

왁스(wax)함침형 나일론6의 합성과 그의 기계적 성질에 관한 연구

A Study on Synthesis and Mechanical Properties of Wax-Impregnated Nylon 6

강 석 춘*, 정 대 원**
Suck Choon Kang, Dae-won Chung

ABSTRACT

In order to make an advanced dry-friction engineering material, wax-impregnated nylons were synthesized by anionic polymerization of ϵ -caprolactam in the presence of paraffin wax. DNW-125S, which has the lowest melting point among four different kinds of waxes investigated, showed excellent miscibility with ϵ -caprolactam and no effect on the polymerization reaction. Five different kinds of wax-impregnated nylons from of DNW-125S content 0% to 8% were synthesized and tested. Among the samples, wax-free nylon has the highest yield and tensile strength and hardness, while the specimen with 2% wax has the largest elongation and energy absorption to break. The wax-impregnated nylon with a wax content of 6% showed the smallest friction coefficient under slow sliding speed and low load. But as the sliding speeds were increased to high, the specimen with 8% wax has better friction property.

주요기술용어 : Nylon 6 (나일론 6), Wax-impregnated (왁스-함침형), Anionic Polymerization (음이온 중합), Monomer casting(모노머 캐스팅), ϵ -caprolactam(ϵ -카프로락탐)

1. 서론

최근 플라스틱의 합성기술이 발전함에 따라 기계적 성질이 우수하고 가격이 저렴

하며 가공의 용이성 및 화학적 안정성 등에 의해 기계부품을 기존의 금속으로부터 플라스틱으로 대체하려는 경향이 점차 증가하고 있다. 특히 엔지니어링 플라스틱은 높은 강도와 우수한 마찰특성 때문에 슬라이딩 베어링, 캠, 기어, 캐스터 등의 내마찰내마모부

* 정희원, 수원대학교 기계공학과

** 수원대학교 고분자공학과

품으로써 항공기나 자동차로부터 장난감에 이르기까지 널리 활용되고 있다. 마찰재료로 사용되는 엔지니어링 플라스틱으로는 페놀릭, 아세탈, 폴리이미드 및 나일론 등이 있다. 이들 중에서 페놀릭은 외부 윤활을 필요로 하고, 아세탈은 다른 플라스틱에 비하여 비교적 마찰계수가 크므로 테플론과 같은 충전제를 함유시켜야 하는 단점이 있으며, 폴리이미드는 고온특성과 치수의 안정성이 있으나 가격이 매우 비싼 결점을 갖고 있다. 그러나 나일론은 분자량 및 결정화도가 매우 높고, 인장강도가 크며 가공성, 내마찰 및 내마모특성이 우수하여 기계요소소재로 사용되고 있다.⁽¹⁾

나일론에는 여러 종류가 있고 마찰재료로는 나일론6이 주로 사용되고 있는데, 이것의 제조에는 매우 다양한 방법이 있다. 그 중에서, ϵ -caprolactam (ϵ -카프로락탐, 이하 CL로 약함)의 음이온 중합에 의해서 생성되는 나일론6은 중합이 비교적 용이하고, 또한 생성물이 높은 분자량을 나타내는 특징을 가지고 있다.⁽²⁾ 초기에는 sodium- 또는 potassium- ϵ -caprolactamate를 촉매로 사용하여 왔으나,⁽³⁾ Grignard 시약을 촉매로 할 경우 더욱 높은 반응성을 나타내며,⁽⁴⁾ 단량체인 CL중의 수분 함량에 따라 중합속도 및 생성물의 분자량이 크게 영향을 받는다는 사실들이 알려지고 있다.⁽⁵⁾ 이와 같은 CL의 음이온 중합반응 중에서도, 소듐과 같은 염기성 촉매의 존재하에서 디이소시아네이트를 활성제로 하여 용융상태의 CL을 성형몰드(mold)에서 중합시키므로써 얻어지는 모노머 캐스팅 나일론(Monomer Casting Nylon)이 절삭가공용 엔지니어링 플라스틱으로 최근 주목을 받고 있다.

그러나 나일론6을 하중과 마찰속도가 큰 슬라이드 베어링과 같은 용도로 사용하게 되면 마찰에 의한 열 발생에 따른 마찰과 마모의 증가 때문에 마찰부품으로의

수명이 단축되거나 기계의 성능이 감소되는 경향이 있다. 또 윤활제를 함께 사용하게 될 경우에 윤활제 관리를 위한 공간의 요구와 사용 윤활유의 교환에 문제점이 제기된다. 이에 대한 해결방법으로 마찰계수를 감소시킬 수 있는 오일을 함유한 나일론6을 합성하여 이들의 마찰특성에 관한 내용을 발표한 바 있다.⁽⁶⁾ 그러나 오일의 함침에 따른 나일론6의 마찰특성은 향상됨이 밝혀졌지만, 아직도 오일의 함침에 따른 경도의 저하와 사용온도의 한계점이 낮아지는 문제가 있다.

따라서 본 연구에서는 오일보다 점성이 매우 높은 왁스를 함침시킴으로써 윤활제를 사용하지 않아도 상대운동시에 마찰계수를 효과적으로 감소시켜 줄 수 있는 왁스(wax)함침형 나일론6을 합성하고 이들에 관한 기계적 성질과 마찰특성에 관한 연구를 수행하고자 하였다. 기계적 성질 중에서 경도, 인장강도, 신연을 측정하였고 아울러 마찰시험으로 마찰감소의 기능이 가장 우수한 최적 왁스함유량을 결정하고자 하였다. 또 마찰특성에서 왁스함침의 영향에 대하여 기계적 성질과 연관시켜 고찰하였다.

2. 왁스함침형 나일론6의 합성 및 시험

2.1 시약 및 기기

CL은 BASF사의 AP grade를 P_2O_5 하에서 진공 건조하여 사용하였고, 소듐 및 톨루엔 디이소시아네이트(TDI) 등은 시약용 제품을 정제하지 않고 사용하였다. 파라핀계 왁스로서는 라이온 케미컬의 102N 및 104N, 그리고 동남유화의 DNW-125S 및 DNW-160S를 사용하였다.

캐스팅용 성형몰드는 용융상태의 CL

이 캐스팅되는 내부(250×850×2200 mm)를 테플론으로 코팅하고 그 외부를 알루미늄 가열블록(heating block)으로 둘러싼 다음 이 부분을 제어장치에 연결하여 온도를 일정하게 유지할 수 있도록 장치하였다.

2.2 왁스함침형 나일론6의 합성

먼저, 왁스와 CL과의 혼용성을 확인하기 위해서, 150℃의 건조질소 기류하에서 용융시킨 CL 50 g에 왁스 2 g을 첨가하고 1분간 교반한 후에 상(相)분리가 일어나는지를 관찰하였다. 4종의 왁스에 대해 혼용성을 확인한 다음 그 중에서 CL과 원활하게 혼합되는 DNW-125S 및 DNW-160S를 사용하여 다음과 같이 왁스함침형 나일론6을 합성하였다.

건조질소 기류하에서, 삼각플라스크에 CL 300 g과 TDI 2.4 g을 혼합하고, 110℃에서 교반하여 준다. 또 다른 플라스크에 CL 300 g과 소듐 0.4 g을 건조질소 기류하에서 혼합한 다음 105℃로 유지시켜 준다. 105℃로 예열한 일정량의 왁스와 상기 두 용액을 혼합하여 1분간 교반한 후, 성형 몰드를 사용하여 주조한다. 성형몰드의 온도를 155℃로 유지하며 1시간 동안 중합반응을 진행시킨다. 이와 같은 방법에 의해 왁스량을 CL에 대한 무게(wt)비로 0, 2, 4, 6, 8%씩 첨가하여 5종의 왁스함침형 나일론6을 합성하였다.

2.3 왁스함침형 나일론6의 기계적 성질

합성한 왁스함침형 나일론6에 대한 기계적 성질의 시험에서 인장시험은 ASTM D-638의 Type M-1으로, 충격시험은 ASTM D-258에 따른 규격으로 가공한

시편을 80℃에서 24시간 건조시킨 후 건조기에 보관한 다음 만능시험기와 쇼어(Shore Durometer) 경도계를 사용하여 시험하였다.

2.4 마찰계수 측정

마찰계수의 측정은 롤러와 디스크형(roller and disk type) 마찰시험기를 이용하였다⁽⁶⁾. 평면으로 된 나일론 시편은 마찰시험을 위해 50×50×5 mm의 크기로 가공하였고, 마찰시 상대재료로는 강(AISI 52100)으로 제조된 직경 5 mm, 길이가 10 mm인 롤러베어링을 사용하였다. 이 때 롤러는 강으로 된 디스크에 마찰시켜서 베어링의 마모면 폭을 1 mm로 만들어 마찰시험을 하므로써 나일론 평면시편과 롤러는 면접촉상태를 유지하도록 하였다. 따라서 나일론에 대한 베어링의 접촉면적은 10 mm²이고, 마찰상대면에서 강과 플라스틱의 경도의 차이가 크기 때문에 마찰시험 중에 롤러의 마모는 무시할 정도이므로 시험중에 접촉응력의 변화는 무시하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 왁스함침형 나일론6의 합성

나일론에 함침을 위해 사용한 4종의 파라핀계 왁스에 대한 용융점과 150℃에서 CL과의 혼용성 테스트 결과를 Table 1에 나타내었다. 비교적 용융점이 높은 102N 및 104N은 CL과 상용성이 없어 2상으로 완전히 분리되었으나, DNW-125S 및 DNW-160S는 원활하게 섞이는 것으로 나타났다. 이들의 왁스는 기본적으로 동일한 파라핀계열의 분자구조를 갖고 있으나 분자량에서는 차이가 있다. 각각 정확한 왁스의 분자량은 알려져 있지 않지만 일

Table 1 Melting point and miscibility with CL of paraffin waxes

Paraffin Wax	Melting Point(°C)	Miscibility with CL at 150°C
DNW-125S	54	Miscible
DNW-160S	71	Miscible
102N	107	Immiscible
104N	118	Immiscible

반적으로 분자량이 높을수록 용융점이 높아지며, 극성도 낮아진다. 비교적 극성이 높은 CL과 혼합되기 위해서는 극성이 높아야 되고 또 용융점이 낮은 DNW 계열에서 잘 섞이는 것으로 판단된다. 이와 같이 CL과 섞이는 DNW-125S 및 DNW-160S의 존재하에서 CL의 음이온 중합을 수행하였으나, DNW-160S의 경우에는 중합반응이 진행되는 동안 왁스가 분리되어 중합후의 생성물이 상층부에서 석출되는 현상이 나타났다. 따라서 DNW-160S는 CL과 혼용성은 있으나, 중합물인 나일론6과는 원활하게 혼합되지 않으므로써 반응중에 상(相)분리를 일으키는 것으로 판단된다. 이와 같은 결과로부터, 왁스함침형 나일론6을 제조하기 위해서 DNW-125S를 함침용 왁스로 선정하여 사용하였고, 왁스의 함침량을 다르게 하여 다양한 왁스함침형 나일론6을 합성하였다.

모노머 캐스팅 방법에 의하여 제조되는 나일론6은 성형용 주형안에 캐스팅한 다음 표면이 굳어지는데 걸리는 시간(경화시간)으로 반응의 원활함을 판단한다.⁽⁹⁾ 일반적으로 경화시간이 10분 이내이면 반응이 원활하게 진행된 것으로 판단하며, 본 연구에서 사용한 DEW-125S의 경우에는 함량에 관계없이 10분 이내에 경화가 됨으로써, 중합반응이 원활하게 진행되었음을 확인할 수 있었다.

3.2 왁스함침형 나일론6의 기계적 성질

Table 2는 왁스함침형 나일론6의 왁스 함유량에 따른 기계적 성질을 비교한 것이다. 인장강도는 왁스를 함유하지 않은 나일론이 86 MPa로 가장 크고 왁스의 함유량이 증가하면 점차 감소함을 보여 주며, 8%를 함유한 경우에 인장강도는 약 64 MPa로 왁스를 함유하지 않은 것보다 약 25%정도가 감소하였다. 항복강도에서도 왁스를 함유하지 않은 나일론의 경우에 가장 크고 왁스의 함유량이 증가하면 점차 감소하고 있음을 보여준다. 나일론6의 연신율(elongation)은 왁스를 함유하지 않은 나일론의 경우에 50%이지만, 왁스의 함유량이 2%인 경우에는 98%로 왁스를 함유하지 않은 나일론의 2배 정도가 되고, 왁스의 유량이 더 많아지면 다시 감소하면서 8%를 함유하게 되면 42%가 되었다. 즉 소량(2%)의 왁스를 나일론 6에 첨가하면 큰 연신율을 얻을 수 있지만 첨가량이 더 많아지게 되면 다시 연신율은 감소하게 된다.

재료의 인장시험에서 나일론이 파단되기 직전까지 흡수하는 변형에너지를 측정하였다. 변형에너지에서 2%의 왁스를 함유한 나일론이 가장 크고, 이들은 연신율의 크기 변화와 같은 경향을 갖지만 변화

Table 2 Mechanical properties of wax-impregnated cast nylons

Wax Content in Nylon (wt %)	Yield Strength (MPa)	Tensile Strength (MPa)	Percent Elongation (%)	Energy Break (N. m)
0	80.0	86.0	50.0	23.0
2	72.0	75.0	98.0	40.3
4	66.7	70.8	83.0	32.8
6	62.5	68.0	57.8	20.6
8	56.9	63.8	42.0	14.1

의 비율은 더 크게 나타났다.

Fig. 1은 나일론6의 마찰성질에서 항복강도와 함께 고려되는 경도시험(실온)의 결과이다. 나일론에 왁스가 함유하지 않은 경우에 쇼어경도가 50으로 가장 높게

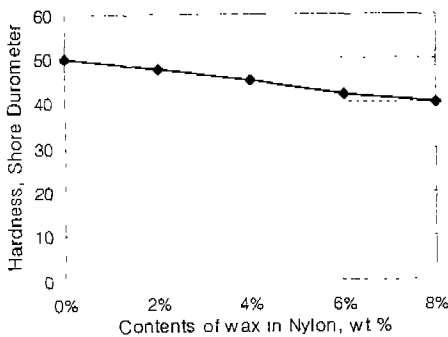


Fig. 1 Hardness of Nylon6 for various wax content

나타났고 왁스의 함유량이 많아짐에 따라 선형적으로 감소하고 있다. 따라서 나일론에 왁스의 함유량이 많아질수록 연해지고 탄·소성변형에 의한 소성유동저항이 낮아지고 있음을 의미한다.

3.3 왁스함침형 나일론6의 마찰성질

3.3.1 마찰의 일반적인 이론

상대운동을 하는 두 재료사이의 마찰계수는 물리적, 화학적, 기계적인 복합원인에 의해서 나타나는 현상으로 정확하게 이론적인 해석이 거의 불가능한 성질을 갖고 있다. 그러나 단순히 정의하면 수평력/수직력으로 나타낼 수 있고, 좀 더 물리적으로 설명한다면 다음의 (1)과 같은 식으로 재료의 성질에 의해 표시할 수 있다.⁽⁷⁾

$$\mu = \frac{s}{p} = \frac{(\text{접촉부의 전단강도})}{(\text{연한재료의 항복강도})} \quad (1)$$

마찰과정에서 접촉부의 전단은 두 재료중에서 연한재료에 의해 일어나므로 접촉부의 전단강도는 연한재료의 전단강도에 지배를 받게 된다. 그러나 두 마찰재료 사이에 윤활기능을 하는 제3의 물질인 윤활피막이 존재 할 경우에는 다음(2)의 식을 이용하여 설명하는 것이 일반적이다.⁽⁸⁾

$$\mu = \frac{s_i}{p_n} = \frac{(\text{윤활막의 전단강도})}{(\text{연한재료의 소성유동저항})} \quad (2)$$

이 식에서 마찰계수는 두 가지의 물질성질 즉 윤활피막의 전단강도와 연한재료

의 소성유동저항인 항복강도(전단강도) 또는 경도에 지배받게 된다. 그러므로 상대운동에서 저항척도인 마찰계수를 효과적으로 감소시키기 위해서는 마찰접촉면에 존재하는 윤활막의 전단강도(s_t)가 작아야 하고, 상대운동을 하는 두 모재의 소성유동저항(p_m)은 모두 커야하는 즉, 단단해야 한다는 이론이 널리 인정되고 있다.⁽⁹⁾

3.3.2 작용하중에 따른 나일론의 마찰계수

나일론을 마찰재료로 사용하는데 가장 중요한 성질인 마찰계수를 측정하고 왁스 함침량에 따라 상대적인 비교를 하였다. Fig. 2는 마찰속도를 비교적 저속인 1 m/sec로 하고 마찰시험한 경우의 마찰계수이다.

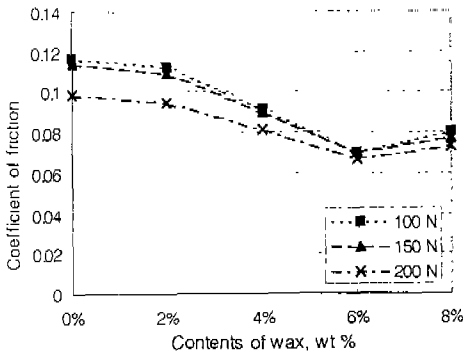


Fig. 2 Coefficient of friction of the Nylon with wax at 1m/sec

작용하중에 관계없이 왁스를 함유하지 않은 나일론의 마찰계수가 가장 크고 이때 마찰계수는 0.12 정도이나, 왁스의 함침량이 많아지면 마찰계수가 점진적으로 작아지다가 6%를 함유한 경우에 최소값(0.065)이 되고, 왁스의 첨가량이 8%인 경우에는 다시 증가하는 경향을 보여주고 있다. 하중이 커지면 하중이 작은 경우보다 마찰계수는 작아지고 그 경향은 왁스의 첨가량이 많아지면 많아질수록 감소하

고 있으며, 6%이상 왁스를 함유한 경우에는 하중에 대해 큰 차이를 보이지 않았다.

따라서 나일론은 마찰속도가 비교적 낮은 경우에 6%의 왁스의 함침에서 마찰계수가 왁스를 포함하지 않은 경우의 마찰계수에 비해 1/2정도로 감소하고, 다른 왁스함유량을 가진 나일론6 보다 상대운동면의 마찰감소 효과가 가장 우수함을 보여 준다.

상대 마찰속도가 3 m/sec인 경우에서 왁스의 함침정도에 따른 나일론6의 마찰계수는 Fig. 3과 같다.

이 속도에서는 모든 시험하중의 범위에서 왁스의 첨가량이 증가함에 따라 마찰계수가 점진적으로 감소하였고 왁스를 가장 많이 첨가한 8% 함침나일론이 가장 작은 마찰계수를 갖는다.

3.3.3 하중에 따른 나일론의 마찰 특성

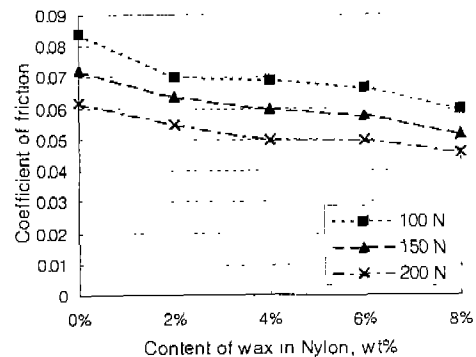


Fig. 3 Coefficient of friction of the Nylon with wax at 3m/sec

Fig. 4는 왁스를 함유하지 않은 나일론6에 대해 작용하중에 따른 마찰계수를 보여 주고 있다.

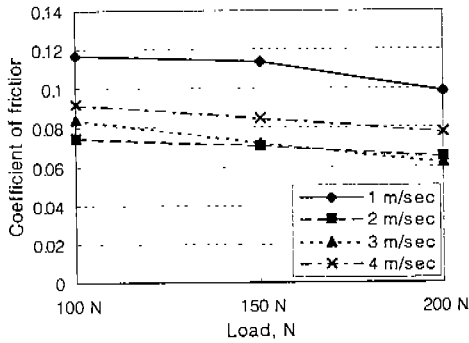


Fig. 4 Coefficient of friction of the wax-free Nylon6 for various loads

마찰속도가 작은 경우(1 m/sec)에 모든 하중에서 마찰계수가 가장 크고 마찰하중이 증가하면 모든 마찰계수는 점차 감소하는 경향을 갖는다. 또 작용하중이 작은 경우에는 2 m/sec의 마찰속도에서 마찰계수가 가장 작고 하중이 200 N으로 커지면 3 m/sec의 마찰속도인 경우가 더 작음을

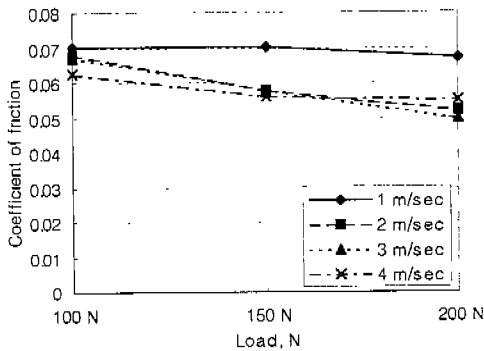


Fig. 5 Coefficient of friction of the Nylon6 with 6% wax for load

보여준다. 마찰속도가 4 m/sec인 경우에 마찰계수는 전반적으로 1 m/sec의 마찰속도에서 보다는 작지만 2-3 m/sec의 마찰속도보다는 크게 나타나는 것이 매우 특징적인 현상이다.

저속에서 마찰계수가 가장 작게 나타난 6%의 왁스를 함유하고 있는 나일론6의

하중에 따른 마찰계수는 Fig. 5와 같다.

작용하중이 100 N인 경우에 마찰속도의 영향을 받지 않고 거의 같은 값을 갖지만 150 N과 200 N의 하중에서는 마찰속도가 커질수록 마찰계수가 감소하고 있음을 알 수 있다. 특히 200 N의 경우 4 m/sec의 속도에서의 마찰계수보다 3 m/sec의 마찰속도에서 마찰계수가 더 작아져서 왁스를 포함하지 않은 나일론과 같은 경향을 갖는다. 따라서 나일론에 왁스의 첨가와 무관하게 작용하중이 커지면 마찰계수는 감소하는 경향이 있으나, 마찰속도가 큰 경우에는 그 영향이 달라짐을 알 수 있다. 이것은 마찰중에 접촉부위의 온도 증가가 나일론6을 연하게 하고 이것이 윤활기능과 함께 유동저항의 감소역할을 하게 되며, 왁스를 함유한 나일론6의 경우에는 왁스가 윤활기능에 주도적인 역할을 하게 되므로 왁스를 많이 넣을수록 마찰감소의 효과가 더 커지게 되는 것으로 판단된다.

3.3.4 마찰속도에 따른 나일론의 마찰계수 특성

마찰계수에 관한 마찰조건에 영향을 고찰하기 위하여 마찰속도에 따른 마찰계수의 특성을 검토하였다.

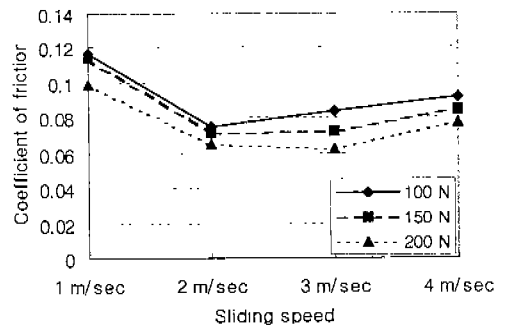


Fig. 6 Coefficient of friction of the wax-free Nylon6 for sliding speed

먼저 왁스를 함유하지 않은 나일론6의

경우는 Fig. 6에서 마찰속도가 1 m/sec로 비교적 작으면 작용하중에 관계없이 마찰계수가 가장 크게 나타나고, 마찰속도가 2 m/sec로 커지게 되면 마찰계수는 최소치를 갖는다. 그러나 마찰속도가 더 증가하게 되면 마찰계수는 다시 약간 증가한다. 이것의 설명으로는 마찰속도와 하중이 커지면 마찰열에 의한 접촉부위의 온도가 증가하고 이때 마찰열에 의해 연하게 된 나일론6 표면의 전단강도 감소에 의해 스스로 윤활기능을 함으로써 식 (1)에서 마찰계수의 감소를 유도하게 된다. 그러나 마찰속도와 작용하중이 더욱 커지면 나일론6의 연화되는 영역이 모재부분까지 확대되므로 소성유동저항이 감소하게 되고 그에 따라 식 (2)에서 마찰계수가 다시 증가하는 것으로 추정된다. 왁스를 6% 함유한 나일론의 마찰계수는 Fig. 7과 같다. 1 m/sec의 마찰속도에서 마찰계수는 하중과 관계없이 크기가 거의 같다. 즉 저속에서는 작용하중에 의한 마찰계수의 영향이 적음을 의미한다. 100 N의 하중에서는 마찰속도가 증가하면 속도가 가장 빠른 4 m/sec에서만 마찰계수가 약간 감소하였다. 150 N과 200 N의 하중에서는 2-3 m/sec의 속도에서 마찰속도가 1 m/sec인 경우보다 마찰계수가 많이 감소하며, 하중이 큰 200 N에서 더 많이 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 4 m/sec의 속도에서 100 N과 150 N의 하중을 받을 경우는 마찰계수가 약간 감소하지만, 200 N의 하중에서 오히려 증가하였다.

따라서 나일론6에서 왁스 함침의 영향은 마찰속도와 하중이 적당한 경우에만 마찰계수의 감소효과가 매우 효과적으로 나타나고, 하중이나 마찰속도가 동시에 작든지 또는 크게 되면 마찰계수의 감소효과가 줄어들고 있음을 알 수 있다.

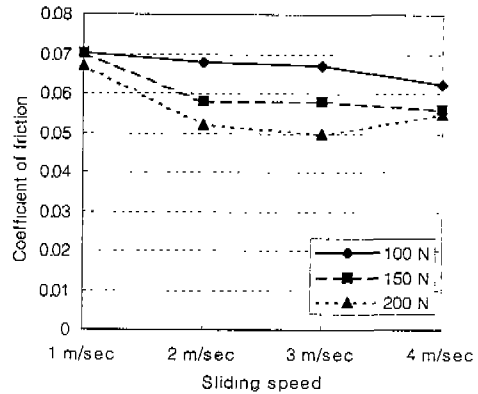


Fig. 7 Coefficient of friction of the Nylon6 with 6% wax for sliding speed

왁스를 8% 함침시킨 나일론6의 마찰속도에 따른 마찰특성은 Fig. 8과 같다.

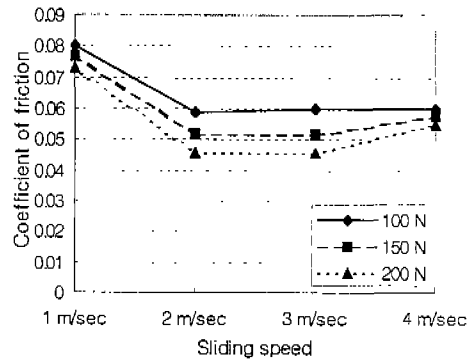


Fig. 8 Coefficient of friction of the 8% wax for sliding speed

마찰속도가 1 m/sec인 경우에는 마찰계수가 하중이 영향이 적으나 마찰속도가 2 m/sec로 커지면 6%의 왁스를 함침한 나일론6의 경우와 달리 100N의 하중에서도 마찰계수가 감소하였고 2-4 m/sec 속도에서는 일정함을 보여 준다. 그러나 150 N과 200 N의 하중에서 마찰속도가 3 m/sec로부터 4 m/sec로 증가하면 왁스를 6% 함침한 나일론의 200 N(Fig. 7)에서와 같이 마찰계수가 증가하였다. 이러한 현상

은 Fig. 6에서 왁스를 함유하지 않은 나일론6의 속도증가에 따른 마찰계수 증가와 같은 경향을 갖는다. 따라서 나일론6에서 함침된 왁스의 함유량이 많아지게 되면 고속과 고부하에서 접촉부의 마찰열에 의한 연화경향과 왁스에 의한 모재의 경도저하 즉 소성유동저항의 감소가 왁스의 윤택성능을 상쇄하고 있는 것으로 판단된다.

이와 같은 사실에서 왁스를 함유한 나일론6의 마찰감소특성은 마찰조건(속도, 하중)에 의해 생성되는 마찰열로 인한 모재의 전단강도의 감소, 함침되어 있는 왁스의 윤택작용, 그리고 왁스 첨가에 따른 모재의 경도의 저하(소성유동저항의 감소) 정도에 따라 영향을 다양하게 받고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

엔지니어링 플라스틱으로 널리 사용되고 있는 나일론6에 왁스를 성공적으로 함침하였고 이들의 기계적 성질과 마찰특성에 관한 연구를 통하여 6%의 왁스를 함침한 나일론6이 적절한 마찰조건(저속)에서 마찰감소의 효과가 매우 우수함을 밝혀냈다. 이들의 내용을 정리하면 다음과 같다.

1) 파라핀계 왁스의 존재하에서 ϵ -caprolactam을 모노머 캐스팅 기법에 의해 음이온 중합시키므로써, 왁스함침 나일론6을 합성하였다. 파라핀계 왁스중에서도 용융점이 낮은, 즉 극성이 상대적으로 높은 왁스가 ϵ -caprolactam과의 높은 상용성을 나타냈으며 8 wt%까지 첨가되어도 중합반응에 전혀 영향을 입히지 않았다.

2) 왁스를 나일론6에 함침시킨 경우에

강도와 경도는 왁스 함침 비율이 증가함에 따라 선형적인 감소를 하지만 연신율과 소성 변형에너지의 흡수능력은 2% 함침시 월등하게 증가함을 보여주었다.

3) 마찰속도가 낮은 경우에 하중의 크기에 관계없이 나일론6은 왁스의 함침량이 증가함에 따라 마찰계수가 감소하여 6%를 함침한 나일론6의 경우에서 최소치를 보인 다음, 8%의 함침에서는 약간 증가하였다. 이것은 함침된 왁스의 윤택작용과 함침에 따른 재료의 경도저하가 동시에 마찰특성을 지배하고 있기 때문으로 판단된다.

4) 상대마찰속도나 하중이 커지면 나일론의 마찰계수는 전반적으로 낮아지고 왁스의 함침량이 많을수록 더욱 감소하여 8% 왁스함침 나일론6에서 가장 작은 값을 보였다. 이것은 마찰에 따른 접촉부위의 온도증가에 따른 나일론자체와 왁스의 윤택작용에 의한 것으로 판단된다.

5) 6% 와 8%의 왁스를 함침한 나일론6의 경우에 고속과 고하중에서는 중속도에서 보다 마찰계수가 증가하는 현상을 보인다. 이것은 왁스의 윤택작용과 접촉부의 전단강도감소가 마찰계수 감소효과를 준 반면에, 접촉부의 마찰열 발생에 의한 재료의 항복강도 및 경도의 감소가 마찰계수 증가에 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. 강석춘 역(K. G. Budinski 저), 기계재료, 청문각, pp. 170, 1997.
2. Champetire, G. and Sekiguchi, H., *J. Polym. Sci.*, Vol. 48, pp. 309, 1960.

3. Sebenda, J., "Comprehensive Polymer Science" Vol. 3, Tipper, C. F. H. and Bamford, C.H., Ed., Pergamon Press, Oxford, 1988.
4. Stehlicek, J. and Puffr, R., *Macromol.Chem.*, Vol. 193, No 10, pp. 2539, 1992.
5. Ueda, K., Yamada, K., Nakai, M., Matsuda, T., Hosoda, M. and Tai, K., *Polym. J.* 28, 5, pp. 446, 1996.
6. 강석춘, 정대원, 대한기계학회논문집 A권, 제22권, 제11호, pp. 2011. 1998,
7. Bowden, F. P. and Tabor, P., "Friction and Lubrication of solid", Oxford Press, pp.111-112, 1964.
8. 이봉구 역, Tribology의 개론, 동명사, pp. 47, 1987.
9. Bowden, F. P. and Tabor, P., "Friction, An Introduction to Tribology", Anchor Press, pp. 72, 1973.