

극한 섬유소재의 개발

손태원, 김영훈

영남대학교 섬유패션학부

1. 서론

섬유소재란 섬유가 옷을 만드는 재료로 이용되는 것을 넘어서서 보다 다른 제품을 만드는 원료로서 그 형상이 섬유상으로 구성되어 있는 것을 의미하며, 우리가 일상적으로 사용하고 있는 제품의 형태를 만드는데 필요한 원료로서 이용될 뿐 아니라 용융상 및 분말상과 더불어서 물체를 구성하는 주요한 형상(phase)으로 그 역할을 담당한다. 섬유소재(fiber matter)는 일상생활에서나 산업활동에서 필요로 하는 제품을 만드는 기본재료로 널리 사용되고 있으며, 특히 산업적인 면에서 가볍고 질기고 안정한 제품을 제조하는 원료로서 새로운 용도에 적합한 신개발 섬유소재에 대한 요구가 확대되고 있다.

극한 섬유소재란 일반섬유에 비해 안정성이 크며, 내열성, 강신도, 탄성률, 내화학성, 내구성 등이 일반섬유의 한계를 뛰어 넘어 극한 환경에서도 비교적 안정성을 유지하는 고성능 또는 초성능 섬유소

재를 말한다. 현 산업에서 그 기술이 고도화, 정밀화, 지능화되면서 요구되는 소재가 환경적으로 극한 조건에서도 장시간 견딜 수 있는 매우 우수하고도 새로운 성능을 필요로 하기 때문에, 이들 극한 섬유소재에 대한 관심과 수요가 급속히 커지고 있다.

극한 섬유소재는 특성별로 고강도, 고탄성률, 고내열성 등으로 분류되고, 소재별로 유기계, 무기계 등으로, 방사법에 의해 겔방사, 액정방사, 용융방사 등으로, 화학구조에 따라 aramid, LCP, PBO, PI, PTFE, PPS, PEEK 등으로 분류된다. 이밖에도 용도별, 물성별 등으로 분류가 가능하나 화학구조와 소재에 따라서 구분하고 특성과 용도의 차이를 기술하는 분류가 가장 일반적으로 제시되고 있으며, 대표적인 극한 섬유소재의 종류를 Table 1에 나타내었다.

섬유는 고분자 물질로 이루어져 있으며, 그 성질은 원료인 고분자에 의하여 좌우된다. 섬유소재의 개발은 합성 고분자를 그 원료로 사용하여 다양하게 진행되어 왔다. 초기에는 비교적 제조가 용이한 지방족 고분자에서부터 먼저 섬유가 제조되었으나, 기술의 발전과 더불어 방향족 고분자, 전방향족 고분자, 기능성 고분자 등 안정성이 큰 고분자를 원료로 사용한 섬유소재가 제조되었다. 최근 항공산업을 비롯한 스포츠, 자동차, 전자 산업 등에서 격심한 조건 하에서도 그 성능을 유지할 수 있는 극한 성능의 섬유소재가 요구되고 있어서 그 개발이 적극적으로 추진되어 왔다. 극한 섬유소재는 지금

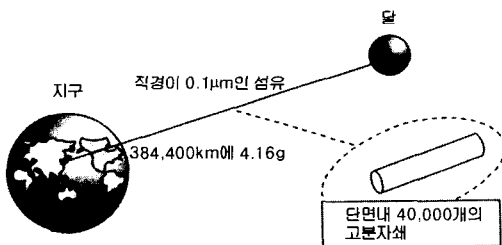


Figure 1. 극한 섬유 굵기의 개념.

Table 1. 극한 섬유소재의 분류

분 류	구 분	종 류
특성별	○ 고강도·고탄성계	para-aramid(PPTA), PBO, LCP, UHMPE, HT-PVA 등
	○ 초내열성계 ○ 용융 내열성계 ○ 내약품성계	meta-aramid(MPIA), PI, PBI, PPS 등 PPO, polyarylate, PES 등 PTFE, PEEK 등
소재별	○ 유기계	PPTA, LCP, PBO, PBT, HT-PVA, UHMPE, PTFE, PI, polyarylate, PPS, MPIA, PBI 등
	○ 무기계 ○ 금속계	Ceramics(Alumina fiber, SiC fiber) 등 Steel fiber 등
방사법	○ Melt-spinning법 ○ Gel-spinning법 ○ Dry-spinning법 ○ Wet-spinning법 ○ Dry-wet spinning법 ○ Suspension spinning법 ○ TLC spinning법 ○ LC melt spinning법 ○ 기타	PPS, PPO, polyarylate, Novoloid 등 HT-PVA, UHMPE, PAN 등 MPIA, PBI, PI 등 PAI, PI 등 PPTA, PBO, PBT 등 PTFE, Ceramics 등 LCP, PAM 등 Meso-phase pitch계 탄소섬유 등 PAN계 탄소섬유, Steel fiber 등
	화학구조	○ Aromatic polyamides ○ Aromatic polyesters ○ Polysulfones ○ Polyimides ○ Fluoro polymers ○ Carbon계 ○ Polyheterocyclics ○ Polyketones ○ Ceramics ○ 기타

하여 일반 섬유에 비해 그 제반 성능이 극히 우수한 고성능 또는 초성능의 성질을 갖는 섬유이다.

전방향을 고분자로 만들어진 대표적인 극한 섬유소재는 아라미드(aramid) 섬유이다. 미국 DuPont에 의해 개발된 이 섬유는 케블라(Kevlar)라는 이름으로 30년 동안 극한 섬유소재의 대표적인 위치를 차지하고 있다. 이는 고강도 및 고탄성률을 갖는 고성능 섬유로서 첨단 복합재료, 고온 마찰재료, 경량 강력재료, 방탄 보호재료, 광케이블 보강재료 등 격심한 조건이 주어지는 특수한 용도에 적용된다. 이와 함께 PBO, LCP 등 고강력이면서도 고내열성인 새로운 극한 섬유소재 들이 개발되어 유사한 용도

로 활용되고 있다.

수요의 팽창과 더불어 극한 섬유소재의 개발이 세계적으로 다양하게 이루어지고 있으나, 국내 합성섬유의 주도산업인 폴리에스터를 응용한 극한 섬유

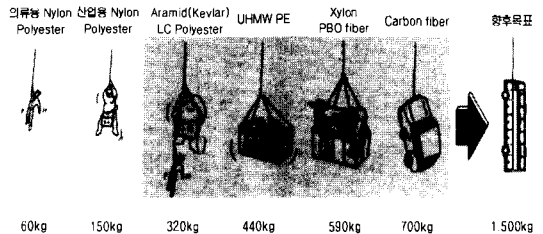


Figure 2. 섬유소재의 강도 비교

유소재로는 고강력 섬유인 벡트란(Vectran)으로 대표되는 전방향족 액정폴리에스터(LCP)와 고내열성인 폴리아릴레이트(polyarylate)가 개발중에 있다. 전방향족 폴리에스터는 아라미드, PBO, 폴리이미드, PBI, PPS, PEEK 등과는 다르게 용매 미디움을 쓰지 않는 용융중합과 용융방사에 의하여 섬유로 제조될 수 있고, 원료 화합물의 수급이 상대적으로 훨씬 용이하므로 경제적으로나 환경적으로 크게 유리한 위치에 있다.

2. 극한 섬유소재의 구조

섬유를 구성하는 원료물질에 있어서 일반 섬유는 대부분 지방족 고분자로 이루어진데 반하여 극한 섬유소재는 전방향족 고분자(wholly aromatic polymer)로 이루어져 있는 것이 특징이다. 단, 불소계 고분자(PTFE)의 경우 지방족 고분자의 수소가 모두 불소로 치환된 화학구조로 인하여 안정한 성능이 주어지는 특징을 갖고 있다. Figure 3은 극한 성능을 나타내는 대표적인 고분자물들의 화학구조를 나타내었다.

고분자가 고강도 또는 고탄성률을 가지려면 구조적으로 고분자 쇠가 섬유축 방향으로 가지런히 잘 배열되어야 한다(Figure 4). 전방향족 고분자는 열적으로 안정한 성질을 갖고 있을 뿐만 아니라 고분자의 구조에 따라서 분자쇄가 섬유축 방향으로 잘 배향되는 특성이 있다. 특히, Kevlar, Vectran과 같이 액정 고분자로 구성된 섬유의 경우 자발적으로 분자쇄 배향이 이루어져 고강도 및 고탄성률을 나타낸다.

고강도 섬유는 기본적으로 화학구조가 전방향족 고분자로 이루어지고 섬유내 고분자 주쇄들이 잘 배향되어 있어서 공유결합의 인장강도(σ) 및 인장탄성률(E)이 섬유의 인장강도(T) 및 탄성률(M)로 전달될 수 있는 아주 효율적인 내부구조를 가지고 있다. Table 2에서 보듯이 이론상 T 및 M의 극한값은 결정의 인장강도(T_c) 및 인장탄성률(M_c)로 계산

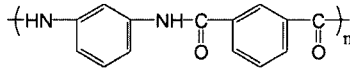
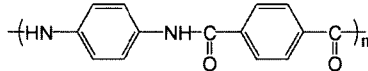
되지만, 실제적으로는 강도 20 g/d와 탄성률 1000 g/d 이상을 달성하는 섬유가 제조되고 있다.

고내열성 섬유는 전방향족 고분자로 구성된 섬유란 특징을 갖고 있으며, 아직까지 섬유의 내열성에 관한 명확한 규정은 없지만 일반적으로 200°C 이상의 높은 온도에서 장시간 안정성을 유지하는 섬유를 의미하고 있다.

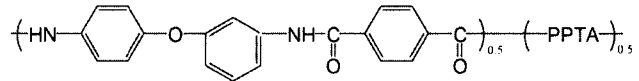
현재의 고강도·고탄성률 섬유를 얻기 위해서는 주쇄 원자의 공유 결합의 파단에 필요한 힘으로 평가할 수 있는 이론 탄성률(결정 탄성률)을 실현하면 된다. 그 방법으로는 첫번째로 분자쇄가 모두 신장된 완전 배향구조를 이루는 것, 두번째는 미세 구조중의 결함을 완전히 제거하는 것의 두가지를 생각할 수 있다.

첫번째 방법은 현재 두개 타입의 제품군이 실현되고 있다. 하나는 분자쇄가 강직하기 때문에 성형시에 완전 신장쇄를 가지기 쉬운 타입으로 강직성 고분자라 부르며, 대표적인 것으로 아라미드가 있다. 또 하나는 분자쇄의 굴곡성이 높기 때문에 중첩구조를 취하기 쉬운 타입으로 굴곡성 고분자라 부르며, 대표적인 것으로 polyethylene 등이 있다. polyethylene은 아라미드보다 늦게 개발되었는데, 겔 방사법의 개발에 의해 처음으로 고강도·고탄성화를 실현하였다.

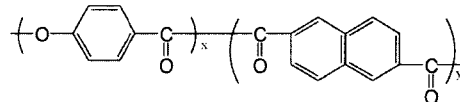
polyethylene을 대표로 하는 굴곡성 고분자의 미세구조에 대해서는 꽃송이 모양의 미셀구조와 단결정구조로 대표되는 중첩구조와의 사이에서 여러 가지 구조 모델이 제안되어 왔다. 대표적인 모델은 Peterlin과 Taylor 등이 제안한 섬유축 방향으로 배향된 폭 0.1 μ m의 피브릴이 다수 모여서 섬유를 형성하고 있는 미셀구조모델이 있다. 이 피브릴은 폭 10 ~ 20nm의 마이크로 피브릴이 집합된 것으로 마이크로 피브릴은 내부에서는 10nm정도 두께의 라멜라 구조가 적층해 있으며, 라멜라간의 무정형 부분에는 라멜라를 연결하는 타이체인 중에서 긴장한 타이체인이 인장응력을 분담하는 것으로 알려지고 있다. 범용 섬유의 경우에는 이 긴장한 타이체인이 5%

[Aramide/aromatic polyamide]Poly-*m*-phenylene-*iso*-phthalamide (PMEA)Poly-*p*-phenylene terephthalamide (Kevlar, PPTA)

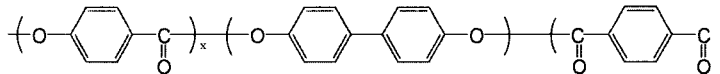
Aramid copolymer (Technora)

**[Polyarylate(aromatic polyester)]**

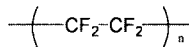
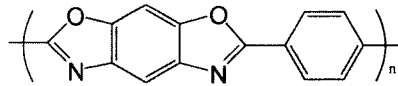
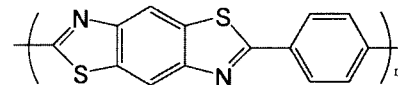
Vectran(x : y = 7 : 3)



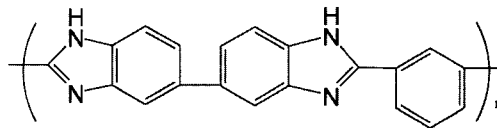
Xydar

**[Polyolefin/vinyl polymers]**

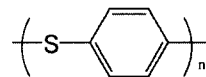
Polytetrafluoroethylene(PTFE)

**[Other heterocyclic polymer]**Poly-*p*-phenylene benz-*bis*-oxazole (PBO)Poly-*p*-phenylene benz-*bis*-thiazole (PBZT)

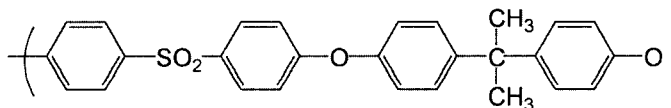
Poly(benz imidazole)



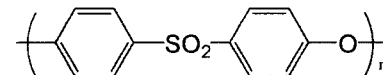
Poly(phenylene sulfide) (PPS)



Polysulfone (PSF)



Poly(ether sulfone) (PES)



Poly(ether ether ketone) (PEEK)

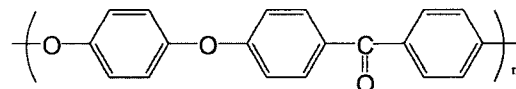


Figure 3. 대표적인 극한 섬유소재의 화학구조.

Table 2. 극한 섬유소재의 강도 및 탄성률

섬유소재		실재값		이론값		방사법
분류	종류	강도(T) (g/d)	탄성률(M) (g/d)	강도(T _c) (g/d)	탄성률(M _c) (g/d)	
강직성 고분자	PPTA ¹	23	1,000	235	1,500	용액방사
	PBT ²	25	2,400	-	-	용액방사
	LCP	31	1,080	-	-	용융방사
굴곡성 고분자	PE	71	2,400	372	2,775	겔방사
	PVA	19	550	236	2,251	겔방사, 건습식방사
	PAN	25	-	196	833	겔방사, 건습식방사
	POM ³	12	320	264	-	초연신
	Nylon 6	17	50	316	1,406	Zone 연신
	PET	11	20	232	1,023	Zone 연신

1. PPTA: Poly(*p*-phenylene terephthalate), 2. PBT: Poly(*p*-phenylene bisbenzothiazole), 3. POM: Polyoxymethylene.

정도밖에 포함되어 있지 않기 때문에, 고강도·고탄성은 발생하지 않는다고 알려져 있다. 따라서 고강도·고탄성 섬유를 얻는 연구의 주안점은 어떻게 해서 중첩구조를 줄이고, 역으로 어떻게 해서 긴장 타이체인의 양을 늘리는 가에 있는데, 다시 말하면 분자쇄를 어떻게 완전히 신장된 구조를 갖도록 하느냐가 연구 다가가게 할 수 있는가에 있었다.

두번째의 경우는 분자쇄 말단에 존재하는 결합 및 분자간, 분자내의 뒤얽힘을 적게 하는 것이 고강도·고탄성 섬유를 얻는 포인트이다. 쇠길이가 짧으면, 분자쇄간에서 미끄러짐이 생기고, 동시에 말단이 결합으로서 작용하기 때문에, 섬유의 과단

으로 이어져 고강도화의 장애가 된다. 또한, 뒤얽힘에 대해서는, 분자량 1만 즉, 쇠길이 1,250nm의 polyethylene인 경우, 두께가 12.5nm의 라멜라 구조를 형성하고 있다고 가정하면, 그 라멜라의 중첩 구조를 풀어서 완전 신장쇄까지 늘이기 위해서는 연신 배율 100배가 필요하다. 그러나 용융방사에서의 연신 배율은 기껏 10배에 불과한데, 이는 분자쇄들간의 agglomeration 등에 의해 연신이 제약 받기 때문이라고 생각되고 있다. Figure 5는 연신에 의한 폴리에틸렌 섬유구조의 차이점을 나타내었다.

DuPont이 1970년대 초에 시판한 poly(*p*-phenylene terephthal-amid)(PPTA) 섬유인 Kevlar가 세계 최초

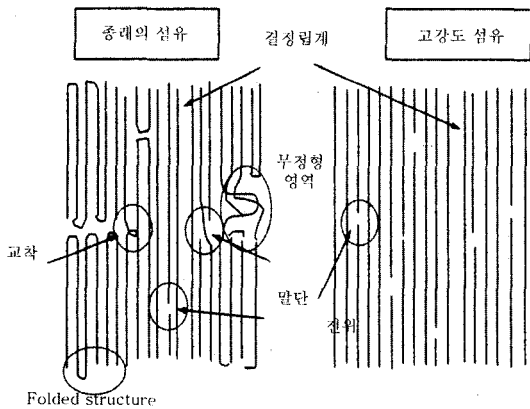


Figure 4. 일반섬유와 고강도섬유의 구조.

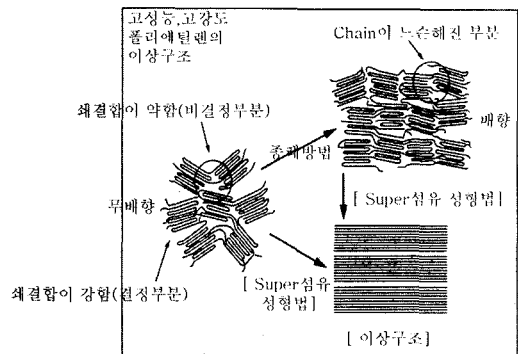


Figure 5. 연신에 의한 폴리에틸렌 섬유구조.

의 고강도·고탄성 섬유이다. 이와 같은 전방향족 폴리아미드를 아라미드라고 부르기 시작하였으며, 용액 상태에서 액정거동을 나타내는 Lyotropic계 액정고분자의 효시가 되었다. 그밖에 polybenzamide (PBA) 등도 연구되기 시작하였다. 한편 1976년에 PET와 p-hydroxybenzoic acid(HBA)와의 반응에서 얻어지는 공중합체는 열을 가하여 고온으로 하면 액정거동을 나타내는 thermotropic계 액정이라는 것이 보고된 후 Eastman Kodak 사에 의해 X7G가 개발되었다. 이와 같은 전방향족 폴리에스테르계는 방향환의 비율을 높여 가면 강도 및 탄성률이 급상승하게 되는데, 융점이 높아져서 불용·불용으로 되어 버리는 문제점이 발견되어, 융점을 저하시키는 연구가 현재까지도 꾸준히 계속되고 있다.

3. 극한 섬유소재의 특성

Figure 6과 같이 극한 섬유소재를 특성별로 분류해보면 1) 고강도, 고탄성률, 고인성 섬유, 2) 고내열성, 열안정성, 난연성 섬유, 3) 내화학성, 내가수분해성, 내용매성 섬유, 4) 내광성, 내후성, 내환경성 섬유, 5) 내마모성, 내피로성, 내충격성 섬유 등으로 나눌 수 있다. 지금까지, 특수한 성능을 갖는 섬유의 개발이 다양하게 이루어져 왔으나, 기능적

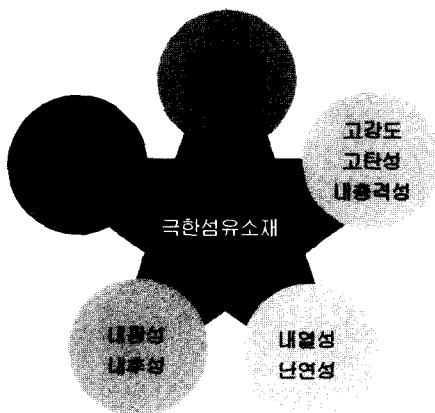


Figure 6. 극한 섬유소재의 특성별 분류.

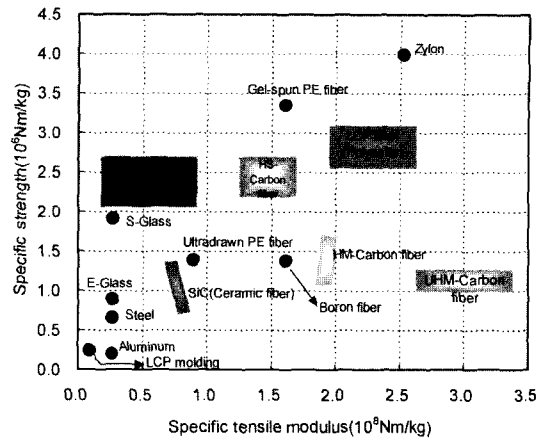


Figure 7. 각종 극한 섬유의 물성비교.

인 면에서 섬유소재의 주용도가 구조형성을 강조하고 있는 만큼 어떠한 환경 조건에서도 형태 안정성을 유지할 수 있는 신소재에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 동시에 섬유로서 격심한 환경변화 조건에서도 그 안정성을 보장할 수 있는 소재의 개발에 관심이 집중되었다.

현재 상업적으로나 기술적으로 가장 진보되어 있는 극한 섬유소재는 고성능 섬유로서 고강도 및 고탄성률을 갖는 고강도 섬유와 고온 안정성 및 난연성을 갖는 고내열성 섬유로 대별될 수 있다. Figure 7은 현재 개발되고 있는 대표적인 각종 극한 섬유의 물성을 나타낸 것인데, 극한 섬유재료의 고유의 특성인 경량성, 가공성 등을 바탕으로 고강도, 고탄성, 초내열성 등을 부여하고, 구조재 및 분리기능, 광학특성, 전기특성 등과 같은 종래에는 없었던 새로운 기능을 보강한 첨단 신소재산업의 하나로써 광의의 고분자 신소재산업의 범위에 포함된다.

Table 3~15는 현재 생산되고 있는 각종 극한 섬유로서 meta-aramid, para-aramid, PTFE, PPS, Melamine, PBO, PBI, polyimide, carbon precursor, carbon fiber, HDPE, glass fiber, LCP 등의 기본물성을 나타내었다. 이들 극한 섬유를 제조할 때 대부분의 극한 섬유는 용매를 사용하여 제조하지만

Table 3. Meta-aramid : Nomex®(DuPont), TeijinConex®, TeijinConex HT®(Teijin)

M-aramid properties	Value
Tenacity (g/d)	3.7 ~ 7.2
Elongation(%)	25 ~ 40
Limiting oxygen index	30
Chemical resistance	Mild ~ Good
Operating temperature(°F)	400

Table 4. Para-aramid : Kevlar®(DuPont), Twaron® (Acordis), Technora®(Teijin)

Para-aramid properties	Value
Tenacity (g/d)	22 ~ 26
Modulus (g/d)	460 ~ 1,100
Elongation(%)	2.4 ~ 4.4
Limiting oxygen index	25 ~ 28
Chemical resistance	Mild ~ Good
Operating temperature(°F)	375

Table 5. Fluorocarbon fibers(PTFE) : Teflon®(DuPont), Toyoflon®(Toray)

PTFE properties	Value
Tenacity (g/d)	2
Elongation(%)	25
Limiting oxygen index	95
Chemical resistance	Excellent
Operating temperature(°F)	500
Friction coefficient	0.2

Table 6. PPS : Ryton®(Amoco/Successor), Procon® (Toyobo), Toray PPS®(Toray)

PPS properties	Value
Tenacity (g/d)	3.5 ~ 4.5
Elongation(%)	32 ~ 49
Limiting oxygen index	34
Chemical resistance	Very good
Operating temperature(°F)	500

Table 7. Melamine : Basofil®(BASF)

Basofil properties	Value
Tenacity (g/d)	2.0
Elongation(%)	18
Limiting oxygen index	32
Chemical resistance	Mild ~ Good
Operating temperature(°F)	400

Table 8. PBO : Zylon®(Toyobo)

PBO properties	Value
Tenacity (g/d)	42
Modulus (g/d)	1,300
Elongation(%)	3.5
Limiting oxygen index	68
Chemical resistance	Mild ~ Good
Operating temperature(°F)	550 ~ 600

Table 9. PBI : PBI®(Celanese)

PBO properties	Value
Tenacity (g/d)	2.7
Modulus (g/d)	32
Elongation(%)	29
Limiting oxygen index	41
Chemical resistance	Good ~ Excellent
Operating temperature(°F)	482

Table 10. Polyimide(PI) : P-84®(Inspec)

P-84 properties	Value
Tenacity (g/d)	4.2
Elongation(%)	30
Limiting oxygen index	38
Chemical resistance	Good
Operating temperature(°F)	500

Table 11. Carbon Precursor : Lastan®(Asahi)

Lastan properties	Value
Tenacity (g/d)	2
Elongation(%)	15
Limiting oxygen index	60
Chemical resistance	Mild
Operating temperature(°F)	392
Electrical resistance	108 ~ 1010Ωcm

Table 12. Carbon fiber : PAN(polyacrylonitrile) and pitch based

Carbon fiber properties	PAN	PITCH
Tenacity (g/d)	18 ~ 70	14 ~ 30
Modulus (g/d)	1,640~ 3,850	1,000 ~ 5,850
Elongation(%)	0.4 ~ 2.4	0.2 ~ 1.3
Operating temperature(°F)	570 ~ 1,000	570 ~ 1,000

Table 13. High density polyethylene(HDPE) : Spectra® (Honeywell), Dyneema®(Dyneema)

HDPE fiber properties	Value
Tenacity (g/d)	30
Modulus (g/d)	1,400
Elongation(%)	15
Chemical resistance	Excellent
Operating temperature(°F)	250

Table 14. Glass fiber

Glass properties	E-glass	AR-glass	S-glass
Tenacity (g/d)	35	46	35
Modulus (g/d)	524	1,250	620
Elongation(%)	4.8	2	5.4
Refractive index	1.547	1.561	-
Density(g/cm ³)	2.57	2.68	2.46
Coefficient of thermal expansion(10 ⁻⁶ /°C)	50 ~ 52	75	23 ~ 27
Dielectric(10 ¹⁰ Hz) constant	6.1 ~ 6.3	-	-

LCP의 경우 용융중합 및 용융방사에 의한 무용매 공정에서 제조된다.

Table 15. Liquid crystalline polymer : Vectran®

Vectran fiber properties	Value
Tenacity (g/d)	23
Modulus (g/d)	525
Elongation(%)	3.3
Limited oxygen index	30
Operating temperature(°F)	250

4. 극한 섬유소재의 응용

21세기의 섬유산업에서는 단순한 의류용 섬유생산의 한계를 뛰어넘어 첨단기술을 이용한 신소재, 고성능 합섬 개발로 우리생활에 밀접한 생활용품 소재에서부터 레저스포츠용, 토목·건축용, 정보산업용, 환경용, 산업용 소재 및 생명공학분야, 우주·항공분야 등에 이르는 새로운 수요가 계속 늘고 있어서 극한 섬유소재에 대한 수요가 크게 증가할 전망이다.

Table 16에 나타난 바와 같이 현재 상업화되어 있는 para-aramid 섬유, 탄소섬유, polyethylene 섬유, 액정 polyarylate 섬유, PBO 섬유 등은 금속재료에

Table 16. 상업화되어 있는 대표적인 극한 섬유소재 현황

구분	종류	대표상품명	제조업체
유기계 섬유	강직성 고분자 (액정방사)	Aromatic polyamide (Aramid)	Kevlar Dupont Twaron Akzo Technora Teijin
		Aromatic Polyester (Polyarylate)	Econol Akzo
		Polyheterocyclic	Vectran Celanese
	굴곡성 고분자 (겔방사)	Polyethylene	Zylon Toyobo
			Spectra Allied
			Dyneema Toyobo
무기계 섬유	Carbon Fiber	Torayca Toray	
		Besfight Toho Rayon	
		Pyrofil Mitsubishi Rayon	
	세라믹	Alumina Fiber	Altecs Sumitomo Chem.
			Nextel 3M
			FiberFP DuPont
		Silicon Carbide	Nicalon Nihon Carbon
			Tyranno Ube Inc.
			Sylramic Dow Corning

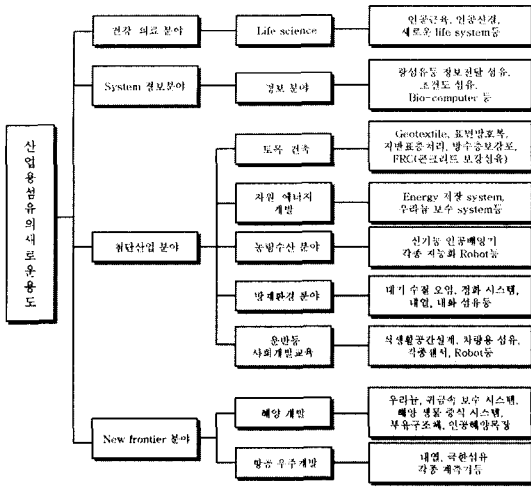


Figure 8. 극한 섬유소재의 새로운 용도.

비해 비강도 및 비탄성률은 수 배 정도나 우수하여 첨단 FRP용 섬유, 로프(rope), 방탄조끼 등으로 폭 넓게 사용되고 있다. 또한 meta-aramid, poly(tetrafluoroethylene)[PTFE] 섬유 등은 290°C 이상의 고온에서 내열성이 우수하여 항공기 내장, 소방복, 다리미나 냄비 등의 바닥처리용으로 사용되고 있으며, 고온용 전기·전자산업용 PCB 기판 등의 보강재로 사용되고 있다.

극한 섬유소재의 단독 용도로서는 각각의 극한 섬유소재의 재료특성을 살린 산업소재 용도가 많다. Figure 8은 극한 섬유소재의 신용도를 나타낸 것인데 산업소재 분야에서의 주요 용도를 들면, 로프, 네트, 어망 등의 해양수산업분야, 혹은 공사용 로프, 성토보강 등의 토목건축 용도가 있다. 해양수산업분야에서는 아라미드 섬유, 폴리아릴레이트 섬유, 폴리에틸렌 섬유 등의 사용이 증가하고 있으며, 상호간 시장점유의 경쟁이 심해지고 있다.

아라미드 섬유를 사용한 방탄조끼는 치안이 불안한 구미에서는 경찰관 전원이 착용하고 있지만, 치안이 비교적 좋은 일본에서는 착용자는 적다. 이것 외에 防刀(방도)의류, 防절사장갑 등의 방호재료에도 큰 용도가 있다. 이 분야에는 폴리에틸렌 섬유

도 진입하고 있는 실정이다.

폴리에틸렌 섬유는 용점이 섭씨 150°C 이하로 타극한 섬유소재와 비교해서 낮다. 그러므로 복합재료의 용도보다는 폴리에틸렌 섬유의 특징을 살린 용도분야 즉, 가공성이 좋은 점을 이용한 복합사, 로프류, 직·편물, 네트류, 부직포 등의 단독적인 용도에 특화되고 있다.

극한 섬유는 현재, 우리 근처에서 흔히 보는 스포츠, 레저, 운수 분야를 비롯해서 토목, 건축, 농수산에서 항공 우주분야의 각종 자재에 이르기까지 없어서는 안 될 보강소재의 하나로 자리 잡고 있다. 이 때문에 최근 많은 분야에서 극한 섬유의 특징을 살린 사용방법이 산업용도로서 활발하게 진행될 것이다. 또한 극한성능 섬유산업은 기존의 소재를 대체, 보완하거나 그 자체가 일정한 시장규모를 지니는 하나의 첨단산업으로서, 동 산업의 발전은 기업의 이윤획득 기회를 확대하고, 고용을 창출함으로써 사회적 잉여 확대 및 국민소득 증대에 직접적으로 기여하는 산업이다. 또한 극한성능 섬유 신소재는 자동차, 우주·항공, 정보통신 산업 등 첨단기술산업의 핵심소재로 사용되기 때문에, 극한성능 섬유산업의 발전이 이들 수요산업의 생산양식을 변화시킴으로써 생산성 향상 및 국제경쟁력 강화에 크게 기여하는 특성이 있다. 특히 극한 섬유소재를 사용한 각종 첨단복합재료의 등장으로 기존 금속재료를 대체하는 첨단재료로서의 가능성이 무궁무진해짐에 따라 세계적으로 관심이 증폭되고 있다.

극한성능 섬유산업은 후방의 석유화학산업, 정밀화학산업, 고분자산업의 원료를 도입하고, 범용섬유산업의 기술을 도입하거나 첨단 신기술을 이용하여 섬유화한 다음, 이를 이용하여 섬유집합체(직물 및 부직포)를 제조하고, 한 단계 더 나아가서는 첨단복합재료(advanced composite material; ACM) 형태의 제품을 제조하는 산업이다. 이렇게 얻어진 극한성능 섬유제품(원사, 직물, 부직포, 복합재료)은 다시 전방의 전기·전자산업, 항공·우주산업, 운송산업, 스포츠·레저산업, 포장산업, 환경산업, 토목·건축

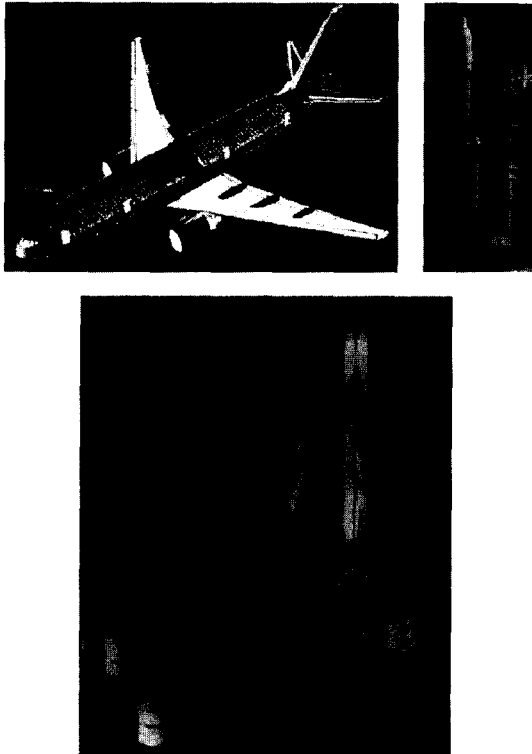


Figure 9. 각종 산업의 부품 및 소재로 사용된 극한 섬유.

산업 등의 각종 산업의 부품·소재로서 사용되어 21세기 첨단소재산업의 주축이 될 산업이라 할 수 있다(Figure 9).

5. 극한 섬유소재의 개발

섬유의 강도를 향상시키는 것은 섬유 연구자들의 기나긴 꿈이었다. 강도 혹은 강함에도 여러 가지가 있다. 낚시줄이나 로프에 사용되는 눈에 띄는 곳에 쓰이고 있는 1차원의 한 가닥의 실은 인장강도가 중요하다. 그러나 섬유 단독으로 사용되는 사용량은 적다. 2차원 상태의 직물, 필름, 종이 등은 인열강도가 중요하고, 3차원의 베니어판과 같은 복합재료로 되면 가볍고 튼튼하며 변형되기 어려운 정도가 중요하다. 변형되기 어려운 정도로 되면 탄성률이 강도와 함께 중요하게 된다. 이러한 복합재료는

섬유를 수지로 고화시킨 것으로 섬유계 복합재료의 요구가 주목되고 있다.

섬유도 범용섬유가 아닌 슈퍼 섬유를 사용하고 수지의 대부분인 열경화성 수지로는 페놀수지, 에폭시 수지를 이용하고, 열가소성 수지로는 최근 PEEK(poly ether ether ketone)수지, PPS(poly phenylene sulfide) 수지 등을 사용하여 성형화 한다. 그 소재도 중요하지만 앞으로는 에너지 절감화를 위한 생산단가 절감을 위해 대형화 하는 경향이므로 성형 조건도 매우 중요하다.

이로써 알 수 있는 바와 같이 튼튼한 섬유 즉, 극한 섬유를 사용하는 섬유계 복합재료는 높은 값의 비강도, 비탄성률이 요구된다. 이것은 보다 가볍고, 보다 튼튼하고 변형되기 어려운 재료임을 가리킨다. 그러한 재료는 최근에 고성능화되고, 경량화 한 재료로써 그 장점이 실증되고 있다.

이러한 고성능, 경량화된 극한섬유를 이용하여 금속대체 재료 및 각종 산업의 부품과 소재 등 최첨단 복합재료로서 사용이 가능하다. 또한, 극한성능 섬유제품(원사, 직물, 부직포, 복합재료)은 다시 전방의 전기·전자산업, 항공·우주산업, 운송산업, 스포츠·레저산업, 포장산업, 환경산업, 토목·건축산업 등의 각종 산업의 부품·소재로서 사용되어 21세기 첨단소재산업의 주축이 될 산업이라 할 수 있다.

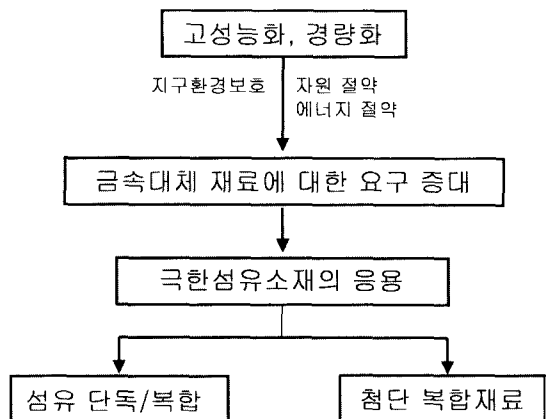


Figure 10. 극한성능 섬유의 요구 배경.

극한 섬유소재 개발에 있어서 고강력 섬유인 벡트란(Vectran)으로 대표되는 전방향족 액정폴리에스테르(LCP)와 고내열성인 폴리아릴레이트(polyarylate) 등은 용매 미디움을 쓰지 않는 용융중합과 용융방사에 의하여 섬유로 제조될 수 있어서 원료 화합물의 수급이 상대적으로 훨씬 용이하고, 국내 합성섬유의 주도산업인 폴리에스테르의 공정을 응용할 수 있어서 경제적으로나 환경적으로 크게 유리할 것으로 기대된다. 따라서 우리나라의 경우 극한 섬유소재의 개발은 전방향족 폴리에스테르계의 생산이 가장 적합하다고 할 수 있다.

참고문헌

1. T. Hongu, "High Tech Fibers", 日刊工業新聞社, 1999.
2. J. I. Jin, S. Antoun, C. Ober, and R. W. Lenz, "Thermotropic Liquid Crystalline Polyester With Rigid or Flexible Spacer Groups", *Br. Poly. J.*, **12**(4) pp.132-146(1980).
3. E. W. Lenz and J. I. Jin, "Liquid Crystal Polymers(3) : Thermotropic Rigid Aromatic Copolyesters with Bisphenol Spacers", *Macromolecules*, **14**(5) pp.1405-1411(1981).
4. B. Tissington, G. Pollard, I. M. Ward, "A Study of the Impact Behaviour of Ultra-high-modulus Polyethylene Fiber Composites", *Comp. Sci. Tech.*, **44**, 197(1992).
5. I. M. Ward and N. H. Ladizesky, "Ultrahigh Modulus Polyethylene Fiber Composite", *Pure Appl. Chem.*, **57**, 641(1985).
6. Liquid Crystal Polymers(Update-II), Japanese R & D Trend Analysis, Advanced Materials-Phase VII, Report No. 4, KRI International, 1995.
7. A. M. Donald and A. H. Windle, "Liquid Crystalline Polymers", Cambridge University Press, Cambridge, 1992.
8. M. Lewin and J. Preston(Ed.), "High Technology Fibers; Part D", Marcel Dekker Inc., Vol. 3, Chap. 1, 1996.
9. R. S. Porter, H. H. Chuah, and T. Kanamoto in "High Modulus Polymers"(A. E. Zachariades and R. S. Porter Eds.), Marcel Dekker Inc., pp.259-297, 1988.
10. S. K. Yang and W. R. Krigbaum, *J. Poly. Sci., Phys. Ed.*, **27**, 819(1989).
11. I. Ide and Z. Ophir, *Polym. Eng. Sci.*, **23**, 261(1983).
12. Y. Takeuchi, F. Yamamoto, and S. Yamamoto, *Polym. J.*, **16**, 579(1984).
13. J. A. Cuculo and G. Y. Chen, *J. Polym. Sci. Polm. Phys. Ed.*, **26**, 179(1988).
14. J. Sarlin and P. Tormala, *J. Appl. Polym. Sci.*, **40**, 453(1990).
15. G. D. Butzbach, J. H. Wendorff, and H. Zimmermann, *J. Polymer*, **27**, 1337(1986).
16. Y. G. Lin and H. H. Winter, *Macromolecules*, **18**, 2126(1985).
17. W. J. Jackson, *Br. Polym. J.*, **12**, 154(1980).
18. R. N. D. Martini, "Improved Processing of Thermotropic Liquid Crystalline Polyester", *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, pp. 1805-1810(1983).
19. <http://www.dupont.com>
20. <http://www.polypla.co.jp>
21. <http://www.npcc.co.jp>
22. <http://www.bp.com>
23. <http://www.toray.co.jp>
24. <http://www.m-kagaku.co.jp>
25. <http://ticona-us.com>
26. <http://kuraray.co.jp>
27. <http://www.bcyfibers.com>
28. <http://www.fibersource.com>
29. <http://www.performancefibers.com>
30. <http://dsm.com>
31. <http://www.delphion.com>
32. C. R. Payet(Du Pont), U. S. Patent 4,153,779(1979).
33. J. F. Harris, Jr(Du Pont), U. S. Patent 4,294,955(1981).
34. J. F. Harris, Jr(Du Pont), U. S. Patent 4,391,966(1983).
35. G. Feasy and B. P. Griffin(ICI), U. S. Patent 4,267,304(1981).
36. R. S. Irwin and C. E. Smullen, U. S. Patent 3,415,782(1968).

약 력



손태원

1976. 서울대학교 섬유공학과(학사)
1978. 영남대학교 섬유공학과(석사)
1984. 서울대학교 섬유공학과(박사)
1982-1994. 한국과학기술연구원 연구원
(선임, 책임)
1994-현재. 영남대학교 섬유패션학부
부교수
(712-749) 경북 경산시 대동 214-1
전화: 053)810-2782, Fax: 053)811-2735
e-mail: twson@yu.ac.kr



김영훈

2002. 영남대학교 섬유패션학부(학사)
2002-현재. 영남대학교 섬유공학과 석사
과정