

1-Step 연사공정 적용 나일론 연사물의 제조 및 특성 연구

Study on the Preparation and Properties of 1-Step Twisted Nylon Yarns

*Corresponding author

Jae Woo Jeon
(jwjeon@dyetec.or.kr)

이준영, 전재우*, 박동규¹, 서영호¹, 임영민², 오태환^{2**}

DYETEC연구원, ¹(주)대웅FNT, ²영남대학교 유기신소재공학과

**Co-corresponding author

Tae Hwan Oh
(taehwanoh@ynu.ac.kr)

Jun Young Lee, Jae Woo Jeon*, Dong Kyu Park¹, Young Ho Seo¹, Young Min Im² and Tae Hwan Oh^{2**}

DYETEC Institute, Daegu, Korea, ¹DaewoongFNT, Daegu, Korea

²Department of Advanced Organic Materials Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Received_November 20, 2019

Revised_December 09, 2019

Accepted_December 19, 2019

Textile Coloration and Finishing

TCF 31-4/2019-12/332-340

©2019 The Korean Society of

Dyers and Finishers

Abstract Due to the change in lifestyle, new sensible materials for sportswear and outdoor are needed. This study is conducted in order to obtain the data for sensible materials through nylon twist process. 1-step nylon twisting machine was used to set the optimum twist process. DSC measurements of twisted nylon yarn showed crystallization temperatures around 170°C and melting temperatures around 220°C. Nylon 40D/13F DTY and Nylon 50D/48F DTY showed optimal results at 160°C, 1,500 T/M(Turns per meter), and Nylon 70D/68F DTY at 160°C, 1,200 T/M(Turns per meter) after 1-step twist process. Also, Nylon 40D/13F DTY was confirmed to have inter-layer property deviation of ± 5 percent.

Keywords twisting, nylon, outdoor, sportswear, turns per meter

1. 서 론

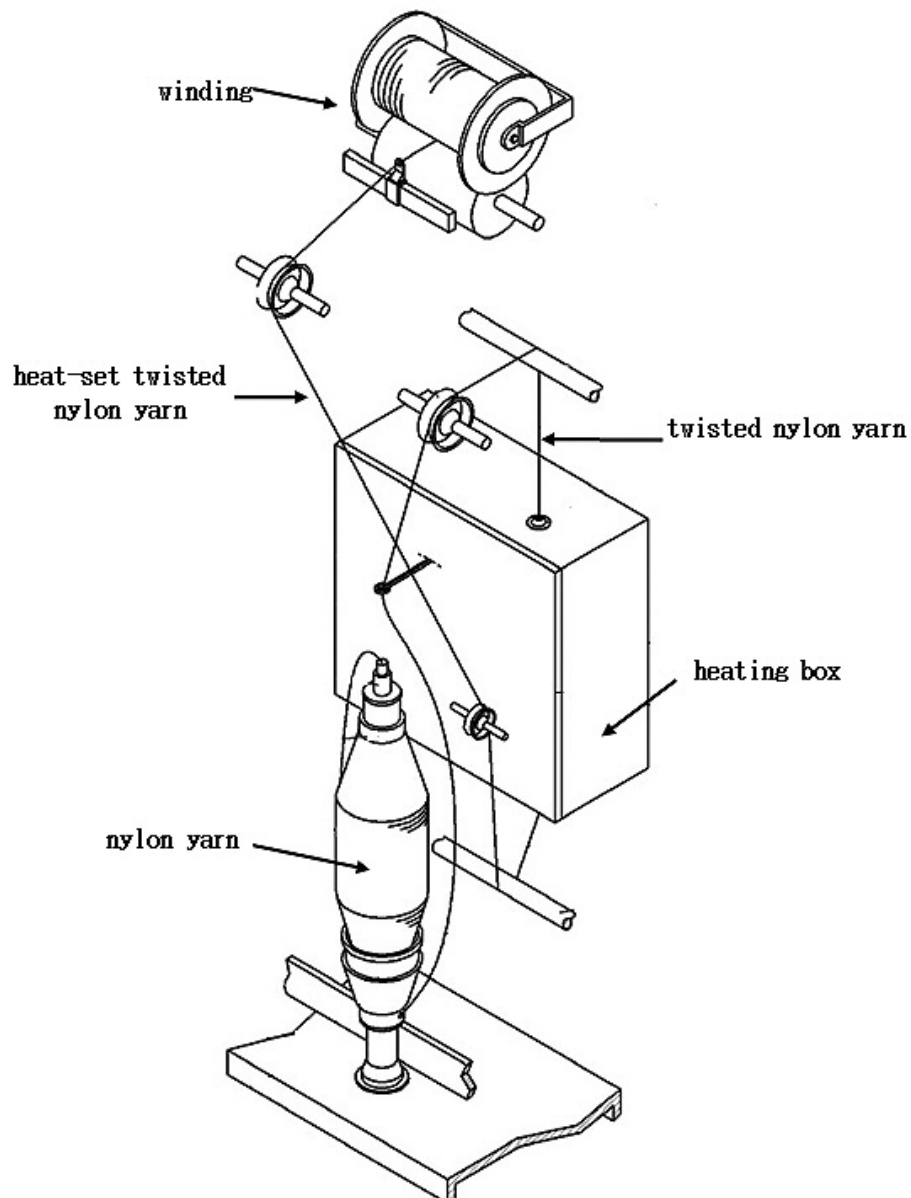
다양한 섬유제품에 대한 소비자의 요구와 현재 골프웨어, 스포츠웨어 및 아웃도어용에 사용되는 대부분의 소재는 폴리아미드계 소재이며, 국내에서는 범용 폴리에스터 소재보다 구김저항성이 크고 촉감 및 발색성이 우수한 나일론소재를 선호하고 있다. 그러나 기존의 아웃도어 및 스포츠웨어의 구매성향은 최근 여가활동의 증가로 인해 편안한 활동이 가능한 제품을 요구하고 있다. 이러한 수요에 맞추기 위한 기존의 나일론 소재가 갖는 한계에서 벗어난 터치감과 높은 구김저항성을 갖는 신감성의 소재의 개발이 필요하다^{1,2)}.

사가공은 최종용도에 따라 열역학적방법, 기계적방법, 화학 처리 등 기타의 방법으로 구분되며 이 중 열역학적방법은 합성섬유의 열가소성을 이용한다. 직물제조에 사용되는 대부분의 원사는 필라멘트의 집속성과

제직공정에서 요구되는 강도를 만족시키기 위해 가호(sizing)처리를 하거나 2-for-1 연사기에 의해 꼬임을 주게된다. 그러나 연사공정의 경우에는 꼬임에 의한 영향으로 스날(snarl)이 발생하여 제품의 품질을 저하시키기 때문에 연지공정(heat setting)을 필요로 하게 된다³⁻⁶⁾.

나일론 섬유 개발 초기에는 폴리아미드를 용융방사하여 연신을 별도공정으로 시행하는 방법을 사용하였다⁷⁾. 1960년대 2단계로 나누어져 있던 용융방사 이후 연신공정을 직결한 스핀-드로우공정(spin-draw process)이 개발되고⁸⁾ 1970년대 들어서 가연가공사(false twisted textured yarn)의 수요가 증대되어 연신과 가연공정을 직결한 POY(partial oriented yarn)-DTY(draw textured yarn)를 생산할 수 있게 되었다⁹⁾.

나일론의 가연(加燃, twist), 즉 연사공정은 실에 꼬



Scheme 1. Image of 1-step(2-for-1) nylon twisting M/C.

임을 주는 공정 이후에 진공하에서 온도와 압력을 가해 열고정(heat setting)을 하는 연지공정으로 2-step으로 진행되게 되는데 이로 인한 내·외층의 품질편차로 인해 현재는 나일론 연사물이 쓰이지 않고 폴리에스터의 가호(sizing)물이나 연사물이 쓰이고 있는 실정이다¹⁰⁾.

본 연구에서는 연사-연지공정이 온라인(on-line) 방식의 연속공정으로 적용된 1-step 나일론 연사기술을 활용하여 Nylon 40D/13F DTY, Nylon 50D/48F DTY, Nylon 70D/68F DTY에 대한 분석과 나일론 연사공정에 대한 기초적인 데이터를 마련하고자 하였다.

2. 실험

2.1 1-step(on-line) 연사장치

본 연구에서 사용된 연사기는 Scheme 1과 같이 RPR-GC96FF 기종으로 나일론 원사를 2-for-1 연사기로 연사하는 과정에서, 연사부를 통하여 나일론 원사에 꼬임이 부여된 나일론 연사물을 얻고, 나일론연사물에 가해진 꼬임을 히팅챔버(heating chamber)를 통해 열고정(heat setting)시킨 다음 권취될 수 있도록 적용된 연사공정장비를 사용하였다.

Table 1. Specification of the twist yarn

Yarn	Winding speed (m/min)	Tension (g)
Nylon 40D/13F DTY	500	12
Nylon 50D/48F DTY	500	12
Nylon 70D/68F DTY	500	22

2.2 시료

본 실험을 위해 사용된 시료는 W社의 Nylon 40D/13F DTY, Nylon 50D/48F DTY, Nylon 70D/68F DTY를 Table 1에서와 같은 조건으로 편와인딩 (pirn winding) 하여 1-Step 연사공정을 진행하였다.

2.3 실험방법

2.3.1 섬도분석

필라멘트사의 섬도측정방법(KS K 0416)에 따라 섬도를 측정하였다.

2.3.2 강신도 측정

Universal Testing Machine(Zwick, Z005, Germany)을 사용하여 인장시험을 진행하였으며 파지거리 250mm, 속도 250mm/min로 측정하였다.

2.3.3 열분석

DSC(Perkin-Elmer, Diamond, USA)를 사용하여 질소기류하에서 10°C/min의 승온 및 강온속도로 온도범위 30~300°C로 측정하였다.

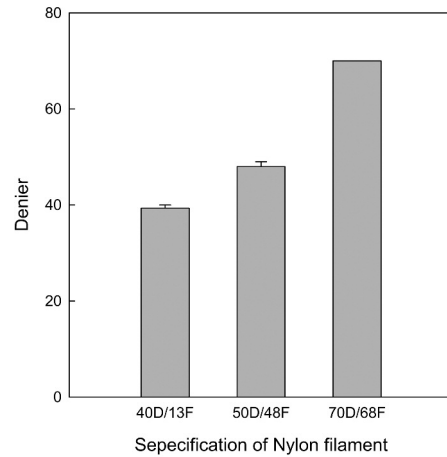
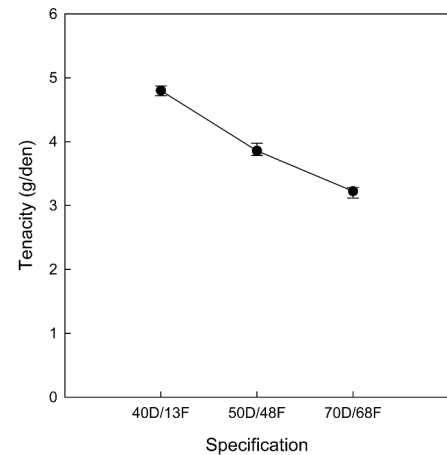
2.3.4 XRD 분석

회절분석기(Rigaku Denki D/MAX-2500, USA)를 사용하여 3°/min의 스캔속도로 WAXS(Wide angle X-ray scattering, USA)를 측정하였다.

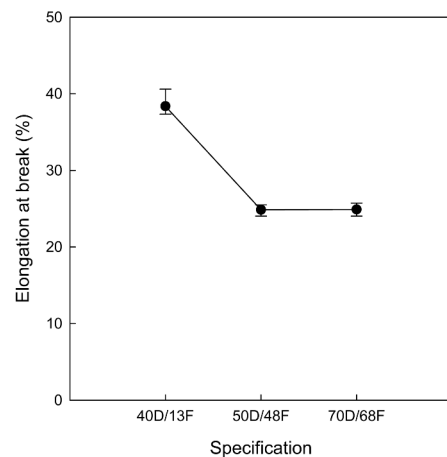
3. 결과 및 고찰

3.1 1-step 연사공정 소재 원사의 특성

나일론 연사공정 전의 원사의 특성을 분석하기 위한 섬도 분석을 Figure 1에 나타내었다. 40D, 50D, 70D의 원사의 데니어는 제시된 스펙과 동일하며 데니어 편차가 적은 것으로 확인되었다.

**Figure 1.** Denier of nylon yarn for twisting process.

(a) Tenacity



(b) Elongation at break

Figure 2. Tenacity and elongation of nylon yarn for twisting process.

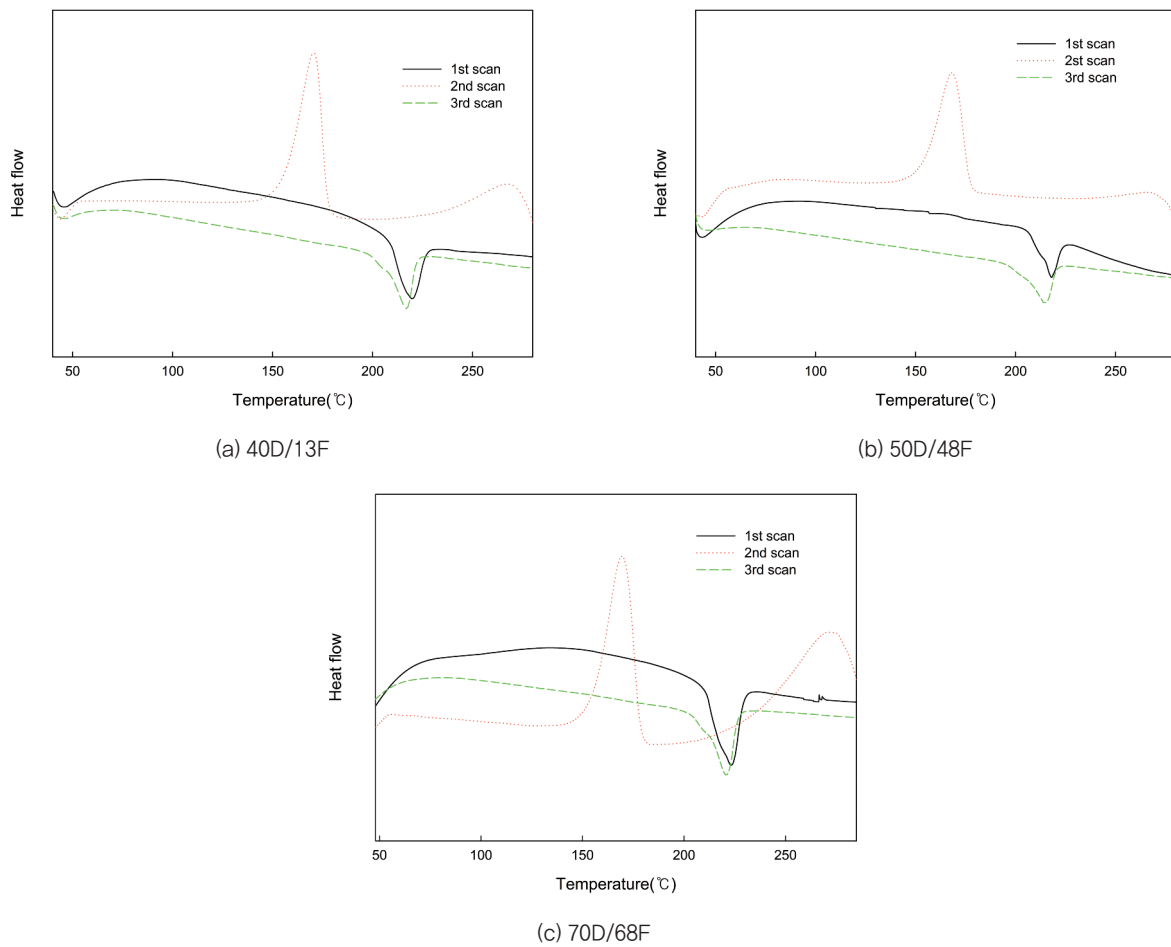


Figure 3. DSC curves of nylon yarn.

Figure 2에서 확인한 결과 나일론 연사공정 전 원사 (40D/50D/70D)의 강도는 3~5g/d 사이에서 나타내었으며, 신도는 40D/13F가 약 38%, 50D/48F와 70D/68F가 약 25%로서 50D/48F와 70D/68F는 파단신도 차이가 거의 없었다. 파단신도는 40D/13F 나일론 원사에서 신도의 표준편차가 상대적으로 큰 것을 확인할 수 있었다.

40D/13F, 50D/48F, 70D/68F의 원사의 DSC 1st, 2nd, 3rd 스캔한 DSC 커브를 Figure 3에 나타내었다.

Figure 3의 DSC 커브에서 40D/13F, 50D/48F, 70D/68F 모두 나일론 고분자의 고유 피크를 나타낼 수 있었으며, 측정에 따른 용융열(ΔH)과 용융온도 (T_m), 결정화열(ΔH_c), 결정화온도(T_c)를 Table 2에 나타내었다. 2nd 스캔에서의 데이터는 결정화온도는 170°C 근방으로 나타나며, 연사 이후 히팅챔버(heating chamber)의 열처리 온도를 결정화온도로 설정해야 할 것으로 보인다. 1st 스캔과 3rd 스캔에서의 용융온도는 220°C시 전후로 측정되며 나일론 연사공정 진행시

Table 2. Results obtained from DSC curve of nylon for twisting process

	1 st scan		2 nd scan		3 rd scan	
	$\Delta H(J/g)$	$T_m(^{\circ}C)$	$\Delta H(J/g)$	$T_m(^{\circ}C)$	$\Delta H(J/g)$	$T_m(^{\circ}C)$
40D/13F	56.91	219.5	57.02	170.67	49.61	216.71
50D/48F	37.31	217.95	57.12	168.07	46.53	214.80
70D/68F	59.29	223.11	53.85	169.47	44.42	220.97

Table 3. 1-step nylon yarn temperature condition

No.	Yarn	Twist(T/M)	Heat-set temp.(°C)	Appearance*
1	Nylon 40D/13F	1,500	130	X
2			140	△
3			150	○
4			160	◎
5			170	△

*Appearance : Excellent ◎)○)△)X Bad

나일론연사물의 물성에 영향을 미치지 않기 위해 열처리 온도를 200°C 이하로 설정해야 할 것으로 판단된다.

3.2 1-step 연사공정 조건에 따른 연사원사의 특성

1-step 방식으로 Nylon 40D/13F DTY에 대한 열처리에 대해서 온도별로 테스트를 진행한 결과를 Table 3에 나타내었다.

1,500 T/M(Turns per meter)으로 꼬임수를 고정하고 130°C~170°C로 10°C 간격으로 높여가며 연사공정 이후의 원사에 대한 외관상태를 확인한 결과, 160°C에서 열고정온도가 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 열처리 온도가 낮은 경우의 외관상태는 열에 의

한 고정이 제대로 이루어지지 않아 나일론 연사 이후 열고정을 할 수 있는 충분한 열적거동이 일어나지 않음으로 판단된다.

앞서 Table 2의 결과에서는 결정화온도 부근인 170°C에서 열고정을 진행해야 된다고 판단하였으나 실제 열처리(heat setting)에서 결정화가 너무 진행되어 원사가 뻣뻣(rigid)해지는 경화현상이 발생하였다.

160°C로 열처리를 고정한 상태에서 Nylon 40D/13F DTY, Nylon 50D/48F DTY, Nylon 70D/68F DTY 세종류의 원사를 900~1,600T/M으로 1-step 연사공정을 거친 나일론 연사원사의 외관상태에 대한 결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Comparison of nylon yarns by twist

No.	Yarn	Twist(T/M)	Appearance*
1	Nylon 40D/13F	1,200	X
2		1,300	X
3		1,400	△
4		1,500	○
5		1,600	◎
6	Nylon 50D/48F	1,200	X
7		1,300	X
8		1,400	△
9		1,500	○
10		1,600	◎
11	Nylon 70D/68F	900	△
12		1,000	△
13		1,100	△
14		1,200	○
15		1,300	◎

*Appearance : Excellent ◎)○)△)X Bad

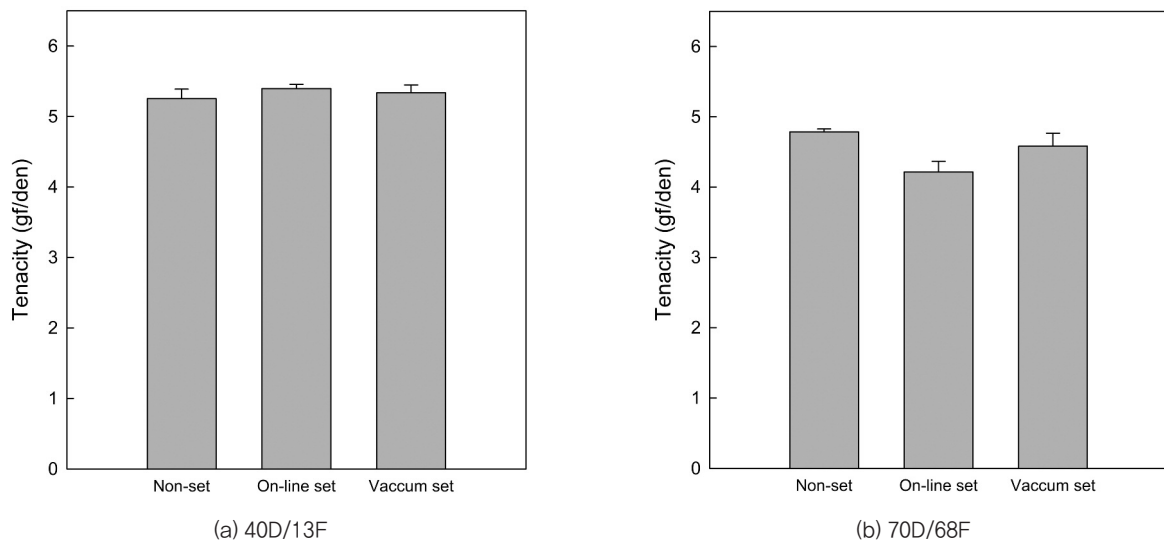


Figure 4. Comparison of tenacity between nylon.

나일론 40D/13F와 50D/48F는 데니어 편차가 크게 나지 않아 동일한 결과를 나타내며 T/M이 낮을수록 편사(defect)가 발생하고 1,500 T/M에서 최적의 외관상태를 나타냄을 확인하였다. 나일론 70D의 경우 1,200 T/M에서 최적의 외관상태를 나타냈으며 1,200 T/M 이상에서는 원사의 섬도가 높아져 이상의 작업이 불가능하였다.

사를 사용하여 1-step(on-line set) 연사공정을 거친 연사물과 2-step(twisting-vaccum set, 연사-연지) 연사공정을 거친 연사물의 물성을 비교한 결과를 아래 Figure 4에 나타내었다.

3.3 1-step 연사공정과 2-step 연사공정의 물성 및 특성 비교

Nylon 40D/13F DTY, Nylon 70D/68F DTY 원

연사공정에 의한 강도변화는 40D에서는 1-step 연사공정과 2-step 연사공정 모두 강도변화가 없었으며 70D에서는 연사공정 이후에 강도저하가 소폭 발생되었음을 확인하였지만 원단으로 적용시키기에 가능할 것으로 판단된다. 연사공정에 의한 40D와 70D 원사의 신도변화를 Figure 5에 나타내었다. 1-step 연사공

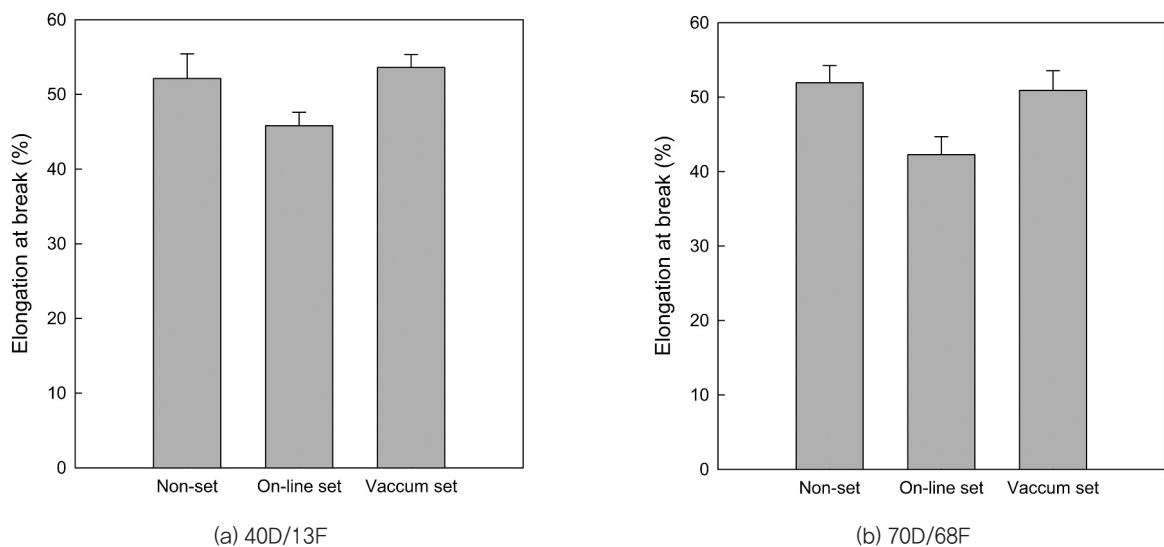


Figure 5. Comparison of elongation between nylon.

Table 5. Results obtained from DSC curve of twisted nylon yarn

Yarn		1 st scan		2 nd scan		3 rd scan	
		$\Delta H(\text{J/g})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$	$\Delta H(\text{J/g})$	$T_m(^{\circ}\text{C})$
40D/13F	Non-set	43.95	219.3	59.41	177.27	52.38	214.73
	1 step	64.33	223.34	54.73	173.33	46.39	219.52
	2 step	40.14	216.98	56.07	173.36	49.19	219.39
70D/68F	Non-set	40.14	215.20	53.08	166.40	45.47	213.90
	1 step	36.70	219.51	52.65	166.19	43.25	214.01
	2 step	57.69	218.60	53.38	172.59	44.05	220.31

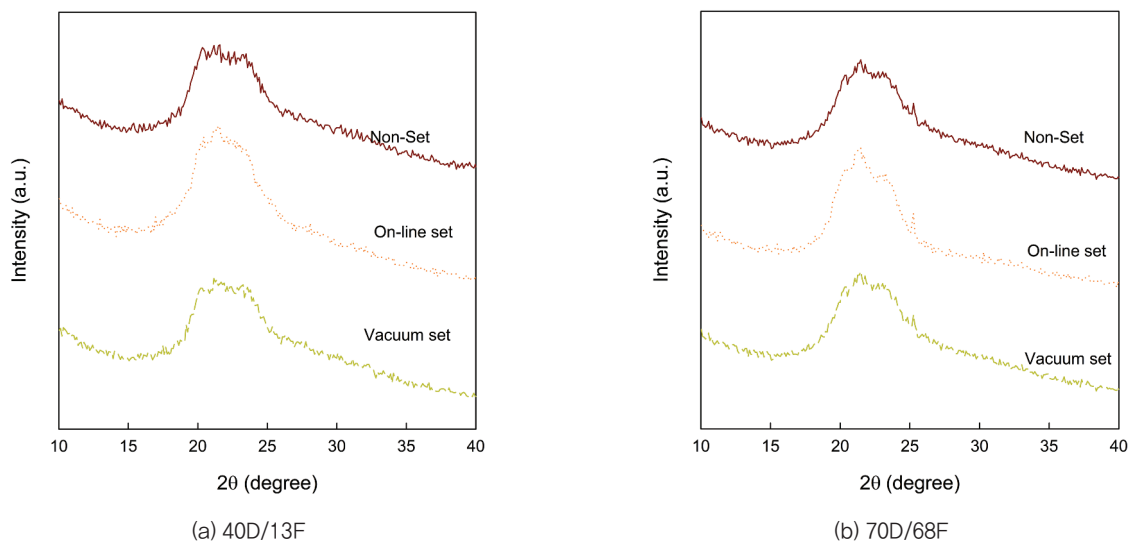
정에 의한 신도가 2-step 연사공정에 비해서 낮아졌으며 2-step 연사공정을 거친 원사는 연사공정을 거치지 않은 나일론 원사와 비교하여 강도와 신도 모두 비슷한 수준을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

미처리, 1-step 연사공정 및 2-step 연사공정을 거친 나일론 원사(40D/13F, 70D/68F)의 DSC 1st, 2nd, 3rd 스캔한 DSC 측정 결과를 Table 5에 나타내었다. 측정에 따른 용융열(ΔH)과 용융온도(T_m), 결정화열(ΔH_c), 결정화온도(T_c)에서는 열적특성에서 나타나는 변화는 발견되지 않았으며 1-step 연사공정에 의한 열적거동에 큰 변화는 없음을 알 수 있다.

미처리, 1-step 연사공정 및 2-step 연사공정을 거친 나일론 원사(40D/13F, 70D/68F)의 WAXS 측정 결과를 Figure 6에 나타내었다.

나일론 6의 결정구조 피크(peak) 모든 조건에서 동등하게 나타나며 열고정에 의한 변화는 크지 않음을 알 수 있었다. 나일론 6의 경우 $2\theta=20.2^{\circ}$ 및 $2\theta=24^{\circ}$ 에서 α 형 결정의 (200) 및 (002+202)면이 나타나며 $2\theta=21.8^{\circ}$ 및 $2\theta=22.7^{\circ}$ 에서 γ 형 결정의 (200) 및 (002)면이 나타난다고 알려져 있다¹¹⁾. 결정구조는 DTY(draw textured yarn) 특성으로 인해 결정 피크(peak)가 뚜렷하게 나타나지는 않음을 확인할 수 있었다. 1-step 공정과 2-step 공정에 의한 결정구조는 유사한 경향을 나타내며, 1-step 공정에 의해 결정구조의 변화가 크지 않으므로 기존방식의 2-step 공정을 대체 가능한 것으로 판단된다.

나일론 70D/68F DTY 원사의 1-step 연사공정을 거친 연사완권(full package)의 내/중/외층의 강신도

**Figure 6.** Comparison of X-ray curves between nylon.

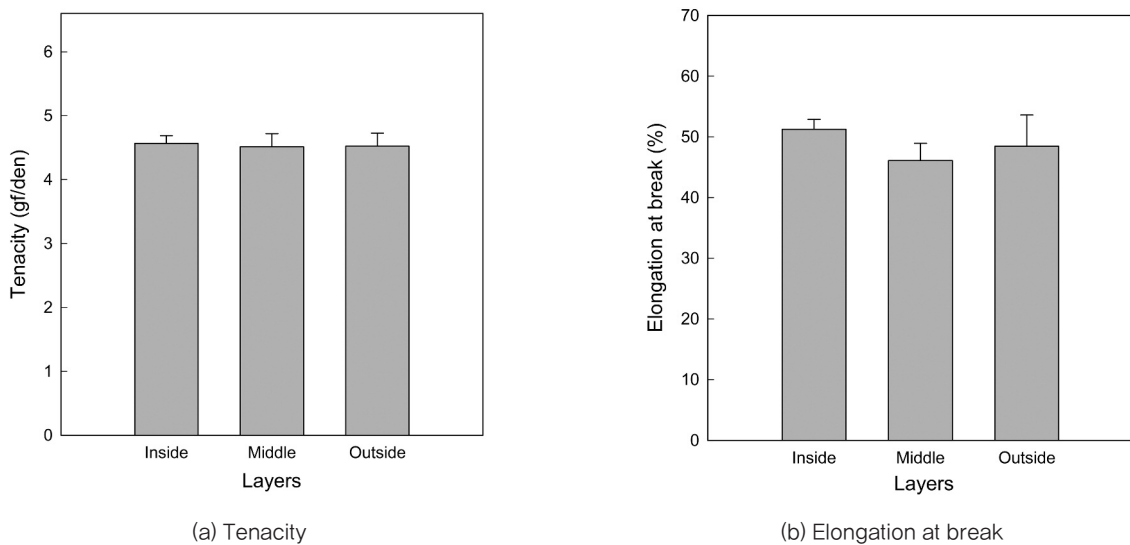


Figure 7. Tensile strength of inner, middle and outer layers of full package(Nylon 70D/68F DTY).

에 대한 결과를 Figure 7에 나타내었다.

강신도를 비교한 결과 1-step 연사물의 내외층 물성 편차는 강도에서는 내외층 편차가 거의 나지 않으며 신도의 경우 신도편차 수준 $\pm 5\%$ 내외로 1-step 연사공정으로 제조된 연사의 경우 내외층 편차는 만족할 만한 수준으로 나타나는 것으로 판단된다.

4. 결 론

1-step 연사공정을 적용한 Nylon 40D/13F DTY, Nylon 50D/48F DTY, Nylon 70D/68F DTY 원사의 섬도, 강신도, 열적특성 분석을 통해 1-step 연사공정 조건에 따른 연사원사의 특성을 분석하고 기존의 미처리된 원사와, 1-step 연사공정 및 2-step 연사공정을 거친 연사원사의 물성 및 특성을 비교하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

나일론 연사공정을 위한 원사의 결정화온도는 170°C 부근으로 나타났으며, 용융온도는 220°C 전후로 확인되었다.

나일론 연사공정의 heat setting 온도는 160°C 에서 최적의 외관상태를 나타내었으며, 160°C 에서 40D와 50D는 1,500T/M에서, 70D는 1,200T/M에서 최적의 외관상태로 나타내었다.

1,500T/M 나일론 40D는 1-step 연사공정으로 160°C 열처리했을 때, 실린더 연사물의 내외층 강신도를 분석할 결과, 강도는 내외층의 편차가 발생하지 않

았고, 신도는 약 $\pm 5\%$ 편차가 발생하나 내외층의 편차는 거의 없음을 알 수 있었다.

감사의 글

본 연구결과는 구매조건부신제품개발사업(S2657487) 결과의 일부로서 관계기관에 감사드립니다.

References

1. M. H. Chung and H. H. Cho, Dyeing Properties of Sulfur Dye using Nylon High Density Knitting Fabrics, *Journal of the Korea Fashion and Costume Design Association*, **16**(1), 117(2014).
2. D. H. Cho, S. H. Moon, and S. J. Kim, Development of Nylon Release Type High-emotion Sports Material, *The Korean Society of Clothing and Textiles*, **2006**(1), 208 (2006).
3. E. G. Lee, S. J. Kim, and T. H. Kim, The Study on the Physical Property of PET Filament in the 2-for-1 Twist Setting Process, *Journal of the Korean Society of Dyers and Finishers*, **12**(2), 89(2000).
4. D. J. Williams, "Polymer Science and Engineering", Prentice Hall, New Jersey, pp.36-38, 1971.
5. J. A. Brydson, "Plastics Materials", 6th Ed., Butterworths, Oxford, pp.23-24, 1995.

6. J. T. Huh, K. J. Lee, P. K. Park, and Y. S. Chung, Dyeing Properties of Nylon Filaments According to Spinning Process, *Text. Sci. Eng.*, **44**, 106(2007).
7. W. H. Carothers, Synthetic Fiber, *U.S. Patent*, **2,130,948**(1937).
8. J. J. Kilian, Process of Melt Spinning and Stretching Filaments by Passing Them through Liquid Drag Bath, *U.S. Patent*, **3,002,804**(1961).
9. M. J., Piazza and C. E., Reese, Polyester Yarn for Draw-Texturing Process, *U.S. Patent*, **3,772,872**(1973).
10. G. Heberlein, Apparatus for Imparting False Twist to Yarn, *U.S. Patent*, **2,655,781**(1953).
11. J. M. Samon, J. M. Schultz, J. Wu, B. Hsiao, F. Yeh, and R. Kolb, Study of the Structure Development during the Melt Spinning of Nylon 6 Fiber by On-Line Wide-Angle Synchrotron X-ray Scattering Techniques, *Journal of Polymer Science : Part B, Polymer Physics*, **37**, 1277 (1999).

Authors

이준영 DYETEC연구원 전임연구원
전재우 DYETEC연구원 팀장
박동규 (주)대웅FNT 이사
서영호 (주)대웅FNT 연구소장
임영민 영남대학교 유기신소재공학과 연구원
오태환 영남대학교 유기신소재공학과 교수