

오일 함침에 의한 흑연/나일론 복합체의 마찰특성 향상에 관한 연구

강석춘*, 정대원**

The Study on the Improvement of Friction Properties of Graphite/Nylon Composite by oil-Impregnation

Suck-choon Kang*, Dae-won Chung**

ABSTRACT

Electric conductivities, mechanical properties and friction properties were investigated for graphite-nylon composites impregnated with oil. Specific resistivity of composites containing oil from 2% to 6% were in the range of $10^7 \sim 10^6 \Omega \text{cm}$, which were applicable for anti-static purpose of composites improved by the impregnation of graphite with 2%. Improvement in the impact strength and friction properties of graphite/nylon composites was achieved by the impregnation of oil. The coefficient of friction of the composites containing graphite from 2% to 4% and oil with 2 - 4% showed much lower than that of virgin nylon. Also the abrasive wear of the oil impregnated graphite composites were decreased about 1/3 - 1/10.

Key word : Nylon(나일론), Graphite(흑연), Oil(오일), Anti-static(정전기성), Friction Properties(마찰특성), Specific Resistivity(비저항)

1. 서론

열가소성 엔지니어링 플라스틱 소재로 나일론이 사용되기 시작한 1940년대 이후부터 나일론은 결정성이 높고, 기계적 강도, 열적 안정성, 내마모성 및 마찰특성이 우수하여 기계재료로의 수요와 용도가 꾸준히 증가함에 따라 나일론의 기계적 성질을 향상시키려는 연구가 지속적으로 진행되어 왔다^[1]. 일반적으로 나일론6과 나일론12가 열가소

성 엔지니어링 플라스틱으로 쓰이고 있으며, 본 연구는 나일론6(이후 나일론6은 나일론으로 표기함)에 관한 것이다. 나일론의 중합은 단량체인 ϵ -caprolactam(이후 CL로 표기)의 가수분해 중합법과 음이온 중합법이 주로 사용되며, 특히 CL을 음이온 중합시킴으로써 생성되는 나일론은 중합속도가 매우 빠르고, 높은 분자량을 나타내기 때문에 주목을 받은 이후로^[2], 중합반응의 촉매 및 반응기구에 관하여 많은 연구가 진행되고 있다^[3,4].

□ 2001년 8월 27일 접수

* 수원대학교 기계공학과

** 수원대학교 고분자공학과

또한, 나트륨금속의 존재하에서 디이소시아네이트 화합물을 활성제로 하여 용융상태의 CL을 성형틀 안에서 음이온 중합시킴으로서 얻어지는 나일론은 공업적으로 모노머 캐스팅 나일론(monomer casting nylon)이라고 불리며, 분자량 및 결정화도가 매우 높고 인장강도, 가공성 등이 우수하여 절삭가공용 엔지니어링 플라스틱으로 공업 분야에서 널리 사용되고 있다.

모노머 캐스팅 나일론은 중합속도가 매우 빠르고 또한 피상중합이라는 점 때문에 학문적 연구 대상이기 보다는 산업현장에서 경험에 의존한 연구가 주로 수행되어 오고 있었다. 그러나 최근에 중합반응에 관한 체계적인 연구결과^{16, 17}가 발표되면서, 모노머 캐스팅 나일론의 다양한 용도개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 예를 들면, 양 말단이 이소시아네이트로 치환된 poly(tetramethylene oxide)를 활성제로 사용하여 내충격성이 향상된 나일론¹⁸이 개발되었으며, 윤활제 존재하에서 CL을 음이온 중합시킴으로서 마찰계수를 기존의 30% 정도로 감소시킬 수 있는 점이 발견되어^{19, 20} 기어나 베어링 또는 접동부의 기계요소로서 나일론의 용도가 더욱 확산되고 있다. 또한, 전기적 비저항(specific resistivity ρ : 1014 - 1015 Ω cm)인 나일론에 인조 흑연을 첨가함으로써, 획기적으로 정전기 제거기능(제전기능)을 부여한 나일론(ρ : 106 - 108 Ω cm)이 개발되어²¹, 주변으로부터 나일론 부품에 오염입자의 부착에 의한 연삭마모의 억제나, P.C.B., L.C.D. 등 정전기에 의한 미세한 스파이크에 의해서도 치명적인 손상을 입을 수 있는 정밀전자제품의 제조 공정 또는 조립공정에서 엔지니어링 플라스틱으로 나일론의 활용이 가능하게 되었다. 그러나 이와 같이 제전기능을 부여하기 위해서 나일론에 흑연 첨가하게 되면, 나일론 고유의 마찰특성(마찰과 마모)이 현저하게 저하되므로 이를 해결해야 하는 문제점이 존재한다.

본 논문은 마찰요소로서 사용되는 나일론 중에서 대전방지용으로 우수한 성질을 가지고 있는 흑연/나일론 복합체의 저하된 마찰특성을 보상 또는 향상시키려는 것을 목적으로, CL과 상용성이 우수한 오일을 다양한 비율로 합침시킨 흑연/나일론 복합체를 합성하여 오일의 함유량과 복합체의 마찰특성과의 관계를 규명함으로써 보다 우수한 기계재료로서의 나일론 복합체를 제조하고자 하였다. 또한, 나일론에 합침시키는 오일 및 흑연의 함유량에 따

른 전기적 성질(비저항)과 일반적인 기계적 성질인 인장강도, 충격강도 등도 함께 고찰하였다.

2. 실험

2.1 시약 및 기기

CL은 BASF사의 AP grade를 P_2O_5 하에서 진공 건조하여 사용하였으며, 나트륨 및 톨루엔 디이소시아네이트(toluene diisocyanate, TDI)등은 시약용을 정제하지 않고 사용하였다. 흑연은 Tial사의 TIMREX 계열의 KS 6을 사용하였고 이것의 평균 입자경(d_{50})은 3.3 μ m, 표면적(BET)은 20 m^2/g 이다. 나일론 복합체에 합침시켜 주는 오일은 극동유화의 광유계인 LP-170F (38 cSt at 37.8°C)를 사용하였다.

주조용 성형 주형은 용융상태의 CL이 응고되는 내부(250×850×2200 mm)를 테프론으로 코팅하고 그 외부를 알루미늄 가열블럭(heating block)으로 둘러싸 주었으며, 제어판(control panel)에 연결하여 설정된 온도로부터 $\pm 1^\circ C$ 이내로 일정하게 유지할 수 있도록 제작하였다.

인장시험은 Lloyd Instruments사의 LR 50K를, 충격시험은 Testing Machines Inc.의 Model 43-02를 각각 이용하였다. 비저항 측정은 DONG HWA ELECTRONIC사의 절연시험기를 사용하였다.

2.2 오일 함침 흑연/나일론 복합체의 합성

흑연 KS 6을 첨가하고 오일의 함유량을 변화시킨 나일론의 제조과정은 다음과 같다. 건조 질소 기류 하에서, 삼각플라스크에 CL 550 g과 TDI 4.2 g을 혼합한 후, 120°C에서 40분 동안 교반하여 준다. 또 다른 플라스크에 CL 550 g과 나트륨 0.78 g을 건조질소의 기류 하에서 혼합한 후 수소기체의 발생이 끝나면 CL과 나트륨의 반응이 종결되었다고 판단하고, 상기 두 용액을 혼합하여 30초간 교반한다. 80°C 대류식 건조기에 24시간 건조시킨 흑연과 미리 예열시킨 오일을 넣어둔 2,000 ml 삼각플라스크에 혼합용액을 넣고 기계식 교반기에서 500 rpm으로 1분간 교반한 후 155°C로 유지된 주형에 캐스팅 한다. 캐스팅 후 흑연과 오일의 고른 분산을 위해서 유리막대로 10초간 저어주고 1시간 동안 중합한다.

2.3 흑연 함침 나일론복합체의 비저항 측정

중합이 완료된 나일론을 상층, 중간층, 하층부

로 절단하여 각각 별도로 저항치를 측정하였으나, 측정부위에 따른 차이는 5% 이내이었다. 따라서 본 논문에서는 중합물의 상층부와 하층부를 각각 1 cm씩 절단하여 제거하고, 남은 중간층의 저항치를 측정하여, 다음의 식에 따라 체적고유저항치로 한다

$$\rho = R \frac{A}{\ell}$$

- ρ : 비저항(Ω cm)
- R : 전기저항 또는 저항체의 저항
- ℓ : 도체의 길이
- A : 도체의 단면적

2.4 오일 함침 흑연/나일론 복합체의 기계적 물성 측정

인장시험 및 노치충격강도는 각각 ASTM D-638 의 Type M-1 및 ASTM D-258에 따른 규격으로 가공한 시편을 80°C에서 24시간 건조시킨 후, 데시케이터에 보관하였다가 25°C에서 측정하였다. 인장강도는 만능시험기 (Lloyd instruments, LR 50K)를 사용하고 crosshead speed는 50 mm/min, 표점거리 (gauge length)는 25 mm로 하였으며, 2.5 KN 로드셀을 사용하였다. 충격강도는 TMI Co. (Model : 43-02, pendulum : 75 kg · cm)를 이용하여 측정하였다. 한 종류의 시편에 대해서 인장시편은 7개, 충격시편은 9개를 사용하여 측정된 물성의 최고치와 최저치를 제외한 나머지 5개의 측정값을 평균하고 이것을 재료의 물성으로 결정하였다.

2.5 윤활마찰계수와 윤활제 함침 나일론/복합체의 마찰계수 측정

마찰계수는 물리와 평판을 사용한 시험기를 사용하여 실온에서 수직하중과 회전시에 발생하는 접선 마찰력을 로드셀을 이용하여 측정하였다¹¹²⁾. 나일론과 상대운동 마찰재료는 표면이 0.1 mm 정도로 마모된 길이 10 mm인 물러베어링을 높히고 고정시켜서 1 mm²의 면적측이 유지되도록 하였고, 나일론 복합체를 50×50×5 mm 크기로 가공한 평판

시편과 마찰하였다. 먼저 흑연과 오일에 의한 윤활 상태에서 순수한 나일론과 강의 마찰계수 측정은 윤활제가 두 재료의 접촉부위를 완전히 잠기도록 넣어주었고 마찰시 상대속도를 10 cm/sec로 하였다. 이는 마찰시편이 윤활제에 잠겨 있는 상태로 유지할 수 있는 속도이고, 이것보다 속도가 더 크면 윤활제가 비산하여 충분한 시간동안 윤활마찰 시험을 수행하는데 문제가 발생기 때문이다.

오일 및 흑연을 다양한 비율로 함침시킨 나일론 복합체와 강(steel)과의 건조 마찰계수는 상대속도를 1 m/sec로 하여 측정하였다. 윤활마찰시험속도와 같은 저속시험에서는 stick-slip 현상이 발생하여 정확한 마찰계수의 측정이 곤란하였으므로 많은 예비시험을 거쳐서 속도를 10배 증가시켜 시험을 하였다. 또 매 시험에서 베어링과 나일론 시편은 헵탄으로 충분히 세척한 다음 시험에 사용하였고 마찰 및 마모관련 자료는 4회씩 시험한 후에 그중에서 3개의 자료를 평균하였다.

2.6 윤활제 함침 나일론 복합체의 마모시험

나일론과 윤활제를 함침시킨 나일론복합체의 마모시험은 핀과 디스크(pin-on-disk)접촉 시험기를 사용하였다. 물리와 평판을 사용한 마찰시험기로는 신뢰성 있는 마모자료를 얻을 수 없어 마모시험기를 제작 사용하였다. 마모시험용 나일론 시편으로 사용되는 핀의 크기는 5×10×24 mm의 직육면체로써 디스크와는 5×24 mm의 단면(면적 ; 120 mm²)과 접촉이 되도록 하였고 핀에는 마모량에 상관없이 일정한 응력을 받도록 하였다. 나일론의 마모는 매끄러운 금속과의 마찰에서 측정하는 것이 부정확하고 상대 비교에 적합한 자료를 얻는 것이 쉽지 않아서 디스크로 고운 회전 연삭숫돌을 사용하였으며 이 디스크의 직경은 150 mm이다. 또 디스크의 표면조도는 7.6 μ m이며 나일론 마모시험과정에서 숫돌(디스크)의 표면에 마모입자가 충전되기 때문에 매 시험마다 산화알루미늄 연마포(#80)를 사용하여 디스크 표면을 충분히 연마시킨 후에 시험하였고, 디스크의 회전속도는 260 m/min.으로 하여 시험하였다. 또 나일론에서 디스크와의 접촉부위 표면조도는 평균 0.3 μ m 이고, 마모시험은 10분 동안 하였으며 마모시험 전후의 나일론의 무게를 측정하여 각 시료의 마모량을 얻었다. 마모시험에서 시편의 접촉응력은 시험기 작동조건을 고려하여 0.083 MPa로 설정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 오일 함침 흑연/나일론 복합체의 합성 및 고유저항 특성

일반적으로 흑연을 첨가하지 않고 오일만을 첨가하여 나일론을 제조할 경우에는 오일의 함유량이 8%까지는 합성이 가능한 것으로 알려져 있다 [9]. 그러나 본 실험에서와 같이 흑연이 함께 존재할 경우에는 6%의 오일이 첨가되어도 캐스팅 후에 나일론의 표면으로 오일이 용출되므로 정상적인 상태의 중합반응이 불가능하였다. 이는 흑연이 존재함으로써, 용융상태의 CL과 오일의 상용성이 현저하게 저하되기 때문으로 판단된다. 따라서 본 연구에서는 오일 함유량을 2% 및 4% 까지 함침시키는 경우에서만 복합체를 합성할 수 있었다.

흑연을 함유한 나일론에 각각 2, 4%의 오일을 첨가하여 중합한 복합체의 비저항특성을 Fig. 1에 나타내었다. 흑연의 함유량 4% 인 복합체에서 오일을 첨가하지 않은 경우에는 $3 \times 10^7 \Omega \text{cm}$ 의 비저항을 보이며, 오일 함유량이 2%인 나일론의 경우에는 $5 \times 10^7 \Omega \text{cm}$, 4%에서는 $2 \times 10^7 \Omega \text{cm}$ 를 보여준다. 따라서 흑연의 함유량 2-8% 나일론에서 오일 첨가에 따른 비저항의 변화는 거의 없었다. 즉, 오일을 첨가하여도 복합체의 비저항에는 영향을 미치지 않는다.

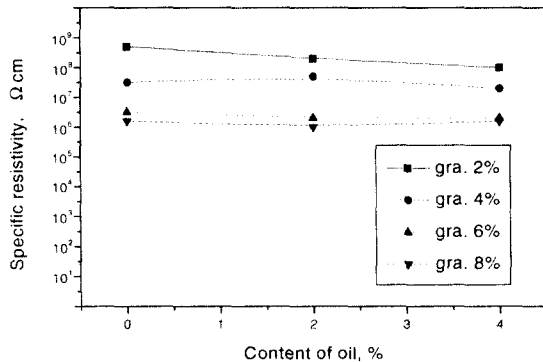


Fig. 1 Volume resistivity of oil-impregnated graphite/nylon composites.

3.2 오일 함침 흑연/나일론 복합체의 기계적 성질

오일의 함유량에 따른 흑연/나일론 복합체의 인장강도, 탄성계수, 연신율을 Table 1에 나타내었다. 먼저, 오일을 첨가하지 않은 흑연/나일론 복합체의 경우, 연신율은 흑연의 함유량이 증가함에 따라 점차 감소한다. 이는 모재(matrix)인 나일론보다 단단한 물질인 흑연의 첨가로 인해 복합체의 경성이 증가하기 때문으로 사료된다. 인장강도와 탄성계수는 흑연의 함유량 2%에서 급격한 상승을 보이지만 그 이상의 함량에서는 점차 감소했다. 이는 일반적으로 고분자재료의 강도를 높이기 위해 쓰이는 충전제인 흑연 카본블랙^[13]을 첨가하였을 때 관찰되는 현상이다. 반면에, 오일 함침나일론의 경우에는 흑연의 함유량에 관계없이 인장강도, 탄성계수, 연신율은 오일 함유량이 증가할수록 감소하였고 이러한 경향은 액상 윤활제인 오일을 첨가하였을 때 나타나는 현상과 동일하였다^[8].

Table 1. Mechanical properties of oil-impregnated graphite-nylon composite.

Graphite content (%)	Oil content (%)	Tensile strength (MPa)	Young's modulus (MPa)	Strain at break (%)
0	0	59.3	431.6	36.5
	2	55.3	391	15.6
	4	50.1	349.2	6.4
2	0	66.2	471.6	16.3
	2	62.4	440.5	19.5
	4	49.7	363.2	3.7
4	0	64.3	458.7	12.9
	2	53.2	422	11.9
	4	50.6	371	5.3
6	0	62	444.4	8.7
	2	56.3	402.1	11.9
	4	53.4	401.8	7.2

오일의 함량에 따른 흑연/나일론 복합체의 충격강도를 Fig. 2에 나타내었다. 먼저, 오일을 첨가하지 않은 흑연/나일론 복합체의 경우에 충격강도는 흑

연 함유량이 증가함에 따라 점차 감소하였다. 이러한 경향은 나일론에 흑연을 첨가함에 따라 고분자 복합체의 계면결합력이 감소하고 그 감소의 정도는 나일론에 함유하는 흑연이 많을수록 증가하기 때문으로 판단된다. 그러나 나일론에 오일을 첨가해 주게 되면 흑연 4% 이내로 첨가된 나일론의 충격강도는 오일을 2% 첨가해 줄 경우에 증가하였다. 또 흑연/나일론 복합체에 오일을 4% 첨가한 경우의 충격강도는 오일이 첨가되지 않은 나일론의 경우와 큰 차이가 없음을 보여준다. 즉, 나일론에 2%까지 오일을 첨가해줌으로서 충격강도는 증가하고, 정전기 특성을 향상시키기 위하여 흑연의 첨가에 따른 나일론의 충격강도의 감소를 오일 2%정도의 첨가에 의해서 보완해 줄 수 있음을 알 수 있다.

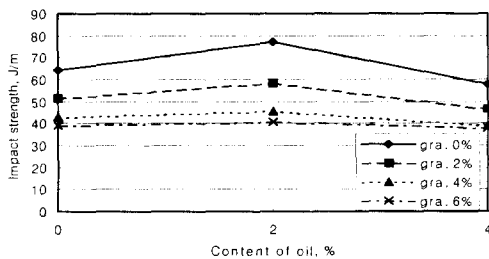


Fig. 2 Impact strength of oil-impregnated graphite/nylon composites.

3.3 오일 및 흑연으로 윤활시킨 조건에서 나일론의 마찰 특성

나일론이 디스크로 제작되고 고정된 강으로 된 볼러베어링의 표면과 상대운동을 하는 볼러-디스크형의 마찰시험기를 사용하여 마찰시험을 하였다. 먼저 강과 나일론 자체의 마찰계수를 측정하였고, 다음에 상대 운동하는 접촉부분을 흑연과 오일에 의해 완전히 잠기도록 해준 상태로 윤활해주면서 응력의 크기에 따른 각각의 마찰계수를 Fig. 3에 나타내었다. 나일론의 마찰계수는 작용응력이 작은 경우에 마찰계수가 크고 작용응력의 크기를 증가시키면 마찰계수는 선형적으로 감소함을 보여준다. 그러나 나일론을 흑연 분말로 윤활해 주었을 경우에는 나일론 자체의 마찰계수보다 더 크며, 응력의

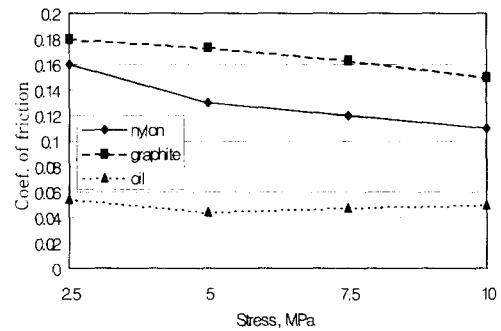


Fig. 3 Coefficient of friction of the nylon with or without lubricant.

증가에 따라 감소하는 경향을 보여준다. 흑연의 분자구조가 층상구조로 이루어져 있고 각 층의 방향으로의 공유결합에 의해 단단하지만 층과 층 사이의 결합은 매우 약해서 이 방향의 전단응력을 받을 경우에는 윤활기능을 할 수 있고 층과 직각의 방향으로의 미끄럼에서는 높은 전단강도에 의해 윤활작용이 충분하지 않은 성질을 갖기 때문에 일반적으로 나일론 자체보다 마찰계수가 큰 것으로 판단된다.

나일론에 함침해주는 것과 같은 종류의 오일로 윤활하고 측정된 나일론의 마찰계수는 매우 작고 0.04-0.06사이에 있음을 보여준다. 마찰계수는 응력의 크기에 따른 영향이 적으나 5 MPa의 응력에서 최소이며 이 응력보다 작든지, 더 크게 되면 마찰계수는 약간 증가하는 경향을 보여 준다. 이것은 액체 윤활의 경우에 유막이 생성되는 속도와 하중에 따른 마찰특성이고, 마찰계수가 매우 작은 것은 상대운동을 하는 재료가 금속과 나일론과의 윤활마찰이기 때문으로 추정된다.

3.4 흑연/나일론 복합체의 마찰 특성

흑연을 2% 단위로 최고 6%까지 첨가해 준 흑연/나일론 복합체에서 작용응력에 따른 마찰계수의 크기를 Fig. 4에 나타내었다. 흑연을 첨가하지 않은 나일론의 경우에서 마찰계수는 가장 낮은 값을 보여주고, 첨가되는 흑연 함유량이 많아질수록 마찰계수는 증가하며, 그 증가 정도는 작용응력이 작을수록 더 현저하게 나타났다. 즉 작용응력이 5 MPa에서 15 MPa로 커지면 마찰계수의 증가정도는 점

차 작아짐을 보여 준다. 따라서 흑연을 윤활제로 사용한 윤활마찰계수는 나일론 자체보다 마찰계수가 크기 때문에 나일론에 흑연의 첨가량이 많을수록 마찰계수는 증가하고 응력이 작을수록 그리고 흑연의 첨가량이 증가할수록 흑연의 영향에 의해 마찰계수가 점차로 커지고 있음을 알 수 있다.

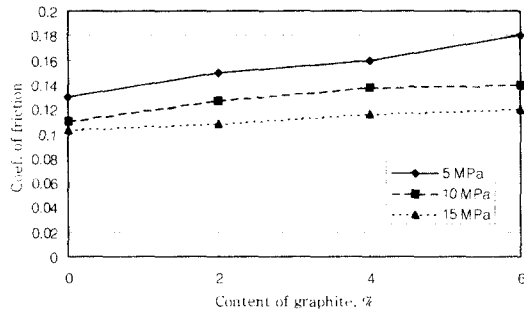


Fig. 4 Coefficient of friction of the graphite/nylon composites.

3.5 오일함침 나일론 복합체의 마찰 특성

흑연을 첨가하지 않고 오일만을 2% 단위로 함침시킨 나일론의 경우에 작용응력의 증가에 따른 마찰계수의 크기를 Fig. 5에서 보여준다. 나일론에 오일이 함침되면 원래의 나일론에 비하여 마찰계수는 감소하였고 감소정도는 첨가량이 4%인 경우에 최대 나타났으며, 오일로 윤활한 경우와 같이 낮은 마찰계수를 보이지는 않았지만 0.06-0.08 정도의

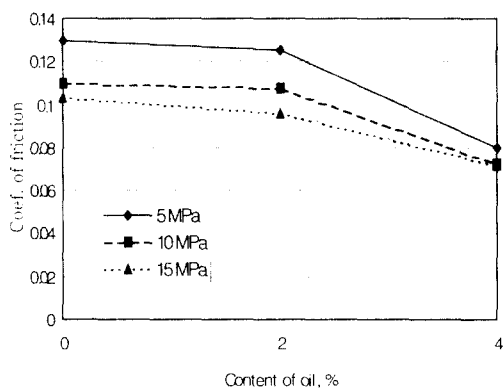


Fig. 5 Coefficient of friction of the oil-impregnated nylons.

비교적 낮은 값을 나타내었다. 즉, 오일만을 함침한 경우에 마찰계수는 작용응력의 크기에 따른 영향이 적고, 본래 나일론 자체의 마찰계수보다 약 20- 40%정도로 감소하므로 마찰특성이 크게 향상됨을 보여준다.

3.6 오일 및 흑연함침 나일론 복합체의 마찰 특성

오일과 흑연을 동시에 함침시킨 경우의 나일론 복합체에 대한 마찰특성을 분석하였다. 먼저, 작용응력 15 MPa하에서의 오일 및 흑연 함량의 변화에 따른 마찰계수의 변화를 Fig. 6에 나타내었다. 오일이 첨가되지 않은 경우의 마찰계수는 흑연의 함유량 증가에 따라 증가하였으며, 이 결과는 나일론을

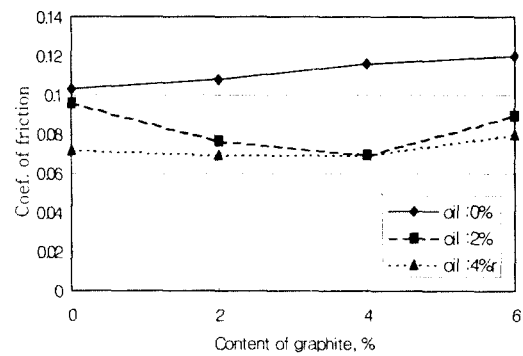


Fig. 6 Coefficient of friction of the oil-impregnated graphite/nylon composites at 15 MPa.

흑연으로 윤활시켜 준 경우의 마찰특성과 같은 경향을 갖고 있음을 보여 준다.

그러나 나일론에 오일을 2%정도로 함침시켜 준 경우에는 흑연만을 함침시킨 경우보다 낮은 마찰계수를 갖고 흑연의 함유량이 증가할수록 감소하였다. 나일론에 흑연을 4%로 함침시킨 경우에 마찰계수가 0.07로 최소치를 보이며 흑연을 6%를 함침시켜 준 나일론의 경우에는 마찰계수가 다시 증가하는 경향을 나타낸다. 또 나일론에 오일을 4% 함유시킨 나일론은 흑연의 함유량에 따라 큰 변화 없이 0.06에서 0.08의 범위로 매우 낮은 영역에 있음을 알 수 있다. 따라서 오일과 흑연을 동시에 함유시킨 나일론의 마찰특성은 오일과 흑연 마찰특성이 동시에

나타나며 오일 2%나 4%에서 0.07정도의 낮은 마찰계수를 갖는 나일론을 만들 수 있음을 보여준다. 이것은 흑연의 함유량 증가에 의한 마찰계수 증가가 오일에 의한 마찰계수의 감소경향을 상쇄시키는 정도 이상으로 증가하기 때문으로 판단된다. 그러나 흑연 6%를 함유한 나일론에서는 흑연의 첨가에 의한 영향이 마찰특성을 지배함으로써 마찰계수가 다시 증가하는 것으로 판단된다. Fig. 7은 오일과 흑연을 함침한 나일론의 마찰특성을 종합하여 나타낸 것이다.

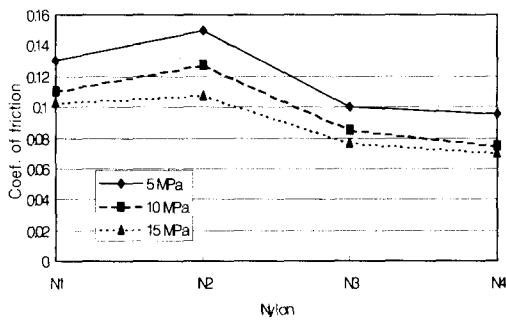


Fig. 7 Coefficient of friction of the oil-impregnated graphite/nylon composites, N1 ; virgin nylon, N2 ; graphite 2%, N3 ; graphite 2% + oil 2%, N4 ; graphite 2% + oil 4%.

정전기적 성질을 향상시키기 위하여 나일론에 흑연을 첨가하면 마찰계수가 증가함으로써 마찰요소용 소재로 나일론이 갖는 우수한 마찰특성이 감소한다. 그러나 흑연을 2-4% 정도 함유된 나일론에 2% 정도의 오일을 함침시켜 주면 마찰계수는 나일론 고유의 마찰계수보다도 더 낮은 값을 갖게 되고, 이러한 경향은 작용응력의 크기에 영향을 받지 않음을 알 수 있다. 또 오일의 함침비율을 4%로 제조한 나일론의 경우에는 오일을 2% 함침시킨 경우보다 마찰계수는 약간 감소하였지만 인장강도나 충격강도 등 다른 기계적 성질이 저하되므로 나일론에 흑연과 오일을 함께 각각 2% 정도로 함침시켜 주는 것이 나일론에 대전방지 기능을 부여하고 아울러 마찰계수 감소에서 좋은 특성을 가질 수 있는 것으로 판단된다.

3.7 오일 및 흑연함침 나일론 복합체의 마모 특성

상대운동을 하는 기계재료요소로 사용되는 공업용 플라스틱제품은 일반적으로 금속보다 마찰계수가 작지만 경도와 내열성이 금속보다 월등하게 작기 때문에 상대운동속도가 비교적 크거나 높은 접촉하중에서 마모량은 금속보다 크게 되어 기계의 정밀도유지나 수명 측면 등에 심각한 문제를 발생시킨다. 따라서 기계요소에서 플라스틱제품의 마모의 억제에는 마찰계수의 감소와 함께 매우 중요한 과제가 된다. 오일과 흑연을 다양하게 함침시킨 나일론에 대하여 마모시험하고 각 나일론의 상대 마모량에 관한 자료를 Fig. 8에 비교하였다.

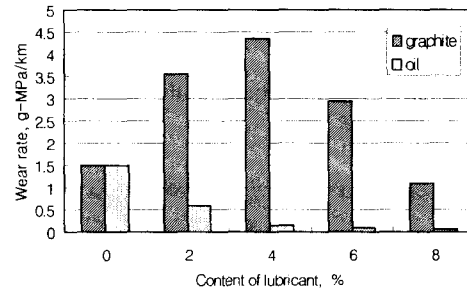


Fig. 8 Wear rate of the oil and graphite impregnated nylons.

나일론에 흑연을 함침시켜 주면 함침량이 증가할수록 마모량은 본래 나일론의 경우보다 증대하고 함침량이 4%에서 마모가 최대가 되며, 그 이상을 함침시킨 경우에 마모량은 다시 감소하고 8%를 함침시킨 경우에 원래의 나일론보다도 마모량이 감소함을 보여준다. 이는 앞에서 흑연이 함유된 나일론의 경우에 본래의 나일론보다 마찰계수가 증가하는 경향이 있으므로 흑연의 함침이 마찰계수를 증가시키고 아울러 마모량의 증가에 영향을 주는 것으로 판단된다. 그러나 흑연을 최소한 8% 이상 첨가해주는 경우에 마모량이 본래의 나일론보다 감소하므로 내마모 효과는 상당히 많은 흑연을 함침시킨 경우에만 나타남을 알 수 있다.

나일론에 오일을 함침시킨 나일론의 경우에서 오일을 2% 함침시킨 나일론의 마모량은 원래 나일론의 경우보다 1/3 정도로 마모량이 감소하였고, 오

일을 4%이상 함침시켜 주면 1/10이상 감소하므로써 오일의 함침에 의해 나일론의 마모억제 성질이 매우 향상되고 있음을 알 수 있다.

나일론에 흑연과 오일을 동시에 함침시킨 경우의 나일론의 마모성질을 Fig. 9에서 보여주고 있다. 오일을 2% 함침시키고 동시에 흑연을 2%를 함침한 나일론은 본래 나일론의 경우와 큰 차이가 없으나 흑연을 4% 함침시킨 경우에는 마모량이 원래의 나일론보다 오히려 증가하였다. 그러나 흑연을 6% 함침시킨 경우에는 본래의 나일론보다 마모량이 감소하였음을 보여준다. 나일론에 오일을 4% 함침시킨 경우에는 마모량이 흑연의 함유량에 무관하게 일정하므로 마모에서 나일론에 함침된 오일이 마모

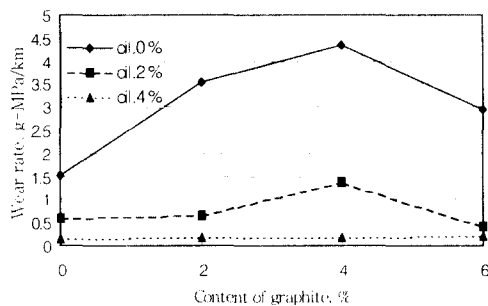


Fig. 9 Wear rate of the oil-impregnated graphite/nylon composites.

억제기능을 주도하고 함침시켜 주는 오일은 4% 정도가 되어야 충분한 마모억제 성능을 발휘할 수 있음을 알 수 있으며, 흑연의 함침량과는 무관함을 보여 준다. 이때 마모억제 특성은 모든 나일론에서 본래 나일론 마모의 1/10정도가 되어 기계재료에서 마찰계수와 함께 중요한 내마모성질을 크게 향상시킬 수 있음을 보여 준다.

4. 결 론

롤러, 부싱, 미끄럼 베어링이나 기어와 같은 상대운동을 하는 기계요소의 재료로 사용되는 나일론에 오일과 흑연을 첨가해줌으로서 본래의 나일론에 대전방지 성질을 부여하고 아울러 우수한 마찰특성 특히 내마모성을 크게 향상시킬 수 있었으며 이러

한 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 나일론의 정전기 전도성을 유지시키기 위하여 흑연을 함침시킨 나일론복합체에 오일을 4%까지 첨가하여도 복합체 고유의 비저항에 영향을 미치지 않았다. 즉, 오일을 첨가하여도 복합체는 반도체 정도의 전기전도성을 유지하므로 정전기 방지 용도로 사용할 수 있음을 알 수 있다.

2) 정전기 특성을 향상시키기 위하여 첨가한 흑연의 영향에 의해 저하된 복합체의 충격강도는 오일을 2%정도 첨가해줌으로서 보완해 줄 수 있었다.

3) 흑연의 첨가에 의해 복합체의 마찰계수는 현저하게 증가되었으나 오일의 첨가에 의해 보완할 수 있었다. 즉, 흑연이 2-4% 함유된 나일론에 2%의 오일을 함침시킨 복합체는 나일론 그 자체보다도 마찰계수가 더 낮았으며, 이러한 경향은 작용응력의 크기에 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

4) 복합체의 내마모성에서는 흑연을 함침시키면 함침량이 8% 이상이 되어야 본래 나일론보다 마모량이 작아지지만 오일을 동시에 함침시킬 경우에 나일론의 마모량이 급격히 감소하였다. 오일의 함침비율 4%로 해준 경우에는 흑연의 함침량에 관계없이 원래 나일론보다 마모량을 1/10 이상 감소시킬 수 있었다.

5) 이상을 종합하면, 기존 나일론에 흑연을 2% 정도, 오일을 4%정도 함침시킨 나일론의 경우에서 전기적 비저항을 획기적으로 감소시키고, 충격강도나 인장강도 등 기계적 성질을 유지함과 아울러 기계의 운동요소재료로 매우 중요한 마찰계수의 감소와 내마모성을 크게 향상시킬 수 있음을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 2000년도 한국과학재단의 목적기초 연구(과제번호 R01-2000-00218)의 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Kohan, M. I., "Nylon Plastics Handbook," Hanser publisher, New York, pp. 2~18, 1995.
2. Champetire. G. and Sekiguchi. H., "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. Sebenda, J., "Comprehensive Polymer Science," Pergamon Press, Oxford, Vol. 3, 1988.
 4. Stehlicek, J. and Sebenda, J., "Anionic polymerization of caprolactam," Eur. Polym. J. Vol. 18, No. 6, pp. 535~541, 1982.
 5. Stehlicek, J. and Puffr. R., "Anionic polymerization of 6-hexanelactam," Macromol. Chem., Vol. 193, No. 10, pp. 2539~2545, 1992.
 6. Ueda, K., Yamada, K., Nakai, M., Matsuda, T., Hosoda, M. and Tai, K., "Synthesis of high molecular weight nylon 6 by anionic polymerization of caprolactam," Polym. J., Vol. 28, No. 5, pp. 446~451, 1996.
 7. Chung, D-w., Oh, Y-T. and Park, Y-T., "Effect of the amount of catalyst and chain-initiator on the anionic polymerization," Polymer (Korea), Vol. 24, No. 1, pp. 1~5, 2001.
 8. Chun, B. C. and Chung, D-w., "Synthesis and mechanical properties of nylon 6 block copolymer via anionic polymerization," Polymer (Korea), Vol. 23, No. 3, pp. 329~337, 1999.
 9. Chung, D-w. and Kang, S-c., "Synthesis and friction properties of oil-impregnated nylon 6," J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 9, No. 5, pp. 726~728, 1998.
 10. Kang, S-c. and Chung, D-w., "The synthesis and frictional properties of lubricant-impregnated cast nylons," Wear, Vol. 239, pp. 244~250, 2000.
 11. Chung, D-w., and Park, Y-T., "The synthesis on the electrically conductive properties of graphite-nylon6 composite," J. Korean Ind. & Eng. Chemistry, Vol. 11, No. 2, pp. 239~242, 2000.
 12. Kang, S-c., "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. Foulger, S. H., "Reduced percolation thresholds of immiscible conductive blends," J. Polym. Sci., Polym. Phys., Vol. 37, pp. 1899~1910, 1999.