

# PET 섬유의 방사 기술

김 기 수

## 서 론

통상의 폴리에스터 섬유로 불리워지는 PET 섬유는 1940년대 초 영국의 Calico사의 Whinfield와 Dickson에 의해 처음 개발, 1950년대 중반경 영국의 ICI사와 미국의 Du Pont사에 의해서 공업적인 생산이 시작된 이래 3대 합성 섬유(폴리에스터, 나일론, 아크릴) 중 가장 빠른 성장을 하고 있다(1960년부터 1988년 까지 전세계 합성섬유 생산량은 약 22배 증가하였으나, 폴리에스터 섬유는 66배 증가하였다).

Table 1은 전세계 합성섬유의 Share 변화를 나타낸 것으로 전체 합성 생산량에서 폴리에스터 섬유가 차지하는 Share가 3배 이상 증가, '88년 전체 합성 생산량의 절반 이상을 차지함을 볼 수 있다.

이와 같은 비약적인 생산량의 증가는, 폴리에스터가 경제성등을 포함한 다각적인 측면에서 섬유소재로서 뛰어난 특성을 갖고 있다고 평가될 수 있으며, 또한 다양한 공정 혁신, 신공정 개발 등에 의한 생산성 향상 및 Cost Down과 고부가가치 제품의 개발 등에 의한 경쟁력 향상 등이 활발히 진행되어져 왔기 때문으로 판단된다. 특히 1970년대 후반부터 Hard-Ware 기술의 눈부신 발달에 힘입어 신공정 개발이 급속하게 진행되고 있다.

일반적인 의료용 폴리에스터 섬유의 방사기술은 주로 방사속도를 기준으로 구분되어져 왔으며 방사공법도 방사속도별로 여러단계를 거치며 발전되어

Table 1. World Production and Share Changes of Synthetic Fibers in %

		(단위 : %)			
연도	섬유	1960	1970	1980	1988
	Polyester	17.5	34.0	44.5	53.0
	Polyamide	58.0	38.0	27.1	24.0
	Polyacrylic	15.5	20.0	18.0	17.0
	Others	9.0	8.0	10.4	6.0
	Total	100.0	100.0	100.0	100.0
	(천 ton)	(703)	(4890)	(11540)	(15295)

왔는데, 각 공법의 분류 기준 및 명칭은 사람들에 따라 다소 차이가 있으나, 섬유의 미세구조적인 측면에서 구분한다면 방사속도 1800 m/min까지를 LOY(Low Oriented Yarn), 1800~2800 m/min를 MOY(Medium Oriented Yarn), 2800~4000 m/min를 POY(Partially or Pre-Oriented Yarn), 4000



김 기 수

1973 서울대학교 공과대학 응용화학과(학사)  
 1987 University of Southern Mississippi Department of Polymer Science(PH.D.)  
 1973~ 현재 동양나일론&동양폴리에스터(주) 기술연구소 생산기술연구실

### Spinning Technology of PET filaments

동양나일론(주) 중앙연구소(Ki Soo Kim, Tong Yang Polyester Co., LTD., 183 Hoge-Dong, Anyang-si, Kyunggi-do 430-080, Korea)

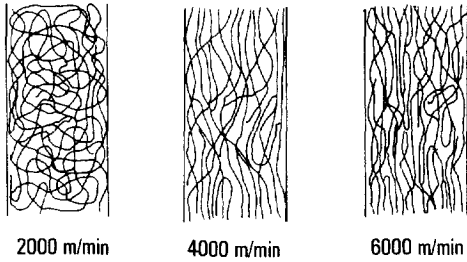


Fig. 1. Molecular arrangements in PET filaments spun at different speeds.

m/min 이상을 HOY(Highly Oriented Yarn)로 분류하며, 6000 m/min 이상의 방사속도로 생산되는 초고속방사물을 FOY(Fully Oriented Yarn)로 분류한다. Fig. 1은 방사속도별 Spun-Yarn의 미세구조 특성 Model을 나타낸 것으로, 방사속도가 증가할수록 분자쇄의 배열 상태가 섬유축 방향으로 정돈되고 결정영역이 형성되는 것을 알 수 있는데, 2000 m/min의 방사속도로 방사한 미연신사는 저배향, 저결정성인 미세구조 특성을 갖는 반면, 4000 m/min로 방사한 미연신사는 고배향, 저결정성을, 그리고 6000 m/min로 방사한 미연신사는 고배향 및 고결정성 구조를 갖는다.

또한 업계에서 통용되는 관습적인 측면에서 구분한다면, 1000~1500 m/min를 UDY(Un-Drawn Yarn), 3000~4000 m/min를 POY, 그리고 6000 m/min 이상을 HOY, FOY, 또는 UHSSY(Ultra-High Speed Spun Yarn) 등으로 분류하기도 하는데, 1500~3000 m/min의 방사속도 영역은 Hard-Ware 기술의 급격한 발달때문에, 4500~5500 m/min의 방사속도 영역은 사의 물성이 미연신사 특성에서 연신사 특성으로 급격히 변화하는 전이구간이기 때문에 공업적으로 생산이 잘 진행되지 않고 있다.

Fig. 2는 현재 공업적으로 적용되고 있는 제조공법들을 나타낸 것으로, 기존의 일반방사 영역인 UDY와 POY는 별도의 연신공정이 필요하나 6000 m/min 이상의 초고속방사의 경우는 방사공정만으로 연신사가 제조됨을 볼 수 있는데, 생산성과 관련한 섬유의 제조기술 동향은 방사속도의 증가와 2단계

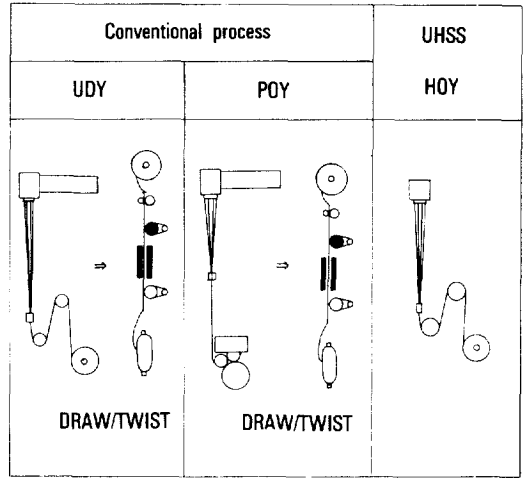


Fig. 2. Schematic illustrations of various spinning processes ; Conventional process and ultra high speed spinning process.

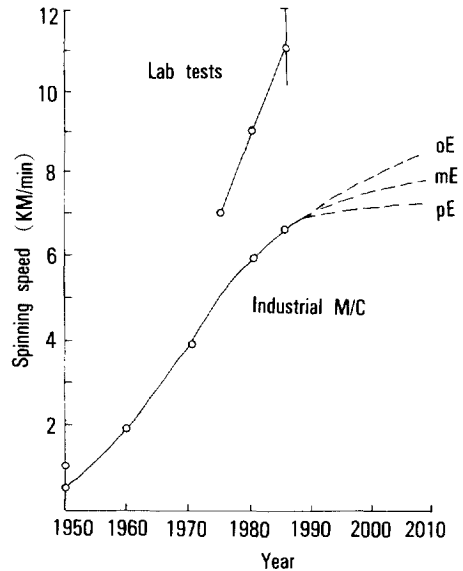


Fig. 3. Development of spinning speeds in the man-made fiber. oE-optimistic estimation, mE-medium estimation, pE-pessimistic estimation.

공정의 1단계화의 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있다. Fig. 3은 방사속도를 기준으로 연도별 폴리에스터 방사기술의 발달 현황 및 전망을 나타낸 것

으로, UDY는 1960년대, POY는 1970년대, HOY는 1980년대에 공업화됐음을 볼 수 있는데, 현재 공업적으로는 7000 m/min 수준까지 와 있으며, 2000년대 초반까지는 8000 m/min 이상의 초고속방사 기술이 공업화될 것으로 전망된다.

그러나, 생산성향상을 위한 방사속도의 증가 및 신공정 개발, 고부가가치 제품의 일환인 일반 극세사 제조기술 등을 공업화하는데 있어서 방사중의 사절 발생 증가에 의한 생산성 및 품질이 저하되는 문제점이 발생하게 되므로 이들을 해결하기 위한 기술의 개발 및 다양한 연구활동이 진행되어야 한다. 특히, 극한 방사기술이 요구될수록 Hard-Ware적인 방사설비와 함께 Soft-Ware적인 Polymer 설계 기술, 방사기술의 비중이 점점 증대되고 있으며, 그에 따른 Know-How 연구와 함께 기본적인 방사특성에 대한 Know-Why 연구가 필수적이다.

따라서 본보에서는 방사속도별 폴리에스터 Spun-Yarn의 특성 및 미세구조 변화를 먼저 살펴보고, 각 분야별 폴리에스터의 방사기술 특성에 대하여 간략히 소개해 보고자 한다.

### 방사속도별 폴리에스터사의 특성

#### 개 요

폴리에스터 필라멘트 섬유는 기능적인 측면에서 의료용사(Textile Yarn)와 산업용사(Technical Yarn)로 구분될 수 있는데, 상업적으로 생산되는 폴리에스터 의료용사의 방사속도는 크게 1000~1500 m/min(UDY), 3000~4000 m/min(POY), 6000 m/min 이상(HOY)의 3 영역으로 구분된다.

POY는 UDY와는 달리 어느 정도 배향이 발달되어 있어, UDY 대비 장기보관이 가능하고, 운반 및 취급이 용이하며, 가공성이 우수하여 연신(Draw-Twist) 뿐만 아니라 가연가공(Draw-Texturing), 그리고 최근 신공정 개발에 힘입어 WD(Warp-Drawing), WDS(Warp-Draw-Sizing) 등의 공정과 연결하여 사용되어 지고 있어 생산성 및 제조원가 측면 등에서 매우 유리하다. Fig. 4는 UDY 및 POY, 그

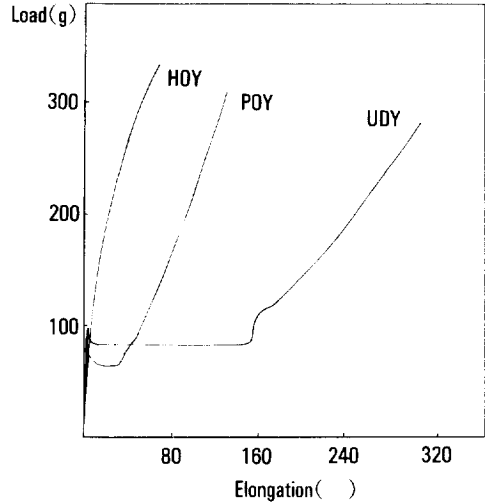


Fig. 4. S-S curves for various spinning process.

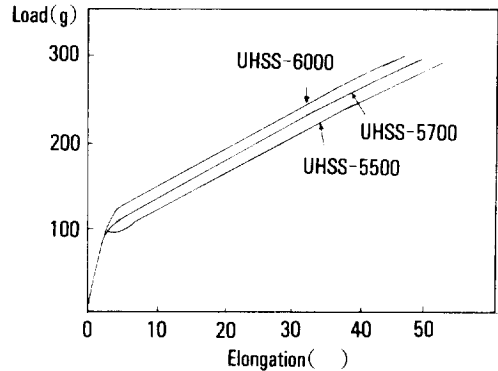


Fig. 5. S-S curves for various spinning speeds in UHSS.

리고 HOY의 강신도 특성을 나타낸 것으로 방사속도가 증가함에 따라서 자연 연신 구간 및 절단 신도가 감소하며, HOY의 경우 연신사와 같은 강신도 특성을 나타냄을 볼 수 있다.

연신사 특성을 갖는 HOY는 UDY(1500 m/min) 대비 방사공정에서만 생산성이 30% 이상 증가하며, 또한 미연신사 특성을 갖는 UDY 및 POY와는 달리 별도의 연신공정이 불필요하므로 생산설비, 인력, 완제품 제조에 필요한 시간 등이 크게 절감되는 효과도 있어 생산성 증대 효과가 매우 높음을 알 수 있다. Fig. 5는 5500~6000 m/min의 방사속도 영

역에서 방사속도별 강신도 특성을 분석한 결과로, 5500 m/min까지는 아직 미연신사 특성의 항복점 (Yield Point)이 나타남을 볼 수 있다.

이상과 같이 폴리에스터 의료용 필라멘트사는 방사속도가 증가할수록 생산성 및 제조원가 측면에서 매우 유리하나, 방사속도별 물성이 크게 달라지게 되므로 기본적인 방사특성 연구와 그에 따른 체계적인 생산기술 연구가 선행되어야 한다.

### 방사속도에 따른 섬유 미세구조의 변화

폴리에스터 방사선의 경우 방사속도가 증가함에 따라서 방사장력은 거의 직선적으로 증가하며, 이에 따른 섬유의 물성 및 미세구조 특성은 큰 영향을 받게 된다. 특히, 방사속도 4,500~5,500 m/min 영역을 기준으로 미연신사 특성을 갖는 일반방사 영역과 연신사 특성을 갖는 초고속방사 영역으로 크게 구분되어져 방사속도별 섬유의 물성은 변화하므로, 먼저 일반방사에서 방사속도별 섬유의 미세구조 변화를 파악하고 고속방사, 초고속방사에 대하여 알아보고자 한다.

#### 1) 일반방사 영역(UDY & POY)

폴리에스터 미연신사의 절단신도는 방사속도가 증가함에 따라서 감소하나, 배향은 계속 증가함을 볼 수 있다(Fig. 6). 이와 같은 미연신사 물성의 방사속도 의존성은 Polymer의 Drawability와 관련된 Total Draw Ratio(TDR) 및 Spun Draw Ratio(SDR) 개념으로 설명이 가능하다.

TDR은 완전 무배향된 Spun Yarn이 절단될 때까지 이론적 신도 개념으로 Polymer와 분자량 및 그 분포 등에 관계되는 고유상수이며 일반적으로 약 10 정도의 값을 갖는다. SDR은 방사속도에 따라서 직선적으로 증가하는데, 실험적으로 방사속도의 천분의 일에 비례하므로 폴리에스터 미연신사의 절단신도는 동일한 Polymer에 대해서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$1 + E_b/100 = \text{Const.} / (0.001 \times V_s + 1)$$

단,  $E_b$  = 미연신사의 절단신도(%)

$V_s$  = 방사속도(m/min)

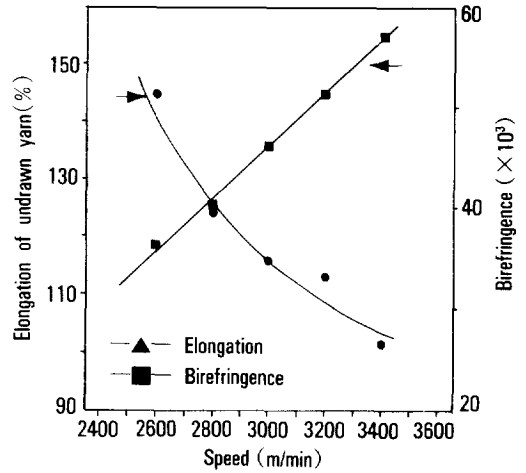


Fig. 6. Elongation at break and birefringence vs. conventional spinning speeds (POY speed level).

미연신사의 배향은 절단신도와는 반대로 방사속도 증가에 따라서 직선적으로 증가하는데, 이는 방사속도가 증가함에 따라서 방사중 미연신사에 걸리는 장력이 직선적으로 커져, SDR 증가 및 이에 따른 미연신사의 섬유축 배향이 발달하기 때문이라고 판단된다.

또한 미연신사의 방사속도별 무정형(Amorphous) 배향의 증가는 DSC에 의한 열분석에 의해서 잘 관찰될 수 있는데, 방사속도가 증가할수록  $T_{cc}$ (Cold Crystallization Temperature)가 계속 저온부로 Shift함을 볼 수 있다(Fig. 7).

이는 방사속도의 증가에 따라서 섬유의 비정부 배향이 증가함으로써, 결정화가 저온에서 빨리 진행되기 때문이며, 방사속도별 섬유의 복굴절을 측정결과와 잘 일치한다. 또한 방사속도별 폴리에스터 미연신사의 등온결정화 특성 분석(Avrami Plot)에 의하면, 3,000 m/min를 전후해서 무정형영역이 Plane-like한 미세구조에서 Rod-like한 미세구조로 변화하는데 이는 UDY와 POY의 큰 특성 차이라고 할 수 있다.

폴리에스터의 미세구조를 비배향된 무정형영역(Unoriented Amorphous Phase), 배향된 무정형영역(Oriented Amorphous Phase; Meso-Phase), 그

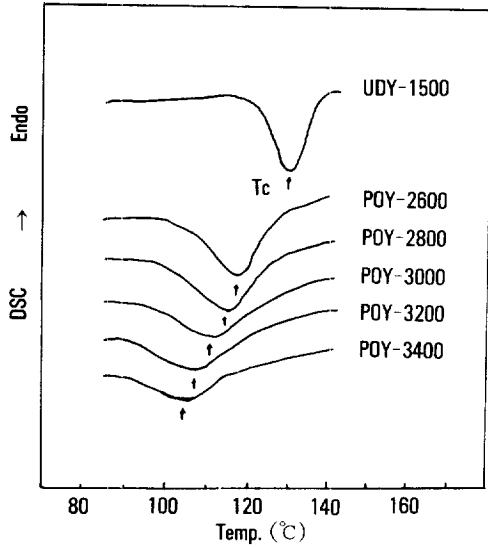


Fig. 7. Result of DSC analysis for PET filaments spun at 1500~3400 m/min.

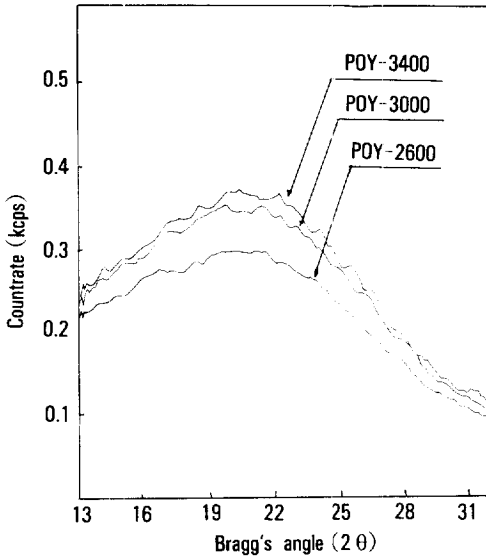


Fig. 8. WAXD scans for PET filaments spun at 2600~3400 m/min.

리고 결정영역(Crystalline Phase)으로 구성된 3-Phase Model을 근거로 하여 미연신사의 WAXD (Wide-Angle X-ray Diffractometer) 분석 결과, 결정 Peak는 발견되지 않으나 방사속도가 증가할수록

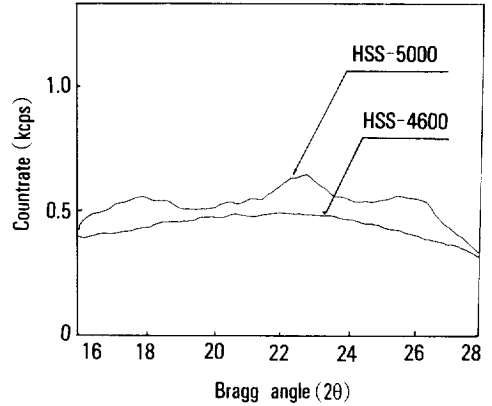


Fig. 9. WAXD scans for PET filaments spun at 4600 and 5000 m/min.

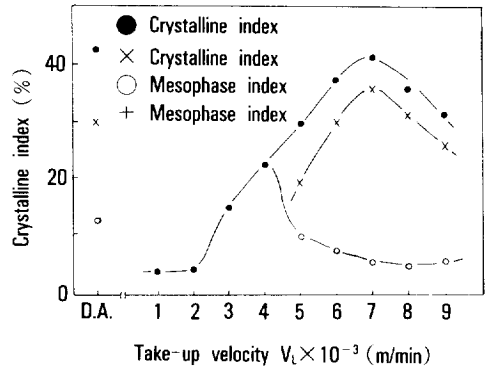


Fig. 10. Crystalline index, Mesophase index, and index of the total order (crystalline+mesophase) for as-spun PET filaments vs. take-up velocity.

잘 배향된 무정형영역(Meso-Phase)이 증가함을 볼 수 있는데, 이는 미연신사의 복굴절을 분석 및 DSC의 Tcc 분석 결과와 잘 일치한다(Fig. 8).

## 2) 고속방사, 초고속방사 영역

방사속도 4,500 m/min 이상에서 방사한 폴리에스터 섬유 WAXD 분석결과, 일반방사 영역과는 달리 방사속도 5,000 m/min부터 결정화 Peak가 나타남을 볼 수 있다(Fig. 9). 또한, 1,000~4,000 m/min의 일반방사 영역에서는 방사속도가 증가할수록 잘 배향된 Meso-Phase가 급격히 증가하여 4,000 m/min 부근에서 최고치를 보이나, 방사속도

5,000 m/min 이상에서 부터는 결정화가 진행되면서 Crystalline-Phase와 Meso-phase의 합은 방사속도에 따라 계속적으로 증가함에도 불구하고 Meso-phase의 양은 감소함을 볼 수 있는데, 이는 Meso-phase의 선택적 결정화 참여에 의한 것으로 판단된다(Fig. 10).

방사속도 5,000 m/min 이상에서의 결정화 발현은 초고속방사의 특징중의 하나로 초고속 권취에 의한 방사장력 및 Air-Drag Force 등이 섬유에 연신에 필요한 임계응력 이상의 Stress를 유발하여, 사 주행상에서 연신 효과와 유사한 Neck-like 변형 및 응력유도 결정화(Stress-Induced Crystallization)가 진행되기 때문이며, 폴리에스터 일반방사에서는 나타나지 않는 현상이다.

Fig. 11은 방사속도 6,000 m/min에서 Spin-Line상 섬유의 직경 변화 및 표면온도를 측정된 것으로 섬유의 직경이 급격히 감소하는 부근(Neck-like 변형)에서 결정화 진행에 의한 발열 현상이 발생함을 볼 수 있다.

Neck-like 변형은 배향 및 결정화를 수반하는데, 결정화 Mechanism 등 Neck-like 변형에 대해서는 학자들에 따라 여러가지 의견이 있는데, H. Yasuda 등은<sup>14</sup> 방사응력에 의해 섬유 표피층 부터 응력 유도 결정화가 먼저 일어나게 되고, 결정화 진행시 아직 무정형영역인 섬유 중앙부와의 변형능(Deformability)의 차이가 발생하게 되어 Shear Stress에 의한

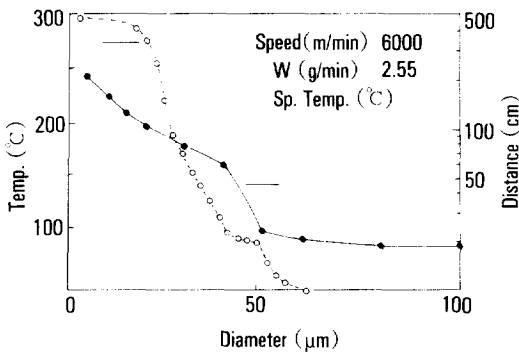


Fig. 11. An example of a high speed spinning experiment.

Shear 변형을 일으킨다고 설명하고 있으며, K. Fujimoto 등은<sup>16</sup> 폴리에틸렌과는 달리 PET의 Neck-like 변형은 방사응력이 어느 일정한 임계치 이상에서 일어나는 것이 아니라, 일정한 사속도, 응력, 신장점도 또는 온도에서 개시되며, 이는 방사 line 상의 분자간력과 방사응력 등, 제요인의 Balance에 의해 개시되는 것이라고 설명하고 있다.

또한, 방사속도 5,000 m/min 이상에서 방사속도가 증가할수록 초고속방사물의  $T_m$ (Melting Temperature)이 계속적으로 증가함을 볼 수 있는데, 이와 같은 현상은 일반방사 영역인 UDY 및 POY에서는 관찰되지 않는 특성이다(Fig. 12).

이는 방사속도가 증가할수록 결정의 Perfectness 및 결정 Size가 급격히 증가함에 따른 것으로 판단되는데, 다음의 Table에 나타난 방사속도별 폴리에스터 초고속 방사물의 분석결과와 잘 일치함을 볼 수 있다.

Spin-line상 Neck-like 변형 및 결정화 진행과 함께 초고속 방사물의 전형적인 특징중의 하나는 Skin-

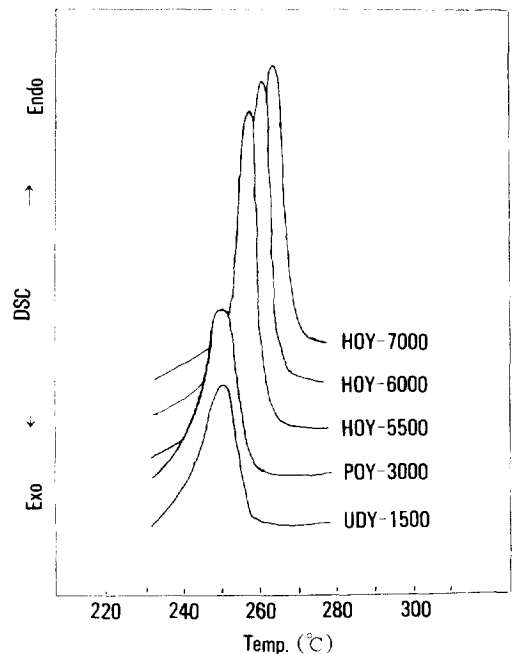


Fig. 12. Result of DSC Analysis for PET filaments spun at 1500~7000 m/min.

Core구조라 불리는 단면 방사상의 구조차이다. 방사속도가 증가할수록 방사 Draft의 증가와 섬유 표면의 급속한 냉각으로, 섬유 단면을 기준으로 중앙부와 표피층의 냉각속도 발생, 온도차이, 그리고 그에 따른 용융점도의 내외층차 및 외층의 응력집중에 의해서 중앙부보다 표피층이 고배향, 고결정의 구조를 갖는다. 이러한 내층과 외층의 구조불균일은 복굴절률의 차이에 의해서 분석될 수 있는데 9,000 m/min 이상 증가하면 이 2중(Skin-Core) 구조가 매우 심해짐을 볼 수 있으며, 10,000 m/min 이상에서의 Core부는 Skin부와는 달리 POY의 배향정도

밖에 되지 않음을 볼 수 있다(Fig. 13). 이러한 Skin-Core 구조는 DSC 분석에 의해서도 확인될 수 있는데, 방사속도 9,000 m/min 이상의 경우 초고속방사 특성을 나타내는 Skin부의  $T_m$  Peak와 함께 POY 물성 수준의 Core부의  $T_m$ 이 Double Peak 형태로 나타나기 시작한다.

### 분야별 PET의 방사 기술

폴리에스터 섬유의 용융방사 제조기술은 전 세계적으로 각 분야마다 비약적인 발전을 거듭하고 있으며, 그중 의료용사 부문에 있어서는 신합섬 관련 고부가가치제품인 초극세사 제조기술과 공정혁신, 생산성 향상, Cost Down 등의 특성을 갖는 초고속방사 제조기술이 중점적으로 이루어지고 있고, 산업용사 부문에 있어서는 Tire-Cord용 원사의 제조기술이 가장 두드러진 발전을 거듭하고 있다.

당사에서도 이와 같은 기술추세에 발맞추어 각 분야별 폴리에스터 섬유의 생산과 연구를 수행하고 있으므로, 여기에서는 간략하나마 이들의 기본적인 방사기술에 대하여 소개해보고자 한다.

#### 초고속방사 기술

초고속방사 공정의 특징은 앞에서 설명한 바와 같이 방사시 사 주행상에서 연신 효과와 같은 Neck-like 변형 및 이에 따른 배향, 결정화가 진행되어 최종 연신사의 물성 특성을 나타내나, Necking Point에서의 섬유 변형속도는 매우 커져 사절발생 가능성이 크게 증가하게 된다. 특히, 방사속도가 증가함에 따라서 방사중의 Neck-like 변형은 매우 심화됨을 볼 수 있다(Fig. 14).

그러므로 초고속방사 기술을 공업화하는데 있어서 기술의 핵심은 방사중에 사절로 생산성이 저하되는 문제점을 해결하는 것이라고 할 수 있다. 이와 관련된 연구분야로서는 적정 Polymer의 설계기술, 방사 Pack의 설계기술(조정밀 이물여과 및 Nozzle 설계), 적정 방사유체 설계기술 등의 Soft-Ware적인 측면과, 초고속 Winding Mechanism 개발 등의 Hard-Ware적인 측면이 있으나, 경제성 및 기술 신

Table 2. Some Properties for High-speed spun PET Filaments(take-up velocity indicated) and for Filaments spun at 1500 m/min, Drawn 300%

시 료	UDY-D/T	5500 m/min	6000 m/min	7000 m/min
복굴절률( $\times 10^{-3}$ )	164	118	123	126
결정화도(%)	35	41	45	49
결정 Size (100)	26	46	52	65
(A) (010)	—	49	60	72
결정배향(F.)	0.911	0.894	0.916	0.944
Long period(A)	—	115	116	124
ISAX	—	22	-25	30

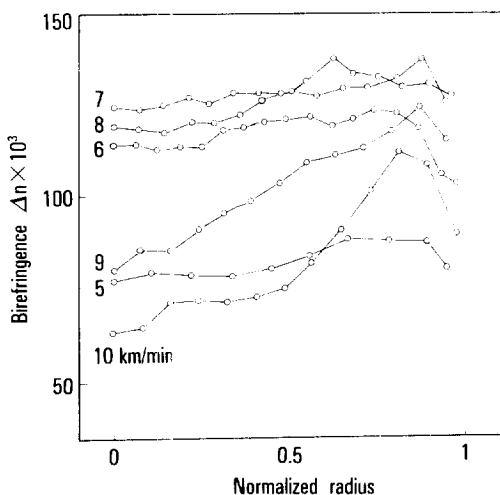


Fig. 13. Birefringence profiles along fiber dia. for PET fibers obtained at various spinning speeds.

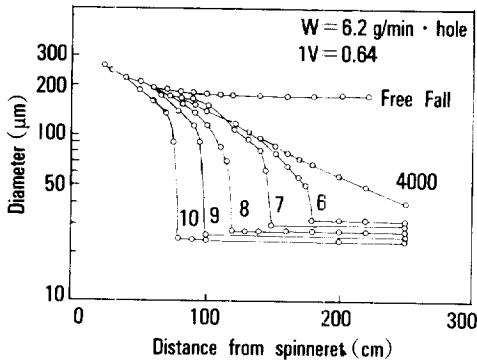


Fig. 14. Dia. profiles measured along spinline for PET filaments spun at various spinning speeds.

되도, 국내 주변기술 수준 등을 고려할 경우 먼저 Soft-Ware적인 고유기술을 개발, 보유함으로써 선진국들과 대등한 경쟁력을 확보하는 것이 선결과제라고 판단된다. 특히 초고속방사 관련 일본의 공개 특허 조사 결과, Polymer의 설계기술이 전체 특허의 30% 이상을 차지하고 있음은 매우 주목할만한 일이다.

### 일반 극세사(Micro Fiber) 제조 기술

극세사의 제조기술은 크게 일반방사에 의한 직접적인 것과 2종 Polymer를 복합 방사한 후, 후가공에서 용출, 분할하는 방법으로 나뉘어 지는데, 전자에 의한 방법은 제조 공법 및 설비가 기존의 일반방사와 거의 동일하나 공업적으로 0.3 Den.까지 가능하다고 하며, 후자의 경우는 복합방사 기술에 따라 0.01 Den. 이하까지 가능하나 특수 복합방사 설비와 후가공 기술이 수반되어야 하는 단점이 있다.

단사 섬도가 0.5 Den. 이하인 극세사를 사용한 직물의 특징은 극히 우수한 Soft 질감의 발현이며, 특히 표면의 섬세한 질감은 Silk와 같은 천연섬유(단사 1 Den. 수준)에서 볼 수 없는 것으로 최근 고부가가치의 신타섬 소재로서 매우 각광을 받고 있다.

일반 극세사 제조시의 문제점은 Hole당 토출량 감소에 따른 사 변형속도 증가와 단사섬도의 극세화에 따른 이물의 영향 증대로 방사중의 사질 발생 가능성이 크게 증가하는 것과 균일한 냉각의 곤란

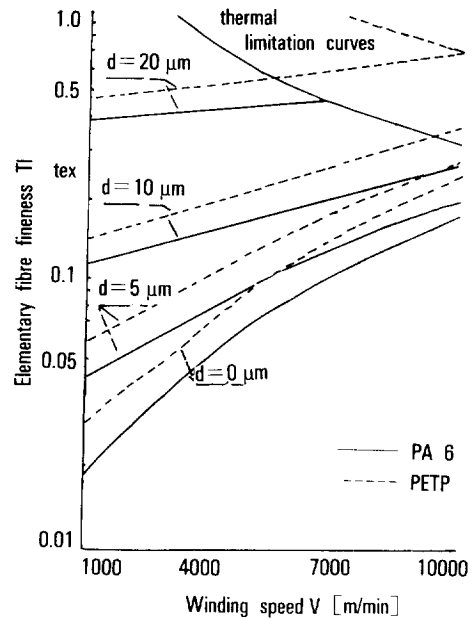


Fig. 15. Limitation curves of possible minimum elementary fiber fineness under conditions of breakage : length of the spinning tube : 3 m.

으로 필라멘트간 물성차이가 발생하여 연신공정시 단사질로 품질이 떨어지는 것이다.

그러므로, 일반 극세사의 방사기술의 특징은 Filtering 강화와 섬유의 변형속도 완화를 위한 Nozzle 설계(Nozzle Hole Dia ↓) 등이 핵심기술이라고 할 수 있다.

Fig. 15는 방사 Filter의 크기에 따른 제조가능한 최저 단사섬도를 나타낸 것으로, Filtering이 극세사 제조기술에 있어서 상당히 중요함을 볼 수 있다.

또한 품질 향상을 위하여 균일한 냉각기술이 검토되어야 하는데, Fig. 16은 냉각방식이 섬유의 품질에 큰 영향을 줄 수 있다.

### 복합 방사 제조 기술

복합방사에 의한 극세사 제조기술은 2종 Polymer의 유연학적 특성에 크게 좌우되며 그에 따른 방사 Pack 및 Nozzle 설계기술이 매우 중요하다.

2종 Polymer의 유동 안정성에 영향을 미치는 인자로는 점도, 탄성, 그리고 표면장력을 들 수 있



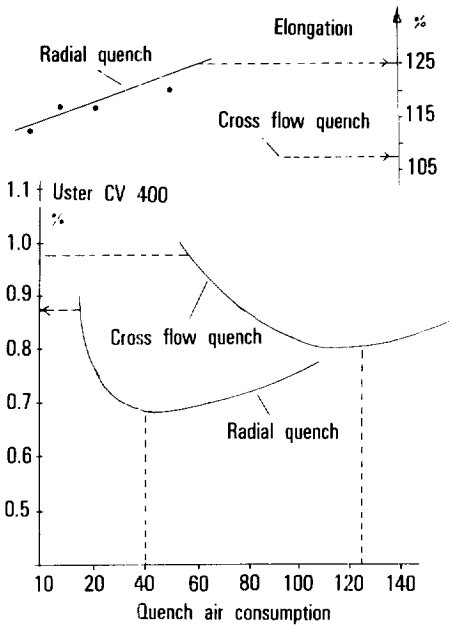


Fig. 16. Uster values of PET filaments as function of quenching air consumption and quenching method.

나, 주로 점도의 효과가 가장 크다. 일반적으로 가장 안정된 형태는 그 계가 최소의 에너지를 발산하는 상태여야 하므로 Capillary Flow에서 두개의 상용성이 없는 Newton 유체를 고려할 경우, 낮은 점도의 유체가 가장 높은 Shear rate를 받는 위치인 벽면에 위치하여 높은 점도의 유체를 감싸는 형태, 즉 Sheath-Core형이 가장 안정한 상태가 된다. 그런데 계면형태의 재배열은 속도론적 과정이므로 두 성분의 계면형태가 가장 안정한 평형 유동 상태로 재배열하기 위해서는 시간이 필요하며, 따라서 방사구급의 L/D가 클수록 이와 같은 현상은 뚜렷해지게 된다(Fig. 7). 여기서 주의해야 할 점은 Polymer는 대부분 Non-Newton 유체이므로 Polymer 특성에 따라서 Shear Rate에 따른 용융점도의 특성이 다르게 변화하며, 이는 복합사의 단면구조와 바로 관련된다는 것이다(Fig. 18).

복합사 기술의 핵심은 이와 같은 Rheological 특성에 따른 적정 Polymer의 연구와 극세사 제조 방식에 따른 Pack 및 Nozzle 설계 기술이다. 다음 그

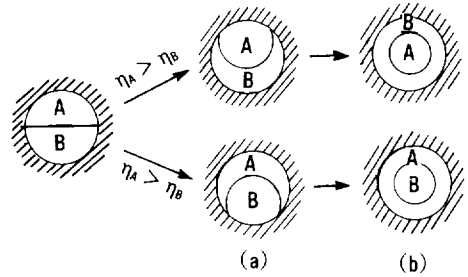


Fig. 17. Schematic showing the evolution of the change of interface shape in side-by-side coextrusion through circular dies : (a) a small L/D ratio, (b) a sufficiently large L/D ratio.

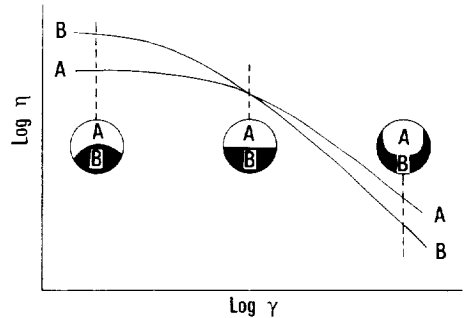


Fig. 18. Schematic illustration of the flow instability of the side-by-side configuration owing to viscous  $\eta$  differences.

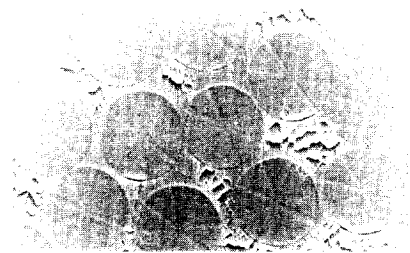


Fig. 19. SEM photograph of side-by-side type conjugated yarn.

림은 극세사 제조 방식에 따른 복합사의 대표적인 단면형태로 분할형(Fig. 19)과 해도형(Fig. 20) 분할처리 방식을 나타낸 것이다.

### Tire-Cord용 원사

Tire-Cord용 원사의 특성은 고강력, 고 Modulus

## 맺 음 말

폴리에스터 필라멘트 섬유의 방사기술은 앞에서 언급한 바와 같이 고부가가치 제품인 일반 극세사 제조기술과 혁신 공법인 초고속방사 기술이 의료용 부문에서, 그리고 Tire-Cord용 원사가 산업용 부문에서 눈부신 발전을 하고 있다. 특히 1978년 상업적으로 유용가능한 6,000 m/min급 Winder가 ATME-I'78 국제전시회에서 첫선을 보인 이후, 방사기술의 초고속화 연구가 급속히 진행되어 선진국에서는 1987년경 6~7,000 m/min 수준의 공업화가 완료되었고, 1991년 ITMA '91 전시회에서는 7~8,000 m/min급 초고속 Winder가 주류를 이루었다. 이와 같은 Hard-Ware 설비의 발달은 기존의 Know-How 연구에서 Know-Why 연구에의 방향 전환을 불러 일으켰고, 그에 따른 Soft-Ware적인 방사 기술 및 Polymer 설계 기술 등의 중요성이 점차적으로 부각되었다. 특히, 극한 방사기술은 현재 선진국에서도 기술개발이 진행되고 있는 분야가 대부분으로 기술의 이전이 잘 이루어지지 않고 있어, 계속적인 국제경쟁력 확보를 유지하기 위해서는 자체적인 기술개발이 불가피한 실정이다. 당사에서 이들 기술의 자체개발의 일환으로 상공부 '91공업기반기술개발과제인 'PET 초고속방사 기술 개발' 사업을 수행하고 있는데, 이와 같은 극한 방사기술을 개발함에 있어 체계적인 Know-Why 연구가 필수적이라고 판단, 충분한 기초연구를 진행하고 있으며, 향후 기술개발의 지름길이 될 것이라고 생각한다.

## 참 고 문 헌

1. R. W. Moncrieff, "Man-Made Fibres", Newnes-Butterworths, London, 434, 1975.
2. 한국화섬협회, 섬유정보(The Textile Bulletin), 제 817호~838호 (1991).
3. H. Treptow, *Chemiefasern/Textilindustrie*, 411-412 (1985).
4. T. Tekaat, "Manmade Fiber Year Book(CTI)",

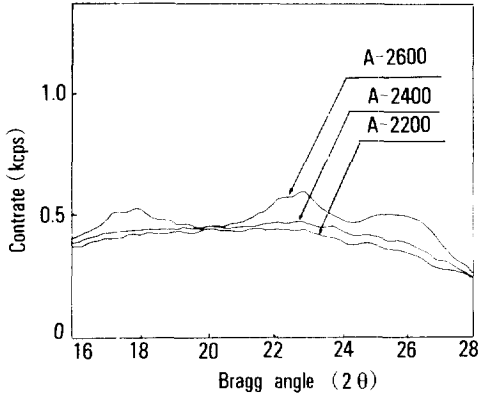


Fig. 20. SEM photograph of sea-island type conjugated yarn.

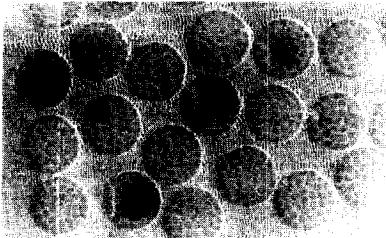


Fig. 21. WAXD scans of PET filaments spun at 2200~2600 m/min with high viscosity polymer (I.V.=1.1).

및 저 수축율 특성이 요구되며 그에 따른 방사기술의 핵심은 고점도 Chip의 사용과 함께 고결정화, 저배향특성을 갖도록 방사, 연신 조건을 적정화하는데 있다. 특히 분자량이 높은 고점도 Chip의 방사는 일반 의료용(I.V. 0.6 수준) 방사와는 달리 용융점도가 높아 지속에서도 최고속방사 특성인 결정화가 발현됨을 볼 수 있다(Fig. 21).

화물용 트럭등 대형차의 Tire-Cord에 사용되는 Nylon 초고강력사와는 달리 소형승용차 등의 Tire-Cord용으로 사용되는 PET Tire-Cord용 원사는 고강력과 함께 저수축율(춘법안정성\*) 특성이 요구되므로 고점도 방사기술과 함께 다단연신 및 열처리 기술의 확립이 필요하며, 그에 따른 섬유는 HMLS (High-Modulus, Low-Shrinkage) 특성이 요구된다.

- 52-56, 1987.
5. R. Beyreuther, G. Schauer, and A. Schoene, *International Fiber Journal*, **26** (1989).
  6. 김기수, 상공부 '91공업기반기술개발사업 중간보고서, 79-103 (1991).
  7. R. W. Miller, J. H. Southern, and R. L. Ballman, *Text. Res. J.*, 670-677 (1983).
  8. G. Bragato and G. Giaxotti, *Eur. Polym. J.*, 803-809 (1983).
  9. R. W. Miller and T. Murayama, *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 29, 933-939 (1984).
  10. H. M. Heuvel and R. Huisman, *J. Appl. Polym. Sci.*, **22**, 2229 (1978).
  11. J. Shimizu, T. Kikutani, A. Takaku, and N. Okui, *SEN-I GAKKAISHI*, **40**, No. 6, T177-T184 (1984).
  12. K. Katayama and M. Yoon, "High-Speed Fiber Spinning", 207-223, John Wiley & Sons, 1985.
  13. T. Kikutani, *International Polymer Processing*, **5**, 20 (1990).
  14. H. Yasuda, "High-Speed Fiber Spinning", 363-381 John Wiley & Sons, 1985.
  15. M. Matsui, *SEN-I GAKKAISHI*, **38**, No. 11, P508-P513 (1982).
  16. K. Fujimoto, K. Iohara, and S. Owaki, and Y. Murase, *SEN-I GAKKAISHI*, **44**, No. 2, 53-58 (1988).
  17. H. H. George, A. Holt, and A. Buckley, *Polym. Eng. and Sci.* **23**, No. 2, 95 (1985).
  18. A. Ziabicki, *Fiber World*, 8-12 (1984).
  19. K. Fujimoto, *SEN-I GAKKAISHI*, **45**, P-234 (1989).
  20. J. Shimizu, N. Okui, and T. Kikutani, *SEN-I GAKKAISHI*, **37**, No. 4, T135-T142 (1981).
  21. S. Ishizaki, "京都國際化合纖 Symposium", 271-300 (1988).
  22. T. Kikutani, H. Yamada, and A. Takaku, and J. Shimizu, *SEN-I GAKKAISHI*, **44**, 1511-1520 (1988).
  23. J. F. Hotter, J. A. Cuculo, and P. A. Tucker, *J. Appl. Polym. Sci.*, **43**, 1511-1520 (1991).
  24. A. Ziabicki, *SEN-I GAKKAISHI*, **38**, No. 9, P 409-P417 (1982).
  25. R. Beyreuther, *International Fiber Journal*, 46-53 (1991).
  26. K. Bauer, "Manmade Fiber Year Book(CTI)", 60-62 1987.
  27. A. Ziabicki, "Fundamentals of Fiber Formation", John Wiley & Sons 1976.
  28. 김우섭, 한국섬유공학회지, **28**, 14-26 (1991).
  29. C. D. Han, *J. Appl. Polym. Sci.*, **19**, 1875 (1975).
  30. C. D. Han, "Rheology in Polymer Processing", Academic Press, New York 1976.
  31. 한준석, ITMA '91 참관 보고서 (Unpublished).