

산업용섬유의 기술개발동향-11

<산업용 Polyester 섬유제조 및 개발동향>

I. 서 언

본 원고는 필자가 입수한 공개된 기술자료와 제품을 토대로 개인적인 경험과 견해를 덧붙여 정리한 것이다. 따라서 업계 또는 학회의 모든 정보를 망라한 것은 아니며 해석상에도 미흡한 점이 있다는 것을 미리 언급해 두고자 한다.

1. 폴리에스터섬유 제조 개황

폴리에스터섬유 제조기술 및 개발동향을 알기 위한 예비지식으로서 중요하다 생각되어지는 사항을 요약하였다.

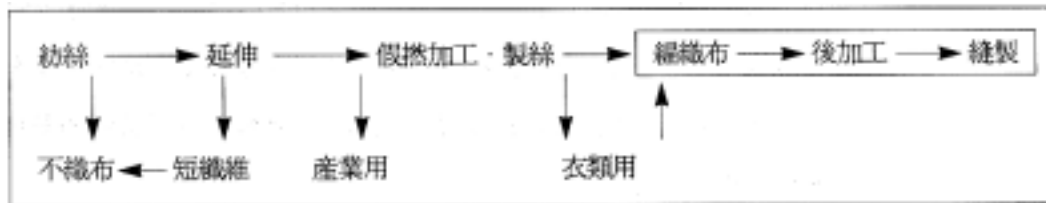
1-1. 폴리에스터섬유 제조과정과 제품분야

폴리에스터섬유는 원료 Polymer로부터 방사·연신·가연가공·제사·편직포·후가공·봉제 등 많은 공정을 거쳐 산업용 또는 의료용제품이 된다. 대표적인 제품분야와 제조과정의 관계를 요약하면 아래 그림과 같이 된다.

각각의 제품의 요구성능, 품질, 비용 또는 수요자 요구에 대응한 기술개발이 항상 계속되고 있다. 개방의 중점사항은 필요로 하는 요구에 가장 효과적으로 대응할 수 있는 공정이 어느 것인가를 특정지어 그 공정에 맞추는 것이 일반적이다.

일반적으로 제조과정이 길어질수록(공정수가 많아질수록) 제품의 특성에는 여러 가지 변화나 신규기능을 부가하는 기술의 선택이 늘어나 그만큼 기술확립에는 많은 어려움을 수반한다. 뒤에서 언급할 신합섬의 기술개발은 그

전형적 사례로 볼 수 있다.



1-2 폴리에스터섬유의 구조와 물성과의 관계에 대한 기초적 식견

폴리에스터섬유는 결정성 고분자인 폴리에틸렌 테레프탈레이트에서 만들어지며 섬유는 섬유축 방향과 평행방향으로 분자쇄방향이 배향한 결정상과 비결정상으로 구성되어 있다. 폴리에스터섬유의 물성, 예를 들면, 역학적 특성(강도, 탄성율, 신도등)이나 물리화학적 성질(염색성등)과 섬유구조와의 관계에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔다. 특히, 중요한 기본적인 식견을 요약하면 다음과 같다.

- 결정상 : 섬유의 역학적 성질에 커다란 영향을 지닌다. 분자쇄와 평행방향으로 힘을 가하는 경우와 직교하는 방향, 즉, 분자사이에 힘이 부가되는 경우에 이론적 탄성율이 요구되거나 강도가 추정되고 있다. 그 수치가 뒷받침하듯 분자쇄 방향으로 힘이 부과되는 경우 강도나 탄성율이 압도적으로 크다. 따라서 분자쇄가 섬유축 방향으로 향해있는 즉 배향결정화 하는 것에 의해 섬유의 강도가 높아진다.

- 비결정상 : 규칙적인 분자배열은 형성되어 있지 않지만 연신에 의해 전체적으로 섬유축 방향으로 분자쇄는 배향하고 있다. 또한, 비결정상 분자쇄에는 결정상을 연결하고 있는 것(이것을 tie분자라 함)과 분자말단등이 존재하여 이들의 많고 적음(존재하는 양)은 섬유물성과 밀접하게 관계되어 있다. 예를 들어, tie분자가 많으면 강도는 높아진다. 한편, 외력이 주어지면 분자말

단은 파단기점(응력집중점)이 될 가능성이 높으므로 강도저하에 작용한다. 이러한 식견은 고강도 폴리에스터 섬유개발의 기본적 지침으로써 주목받고 있다.

· 배향도 : 섬유축 방향에 폴리에스터 분자축이 배열되어 있는 정도를 정량적으로 표현하는 수단의 하나로써 배향도가 이용된다. 방사, 연신, 열처리 등 폴리에스터섬유 제조 조건의 검토나 각종 폴리에스터섬유의 특징을 나타내는 지표로서도 중요시 된다.

· 결정화도 : 폴리에스터섬유의 구조중 결정상의 비율을 중량 또는 체적분율로 표시한 것으로 배향도와 함께 폴리에스터섬유의 특성지표로써 사용된다.

이들 지표치는 다양한 측정방법에 의해 폴리에스터섬유의 방사기술개발에 활용되어져 왔다. 특히, 황색X선회절, 복굴절, 소각X선산란, 밀도측정등에 유효하다. 그외의 측정방법도 포함하여 폴리에스터섬유 제조기술의 검토에 중요한 역할을 하는 측정방법을 참고로 하여 일람표로 만들었다.

이들 특성치는 폴리에스터섬유의 제조조건의 검토나 섬유 품질관리의 기본적 지표로써 이용가치가 높다.

<폴리에스터섬유의 구조 및 물성측정 방법의 대표적인 예>

측 정 방 법	측 정 항 목	측정목적 및 효과 등
황색C선회석	결정상에 의한 X선 회절강도의 곡선	결정화도, 결정의 배향도
소각X선산란	수nm에서 수십nm 스케일의 전자밀도 농염	섬유축 방향의 주기성(결정~비결정의 반복구조)이나 Micro Fibril의 크기
복 굴 절	섬유축에 평행방향과 수직방향과의 굴절율의 차	분자배향의 총수치
밀도측정	비중치	결정화도
열 분 석	Tg, Tc, Tm	섬유구조중 분자의 열적 특성치
동적점탄성	탄성율, $\tan \delta$ 의 온도의존성	섬유구조의 분자운동성

역학특성	하중, 신장곡선	강도, 신도, 탄성율 등
점도측정	용액점도, 용융점도	분자량, 유동성의 평가
열수축성	수축율, 수축응력 등	열적안정성, 잔류비틀림 평가

1-3 폴리에스터 섬유의 제조공정

잘 알려져 있듯이 용융방사법에 의한 폴리에스터섬유의 제조에는 크게 분류하여 다음의 3종류의 전형적인 공정이 실용화되어 있다. 본질적인 기술개발의 흐름은 폴리에스터를 용융상태에서 어떤방법으로 배향결정화시켜 실용적인 섬유물성을 부여하는가에 달려있다. 이때 비용절감과 생산성향상을 달성시키면서 각각의 목적에 의해 기계장치(하드웨어)가 개발되어 운전 노하우(소프트웨어)를 각사가 독자적으로 확립해 왔다. 이 하드웨어와 소프트웨어와의 최적 편서에 의해 성능, 품질, 비용의 경쟁력을 높이는데 각 메이커는 노력하고 있다. 하드웨어에 맞는 소프트웨어를 확립하기 위한 지침으로써 폴리에스터섬유의 구조와 물성에 관한 기초적 지식은 꼭 필요하다. 하드웨어와 소프트웨어를 결합시키는 Interface의 역할을 하는 것이 앞서 언급한 각종 측정방법에 의해 얻어진 측정데이터라고 할 수 있다.

<Conventional method에 의한 폴리에스터섬유 제조 Flow>

Undrawn yarn 및 Fully drawn yarn 제조 : winding speed 500~1500m/min

[Spinnerets] → [First Roller] → [Winding] Undrawn yarn

[Undrawn yarn] → [Draw pin] → [Draw Roller] → [Winding] Drawn yarn

<Spin-draw-take-up method에 의한 폴리에스터섬유 제조 Flow>

Fully draw yarn 또는 Fully oriented yarn 제조:Winding speed 2000~5000m/min

[Spinnerets] → [First Roller → Second Roller → Third Roller] → [Winding]

Drawn yarn

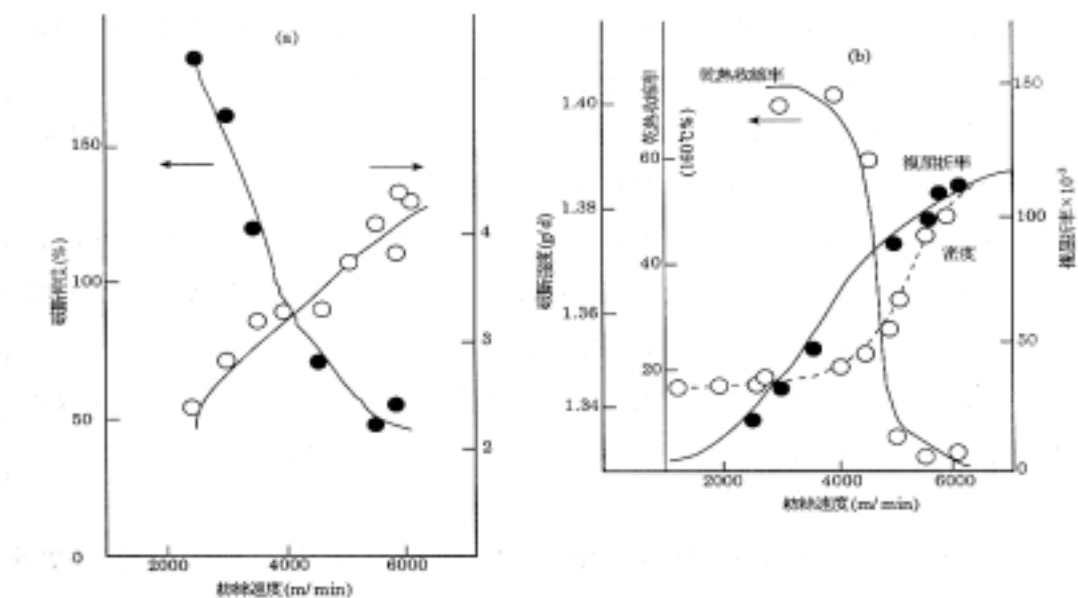
<Spin-take-up method에 의한 폴리에스터섬유 제조 Flow>

Partially oriented yarn 또는 Moderately oriented yarn 제조: Winding speed
4000~6000m/min

[Spinnerets] → [Winding]

1-4 폴리에스터 섬유의 고성능화 · 고부가가치화

폴리에스터섬유의 방사기술에 대해서 많은 연구자가 용융상태에서 유동배향, 결정화 및 연신에 의한 배향, 결정화의 거동을 정력적으로 분석하고 있다. 그 결과는 실용적으로도 높이 평가되어 생산장치나 제조 조건 및 노하우로 활용되고 있다. 여기에서는 방사속도와 섬유물성에 관한 일반적 식견을 정리했다.



<방출사 물성의 방사속도 의존성>

- ◎ 방사속도를 높이면 폴리에스터 분자의 배향결정화가 진행된다. 즉, 결정화도와 결정배향도는 증가한다.
- ◎ 6000m/min 부근의 방사속도에 달하면, 배향도 및 결정화도도 꽤 높아져 섬유로서의 실용성이 증가한다.
- ◎ 초고속방사(7000m/min이상)에 의해, 폴리에스터섬유의 내부구조는 불균일성을 증가시켜 강신도의 저하와 염색성이 향상된다.
- ◎ 초고속방사에 의해, 섬유의 내층과 외층에 구조차이가 생기며(skin/core), 비결정부에 극히 적은 보이드(void)가 발생한다.
- ◎ 폴리에스터섬유의 비결정부분의 분자배향은 방사속도의 증가에 의해 높아지지만, 6000m/min 부근을 정점으로 해서, 이보다 빠른속도에서는 반대로 저하된다. 이것은 앞의 극소 보이드 발생 및 염색성 향상과 결부되어 있다.
- ◎ 고강력 폴리에스터섬유의 제조를 위해서는, 결정입자를 작게하여 결정과 결정을 연결하는 tie 분자쇄(tie chain)을 많이 하는 것이 필요하다.
- ◎ 그러기 위해 고분자량의 PET를 큰 연신력으로 연신하는 (예 : 연신온도를 낮춤) 것이 효과적이라고 생각되어 지고 있다.
- ◎ 타이어코드용 폴리에스터섬유의 내피로성과 내열안정성, 즉, 고온에서 치수 안정성을 높이기 위해서는 비결정쇄(amorphous chain)의 긴장을 완화시키는 것이 중요하다. POY의 응용이 유효시되고 있다.
- ◎ 폴리에스터 섬유의 방사에 있어서, 방사속도를 높여도 기존의 연신섬유와 같은 물성을 지닌 섬유를 얻는 것은 불가능하다는 것을 알게 되었다.

한편, 의료용 용도에 있어서는 소비자의 수요에 대응하기 위해, 방사, 연신, 가연가공, 편직포가공 등에 이르는 기술개발이 이루어져 있다. 폴리에스터 섬유의 고부가가치화의 성과에 대해서는 일본의 독자적인 신타섬(Shin gosen) 탄생에서 찾을 수 있다. 다음 장에서는 각각의 공정에 있어서 몇가지의 기술 개발에 대해서 실례를 소개하겠다.

<신타섬의 주요 요소기술>

목 적		기 술 내 용
원 료	폴리머 개질	공중합(캐치온가염화, 기타)
		첨가제(제전성, 흡습성, 기타)
Up-Stream	원섬의 차별화	극세섬도화(High-Multi 등)

		이수축 · 혼섬사구조
		이형 · 중공섬유화
	초극세섬유 (마이크로화이버)	혼합방사(해 · 도섬유)
		복합방사(분할형섬유)
Middle-Stream	복합 · 가공에 의한 기능차별화	Thick&Thin구조
		심 · 구조사
		극세섬유화(용해 · 분할)
	상품설계, 감성의 표현	볼륨감(섬유간격조정)
		직포표면구조(모우, 피브릴 등)