

〈연구논문(학술)〉

## 가연조건에 따른 나일론 섬유의 물성(I) - 가연속도와 연신비의 영향 -

허종태

중소기업청

### Physical Properties of Nylon Textured Yarn according to False Twist Texturing Parameters(I) - Effect of Speed and Draw Ratio -

Jong Tea Hu

Small and Medium Business Administration

(Received: November 27, 2007/Revised: January 7, 2008/Accepted: January 30, 2008)

**Abstract**— Texturing is the process of including a characteristic of a natural fiber in a synthetic fiber. The most common method of it is the false twist texturing. Nylon textured yarn is primarily manufactured by the disk type. The major process parameters of the disk type false twist machine are speed, draw ratio, disk/yarn, and heater temperature. This study therefore investigated the effects of false twist texturing, especially speed and draw ratio, on the physical properties of nylon textured yarn. The increase of speed was proportional to the increase of unwinding tension, which could reduce the production efficiency by elevating the tension affecting to fiber during the process. In addition, the increase of speed was inversely proportional to the increase of crimp rigidity of nylon textured yarn. Draw ratio was proportionally increased with the increase of tenacity and the reductions of fineness and elongation, showing the influence of draw ratio to the ultimate physical properties of textured yarn.

**Keywords:** nylon, false twist texturing, speed, draw ratio, crimp rigidity

## 1. 서 론

다양한 섬유제품에 대한 소비자 요구와 천연자원의 감소로 인해 필연적으로 탄생된 합성섬유는 강도, 탄성, 신축성 및 내마모성이 우수하여 섬유시장에서 차지하는 비중이 갈수록 높아지고 있다. 하지만 합성 섬유는 천연섬유가 가지고 있는 광택, 부피감, 보온성 및 촉감 등 사용자가 중요하게 생각하는 부분이 부족한 단점을 가지고 있다. 초기에는 합성섬유의 장점이 알려지면서 각광을 받아왔으나 이런 문제로 인해 소비자의 외면을 받기도 하였다. 합성섬유는 이런 단점을 극복하여 소비자의 요구에 부응하기 위한 부단한 노력을 해왔으며, 합성섬유에 천연섬유가 가지

고 있는 특성을 부여하기 위한 여러 가지 기술이 개발되었다.

사가공은 합성섬유의 규칙적인 구조를 다소 불규칙하게 하여 천연섬유의 우수한 특성을 부여하기 위한 공정이다. 이는 개개의 필라멘트가 열, 역학, 화학적으로 변형되고, 이로 인해 실에서의 그들의 공간적 배열이 바뀌게 하는 방법이다. 직선 구조인 필라멘트의 연속성을 유지하며 직선인 필라멘트에 영구적인 미세한 변형, 크림프, 루프, 코일, 주름을 부여하는 것이란 정의도 있다<sup>1)</sup>.

사가공은 최종 용도에 따라 열역학적 방법, 기계적 방법, 화학 처리 등 기타의 방법으로 구분된다. 이 중 열역학적 방법은 합성섬유의 열가소성을 이용한다.

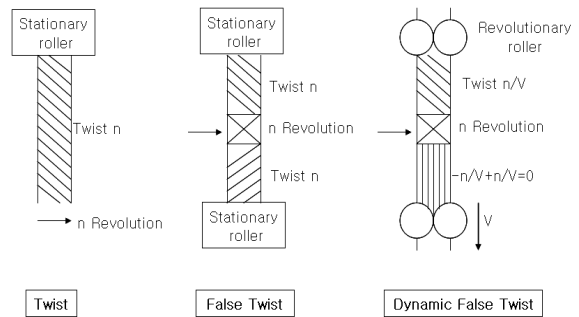
<sup>†</sup>Corresponding author. Tel.: +82-32-450-1117; Fax.: +82-32-818-7469; e-mail: texcolor@hanmail.net

열가소성은 열 또는 응력이 적용될 경우 분자간에 자유롭게 미끄러져 변형이 일어날 수 있고, 외력이 제거될 경우 변형된 형태로 고정되는 성질이다<sup>23)</sup>. 열역학적 방법의 대표적인 것이 가연가공 기술이다. 가연가공의 원리는 우선 가연(加燃)과 가연(假燃)의 차이를 이해하는 것이 중요하다. Scheme 1에 두 가지 차이점을 이해하기 쉽도록 나타내었다. 가연(加燃)은 한 쪽 끝을 고정하고 다른 쪽 끝에서 꼬임을 부여하는 것으로 회전수가 늘어날수록 꼬임수도 증가하게 된다. 반면 가연(假燃)은 양 끝을 고정한 후 중간에서 꼬임을 부여하는 것으로 꼬임을 부여하는 장치를 중심으로 서로 반대의 꼬임이 부여되어 실 전체적으로 꼬임수는 0이 되게 된다. 실제 공정에서는 고정부분이 회전을 하는 롤러이므로 진행하면서 꼬임이 풀어져 전체 꼬임수가 0인 가연사가 생산되는 것이다. 이런 이유로 가연(假燃) 또는 false twist라는 명칭이 생기게 되었다<sup>4)</sup>.

나일론 섬유는 구조단위가 아미드기(-CO-NH-)에 의해 연결된 합성고분자 중 지방족 단량체로 이루어진 폴리아미드계 섬유이다. 나일론 섬유 개발초기에는 폴리아미드를 용융방사 한 후 연신을 별도 공정으로 시행하는 2 단계 방법이 제안되었다<sup>5)</sup>. 용융방사에서 방사속도를 고속화함으로써 연신 공정을 생략하여 방사공정 한 단계로 실용적인 섬유를 제조하려고 시도하였다<sup>6,7)</sup>. 1960년대에는 2 단계로 나누어져 있던 방사-연신공정을 직결한 방사-연신공정(spin-draw process)이 개발되고<sup>8)</sup>, 1970년대에 들어와 가연가공사(false twisted textured yarn)의 수요가 증대되면서, 방사속도를 3,000~3,500 m/min로 하여 POY (Partially Oriented Yarn)를 만들어, 연신-가연공정을 직결한 POY-DTY(draw tetured yarn)을 생산할 수 있게 되었다<sup>9)</sup>.

가연방식은 편, 디스크, 벨트 방식으로 구분된다. 편 방식은 가장 안정적인 품질을 발현할 수 있으나 저속으로 인해 생산성이 떨어져 최근에는 거의 사용되지 않고 있다. 폴리에스터 가연에 많이 사용되는 벨트 방식은 나일론 세데니아에는 부적합하여 나일론 가연에는 거의 사용되지 않는다. 디스크 방식이 나일론 섬유의 범용 방식으로 사용되고 있다<sup>10,11)</sup>. 가연공정의 개발과 함께 가연사의 특성에 대한 이론적 연구가 진행되었으나, 요즘은 잘 사용하지 않는 편 방식 가연기에 대한 연구가 주로 진행되었다<sup>12)</sup>. 국내에서는 벨트 방식을 사용하는 폴리에스터에 대한 연구가 행해졌으나, 디스크 방식을 적용하는 나일론에 대한 종합적 연구는 전무한 상황이다<sup>13)</sup>.

최근 나일론 섬유는 천연섬유의 광택과 유사한 full-dull 제품이 꾸준히 증가하고 있으며, 가연공정 역시 85denier/68filament(85d/68f) full-dull 제품에 대한 요구가 있었다. 하지만 국내 가연공정에서는 아직 85d/68f full-dull에 대한 경험이 없어 조건 확립 및 생산과정에서 발생하는 문제점이 전혀 파악되어 있지 못하다. 본 연구에서는 나일론 6 85d/68f full-dull POY를 이용하여 가연가공을 수행할 때 디스크 방식인 Barmag FK-6 가연기의 공정조건 중 가연속도와 연신조건에 의한 나일론 가연사의 물성을 고찰함으로써 나일론 가연사의 최적조건 결정에 필요한 이론적 기초를 마련하고자 하였다.



Scheme 1. Principle of false twist.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

시료는 Table 1에 나타난 chip 조건으로 POY 공법을 적용하여 생산된 85d/68f full-dull 나일론 6 부분배향사((주)효성)를 사용하였다. 85d/68f full-dull 나일론 6 부분배향사의 물성은 Table 2와 같다.

Table 1. Conditions of chips

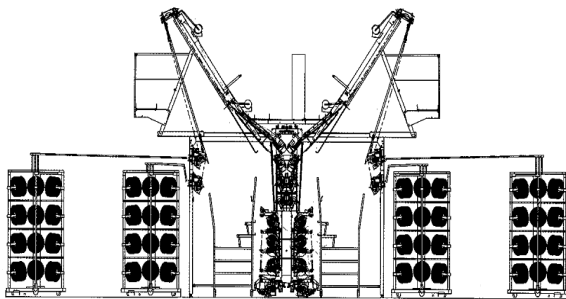
Relative Viscosity	2.47
Moisture Content	0.05%
Amino End Group Content(-NH <sub>2</sub> )	42 mmol/Kg
TiO <sub>2</sub> Content	1.5 ± 0.05%

Table 2. Physical properties of nylon 85d/68f POY

Denier	Tenacity (g/d)	Elongation (%)	5% Strength(g)	U%	Entanglement (ea/m)	OPU (%)
85.3	4.45	68.5	66.0	0.97	1.1	0.53

## 2.2 가연장치

사용된 가연기는 Barmag FK-6기종으로 Scheme 2와 같다. 실에 꼬임을 부여하는 장치는 디스크를 이용하며 디스크의 재질은 세라믹과 폴리우레탄으로 구분되나, 나일론 마이크로 가연에는 세라믹이 더 좋은 품질을 보여주므로 세라믹 디스크를 사용하였다. 또한 디스크 장치는 inlet disk 1매, 주 디스크 6매, 나이프 디스크 1매를 0.5 mm 간격으로 구성하였다. 디스크는 직경 52 mm, 두께 9 mm인 세라믹 디스크를 사용하였다. 히터는 dowtherm을 이용한 접촉 방식을 사용하였으며, 접촉 길이를 조절할 수 있는 2 m 길이 히터이나 본 실험에서는 2 m 길이를 모두 접촉하였다. 2nd 히터가 있으나 본 실험에서는 사용하지 않았다.



Scheme 2. Schematic false twist machine of Barmag FK-6.

## 2.3 실험 방법

### 2.3.1 가연속도별 실험

가연조건에서 연신비 1.23, D/Y 1.9, 히터 온도 180°C로 고정하였으며, 나머지 보조적인 작업조건 역시 고정하였다. 반면 가연속도는 400, 500, 600, 700, 800 m/min으로 변화시켜가며 5주에서 가연실험을 진행하였으며, 가연작업 중 해사장력, 가연 및 해연장력 등을 측정하였다.

### 2.3.2 연신조건별 실험

가연조건에서 가연속도 500 m/min, D/Y 1.9, 히터온도 180°C로 고정하였으며, 나머지 보조적인 작업조건 역시 고정하였다. 반면 연신비는 1.19, 1.21, 1.23, 1.25, 1.27, 1.29로 변화시켜가며 5주에서 가연실험을 진행하였으며, 가연작업 중 해사장력, 가연 및 해연장력 등을 측정하였다.

## 2.4 물성 측정

### 2.4.1 해사장력 측정

Barmag FK-6 가연기에서 제1 피드롤러를 통과하기 바로 전에 위치한 가이드 부위에서 휴대용 장력

측정기를 이용하여 각 조건당 5주에 대해 측정하여 평균하였다.

### 2.4.2 가연 및 해연장력 측정

가연장력은 Barmag FK-6 가연기에서 실이 디스크를 통과하기 전 위치에서, 해연장력은 실이 디스크를 통과하여 나오는 지점에서 측정하였으며 각 조건당 5주에 대해 측정하여 평균하였다.

### 2.4.3 섬도 측정

25°C, 65% 상대습도 하에서 보관한 후 둘레가 1 m 인 전동식 랩 릴을 이용하여 90회 회전한 샘플을 채취하였으며, 소수점 네 자리까지 측정이 가능한 전자저울을 이용하여 각 시료당 4회 측정하여 평균하였다.

### 2.4.4 강·신도 측정

만능 인장강도 시험기(Instron, USA)를 사용하여 25°C, 65%의 상대습도에서 인장시험을 하였으며, 시료길이 20 cm, 인장속도 20 cm/min으로 각 시료당 10회 측정하여 평균하였다.

### 2.4.5 Crimp Rigidity(CR%) 측정

KS-K 0419에 따라 0.1 g/d의 장력하에서 권취장치를 이용하여 가연사 타래를 만들었다. 이가연사 타래에 0.002 g/d의 초하중과 0.1 g/d의 본 하중을 부여하여 20 °C 물속에서 2분간 방치한 후 길이를 측정하고, 0.1 g/d의 본 하중을 제거하고 2분 후 길이를 측정하였고, 시료당 2회 평균하였다<sup>14,15)</sup>.

$$CR\% = \frac{L_1 - L_2}{L_1} \quad (1)$$

L<sub>1</sub> : Length after 2 minutes with 0.002 g/d and 0.1 g/d loading

L<sub>2</sub> : Length after further 2 minutes with 0.002 g/d loading

### 2.4.6 Oil Pick-Up(OPU) 측정

가연사를 5 g 정도 채취하여 무게를 측정한 후 드라이오븐에서 2시간 건조한 후 데시케이터에서 30분간 보관 후 무게를 측정하였다. 그런 후 CCl<sub>4</sub>로 처리하고 드라이오븐에서 2시간 건조한 후 데시케이터에서 30분간 보관 후 무게를 측정하였으며 시료당 2회 평균하였다.

$$OPU\% = \frac{W_2 - W_3}{W_1} \quad (2)$$

W<sub>1</sub> : Sampling weight

W<sub>2</sub> : Weight after drying and desiccator treatment

W<sub>3</sub> : Weight after CCl<sub>4</sub> treatment

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 가연속도가 물성에 미치는 영향

가연공정에서 가연속도는 품질면에서는 가연사 크립프의 열고정, 생산성면에서는 생산량과 연관된다. 생산효율을 높이기 위해서는 고속화가 필수적이지만, 고속 주행시 실과 히터와의 접촉시간이 짧아져 크립프의 열고정이 충분히 되지 않을 수 있다. 고속 주행을 위해서는 실과 히터와의 접촉시간을 고려해야 하며, 가연속도를 높이기 위해서는 고속 주행이 가능한 설비의 개발뿐만 아니라, 사용되는 POY의 품질 향상 등 추가적인 기술의 발전이 동반되어야 가능하다. 최근 개발된 가연기는 1,500 m/min을 최고속도로 하지만 나일론의 경우 고속으로 운행시 작업성이 저하되어 생산효율 증대가 어렵다.

국내에서 85d/24f semi-dull의 경우 가연속도는 600 m/min을 최고속도로 인식하고 있다. 본 실험에 사용된 85d/68f full-dull의 경우 고속으로 주행시 작업성이 크게 저하하고 가연기의 부품 교환주기가 빨라지는 문제가 있어 500 m/min를 넘기기 어려운 상황이다.

Fig. 1은 가연속도 변화에 따른 가연장력과 해연장력의 변화이다. 가연속도가 증가함에 따라 가연장력 및 해연장력 모두 조금씩 증가하였다. 고속주행에 따라 실을 섬유축 방향으로 신장시키는 효과가 있으며, 이는 실에 걸리는 응력의 증가를 유발하게 되어 가연장력 및 해연장력이 증가하게 되는 것이다. 이런 이유로 고속으로 가연시에는 사절이 발생할 가능성도 높아지게 되어 작업성이 저하하게 된다.

Fig. 2는 가연속도 변화에 따른 해사장력의 변화이다. 해사장력은 실이 치즈에서 풀려 나와 가연기에 공급되는 시점의 장력으로 해사장력의 증가는 작업성 저하의 주요 요인이 되게 된다. Fig. 2에 나타난 것과 같이 가연속도가 증가함에 따라 해사장력 역시 급속한 증가를 확인할 수 있다. 이런 해사장력의 증가는 POY의 권취 상태, 유제 등으로 다소나마 완화할 수 있다.

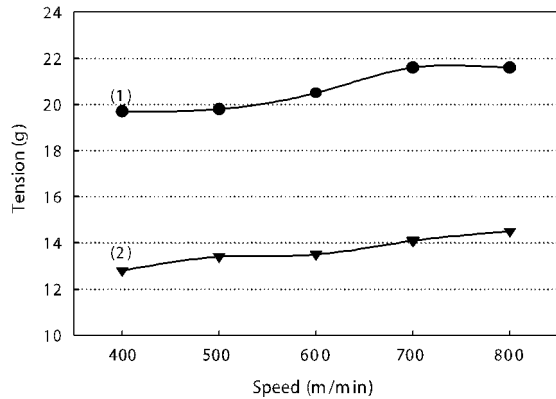
Fig. 3은 가연속도 변화에 따른 섬도의 변화이다. 앞서 설명한 것과 같이 가연속도의 증가는 실을 인장하는 효과도 있기 때문에 가연속도가 증가함에 따라 섬도는 감소하는 경향을 보여주었다.

Fig. 4는 5% 강력을 나타낸 것으로 현장에서는 나일론의 modulus를 대신하는 값으로 널리 이용된다. 5% 강력의 증가는 가연속도의 증가에 따라 미세하

게 배향결정화가 이루어지기 때문이다.

Fig. 5는 신도의 변화를 나타낸 것으로 가연속도의 증가는 인장력의 증가를 유발하므로 신도가 감소한 경향성을 보여주었다.

Fig. 6은 가연속도 변화에 따른 CR%의 변화이다. 가연사의 크립프는 가연 및 해연의 정도에 의해 영향을 받는 인자이다. 즉 디스크에 의해 꼬임이 얼마나 부여되느냐에 달려있다고 할 수 있다.



(1) Twist tension (2) Untwist tension  
Fig. 1. Twist and untwist tensions as a function of speed.

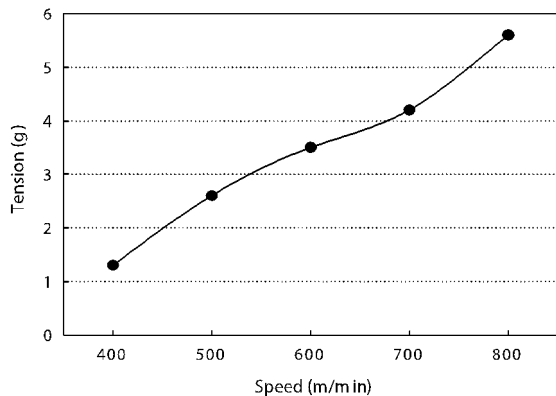


Fig. 2. Unwinding tension as a function of speed.

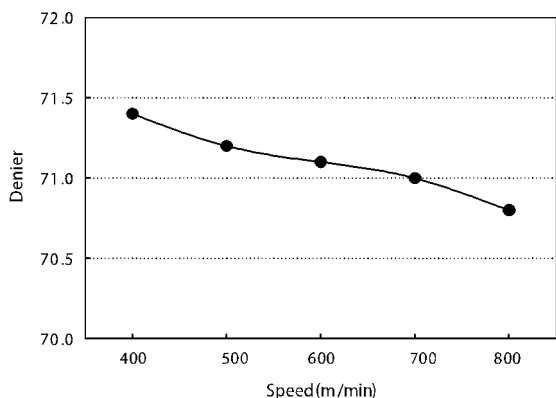


Fig. 3. Denier of textured yarn as a function of speed.

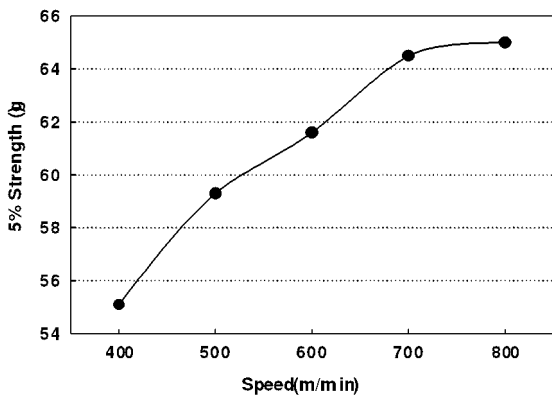


Fig. 4. 5% strength of textured yarn as a function of speed.

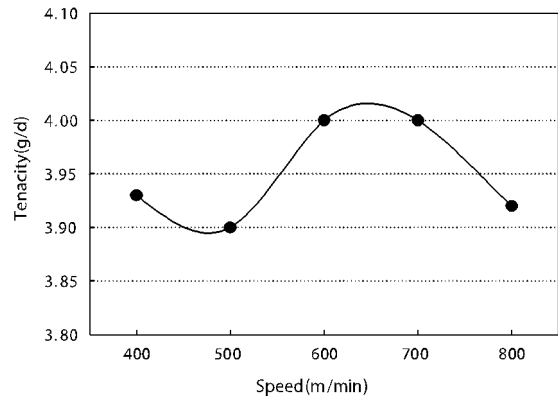


Fig. 7. Tenacity of textured yarn as a function of speed.

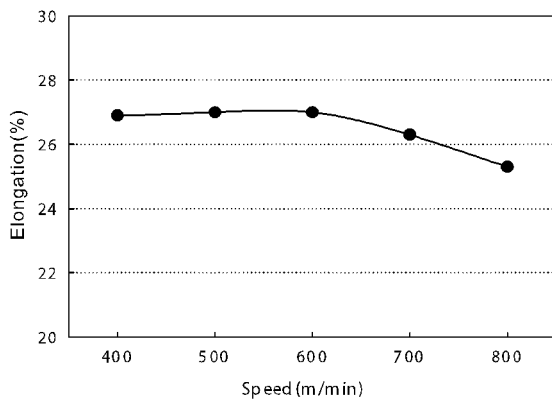


Fig. 5. Elongation of textured yarn as a function of speed.

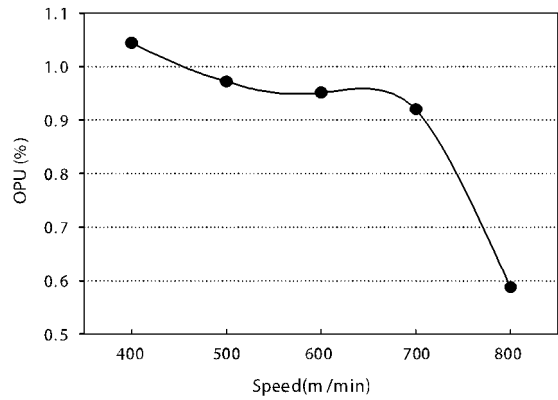


Fig. 8. Oil pick up of textured yarn as a function of speed.

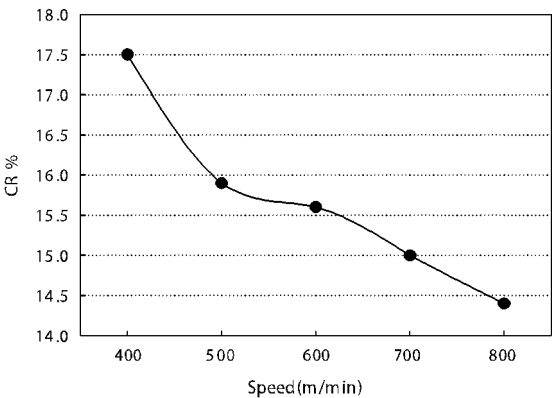


Fig. 6. Crimp rigidity of textured yarn as a function of speed.

본 실험에서는 나머지 가연조건을 일정하게 고정 한 관계로 가연속도의 증가는 주행하는 실에 꼬임을 적게 부여하게 만든다. 따라서 가연속도가 증가함에 따라 CR%는 감소하게 된다. 가연속도 증가에 따라 디스크의 회전속도도 증가시켜 동일한 꼬임수를 부여할 경우 CR% 변화는 크지 않을 것으로 추정된다.

Fig. 7은 강도의 변화를 나타낸 것으로 가연속도

증가에 따른 경향성을 보여주지는 못했다. 가연공정에서 합성섬유는 분자 배향을 방해하는 비틀림응력과 분자 배향을 증가시키는 인장응력을 동시에 받게 된다. 가연속도의 증가는 배향결정화를 높여주지만 크립 형성은 어렵게 하는 2가지 요인이 상호작용하기 때문에 경향성을 발견하지 못했다.

Fig. 8은 가연속도 변화에 따른 OPU의 변화이다. 본 실험에 사용되는 가연기는 롤러방식으로 권취 바로 전에 유제가 부여되게 된다. 이 롤러의 회전속도가 고정되어 있으므로 가연속도의 증가에 따라 OPU가 감소하게 된다. 즉, 가연속도를 높이는 경우 적정 OPU를 유지하기 위해 롤러의 회전속도를 높여주어야 한다.

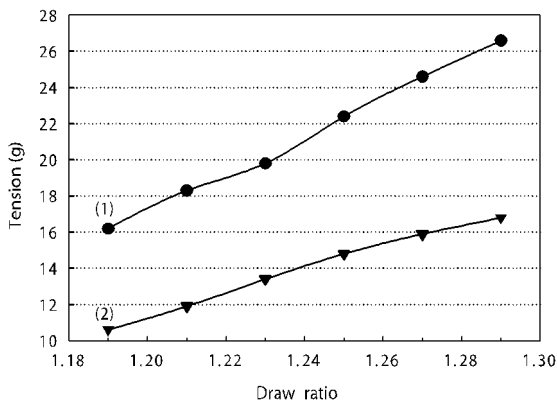
### 3.2 연신조건이 물성에 미치는 영향

최근의 가연공정은 POY를 사용하여 연신-가연공정을 동일하게 시행하는 것이 보편화되어 있다. POY는 최종용도로 사용되기에 완벽한 물성을 갖춘 실이 아니며, 연신을 통해 요구되는 물성을 갖추어야 한다. 가연공정에서 연신을 시행할 경우 최종 가연사의

섬도, 강신도를 확인하여 최적의 연신비를 설정해야 한다. 본 실험에서는 연신조건에 따라 가연사의 물성 변화를 고찰하였다.

Fig. 9는 연신비에 따른 가연 및 해연장력의 변화이다. 연신은 실을 섬유축 방향으로 신장시키는 것으로 강신도 그래프에서 신장이 됨에 따라 실에 걸리는 응력이 증가한다는 사실을 확인할 수 있다. 이런 이유로 연신비가 증가하면 가연 및 해연장력도 증가하게 된다. 하지만 연신비가 일정 수준보다 낮은 경우 실이 파동이 발생하여 품질 불균일의 원인이 되므로 요구되는 최소 장력 이상을 가질 수 있는 연신비를 선정해야 한다. 작업성이 우수한 폴리에스터와 달리 나일론의 경우 공정 중에 장력을 최소화해야 작업성을 확보할 수 있다.

Fig. 10은 연신조건 변화에 따라 섬도의 변화이다. 섬유축 방향으로 신장시킬 경우 섬유축에 직각인 방향에서는 수축하게 된다. 이것이 연신비가 증가하게 되면 섬도가 감소하게 되는 이유이다. 연신비는 최종



(1) Twist tension (2) Untwist tension  
Fig. 9. Twist and untwist tensions as a function of draw ratio.

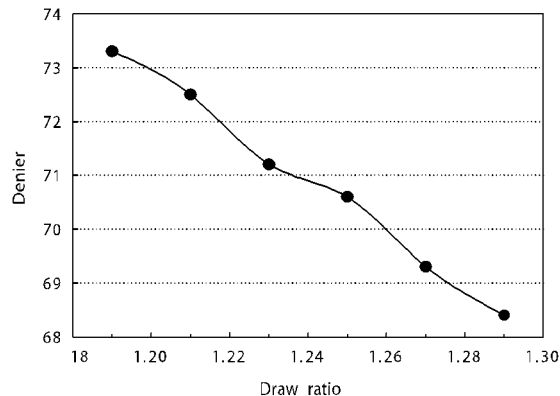


Fig. 10. Denier of textured yarn as a function of draw ratio.

가연사의 목표 섬도를 얻기 위해 가장 중요한 조건이다. 하지만 가연사의 섬도는 공급되는 POY의 섬도에 의해 좌우되므로 POY의 물성 설계시 최종 가연사의 섬도를 고려하여야 한다.

Fig. 11~13은 연신조건 변화에 따른 강신도의 변화이다. Fig. 11은 5% 강력으로 연신에 의해 배향결정화가 진행되어 연신비에 따라 증가하게 된다. 연신비가 증가함에 따라 강도는 증가하고 신도는 감소하게 된다. 이는 치밀해진 분자구조와 배향결정화의 영향이다. 실제 공정에서는 나일론 가연사의 신도는 30% 이상인 경우 잔류신도로 인해 후공정에서 가연사의 크립프가 소멸되게 되고, 20% 이하일 경우 필라멘트가 끊어지는 불량 발생하는 경우가 많다. 최적 연신비를 확인하여 이런 문제를 최소화해야 한다.

Fig. 14는 연신조건 변화에 따른 CR%의 변화이다. CR%는 연신비에 크게 영향을 받지 않으나 연신비가 과도하게 증가하는 경우 약간 떨어지는 경향을 보여 주었다.

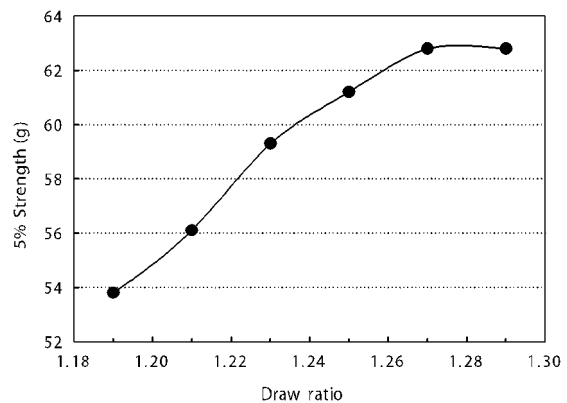


Fig. 11. 5% Strength of textured yarn as a function of draw ratio.

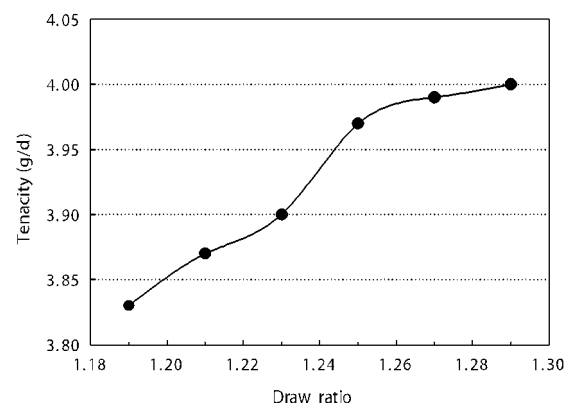


Fig. 12. Tenacity of textured yarn as a function of draw ratio.

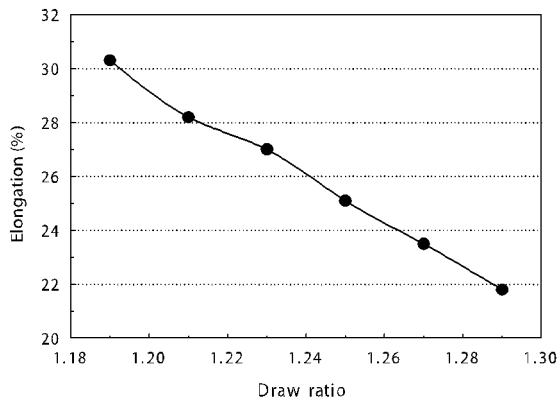


Fig. 13. Elongation of textured yarn as a function of draw ratio.

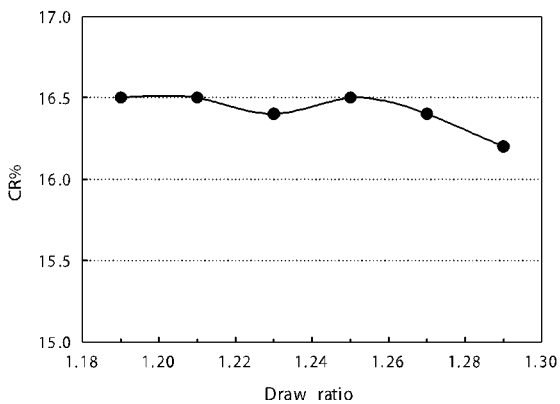


Fig. 14. Crimp rigidity of textured yarn as a function of draw ratio.

#### 4. 결 론

나일론 6 85d/68f full-dull에 대한 디스크 가연방식의 가연조건인 가연속도와 연신조건이 가연사의 물성에 미치는 영향에 대한 연구를 통해 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

나일론 섬유의 가연가공에서 가연속도는 생산성 측면에서 중요한 조건이지만, 가연속도가 증가함에 따라 해상장력이 증가하여 작업성이 떨어질 수 있는 문제점을 확인하였다. 나일론 85d/68f full-dull의 경우 500 m/min에서 안정적인 작업성이 확보될 것으로 추정되었다.

연신조건은 목표로 하는 가연사의 최종 물성을 확보하기 위해 고려되어야 하는 조건이었다. 연신비가 증가할수록 가연사의 섬도는 낮아지며, 강도는 증가하고, 신도는 감소함을 확인하였다. 연신조건이 과도하게 높은 경우 작업성 저하 또는 가연사의 필라멘트가 끊어지는 불량 발생이 발생할 수 있었다. 반면 연신조건이 과도하게 낮은 경우 가연사를 제품화 하는

과정에 가연사의 크림프가 감소됨을 확인하였다. 나일론 85d/68f의 경우 연신비 1.23에서 가장 우수한 물성을 보여주었다.

#### 참고문헌

1. M. J. Denton, Texturing of Continuous Filament Synthetic Yarns, *Journal of the Bradford Textile Society*, 51-56(1987).
2. D. J. Williams, "Polymer Science and Engineering", Prentice Hall, New Jersey, p.36, 1971.
3. J. A. Brydson, "Plastics Materials", 6th Ed., pp.23-24, Butterworths, Oxford, 1995.
4. G. Heberlein, "Apparatus for Imparting False Twist to Yarn", *U. S. Patent*, 2,655,781(1953).
5. W. H. Carothers, "Synthetic Fiber", *U. S. Patent*, 2,130,948(1937).
6. H. H. Hebel, "Yarn Process", *U. S. Patent*, 2,604,667(1952).
7. J. F. Bowling, "Process for Producing Crimpable Polyamide Filaments", *U. S. Patent*, 2,957,747 (1960).
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. T. Endo, S. Shintaku and T. Kinari, Mechanics of Disk-type False Twisting. Part I: Yarn Path and Friction Force on a Single Disk, *Text. Res. J.*, **53**, 1-8(1983).
11. G. W. Du and J. W. S. Hearle, Mechanics of Friction Twisting. Part II: Application of the Single Disc Model to a Triple-Stack Multi-Disc Spindle, *Text. Res. J.*, **61**, 347-357(1991).
12. 奈良寛久 and 安塚勝三, "フィラメント加工技術マニュアル", vol. 1, 日本纖維機械學會, 大阪, pp.103-121, 1976.
13. M. S. Lee, S. J. Kim and K. S. Park, Effect of False twist Processing Conditions on the Physical Properties of PET DTY, *J. Korean Soc. Dyers & Finishers*, **15**, 391-396(2003).
14. S. Fitton and P. Stacey, Apparatus for the Mea-

surement of the Crimp Rigidity of Bulked and Stretch Yarns, *J. Text. Inst.*, **51**, 435-437(1960).  
15. V. B. Gupta, A. Ailawadi and P. K. Ganguly,

Crimp Retraction of Textured Poly(ethylene Terephthalate) Yarn, *Text. Res. J.*, **53**, 520-523 (1983).