론이나 PTFE의 경우와 하중의 영향이 반대로 나타나고 있음을 보여주고 있다.

그림 10은 Phenolic의 마찰계수 변화를 하중 및 온도에 따라 나타낸 것이다. 이 그림에서 Phenolic은 기유의 온도와 하중에 따라 매우 특이한 현상을 보여주고 있다. 하중이 15 kg 이하의 경우에는 135°C를 제외하고 하중 증가에 따라 마찰계수는 감소하나 초기 마찰계수는 15°C의 온도에서 최대가 되고 90°C의 온도에서는 처음에 약간 증가하여 최대값이 되었다가 서서히 감소하며 45°C에서는 비교적 낮은 값에서 적은 변화율로 감소한다. 또 135°C에서는 0.055 정도의 가장 낮은 마찰계수로 시

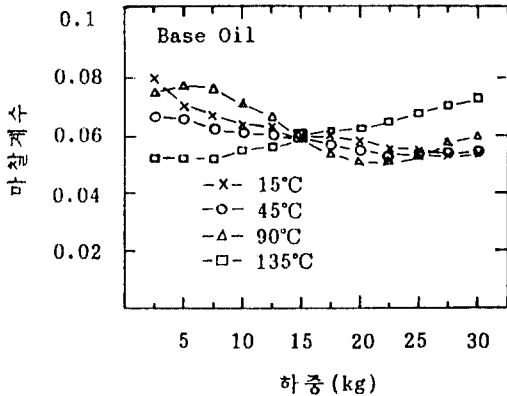


그림 10. Phenolic의 하중과 온도에 따른 마찰계수

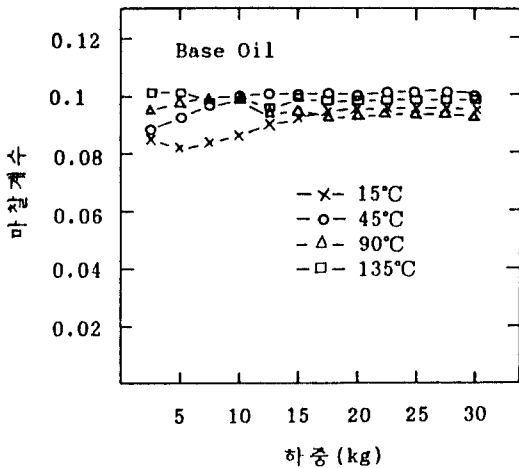


그림 11. 청동(Bronze)의 하중온도에 따른 마찰계수

작하여 일정한 값을 갖다가 10 kg 하중부터 일정한 증가율로 증가하고 15 kg 이후부터는 최대값이 되었다. 또 모든 오일은 15 kg 하중에서 같은 마찰계수를 갖고 있고 그 다음부터는 90°C 오일의 경우가 최소 마찰계수로 되었다가 다시 증가하며 25 kg 이상에서는 15°C 오일이 최소의 마찰계수를 갖는다. 이 결과에 의하면 Phenolic의 마찰특성은 오일의 온도 즉 점도의 영향과 재료의 연화 및 마모특성이 가장 복잡하게 나타나고 특히 낮은 온도에서는 하중의 증가에 따라 감소하는 Acetal의 변화 경향은 높은 온도인 135°C에서는 증가하는 경향을 갖는 PTFE나 Nylon과 같은 특성을 따르고 90°C의 온도에서는 이들 두 경우를 혼합한 형태로 마찰계수가 변함을 알 수 있다.

따라서 낮은 하중과 온도에서는 주로 점도의 영향을 받고 하중이 증가함에 따라 표면 연화에 의해 지배받으나

탄성변형이 적기 때문에 Acetal의 경우와 같이 감소한다. 그러나 온도가 증가하면 낮은 하중에서는 표면 연화특성이 지배하지만 하중이 커질수록 표면 연화와 함께 탄성변형이 더 많은 영향을 미치고 있으며 하중이 15 kg인 경우에 같은 마찰계수를 갖는 특수한 성질을 보여준다.

저널(미끄럼) 베어링으로 가장 널리 사용되는 청동 (Bronze)으로된 시편에 대해 기유속에서 마찰시험한 결과를 그림 11에서 보여준다. 기유는 첨가물질을 전혀 포함하지 않아서 금속과 복잡한 화학반응물질이 생기지 않고 주로 점도만이 영향을 미치는 것으로 볼 수 있으므로 점도변화에 따른 금속의 마찰계수 영향으로 간주될 수 있다. 그림에서 기유의 온도가 15°C인 경우에 가장 낮은 마찰계수를 약 15 kg 하중까지 유지하였고 최소 마찰값은 5 kg 하중에서 비교적 작은 값인 0.08 점도로 되었다가 점차 증가하기 시작하였다. 이 시험에서도 phenolic과 같이 세 온도의 마찰계수가 교차하는 하중이 생기고 그 하중은 7.5 kg에서 10 kg 사이로 phenolic 보다 낮은 하중에서 발생하며 15°C의 오일은 제외되었다.

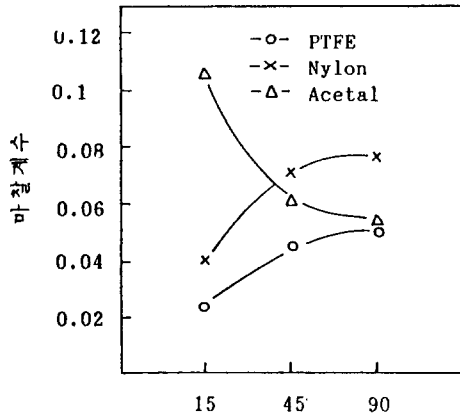
하중이 작은 경우에는 온도가 낮을수록 기유의 점도가 크기 때문에 마찰계수가 낮으나 하중의 증가에 따라 점도의 영향이 적어지고 전반적으로 마찰계수가 비슷하며 하중의 크기에 관계없이 일정하여 플라스틱의 표면 연화나 탄성변형의 영향이 거의 나타나지 않음을 의미한다.

#### 4. 토 론

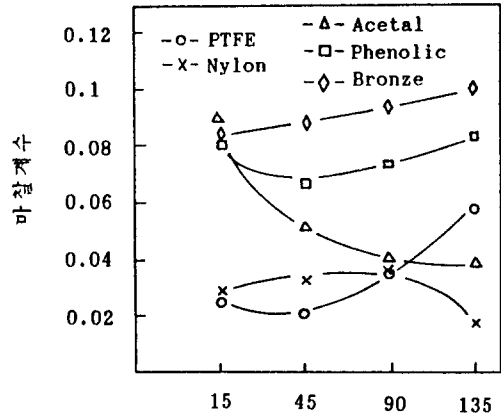
금속에 비해 강도와 경도가 매우 작고 비교적 낮은 온도에서 연화되는 플라스틱 재료의 유체 마찰특성은 금속과 매우 다르고 특히 마찰계수는 각 플라스틱 종류에 따라 몇 가지 지배 성질을 갖고 있음을 보여준다. 플라스틱 자체의 물성에 따른 지배 성질로는 마모의 정도, 연화의 경향, 탄성계수와 마찰특성이 있고 유체 마찰시에 유체의 점도가 포함된다. 앞에서 보여준 각 플라스틱의 하중에 대한 마찰자료를 낮은 하중과 높은 하중에서 유체의 온도에 따른 마찰계수의 변화로 그림 12에 도시하였다.

그림에서 PTFE와 같이 건조 마찰계수와 탄성계수가 가장 작고 연화재료의 경우에 온도와 하중의 증가에 따라 마찰계수가 증가하고 또 그림 13에서와 같이 재료의 연화에 의한 마모 증가와 탄성변형에 영향을 많이 받으나 작은 하중과 낮은 온도를 제외하고 유체의 점도 감소나 변화의 영향이 없음을 보여준다.

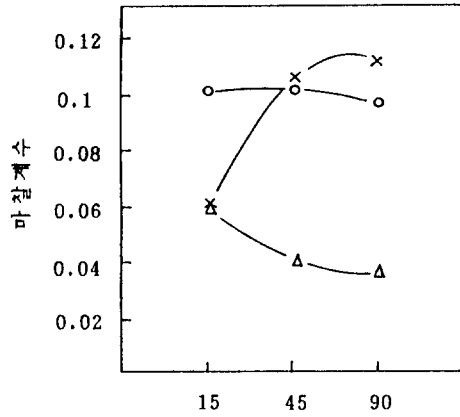
나일론의 경우는 비교적 마찰계수와 탄성계수가 작으며 마모가 잘 안되는 재료로써 그림 14와 같이 유체는



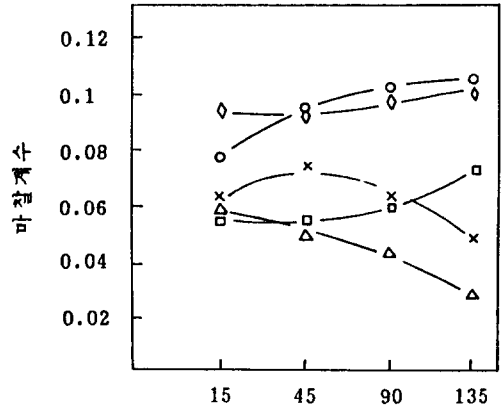
a. Water - 2.5 kg 하중



b. Base Oil - 2.5 kg 하중



c. Water - 30 kg 하중



d. Base Oil - 30 kg 하중

그림 12. 온도와 하중에 따른 플라스틱의 마찰계수

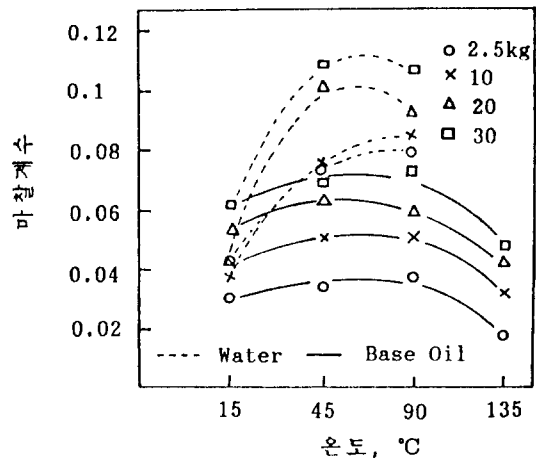
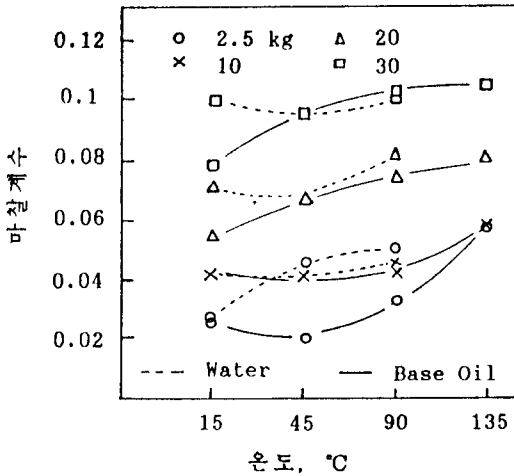


그림 13. PTFE의 온도에 따른 마찰계수

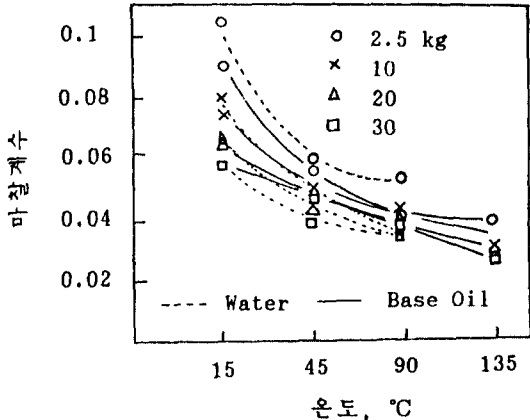


그림 15. Acetal의 온도에 따른 마찰계수

도의 증가에 따라 유체의 점도 감소와 탄성변형의 증대로 마찰계수가 증가하나 상온보다 높은 온도에서는 나일론의 표면 연화에 지배를 받고 마찰계수가 감소하는 경향이 있으며 물보다 오일의 경우 마찰계수의 변화가 적다.

아세탈과 같이 경도나 강도가 비교적 큰 플라스틱의 경우에는 그림 12와 15에서와 같이 하중이나 온도증가에 따라 마찰계수가 감소하였다. 이것은 마찰표면의 소성변화와 표면 연화특성이 주로 지배하고 온도증가가 전체적인 탄성계수에 영향을 미치지 못하므로 탄성변형이 적게 일어나기 때문으로 생각된다. 따라서 낮은 온도에서 하중이 작은 경우가 하중이 큰 경우보다 마찰계수가 크게 나타나고 하중과 온도가 증가하면서 전반적으로 낮아지며 유체의 점도 변화는 적은 하중에서 상온을 제외하고 영향을 미치지 못함을 알 수 있다.

Phenolic은 시험하는 플라스틱 중에 탄성계수가 가장 크고 열가소성 재료로써 탄성변형이 온도의 영향을 적게 받으며 자체 마찰계수도 비교적 크다. 유체 마찰에서 온도가 낮고 하중이 작은 경우는 마찰계수가 크지만 하중이 증가할수록 다른 재료에 비해 표면 연화나 탄소성변형이 적게 일어나므로 마찰계수가 낮고 온도증가에 의한 유체의 점도 감소에 따라 마찰계수를 증가시켜 주고 있다.

금속 베어링 재료로 많이 사용되는 청동의 유체 마찰특성은 그림 12와 같이 온도증가에 따라 유체의 점도 감소 영향으로 마찰계수가 증가하고 있으나 증가 정도는 매우 적고 선형적인 변화를 보여주므로써 마찰에서 탄성변형이나 마모물의 변화 및 연화의 경향이 플라스틱과 같이 유체 마찰계수에 영향을 주지 않는 것으로 생각된다.

## 5. 결 론

플라스틱의 유체 마찰특성 중에서 하중과 유체 및 그의 온도변화에 따른 마찰계수에 관한 연구결과로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 플라스틱의 유체 마찰에서 마찰계수의 크기나 변화 경향은 작용하중의 크기에 영향을 많이 받고 플라스틱의 물성 즉 경도나 탄성계수 등의 크기에 따라 차이가 있음을 보여준다. 즉 비교적 연한 종류는 하중의 증가에 따라 증가하나 단단한 경우에는 점차 감소하였다.
2. 금속의 유체 마찰에서 마찰계수는 유체의 온도증가에 따른 점도의 저하에 영향을 많이 받지만 플라스틱의 경우에는 점도변화보다 재료의 온도 증가에 의한 기계적 성질의 변화에 더 많은 영향을 받고 마찰계수가 증가 혹은 감소하는 경향을 갖고 있음이 밝혀졌다.
3. 유체마찰에서 작은 하중과 낮은 온도에서는 PTFE가 가장 작은 마찰계수를 가지나 하중과 온도가 높아지면 가장 크게 되고 작은 하중과 높은 온도에서는 나일론(Nylon)이, 높은 온도와 큰 하중에서는 아세탈(Acetal)이 가장 작은 마찰계수를 갖고 있음을 알 수 있다.

## 참 고 문 헌

1. Lancaster, J.K., Bramham, R.W., Play, D., and Waghorne, R., "Effects of Amplitude of Oscillation on the Wear of PTFE" ASME J. Lub. Tech., 104(1982), p.559-567.
2. Atkinson, J.R., Brown, K.J., and Dowson, D., "The Wear of High Molecular Weight Polyethylene", ASME J. Lub. Tech., 100(1978), p.208-218.
3. Bartenev, G.M. and Lavrentev, V.V., "Friction and Wear of Polymers", Elsevier, Amsterdam, (1981).
4. Fusaro, R.L., "Friction, Wear, Transfer and Wear Surface Morphology of Ultrahigh-Molecular-Weight Polyethylene", ASLE Transactions, 28(1985), p.1-9.
5. Karpe, S.A., "The Frictional Behavior of Unlubricated Polyethylene", ASLE Transactions, 25(1982), p. 537-545.
6. Tanaka, K. and Nagai, T., "Effect of Counterface Roughness on the Friction and Wear of PTFE and Polyethylene", Ludema, K.C., Ed., Wear of Materials-1985, ASME, (1985), p.397-404.
7. Uchiyama, Y., Ogawa, T. and Ueji, Y., "Friction and Wear of Polymers" Proc. of the Japan International Tribology Conf. Nagoya-1990, p.1359-1364.
8. Tanaka, K., Ueda, S. and Nagayama, Y., "Fundamental Friction and Wear Properties of Polyamids and Polyethersulfone", Proc. of the Japan Int. Trib. Conf. Nagoya-1990, p.1365-1370.
9. Lhymn, C., "Microscopy Study of the Frictional Wear of PTFE, Wear, Vol.107, No.2, (1986), p.95-106.
10. Suh, N.P., "Tribophysics" Prentice-Hall, 1986, p.63-90.