

## 왁스와 오일 또는 흑연의 함침에 의한 나일론의 마찰특성 향상에 관한 연구

### A Study on the Improvement of Frictional Properties of Nylon Impregnated with Wax and Oil or Graphite

강 석 춘\*, 정 대 원\*\*  
Suckchoon Kang, Dae-won Chung

#### ABSTRACT

The frictional properties of nylon can be improved by the impregnation of lubricants like wax, oil or graphite. The inclusion of these lubricants, on the other hand, decreases the mechanical properties of nylon, such as tensile strength, hardness and impact strength. As an attempt to maximize frictional properties, while minimizing a decrease in the mechanical properties, various kinds of nylon containing 3 wt% wax and varying contents of oil or graphite were prepared. It was found that the synergy effects to improve both friction and anti-wear properties is evidenced by impregnating a combination of wax/oil or wax/graphite. The wear rate of a nylon containing 3 wt% of wax and 1.5 wt% of oil turned out to be 1/4 of that of nylon impregnated with 8 wt% wax or 8 wt% oil. The latter showed the lowest wear rate among the nylons prepared with a single lubricant. In addition, the friction coefficient of the developed nylon was found to be very similar to the nylon with 8 wt% wax only.

주요기술용어 : Nylon(나일론), Wax(왁스), Oil(오일), Graphite(흑연), Wear rate(마모율), Friction coefficient(마찰계수)

#### 1. 서 론

1940년대 이후부터 나일론은 결정성이 높고 인장강도, 열적안정성 및 저 마찰계수와 내마모성 등 마찰특성이 우수하여 기계재료로서의 수요와 용도가 꾸준히 증가함에 따라, 나일론의 기계적 성질을 보다 더 개선하려는 연구가 지속적으로 진행되어 왔다.<sup>1)</sup> 열가소성 엔지니어링 플라스틱으로서 일반적으로 나일론6과 나일론12가 널리 활용되고 있으며, 본 논문에서는 나일론6(이후 나일론으로 표기함)의 마찰특성을 포함한 기계적성질을 개선시키기 위한 연구를 수행하였다.

나일론의 중합은 주로 단량체인  $\epsilon$ -caprolactam(이후 CL로 표기함)의 가수분해 중합법과 음이온 중합법이 사용되고 있으며 그 중에서 CL을 음이온 중합시킴으로써 생성되는 나일론의 경우에 중합속도가 매우 빠르고, 높은 분자량을 나

\* 회원, 수원대학교 기계공학과

\*\* 회원, 수원대학교 신소재공학과

타낸다는 점에서 특별히 주목을 받은 이후로,<sup>2)</sup> 중합반응의 촉매 및 반응기구에 관련하여 많은 연구가 진행되어 오고 있다.<sup>3-5)</sup> 특히, 나트륨금속의 존재하에서 디이소시아네이트(diisocyanate) 화합물을 활성제로 하고 용융상태의 CL을 주형(casting mold) 안에서 음이온 중합시킴으로서 얻어지는 나일론은 공업적으로 모노머 캐스팅 나일론(monomer casting nylon)이라고 불리며, 분자량 및 결정화도가 매우 높고 인장강도나 가공성 등이 우수하여 절삭가공용 기계요소의 재료로 널리 사용되고 있다.

초기에 모노머 캐스팅 나일론은 피상중합이기 때문에 학문적 연구대상이기 보다는 산업현장에서 경험에 의존한 연구가 주로 수행되어 오고 있었다. 그러나 최근에 중합반응에 관한 체계적인 연구결과<sup>6,7)</sup>가 발표되면서, 모노머 캐스팅 나일론을 다양한 용도로 사용할 수 있도록 개발하려는 연구에 많은 관심이 집중되고 있다. 예를 들면, 양 말단이 이소시아네이트(diisocyanate)로 치환된 poly(tetramethylene oxide)를 활성제로 사용하여 내충격성이 향상된 나일론<sup>8)</sup>이 개발되었으며, 윤활제의 존재하에서 CL을 음이온 중합시킴으로서 기존의 나일론보다 마찰계수를 감소시킬 수 있는 사실이 발견되어<sup>9,10)</sup> 기어나 베어링 또는 접동부의 마찰용 기계요소로서 나일론의 용도가 더욱 확산되고 있다. 나일론에 오일이나 왁스와 같은 윤활제를 함침시키면 마찰계수와 마모율이 감소하는데 함침되는 윤활제의 함유량이 많을수록 그 감소 정도는 점차 증대하는 것이 밝혀졌다.<sup>10)</sup> 그러나 윤활제의 함침량이 증가하면 나일론의 마찰성의 향상과 함께 기계적인 물성 역시 저하되기 때문에 윤활제의 함침량을 적절히 제한시킬 필요성이 요구되어 왔다.

본 논문에서는 나일론과의 혼용성(miscibility)이 우수하고 마찰계수감소에 가장 효과적인 것으로 밝혀진 왁스(wax) 3%와 오일 또는 흑연(graphite)을 다양한 비율로 함께 함침한 나일론을 합성하고 2종 윤활제의 함침에 의한 나일론의 마찰성질에서 상승효과(synergy effect)를 조사하

였다. 또 마찰성질을 고려하여 나일론에 윤활제 최적 함침조건을 추구하고 있다. 가능한 윤활제의 함침량을 적게 해 줌으로서 나일론의 기계적성질 약화를 억제하면서 동시에 마찰계수는 작게, 그리고 마모저항은 크게 할 수 있는 2종 윤활제 함침 나일론의 합성에 관한 연구를 수행하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시약 및 기기

CL( $\epsilon$ -caprolactam)은 BASF사의 AP 등급을 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>하에서 진공 건조하여 사용하였으며, 나트륨과 톨루엔 디이소시아네이트(toluene diisocyanate, TDI)는 시약용을 정제하지 않고 구입한 상태로 사용하였다. 나일론에 함침해 주는 왁스(wax)는 파라핀계로서 용융점이 53.8°C (DNW-125S)이고, 흑연(graphite)은 Tial사의 TIMREX 계열인 KS 6을 사용하였으며 이 흑연분말의 평균 입자경(d<sub>50</sub>)은 3.3 $\mu$ m이고 표면적(BET)은 20m<sup>2</sup>/g이다. 또 나일론에 함침시켜주는 오일은 극동유화에서 제조한 광유계인 LP-170F (37.8°C에서 38 cSt)를 사용하였다.

나일론을 주조하는데 사용되는 주형은 용융상태의 CL이 응고되는 내부 (250×850×2200 mm)의 표면을 테프론(Teflon)으로 코팅하였고, 외부를 알루미늄으로 만든 가열블럭(heating block)으로 둘러싸 주었으며, 제어판(control panel)에 연결하여 설정된 온도로부터  $\pm 1^\circ\text{C}$  이내로 일정하게 유지할 수 있도록 제작하였다.

### 2.2 왁스와 오일 및 흑연함침 나일론의 합성

나일론 시편은 왁스 3 wt.%(이후 %로 표기함)와 오일 또는 흑연의 함유량을 0.5% 비율로 증가하면서 중합하였고 중합과정은 대략 다음과 같다. 먼저 건조시킨 질소 기류하에서 삼각플라스크에 CL 550 g과 TDI 4.2 g을 혼합한 후 120°C에서 40분 동안 교반하여 준다. 또 다른 플라스크에서 CL 550g과 나트륨 0.78g을 건조

시킨 질소의 기류 하에 혼합한 후 수소기체의 발생이 완전히 끝나면 CL과 나트륨의 반응이 종결되었다고 판단하고 상기 두 플라스크에 있는 용액을 혼합하여 30초간 교반해 준다. 그 다음에 왁스 와 오일을 넣어 예열시킨 2,000ml 삼각플라스크에 혼합용액을 넣거나, 대류식 건조기에서 80°C로 24시간동안 건조시킨 흑연을 왁스와 함께 혼합용액에 넣고 기계식 교반기에서 500 rpm으로 1분간 교반한 후 155°C로 유지된 주형에 넣어 주조(casting)한다. 주형에 넣은 후에는 나일론이 왁스와 오일 또는 왁스와 흑연이 골고루 분산되도록 하기 위해서 유리막대로 10여초 동안 잘 저어주고 1시간 동안 중합한다.

### 2.3 나일론의 마찰계수 측정

마찰계수는 링과 디스크 (ring-on-disk)를 사용한 시험기를 사용하였고 실온에서 수직하중과 회전시에 발생하는 접선력(마찰력)을 로드셀을 사용하여 측정하고 마찰계수를 산출하였다.<sup>12)</sup> 나일론과 상대운동을 하는 원형디스크는 비교적 단단한 강 (SM5)으로 제작하였다. 이 디스크는 볼베어링으로 만든 짐벌(gimbals)장치 위에 장착되어 있어서 디스크의 표면이 나일론 링의 표면과 항상 일정한 면접촉을 유지되도록 하였다. 나일론으로 만든 링 시편의 바깥지름은 26mm이고 안지름은 20mm로써 디스크에 접촉면적은 217mm<sup>2</sup>이 되고, 디스크와의 접촉하는 마찰부위의 표면조도는 평균 0.3μm이었으며, 나일론 링이 마모되더라도 항상 일정한 응력이 나일론의 접촉면에 작용하도록 하였다.

나일론과 강(steel)과의 마찰계수를 위한 마찰력은 링의 회전속도를 700rpm으로 하여 평균 미끄럼 마찰속도를 84cm/sec로 하였고 링의 면에 수직으로 작용하는 응력은 5, 10과 15MPa으로 하여 마찰력을 측정하였다. 또 매 시험에서 표면이 연마 가공된 나일론시편은 헵탄으로 충분히 세척한 다음에 사용하였고, 디스크의 마찰면은 연마지 #320으로 먼지의 시험 중에 생성된 마찰

흔적을 완전히 제거한 후 시험에 사용 하였으며, 한 종류의 나일론시편에 대하여 최소한 4회 이상씩을 마찰시험한 후에 그 중에서 3개의 자료를 평균하여 마찰계수를 산출하였다.

### 2.4 나일론의 마모시험

윤활제를 함침시킨 나일론의 내마모성 즉 마모율은 핀과 디스크(pin-on-disk)형 시험기를 사용하여 측정하였다. 마찰계수 측정에 사용한 링과 디스크형 시험기는 예비시험결과 재현성이 큰 마모자료를 얻을 수 없어서 마모용 시험기를 별도로 제작하여 사용하였다. 마모시험용 나일론시편으로 사용되는 핀의 크기는 5×10×24mm인 직육면체로써 디스크와는 5×24mm의 단면(면적 : 120mm<sup>2</sup>)과 접촉이 되도록 하였고, 핀의 접촉면에는 핀의 마모에 상관없이 일정한 응력(0.083MPa)을 받도록 하였다. 나일론의 마모는 매끄러운 금속 디스크와의 마찰에서 측정하는 것이 부정확하고 상대 비교에 적합한 자료를 얻는 것이 쉽지 않아서 회전 연삭용 숫돌을 디스크로 사용하였으며 디스크의 직경은 150mm이고, 두께(폭)는 25mm로 나일론 핀의 접촉면 폭의 길이보다 1mm정도 더 크다. 또 디스크의 표면조도는 7.6μm정도이고 나일론 마모시험과정에서 디스크의 표면에 마모입자가 충전되기 때문에 매 시험마다 산화알루미늄 연마포(#80)를 사용하여 디스크 면을 충분히 연마해 준 후에 시험하였고, 디스크의 회전속도는 260m/min.으로 하였다. 마모시험은 10분 동안 지속하였으며 마모시험 전과 후의 나일론으로 만든 핀의 무게를 미세 정밀 저울로 측정하여 중량차이에 의한 각 시료의 마모량을 얻었고, 역시 한 종류의 시편에 대하여 4회씩 시험하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 왁스와 오일 또는 흑연을 함침한 나일론의 합성

일반적으로 오일만을 첨가하여 나일론을 합

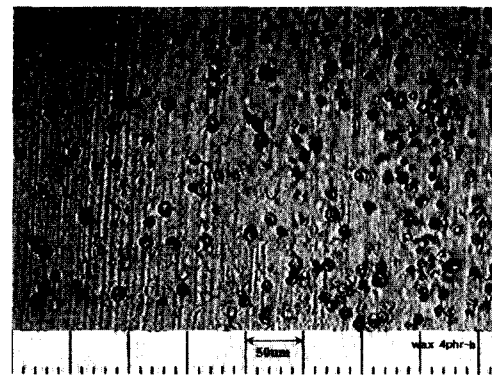
성할 경우에는 오일의 함유량이 8%까지는 합성이 가능한 것으로 알려져 있다.<sup>13)</sup> 그러나 본 실험에서는 나일론에 왁스를 3% 함침하는 것을 기준으로 하고 왁스 3%에 오일 및 흑연을 각각 0.5%씩 증가하면서 2%까지 함께 함침하여 나일론을 합성하였다.

Fig. 1(a)는 왁스를 3%함유한 나일론표면의 사진으로서 나일론 분자사이에 왁스가 거의 같은 크기의 작은 물방울 형태로 골고루 분산되어 존재하는 것을 볼 수 있다. 이것은 나일론 합성시에 왁스를 용해시키고 가열된 나일론에 넣어 잘 섞어 줌으로써 만들어진 것으로 나일론과는 서로 화학반응을 하지 않고 단지 물리적으로 혼합되어 있음을 알 수 있다. 왁스 3%에 오일을 1%함유한 나일론사진은 Fig. 1(b)에서 보여준다. 이 사진에서 나일론에 왁스만을 함침시킨 것과 큰 차이가 없음을 보여주고 다만 작은 방울의 함침된 왁스와 오일의 더 많이 수가 더 많이 나타남을 알 수 있다. 원래 왁스와 오일은 탄화수소로서 분자량의 크기에서는 다르지만 다같이 높은 온도로 가열하여 나일론의 분자사이에 분산시키므로 구분이 안 되는 것으로 보인다. 그러나 왁스와 흑연을 같이 나일론에 함침시키면 Fig. 1(c)에서처럼 흑연과 왁스가 혼합된 형태로 나일론 분자사이에 존재하고 있음을 보여준다.

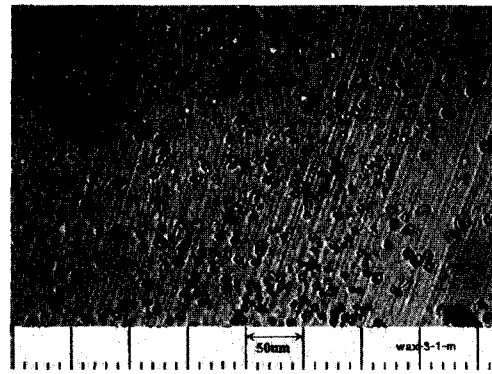
### 3.2 순수한 나일론을 오일과 흑연으로 윤활한 경우의 마찰특성

나일론으로 제작한 디스크와 고정된 강(steel) 사이에 상대운동을 하는 핀-디스크형의 마찰시험기를 사용하여 마찰시험을 하였다. 먼저 강과 윤활제를 함침하지 않은 나일론의 건조마찰 즉 무윤활 마찰조건에서 마찰계수를 측정하였고 다음에 나일론디스크가 강과 상대 운동하는 접촉부분을 흑연과 오일에 의해 완전히 잠기도록 해준 윤활상태로 응력의 크기에 따른 각각의 마찰계수를 산출하여 Fig. 2에 나타내었다.

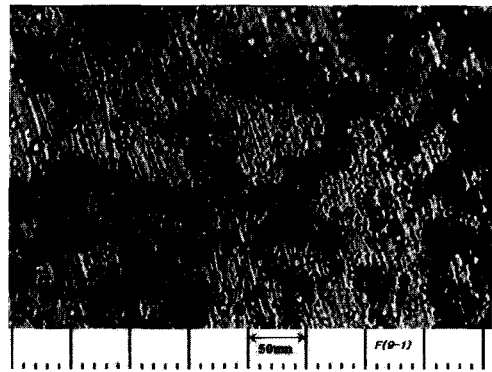
강과 나일론의 마찰계수는 작용하중이 작은 경우에 크고 작용응력의 크기를 증가시키면 마



(a) Wax 3%



(b) Wax 3% and oil 1%



(c) Wax 3% and graphite 3%

Fig. 1 Optical micrographs of nylon impregnated with wax, oil or graphite

찰계수는 선형적으로 감소함을 보여준다. 그러나 나일론을 흑연 분말로 윤활해 주었을 경우에는 나일론 자체의 마찰계수보다 더 크며, 응력의 증가에 따라 조금씩 감소하는 경향을 보여준다.

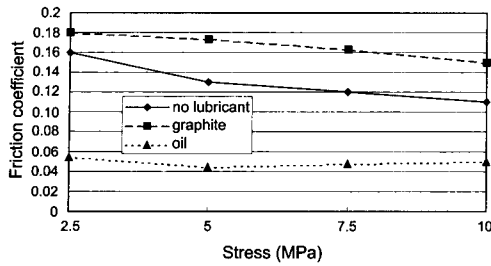


Fig. 2 Friction coefficient of nylon sliding against steel

본래 흑연분자가 층상구조로 이루어져 있고 각 층의 원자들은 이온결합의 형태로 결합이 단단하지만 층과 층 사이의 결합은 약한 분자결합으로 이루어져 있어서 매우 약한 이방성 성질을 가지고 있어서 층과 평행방향으로 전단응력을 받을 경우에는 윤활제 기능을 할 수 있으나 층과 직각의 방향으로의 미끄럼에서는 높은 전단강도에 의해 윤활작용을 할 수 없기 때문에 일반적으로 흑연분말로 윤활할 경우에는 윤활의 효과가 크지 않고 오히려 나일론자체의 마찰계수보다 큰 것으로 판단된다.

나일론에 함침해주는 것과 같은 종류의 광유계 오일로 순수한 나일론을 윤활 마찰 시험한 경우에 나일론과 금속간의 마찰계수는 그림에서와 같이 0.04~0.06으로써 매우 작음을 보여준다. 이때 마찰계수는 응력의 크기에 비교적 영향을 적게 받으나 5 MPa의 응력에서 최소를 보이며 이 응력보다 작든지, 더 크게 되면 마찰계수는 약간 증가하는 경향을 보여 준다.

### 3.3 왁스, 오일 또는 흑연을 함침한 나일론의 마찰특성

왁스, 오일 그리고 흑연을 각각 0%에서 2% 간격으로 최고 8%까지 함침한 나일론에 대해서 작용응력을 10 MPa로 하고 마찰시험한 경우 마찰계수의 크기를 Fig. 3에 나타내었다. 순수한 나일론의 경우에 마찰계수는 0.18정도이고 나일론에 흑연을 첨가할 경우에 함침 흑연의 첨가비가 2-4%로 적은 경우에는 흑연의 함침량의 증가에 따라 마찰계수가 약간씩 작아지지만 함침량이

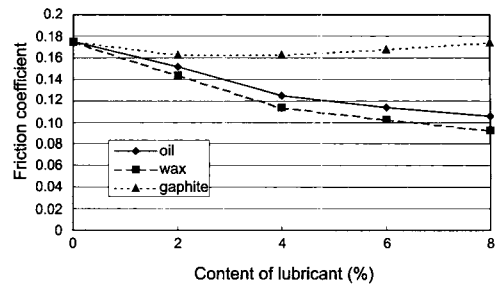


Fig. 3 Friction coefficient of nylon impregnated with wax, oil or graphite under 10 MPa

4% 이상의 경우에는 다시 증가하기 시작하여 8% 함침한 나일론은 흑연을 함유하지 않은 나일론의 마찰계수와 같은 크기임을 보여준다. 나일론에 왁스나 오일을 함침한 경우에는 모든 마찰계수가 원래의 나일론보다 작고 함침량이 많아질수록 선형적으로 감소하고 있음을 보여준다. 또 오일을 함침한 나일론과 왁스를 함침한 나일론을 비교해 볼 때 왁스를 함침한 경우가 오일을 함침한 나일론보다 마찰계수가 모든 영역에서 조금씩 작고 그 차이는 함침량의 크기에 영향을 받지 않는 것으로 나타났다. 왁스 8%를 함침한 나일론의 경우가 마찰계수가 가장 작고 그 크기는 0.085 정도이지만 이것은 오일로 윤활해 준 경우의 0.05보다는 비교적 큰 것을 알 수 있다.

### 3.4 왁스와 오일 혹은 흑연을 함께 함침한 나일론의 마찰특성

2종의 윤활제를 함께 함침한 나일론에 대해서는 윤활제 함침에 의한 마찰계수의 감소효과가 가장 우수한 왁스를 기계적 성질이 크게 저하되지 않는 범위인 3% 함침을 기준으로 하였다. 따라서 왁스 3% 함침하는 나일론에 오일과 흑연을 각각 0.5% 간격으로 0에서 2%까지 함께 함침시켜 주는 2종 윤활제 함침나일론을 합성하고 이들을 10 MPa의 응력에서 마찰계수를 산출한 결과를 Fig. 4에 나타내었다. 왁스 3%를 함침한 나일론에 오일이 함침하게 되면 마찰계수는 감소하였고 함침량이 증가할수록 감소량이 증가하지만 1% 이상에서는 감소정도가 크지 않음을 보여

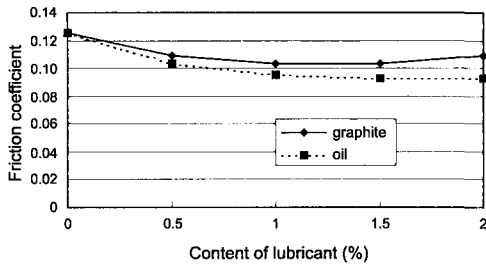


Fig. 4 Friction coefficient of nylon impregnated with 3% wax and oil or with 3% wax and graphite under 10 MPa

준다. 그러나 왁스 3%를 함침한 나일론에 흑연을 함께 함침시키면 1%까지는 마찰계수가 약간 감소하였고 감소정도는 오일의 경우보다 작았다. 그러나 흑연을 2% 이상으로 함침한 경우에는 마찰계수가 다시 증가하는 경향을 보이고, 이것은 Fig. 3에서 흑연의 함침량이 증가할수록 마찰계수가 증가하는 것과 같은 경향임을 알 수 있다. 따라서 나일론에 왁스와 오일 또는 왁스와 흑연의 2종 윤활제를 함께 함침하면 오일과 흑연을 각각 1~2% 정도로 함침해준 경우에서, 왁스 없이 오일과 흑연을 함침한 경우에 비하여 마찰계수의 감소에서 상승효과가 발생함을 확인하였다.

### 3.5 왁스, 오일 그리고 흑연을 함침한 나일론의 마모특성

상대운동을 하는 기계재료요소들의 재료로 사용되는 공업용 플라스틱제품은 일반적으로 금속보다 마찰계수가 작지만 경도와 내열성이 금속보다 월등하게 작기 때문에 상대운동속도가 비교적 크거나 높은 접촉하중에서 마모량은 금속보다 크게 되어 기계의 정밀도유지나 수명감소 등에 심각한 문제를 발생시킨다. 따라서 기계요소에서 플라스틱제품의 마모의 억제에는 마찰계수의 감소와 함께 매우 중요한 과제가 된다. 여러 마모형(wear mode)들 중에서 모래나 금속마모입자 등에 의한 연마형 마모에 관한 시험을 하였고 왁스나 오일 그리고 흑연 한 종류만을 각각 2%씩 증가하면서 함침시킨 나일론에 응력 0.083 MPa과 회전속도는 260m/min에 대한 연삭형 마

모율(abrasive wear rate)을 Fig. 5에 비교하였다.

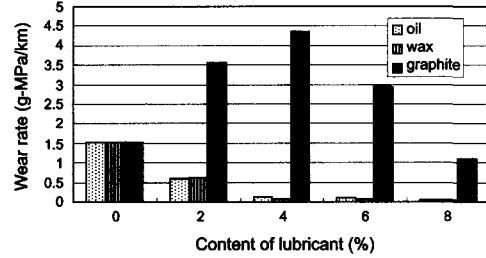


Fig. 5 Wear rate of nylon impregnated with oil, wax or graphite

나일론에 흑연을 함침시켜 주면 함침량이 증가할수록 마모율은 본래 나일론의 경우(1.53 g-MPa/km)보다 증대하고 함침량이 4%에서 마모가 최대(3.55g-MPa/km)가 되었으며, 흑연을 그 이상으로 함침시킨 나일론의 경우에 마모율은 다시 감소하여 8%를 함침시킨 나일론의 경우에 윤활제가 포함되지 않은 나일론보다도 마모율이 더 감소함을 보여준다. 이는 앞에서 흑연이 함유된 나일론의 경우에 본래의 나일론보다 마찰계수가 감소하다가 증가하는 경향이 있었으므로 흑연 함침에 따른 나일론의 마찰계수와 마모율의 변화와는 상관없는 것을 알 수 있다.

나일론에 왁스나 오일을 함침시킨 나일론의 경우에 상대마모율은 왁스와 오일의 함침비사이에 큰 차이가 없고, 2% 함침시킨 나일론의 경우 왁스함침 나일론의 마모율이 약간 크고 그 이상을 함침한 경우에는 작아지지만 왁스를 함침한 경우가 약간 더 작게 나타났다. 왁스나 오일을 2% 함침한 경우 나일론의 마모율은 모두 원래의 나일론보다 약 1/3 정도로 감소하였고, 왁스나 오일을 6% 함침한 경우에는 1/15 그리고 8%에서는 1/30까지 마모율을 감소시켜 나일론의 마모율이 약 0.0045g-MPa/km 수준으로 낮아짐으로서 왁스나 오일의 함침에 의해 나일론의 마모억제 성질이 매우 향상되고 있음을 알 수 있다.

### 3.6 왁스와 오일 또는 흑연을 함께 함침한 나일론의 마모특성

앞에서 왁스를 함침시킨 나일론에 오일과 흑

연을 각각 함침시키면 마찰계수의 감소에서 두 윤활제에 의한 약간의 상승효과를 확인하였다. 이러한 현상이 나일론의 내마모 성질에도 나타나는지를 연구하였다.

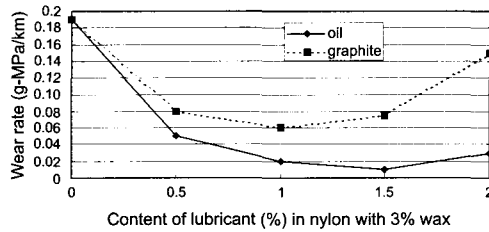


Fig. 6 Wear rate of nylon impregnated with 3% wax and oil or with 3% wax and graphite

Fig. 6은 왁스 3% 함침을 기준으로 하고 동시에 오일과 흑연을 0%에서 0.5%씩 증가시키면서 2종의 윤활제를 함침시킨 나일론의 내마모성에 관한 비교를 나타낸 것이다. 왁스 3%만을 함침시킨 경우에 나일론의 상대 마모율이 가장 크며 흑연이나 오일을 왁스와 함께 함침시키면 적은 양의 함침에도 내마모성은 민감하게 변화하고 있음을 알 수 있다. 2종 윤활제를 함침한 나일론으로서 흑연 1% 함침까지는 마모율의 감소에 의해 내마모성의 향상에 대한 상승효과가 상당히 크게 나타나고 있으나 1.5%이상의 함침에서는 마모율이 다시 증가하고 있어서 내마모성에 대한 흑연의 최적 함침량은 1.0% 정도임을 보여준다. 또한 왁스함침 나일론에 오일을 함께 함침시키면 내마모성의 향상 즉 마모율감소의 효과는 오일 1.5%까지 현저히 크게 나타나고 2%의 오일 함침에서는 마모율이 약간 증가하였으며 오일이 모든 함침량 범위에서 흑연의 함침의 경우보다 마모율이 더 작음을 알 수 있다. 따라서 나일론에 2종의 윤활제를 왁스 기준으로 함침하는 경우에는 내마모성에서 모두 최적 함침량을 나타내는 최저치를 보여주고 있음은 매우 흥미 있는 현상이다. 이러한 경향은 흑연의 함침에서는 원래 흑연만이 나일론의 마모율 감소역할에 크게 기여하지 못하기 때문에 미량의 흑연을 함침시킨 경우는 함침된 왁스의 양에 지배를 받고 마찰

감소와 아울러 내마모성이 향상되는 것으로 판단되며, 흑연 1% 이상에서는 흑연의 역할이 점차 커지기 때문에 마모율이 증가하는 것으로 판단된다. 또 나일론에 왁스와 오일을 동시에 함침해 준 경우에는 오일과 왁스가 동시에 마찰감소 기능을 갖기 때문에 마찰계수의 감소와 함께 나일론의 마모 억제기능에서 상승효과가 발생하고 1.5% 오일의 함침에서 내마모성이 가장 우수 (0.01 g-MPa/km)하였으며 이것은 단일윤활제 함침의 마모율이 가장 작은 경우인 8% 오일이나 왁스를 함침했을 경우의 나일론 마모율(0.04 g-MPa/km)보다도 월등히 작지만 그 이상(오일 1.5%, 흑연 1.0%)을 함침해주는 경우에 왁스 3% 함침을 기준으로 한 2종 윤활제의 함침에 따른 마모율 감소의 상승효과가 점차 감소함을 보여 준다.

#### 4. 결론

미끄럼 베어링이나 기어와 같이 상대 미끄럼 운동을 하는 기계요소의 재료로 사용되는 나일론에 왁스나 오일을 함침 해주면 마찰계수와 마모율이 감소하고 감소정도는 윤활제의 함침량이 증가함에 따라 커지게 된다. 그러나 윤활제의 함침량이 많아지면 나일론의 인장강도, 경도 및 충격강도가 감소하는 등 기계적 성질의 저하가 현저하기 때문에 윤활제의 함침량에 제한을 받는다. 본 논문에서는 윤활성이 우수한 것으로 밝혀진 왁스를 3% 함침시킨 나일론에 오일이나 흑연을 함께 함침시켜 줌으로써 나일론 마찰특성의 상승효과와 최적 함침조건을 얻기 위한 연구를 수행하였고 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1) 왁스 3%에 오일 또는 흑연을 함께 함침시킨 나일론의 경우에는 오일이나 흑연의 함침량 1%인 경우에 마찰계수가 가장 작은 것으로 나타났다. 왁스나 오일을 한 종류만 함침시킨 경우와 비교하면 왁스/오일의 경우와는 큰 차이가 없었으나 왁스/흑연을 함께 함침시킨 경우에는 성능의 상승효과를 보여 주었다.

2) 왁스 3%와 오일 또는 흑연을 함침한 나일론에 대한 연마형 (abrasive) 내마모 시험에서는 2종 윤활제의 함침에 의하여 내마모성이 현저히 향상되었으며, 흑연보다는 오일을 왁스와 함께 함침시킨 경우에 더 우수하였다. 또한 왁스/오일의 함침의 경우에서는 오일 1.5% 함침에서, 왁스/흑연의 함침에서는 1.0% 함침에서 최저 마모율을 보였다.

3) 나일론에 왁스나 오일을 함침해주면 함침량이 많아질수록 마모율은 더욱 감소하였다. 그러나 왁스 3%와 오일 1.5%를 함께 함침시키면, 왁스나 오일 한 종류만을 8% 씩 함침시킨 나일론 마모율의 1/4수준으로 감소시킬 수 있었다. 따라서 나일론의 마찰계수와 마모율을 효율적으로 감소시키고, 아울러 기계적 성질의 저하를 억제하기 위해서 왁스와 오일을 함께 함침시켜 주는 것이 바람직함을 확인할 수 있었다.

## 후 기

본 연구는 2000년도 과학재단의 목적기초연구(과제번호 R01-2000-00218-0)에 의하여 지원되었으며, 이에 진심으로 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

- 1) M. I. Kohan, Nylon Plastics Handbook, Hanser Publisher, New York, pp.2-18, 1995.
- 2) G. Champetire, H. Sekiguchi, "Mechanism and Kinetics of Adiabatic Anionic Polymerization of Caprolactam in the Presence of Various Activators," J. Polym. Sci., Vol.48, pp.309-313, 1960.
- 3) J. Sebenda, "Comprehensive Polymer Science," Pergamon Press, Oxford, Vol.3, 1988.
- 4) J. Stehlicek, J. Sebenda, "Anionic Polymerization of Caprolactam," Eur. Polym. J. Vol.18, No.6, pp.535-541, 1982.
- 5) J. Stehlicek, R. Puffr, "Anionic Polymerization of 6-Hexanelactam," Macromol. Chem., Vol.193, No.10, pp.2539-2545, 1992.
- 6) K. Ueda, K. Yamada, M. Nakai, T. Matsuda, M. Hosoda, K. Tai, "Synthesis of High Molecular Weight Nylon 6 by Anionic Polymerization of Caprolactam," Polym. J., Vol.28, No.5, pp.446-451, 1996.
- 7) D-w. Chung, Y-T. Oh, Y-T. Park, "Effect of the Amount of Catalyst and Chain-initiator on the Anionic Polymerization," Polymer (Korea), Vol.24, No.1, pp.1-5, 2001.
- 8) B. C. Chun, D-w. Chung, "Synthesis and Mechanical Properties of Nylon 6 Block Copolymer via Anionic Polymerization," Polymer (Korea), Vol.23, No.3, pp.329-337, 1999.
- 9) D-w. Chung, S-C. Kang, "Synthesis and Friction Properties of Oil-impregnated Nylon 6," J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol.9, No.5, pp.726-728, 1998.
- 10) S-C. Kang, D-w. Chung, "The Synthesis and Frictional Properties of Lubricant-impregnated Cast Nylons," Wear, Vol.239, pp.244-250, 2000.
- 11) D-w. Chung, Y-T. Park, "The Synthesis on the Electrically Conductive Properties of Graphite-nylon 6 Composite," J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol.11, No.2, pp.239-242, 2000.
- 12) S-C. Kang, "The Effect of the Preformed Oil or Oxide Film on the Lubricated Sliding Surface," J., KSLE, Vol.2, No.1, pp.53-60, 1986.
- 13) S. H. Foulger, "Reduced Percolation Thresholds of Immiscible Conductive Blends," J. Polym. Sci. Polym. Phys., Vol.37, pp.1899-1910, 1999.