

<연구논문(학술)>

나일론 6 섬유의 감량가공 및 특성 연구

임성찬 · 이현우¹ · 이현재 · 원종성 · 진다영 · 이승구[†]

충남대학교 유기소재섬유시스템공학과
¹한국니트산업연구원

A Study on the Weight Loss Treatment and Characteristics of Nylon 6 Fiber

Sung Chan Lim, Hyun Woo Lee¹, Hyun Jae Lee, Jong Sung Won, Da Young Jin
and Seung Goo Lee[†]

Department of Advanced Organic Materials and Textile System Engineering, Chungnam National University, Daejeon, Korea

¹Korea Institute For Knit Industry, Iksan, Korea

(Received: May 25, 2015 / Revised: June 23, 2015 / Accepted: July 23, 2015)

Abstract: Weight loss treatment of a fiber leads an improvement of its handle and drape properties. Hydrolysis of a fiber is commonly known as a method to reduce its weight of 5-40%. Most of the studies on the weight loss treatment are mainly based on polyester fibers and there has been almost no study on the weight reduction of nylon fibers. In this study, however, in order to develop a use of nylon 6 fiber for the industrial applications such as toothbrush, underwear, carpet and more, weight loss treatment of a nylon 6 fiber was carried out. Under various treatment conditions, morphological analysis were done to observe the change in the structure of the surface and analysis. From the observation of formic acid treated nylon 6 fiber, there were many etched and deformed morphologies. Thermal and crystalline properties were analyzed to find the changes in the crystal structure caused by the weight loss treatment. There were little differences in the crystalline properties of nylon 6 fiber by formic acid treatment. Tensile strength of nylon 6 fiber decreases with acid concentration. The FTIR peak intensity of the amide bond decreases with formic acid concentration.

Keywords: Nylon 6 fiber, formic acid, maleic anhydride, weight loss treatment, Polyamide 6 fiber

1. 서 론

1930년대 초 Carothers에 의해 나일론이 발명된 이후 합성섬유는 지속적으로 발전해왔다. 합성섬유 소비는 전세계 섬유시장의 약 54%를 차지하고 있으며, 그중 나일론은 상당히 높은 비중을 차지하고 있다^{1,2)}. 그중에서 나일론 6는 주쇄를 이루는 구조단위가 아미드기에 의해 연결된 합성고분자로 최초의 합성섬유이다. 나일론 6는 아미드기 간의 수소결합에 의하여 마찰강도, 신도, 탄성, 레질리언스 등의 물리적 특성이 우수하여, 결정성 고분자로서 인장강

도가 높으며 내화학약품성이 우수하다. 이러한 나일론 6는 활용도가 광범위하여 산업에서부터 일상생활에 이르기까지 사용되고 있다. 따라서 나일론 6에 관한 학문적, 산업적 측면의 연구가 끊임없이 진행되고 있으며, 특히 ϵ -caprolactam을 단량체로 하여 개환중합에 의해 얻어지는 나일론 6는 중합속도가 빠르고 생성물이 높은 분자량을 나타내어 중합반응의 촉매 및 성장 메카니즘에 관한 연구도 진행되고 있다³⁻⁷⁾.

직물의 후처리 가공 중 감량가공은 촉감 개선과 흡습성 향상 등의 효과를 얻을 수 있는 가공방법으로 알려져 있다. 감량가공의 대표적인 사례로는 폴리에스터 직물을 알칼리 용액으로 처리하여 감량시키는 것으로서, 알칼리 용액은 주로 수산화나트륨 수용액을 사용한다. 폴리에스터의 알칼리 감량가공은 가수분해에 의해 진행된다. 폴리에스테르에 있는

[†]Corresponding author: Seung Goo Lee (lsgoo9397@cnu.ac.kr)
© 2015 The Korean Society of Dyers and Finishers.
All rights reserved. TCF 27-3/2015-9/175-183

에스테르 결합은 알칼리에 의해 공격을 받아 카르복시레이트 음이온과 알코올로 분해되며, 반응이 계속되면 최종적으로 테레프탈 산과 에틸렌글리콜로 분해된다. 결과적으로 감량가공된 폴리에스터 직물은 유연성과 드레이프성이 좋아지며 촉감이 개선된다. 이처럼 폴리에스터의 감량가공은 널리 알려져 있으며, 이에 따른 연구도 상당히 진전되어 있다.

나일론은 폴리에스터와 같이 3대 합성섬유로 꼽힐 만큼 많이 사용되며 그 용도 또한 다양하여 의류 및 산업의 여러 분야에 사용되고 있다. 이에 따라 나일론 6의 감량가공은 유연성과 드레이프성 향상 등을 통해 기존 나일론 제품의 성능 향상과 용도의 확장을 가져올 수 있다. 하지만 나일론 6의 경우 알칼리에 대한 내화화성이 우수하여 기존 폴리에스터와 같은 감량가공 방식으로는 감량이 불가능하다. 이에 따라 나일론 6 섬유의 감량가공에 대한 대책이 필요하지만 현재 나일론 6의 감량가공에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다⁸⁻¹³⁾.

따라서 본 논문에서는 나일론 6 섬유의 칫솔모, 언더웨어, 카펫 등 다양한 용도 전개를 위하여 감량가공에 대하여 기초적으로 연구하였다. 기존 알칼리에 대한 내화화성이 큰 나일론 6의 특성으로 인하여 Formic acid와 감량촉진제로는 Maleic anhydride를 사용하여 감량을 실시하였다. 감량가공의 온도, 농도, 시간에 대한 변수를 두어 감량가공을 실시하였으며, 이에 따른 물리적, 화학적 특성의 변화를 측정 및 분석하여 나일론 6 섬유의 감량가공 효과를 고찰하고자 하였다.

2. 실험

2.1 시료 및 시약

2.1.1 시료

본 연구를 위해 사용된 나일론 6섬유는 일본의 M사에서 제조한 범용 나일론 6로서 64 denier급 필라멘트를 사용하였다.

2.1.2 시약

본 연구에서 나일론 6 섬유의 감량가공은 산을 이용한 방법으로, 사용된 시약은 Sigma-aldrich사의 Formic acid(mp=8℃, bp=101℃, HCOOH=46.02)와 Maleic anhydride(bp=200℃, auto ignition temperature=870 F, vapor pressure 0.16mmHg)를 사용하였다. 감량가공시 가공제의 농도에 따라

Table 1. pH values of mixture of formic acid and maleic anhydride in solution

Formic acid(%)	Maleic anhydride(%)	pH
40	0	0.76
45	0	0.74
50	0	0.72
55	0	0.70
45	2	0.70
45	4	0.67
45	6	0.66
45	8	0.63

용액의 pH값이 다르게 나타나게 되는데, Formic acid와 Maleic anhydride의 농도에 따른 pH값을 Table 1에 나타내었다

2.2 실험방법

2.2.1 감량가공

본 연구에서는 나일론 6 섬유의 감량가공을 위해 배치식 감량가공방법을 사용하였으며, Formic acid와 Maleic anhydride의 농도, 감량시간, 감량온도에 변화를 주어 감량가공을 실시하였다. 감량된 시편은 수세와 건조과정을 통해 마무리 하였다.

Formic acid의 농도는 40%, 45%, 50%, 55%로 변화를 주었으며, Maleic anhydride의 농도는 2%, 4%, 6%, 8%로 변화를 주었고 이때 Formic acid의 농도는 45%로 고정하였다. 감량가공 시간은 최대 6시간까지 감량을 진행하였으며, 1시간마다 감량된 시편을 회수하여 특성을 분석하였다.

감량온도를 20℃, 30℃, 40℃, 50℃의 4가지 조건으로 고정하여 실험하였으며, 이때 Formic acid의 농도는 45%로 고정하였고 Maleic anhydride는 사용하지 않았다.

2.2.2 감량률

감량가공된 나일론 6 섬유의 감량률은 식(1)과 같이 계산되었다.

$$\text{Weightloss}(\%) = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad \dots\dots\dots(1)$$

W_1 : Dry weight of the Nylon 6 fiber before treatment

W_2 : Dry weight of the Nylon 6 fiber after treatment

Table 2. Max weight loss according to treatment condition

Temperature(°C)	Formic acid concentration(%)	Maleic anhydride concentration(%)	Max weight loss(%)
20	40	0	3.55
20	45	0	4.06
20	50	0	4.52
20	55	0	5.45
20	45	2	5.52
20	45	4	6.01
20	45	6	6.29
20	45	8	6.43
30	45	0	4.29
40	45	0	5.58
50	45	0	7.51

2.2.3 인장강도

감량가공된 나일론 6 섬유의 인장강도를 측정하기 위해 ASTM D3822에 준하여 만능재료시험기 (INSTON 4467, 2630-107)를 사용하여 인장강도를 측정하였다. 시료는 Gauge length를 2.5cm로 하여 마분지에 에폭시 접착제로 고정시켜 크로스헤드 속도를 2mm/min로 하여 시험하였다.

2.2.4 형태학적 구조

감량가공된 나일론 6 섬유의 표면을 관찰하기 위해 Dino-Lite사의 Digital Microscope(AM7013MT series)를 이용하여 섬유의 표면상태를 확인하였다. 주사전자현미경(JEOL, JSM-7000F)으로 감량가공된 나일론 6 섬유의 표면을 관찰하였다. 주사전자현미경은 섬유표면을 Pt로 1분간 코팅 후 10kV의 전자빔을 가하여 측정하였다.

2.2.5 열적 특성

감량가공된 나일론 6 섬유 시료를 시차주사열량 측정법(Differential Scanning Calorimetry, Mettler-Toledo사 DSC)을 통하여 감량가공 전, 후의 열적 특성의 차이를 비교하였다. 측정은 질소 분위기에서 10°C/min으로 300°C까지 승온하면서 실행하였다.

2.2.6 결정구조

감량가공 전·후의 결정구조 분석을 위하여 XRD(X-ray Diffractometer, Thermo사, MultiLab 2000)를 이용하여 CuK α (λ = 1.540)의 광원으로 상온에서 40kV, 25mA, 2 θ 를 1.01-9.99

까지 초당 0.02씩 증가시키면서 패턴을 분석하였다.

2.2.7 화학적 구조

FT-IR(Fourier transformation infrared spectroscopy, Magna IR550, Scinco)을 이용하여 나일론 6 섬유의 감량가공에 따른 화학적 구조변화를 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 감량률 측정

나일론 6 섬유의 감량가공시 온도를 20°C로 고정한 후 Formic acid의 농도와 Maleic anhydride의 농도를 변수로 두어 실험을 진행하였다. 나일론 6 섬유는 Formic acid 처리를 하면 아미드결합이 가수분해되어 -COOH와 -NH₂로 분해된다. 따라서 Formic acid의 농도가 높아질수록 아미드결합의 가수분해가 촉진되어 감량률이 증가하게 된다. 감량조건에 따른 최대 감량률은 Table 2에 나타내었다.

Figure 1은 감량온도 20°C에서 Formic acid의 농도에 따른 나일론 6 섬유의 감량률을 나타낸 그래프이다. 나일론 6 섬유는 Formic acid의 농도가 증가할수록, 감량시간이 길수록 감량률이 증가하는 경향을 보였으며 55%에 최대 5.4% 감량된 것을 확인할 수 있었다. Formic acid의 농도가 50% 이상일 때에는 나일론 6 섬유의 손상이 매우 심하게 발생하여 사용이 불가능하였다.

Figure 2는 Formic acid 45%, 감량온도 20°C에서

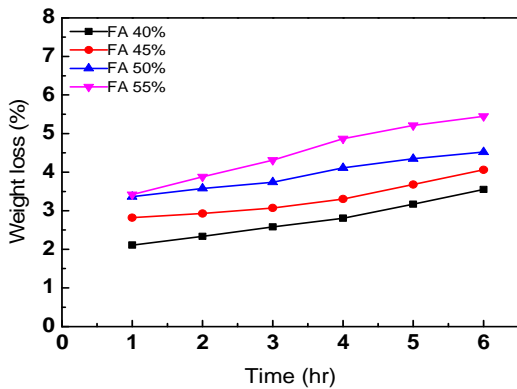


Figure 2. Weight loss of Nylon 6 fiber according to the formic acid concentration and time.

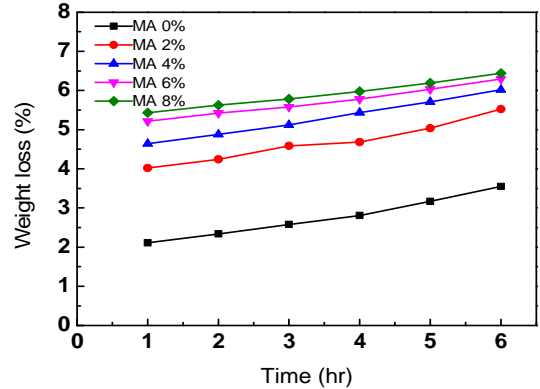


Figure 3. Weight loss of Nylon 6 fiber according to Maleic anhydride concentration and time.

Maleic anhydride의 농도변화에 따른 감량률을 나타낸 그래프이다. 여기서 Maleic anhydride는 용액의 pH를 더욱 산성으로 만들어 주는 조제로 작용한다. Maleic anhydride의 농도가 증가할수록 나일론 6 섬유 감량률이 증가하는 것을 확인할 수 있다.

Figure 1과 Figure 2에서 Maleic anhydride의 첨가에 따른 감량률의 차이를 비교할 수 있다. Maleic anhydride를 첨가한 감량률은 Formic acid만 사용했을 때의 감량률보다 최대 50% 증가한 것을 확인할 수 있다. 이는 Maleic anhydride의 첨가가 감량용액의 pH를 증가시켜 나일론의 아미드 결합을 분해할 수 있는 수소이온이 많아졌기 때문이라고 사료된다. 이를 통해 Maleic anhydride는 나일론 6 섬유의 감량가공의 촉진제로 가능성을 확인할 수 있다. 다만, Maleic anhydride의 농도가 6% 이상일 때에는 섬유의 손상이 심하여 적용이 불가능하지만, Maleic anhydride의 농도가 4% 정도일 때 Formic acid 50% 일때 보다 감량률은 증가하고 섬유의 형태변화가 적게 나타난다. 감량가공에서 감량제의 농도와 시간뿐만 아니라 감량온도도 중요한 변수중 하나이다.

Figure 3은 Formic acid 45%에서 감량온도에 따른 감량률의 변화를 나타낸 그래프이다. 감량온도에 따른 감량률은 온도가 증가할수록 감량률이 증가하는 경향을 보였으며, 50℃에서 최대 7.5%의 감량률을 나타냈다. 하지만 40℃ 이상에서는 나일론 6 섬유의 손상이 심하여 더 이상 실험이 불가능하였다.

Figure 1-3의 비교를 통해 온도조건에서 가장 큰 감량률을 나타낸 것을 확인할 수 있으며, 온도조건에 따른 감량률은 Maleic anhydride를 첨가한 감량률보다 최대 25% 크게 나타난 것을 확인할 수 있

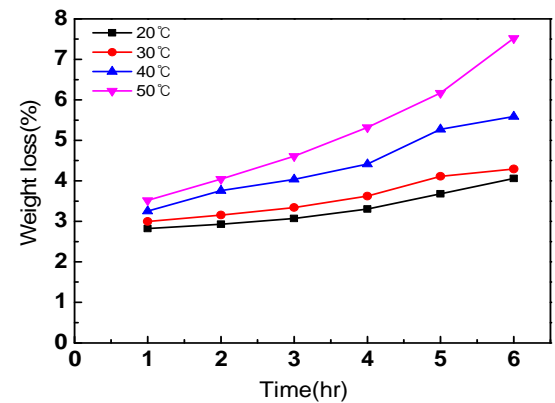


Figure 3. Weight loss of Nylon 6 fiber according to treatment temperature and time.

다. 따라서 감량률은 본 연구에서의 Formic acid 45% 조건하에서 온도조건에 더 많은 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

이러한 감량률 분석결과와 데이터를 종합해보면 나일론 6 섬유의 감량률은 대략 최대 10% 이하로서, 일반적인 PET 섬유의 알칼리에 의한 감량률보다 낮게 나타났지만, 나일론 6 섬유가 PET 섬유보다 가수분해가 힘든 점을 감안해 본다면 그렇게 낮은 감량률은 아닌 것으로 사료된다.

3.2 인장강도

Formic acid 농도에 따른 나일론 6 섬유의 감량가공에서 Formic acid의 농도가 50% 이상일 경우 섬유의 손상이 심해 인장강도를 측정할 수 없었다. 또한 감량온도가 40℃ 이상일 때와 Maleic anhydride의 농도가 6% 이상일 때 섬유의 손상이

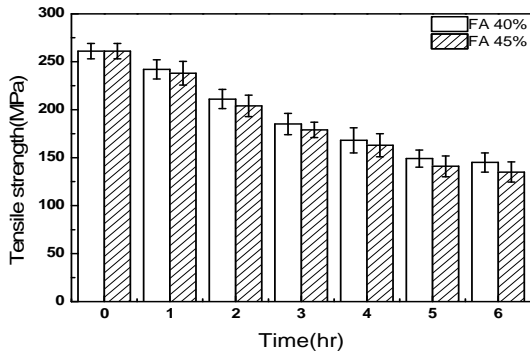


Figure 4. Tensile strength of Nylon 6 fiber according to formic acid(FA) concentration.

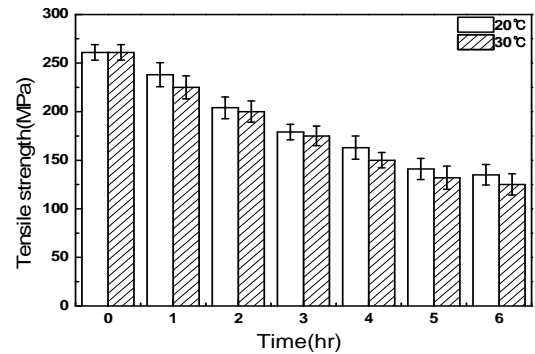


Figure 5. Tensile strength of Nylon 6 fiber according to treatment temperature.

심하여 인장강도를 측정할 수 없었다. 따라서 Formic acid 40%, 45%와 45%에서 Maleic anhydride 2%, 4% 그리고 온도가 20°C, 30°C일 때 감량된 시료의 인장강도를 측정하였다.

Figure 4는 Formic acid의 농도에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. Formic acid의 농도가 증가할수록, 감량시간이 길수록 인장강도가 감소하였다. 이는 나일론 6 섬유의 아미드결합이 가수분해되어 표면의 에칭이 증가하고, 미처리 섬유보다 상대적으로 결합이 증가하기 때문에 강도가 감소하였다고 사료된다.

Figure 5는 감량온도에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. 감량온도가 증가할수록 나일론 6 섬유의 인장강도가 감소한 것을 관찰할 수 있다. Figure 4와 Figure 5를 비교해보면 Formic acid의 농도 보다는, 온도에 따른 인장강도 감소가 더 큰 것을 알 수 있다. 따라서 감량온도가 Formic acid의 농도보다 섬유의 물성에 더 크게 영향을 주어서 많이 저하시킨 것으로 사료된다. 이는 나일론 6 섬유의 감량온도가 유리전이온도에 가까워짐에 따라 산에 의한 비결정영역의 가수분해가 더욱 빠르게 진행되어 표면의 에칭이 증가하고, 상대적 결합이 많아지기 때문에 강도가 감소한 것으로 사료된다.

Figure 6은 Formic acid 45%에서 Maleic anhydride의 농도에 따른 인장강도를 나타낸 그래프이다. Maleic anhydride의 농도가 증가할수록 나일론 6 섬유의 가수분해가 촉진되어 강도가 감소된 것을 알 수 있다.

Figure 4-6을 비교해봤을 때 Formic acid의 농도나 Maleic anhydride의 농도 증가보다 온도의 증가에 따른 인장강도 감소율이 더 큰 것을 알 수 있

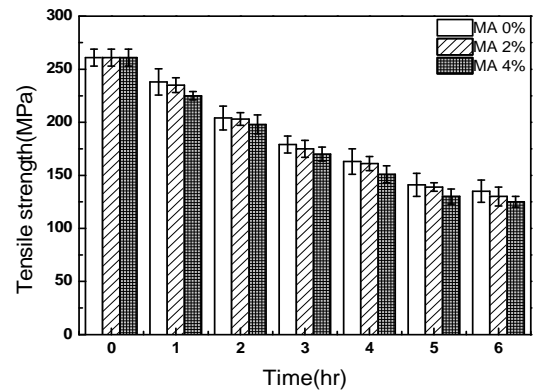


Figure 6. Tensile strength of Nylon 6 fiber according to Maleic anhydride(MA) concentration.

다. 따라서 나일론 6 섬유의 Formic acid를 이용한 감량가공에서 pH의 감소보다는 온도의 증가가 섬유의 감량이나 손상에 더 큰 영향을 주는 것으로 사료된다. 이는 Formic acid나 Maleic anhydride의 농도에 따른 pH 차이는 비교적 크지 않은 데 비하여, 나일론 6 섬유의 가수분해는 용액 온도에 따라 증가하기 때문으로 사료되고 또한, 나일론 6의 유리전이온도에 가까운 온도로 승온하면 주로 비결정영역이 감량되는 것에 더 큰 영향을 받기 때문으로 사료된다. 감량률과 인장강도의 감소율을 비교하여 보았을 때, 본 연구에서의 나일론 감량의 적정 조건은 20°C, Formic acid 농도 45%, Maleic anhydride 농도 2%일 때가 적절한 것으로 사료된다.

3.3 형태학적 분석

나일론 6 섬유의 감량가공 조건에 따른 형태 변

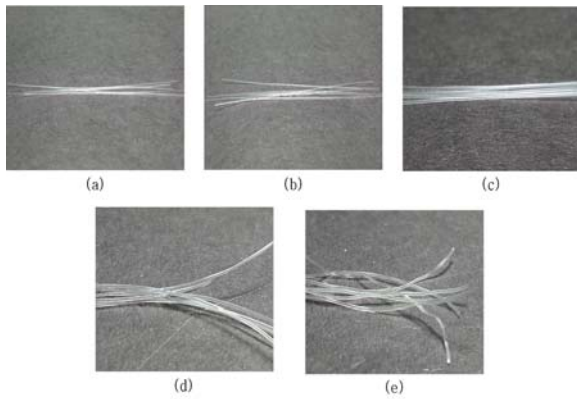


Figure 7. Photographs of Nylon 6 fibers according to Formic acid concentration ((a)untreated, (b)40%, (c)45%, (d)50%, (e)55%).

화를 Figure 7-9에 나타내었다. Figure 7에서 Formic acid의 농도가 증가할수록 나일론 6 섬유가 변형되는 모습을 관찰할 수 있다. 또한 Figure 8과 Figure 9를 통하여 감량온도의 증가와 Maleic anhydride의 농도 증가에 의하여 섬유가 휘어지며, 초기 시편의 형태와는 상당히 다른 모습으로 변화된 것을 확인할 수 있다. 또한 Figure 7-9의 비교를 통해 나일론 6 섬유의 형태 변화는 온도조건에서 가장 많이 일어나는 것을 관찰할 수 있다. Formic acid, Maleic anhydride의 높은 농도와 감량온도는 섬유의 아미드결합을 파괴하는 요인이 되며 Nylon 6 섬유의 아미드결합 파괴는 분자쇄의 절단과 변형을 초래한다. 또한 감량가공중 수분에 의해 섬유가 팽윤된 상태에서 부분적으로 분자쇄가 절단되기 때문에 휨과 같은 전체적인 변형이 생겨난 것으로 생각된다. 결과적으로 아미드결합의 파괴가 섬유형태의 변화를 초래한 것으로 사료된다. 감량률 그래프와 비교하였을 때 Maleic anhydride의 처리는 상대적으로 낮은 온도에서 감량률을 증가시키면서 섬유의 형태변화를 덜 일으키는 것을 확인할 수 있다.

Figure 10에 나일론 6 섬유의 감량가공 조건 중 20℃, Formic acid 45%와 20℃, Formic acid

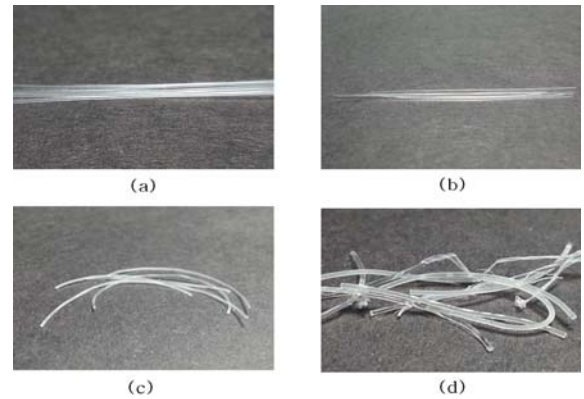


Figure 8. Photographs of Nylon 6 fiber according to treatment temperature((a)20℃, (b)30℃, (c)40℃, (d)50℃).

45%, Maleic anhydride 2% 감량조건에서 주사전 자현미경으로 표면을 관찰한 결과를 나타내었다. Figure 10에서 Formic acid 처리는 나일론 6 섬유의 표면에 에칭을 초래하고, 또한 Maleic anhydride의 첨가로 에칭 현상이 더 많아지는 것을 볼 수 있다. 따라서 감량가공이 진행될수록 섬유의 표면에 에칭이 증가하여 표면의 결함이 생기는 것을 알 수 있고, 결과적으로 이로 인하여 인장강도가 감소하는 것으로 생각할 수 있다. 또한 (a), (b), (c)의 무게가 각각 1.42g, 1.36g, 1.342g으로 점차 감소하는 것을 통해 감량된 사실을 알 수 있다.

3.4 열적 특성

나일론 6 섬유의 열적 특성은 감량가공 조건 중 적절한 조건으로 고려되는 생각되는 20℃, Formic acid 45%와 20℃, Formic acid 45%, Maleic anhydride 2%에서 DSC로 분석한 결과를 Figure 11에 나타내었다. 전체적으로 감량가공에 따라 유리전이온도나 용융온도에 큰 변화는 나타나지 않는 것으로 사료된다.³⁾ 따라서 본 연구에서의 Formic acid의 처리나 Maleic anhydride의 첨가 등 감량가공조건은 나일론 6 섬유의 열적 특성에 큰 영향을 주지 않는 것으로 판단할 수 있다.

Table 3. Crystallinity of Nylon 6 fiber according to process variables

Specimen	Temperature(℃)	Formic acid(%)	Maleic anhydride(%)	Degree of Crystallinity(%)
a	20	0	0	37.86
b	20	45	0	37.93
c	20	45	2	38.78

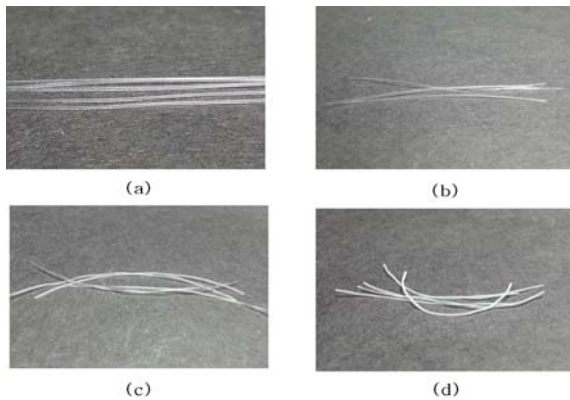


Figure 9. Photographs of Nylon 6 fiber according to Maleic anhydride concentration((a)2%, (b)4%, (c)6%, (d)8%).

3.5 결정구조 분석

나일론 6 섬유의 결정구조 분석은 적정 감량가공 조건인 20℃, Formic acid 45%와 20℃, Formic acid 45%, Maleic anhydride 2% 시료에 대하여 XRD 분석을 진행한 결과를 Figure 12에 나타내었다. 또한 XRD분석을 통해 산출한 결정화도를 Table 3에 나타내었다. 전체적인 XRD 그래프는 감량가공 전후가 큰 차이가 나타나지 않아 감량조건에 따른 결정구조의 특별한 차이가 없음을 알 수 있으며 결정화도 또한 크게 차이가 없는 것을 확인할 수 있었다. 감량은 주로 비결정영역에서 발생하는 것으로 알려져 있어서 감량가공이 진행될수록 나일론 6 섬유의 비결정영역이 줄어들 수도 있을 것이지만, 감량률이 크지 않아서 그 차이가 미비하

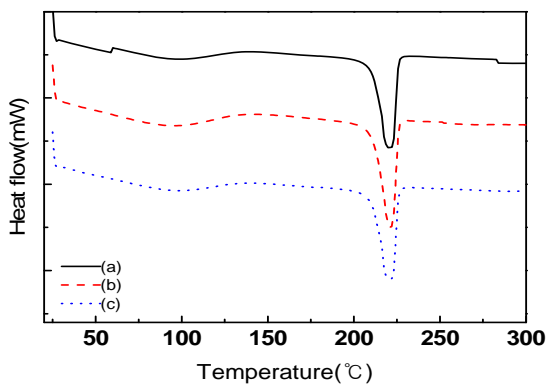


Figure 11. DSC thermograms of Nylon 6 fiber according to process variables((a)Untreated, (b)Formic acid 45%, (c)Formic acid 45%, Maleic anhydride 2%).

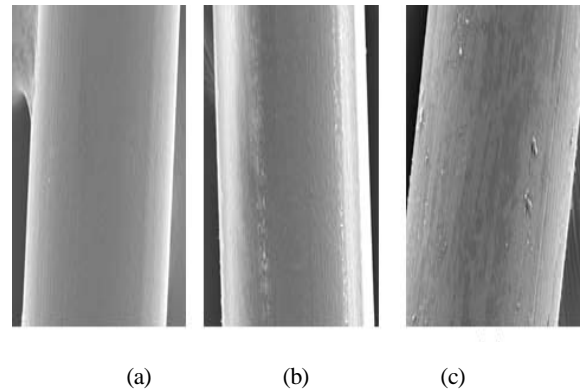


Figure 10. SEM Morphologies of Nylon 6 fiber according to process variables ((a)untreated, (b)Formic acid 45%, 6hrs, (c) Formic acid 45%, Maleic anhydride 2%, 6hrs).

여 결정성은 큰 차이를 나타내지 않은 것으로 사료된다. 또한 감량가공은 비결정영역에서의 가수분해가 주된 반응이며, 나일론 6 섬유의 감량률이 낮기 때문에 결정영역의 결정화도는 큰 차이를 나타내지 않는다고 사료된다.

3.6 화학적 구조 분석

나일론 6 섬유의 적정 감량가공조건인 20℃, Formic acid 45%와 20℃, Formic acid 45%, Maleic anhydride 2%의 시료에 대하여 FT-IR로 측정된 결과를 Figure 13에 나타내었다. 나일론 6 섬유의 아미드결합은 FT-IR 그래프에서 1600cm⁻¹ 부근에서 피크가 관찰되며 이를 1800cm⁻¹부근의 피크와 상대적인 크기를 비교하면 가공에 의한 변화

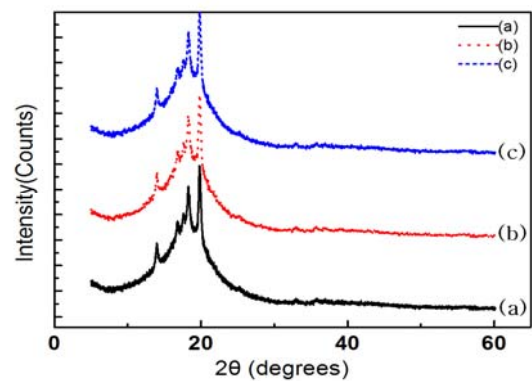


Figure 12. XRD graphs of Nylon 6 fiber according to process variables((a)Untreated, (b)Formic acid 45%, (c)Formic acid 45%, Maleic anhydride 2%).

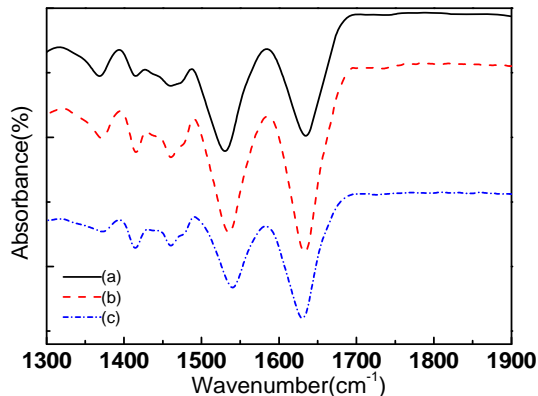


Figure 13. FT-IR spectra of Nylon 6 fiber with process variables((a)Untreated, (b)Formic acid 45%, (c)Formic acid 45%, Maleic acid 2%).

를 알 수 있다. 감량가공 전·후의 그래프를 비교하면 감량이 된 경우 아미드결합의 1600cm^{-1} 부근의 피크가 상대적으로 줄어드는 것을 확인할 수 있다. 이는 나일론 6 섬유의 아미드 결합이 Formic acid 처리에 의하여 가수분해되어 나타난 현상으로 사료된다. 따라서 나일론 6 섬유의 감량가공은 아미드결합의 가수분해에 의해 진행된다는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 Formic acid와 Maleic anhydride를 이용한 나일론 6 섬유의 감량가공에 대해 연구하였다. Formic acid의 농도, Maleic anhydride의 첨가와 감량온도 및 시간에 따른 나일론 6 섬유의 감량률 및 특성을 비교하였다.

감량조건에 따른 나일론 6 섬유의 감량률은 Formic acid의 농도가 증가할수록, Maleic anhydride의 농도가 증가할수록, 감량온도가 높을수록, 감량시간이 길수록 증가하였다. 이는 나일론 6 섬유의 아미드결합이 Formic acid와 Maleic anhydride에 의해 가수분해되어 감량된 것으로 판단된다. Maleic anhydride의 혼합에서 Formic acid만의 농도증가에 따른 감량률보다 더 높은 감량률을 나타내었다. 또한 감량온도의 증가는 가수분해 반응을 촉진시켜 감량률이 증가한 것으로 사료된다.

감량조건에 따른 나일론 6 섬유의 인장강도는 Formic acid의 농도가 증가할수록, Maleic anhydride의 농도가 증가할수록, 감량온도가 높을

수록, 감량시간이 길수록 감소하였다. 나일론 6 섬유의 감량이 진행될수록 아미드결합이 가수분해에 의해 섬유의 형태 변화와 더불어 손상이 진행되어 인장강도가 감소한 것으로 사료된다.

감량조건에 따른 나일론 6 섬유의 형태는 감량이 진행될수록 섬유의 굵기가 얇아지며 휘어지는 것을 확인할 수 있다. Formic acid의 농도가 50% 이상일 때, 나일론 6 섬유의 형태 변화가 매우 심하게 나타났다. 또한 Maleic anhydride의 첨가에서도 역시 섬유의 형태 변화가 있지만, Formic acid 단독일 때와 비교하면 손상이 적은 반면에 감량률이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 나일론 6 섬유의 손상에 가장 많은 영향을 주는 요소는 온도조건이며 50°C 온도에서 섬유는 형태가 가장 많이 변화하였다.

나일론 6 섬유의 감량공정에 따른 열적특성과 결정구조는 감량되지 않은 섬유와 큰 차이가 없는 것을 확인하였다. 전체적인 감량률이 크지 않아 감량가공에 따른 나일론 6 섬유의 결정부분의 차이가 미미하였다. 감량공정에 따른 나일론 6 섬유의 화학적 구조는 FT-IR 데이터를 통해 감량공정이 진행될수록 나일론 6 섬유의 아미드기의 피크가 감소하는 것을 확인하였다. 따라서 나일론 6 섬유의 감량과정은 아미드기의 가수분해를 통하여 일어나는 것을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 CNU학술연구지원사업의 지원으로 수행된 과제(CNU-2014-1127-01)로 이에 감사드립니다.

References

1. A. Khoddami, Z. M. Sebdani, and S. Malakpour, Effect of Different Poly(ethylene terephthalate) Hydrolysis to Manipulate Proper Nano-Surface Structures for Fabricating Ultra Hydrophobic Substrate, *Textiles and Polymers*, **1**(1), 36(2013).
2. S. H. Adeyemi, O. A. Adewale, and F. O. Ezekiel, Hydrolytic Degradation of Nylon-6 by Pseudomonas aeruginosa HE858284 Isolated from Solid Waste Dumpsites in Lagos State, Nigeria, *Natural Sciences Research*, **5**(2), 130(2015).
3. M. S. Park and M. W. Huh, A Study on the Crystal Structure of PET Films by the Alkali Treatment, *J. of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **8**(3), 16(1996).
4. K. V. Datye, Recycling Processes and Products in

- Nylon 6 Fibre Industry, *Indian J. of Fibre and Textile Research*, **16**, 46(1991).
5. Y. S. Song and W. S. Song, Enzymatic Treatment of Polyamide Fiber by Alcalase, *The Korean Society of Clothing and Textiles*, **35**(8), 1006(2011).
 6. D. S. Lee, Chemical Decomposition and Recycling of Polymers, *Polymer Science and Technology*, **9**(6), 456(1998).
 7. K. Ueda, M. Nakai, M. Hosoda, and K. Tai, Synthesis of High Molecular Weight Nylon 6 by Anionic Polymerization of ϵ -Caprolactam, Mechanism and Kinetics, *Polymer*, **29**, 567(1997).
 8. E. Petrovicova, R. Knight, L. S. Schadler, and T. E. Twardowski, Nylon 11/silica Nanocomposite Coatings Applied by the HVOF Process I, Microstructure and Morphology, *J. of Applied Polymer Science*, **77**, 1684(2000).
 9. J. Xiao, Y. Hu, Z. Wang, Y. Tand, Z. Chen, and W. Fan, Preparation and Characterization of Poly (butylene terephthalate) Nanocomposites from Thermally Stable Organic-modified Montmorillonite, *European Polymer J.*, **41**, 1030(2005).
 10. W. H. Carothers and J. W. Hill, Studies of Polymerization and Ring Formation XV, Artificial Fibers from Synthetic Linear Condensation Superpolymers, *The American Chemical Society*, **54**(4), 1579(1932).
 11. A. Kiumarsi and M. Parvinzadeh, Enzymatic Hydrolysis of Nylon 6 Fiber Using Lipolytic Enzyme, *J. of Applied Polymer Science*, **116**, 3140(2010).
 12. M. Y. Seo, J. H. Lee, C. M. Ok, S. H. Cho, J. W. Lee, and H. H. Cho, A Study on the Alkali Hydrolysis of Sea-island PET Ultra-microfiber, *Textile Coloration and Finishing*, **25**(4), 303(2013).
 13. M. S. Park, The Mechanical Properties and Alkali Hydrolysis on Composition Ratio of Nylon 6-Polyester Split-type Yarn, *Textile Coloration and Finishing*, **26**(4), 331(2014).