

슈퍼섬유, 초경량 초고강도 폴리에틸렌 섬유

김경숙, 박성수, 차세혁
동양제강

1. 서론

산업기술이 고도화되고 제품의 기능이 다양화/첨단화/소형화/복합화되면서 이에 적용되는 섬유소재는 이전과 비교해서 더욱 우수한 기계적 물성과 제품의 용이한 핸들링을 위한 경량화, 복합적인 기능을 갖도록 요구되고 있다. 이러한 시장의 요구를 충족시키기 위해 원재료 중합기술 개발, 섬유원사 제조기술 개발 및 후가공 기술의 개발을 통한 슈퍼섬유의 공급이 절실하게 되었다. 슈퍼섬유라 함은 기계적 강도나 내열특성이 매우 우수한 하이테크 섬유이며 현재 초고강도 폴리에틸렌 섬유, 아라미드 섬유와 탄소 섬유 등 많은 소재가 양산 또는 개발 중에 있다. 일반적으로 고강도 고탄성계 슈퍼섬유라 함은 섬유의 단위면적당 인장강도가 2 GPa를 초과하는 것, 또는 인장강도가 20 g/denier 이상이고, 초기 탄성율이 500 g/denier 이상의 물성을 가진 섬유를 칭한다.

슈퍼섬유가 강철에 비해 1/5~1/8 정도의 무게이나 강도는 강철보다 강하다는 특성으로 인해

① 가벼우면서 강한 물성이 요구되는 고기능성 로프, 석유 시추선용 초고강도 로프, 심해 양식장용 어망 등의 해양산업 분야, ② 산악용 자전거, 요트 돛, 테니스 라켓, 낚시대 및 낚시줄, 패러글라이딩, 스키 등의 레저분야, ③ 경량성과 강도를 요구하는 광섬유 케이블 보강재, 전자회로기관 등 전자통신산업 분야, ④ 내열성과 강도가 요구되는 소방복, 용접 및 용광로 작업복, ⑤ 방검용 및 방탄용 조끼/헬멧, 장갑차 및

기타군용 방탄재, shield 소재, 파편방호 소재, 항공기/헬기/군함의 방탄재 등의 방호산업 분야, ⑥ 안전장갑, 보호용 신발, 안전 보호복 등의 안전용구 산업, ⑦ 부식되지 않으면서 높은 강도가 요구되는 토목건축용 복합소재, 로프/슬링, ⑧ 무게를 최대한 줄여 에너지비용을 절감하려는 철도, 항공기, 자동차용 제품, ⑨ 풍력발전 등의 에너지산업에 적용되는 복합재로 사용되는 등 21세기를 이끌어갈 필수 신소재로 주목 받고 있다.

이러한 다양한 용도에 적용되고 있는 대표적인 슈퍼섬유에는 초고강도 폴리에틸렌, 탄소섬유, m-아라미드, p-아라미드, PBO 섬유 등이 있으며, 이들 슈퍼섬유의 주요물성을 steel wire와 비교한 특성을 살펴보면 Table 1에서 보는 바와 같다.

현재 상기에 언급된 슈퍼섬유의 기술은 해외 선도기업들에 의해 개발이 완료되어 상업화가 이루어진 상태이다. 국내에서도 다양한 슈퍼 섬유에 대한 연구개발이 진행 중이며 아라미드 시장이 가장 활성화 되어있다. 코오롱, 효성, 휴비스, 웅진에서는 아라미드 섬유를 개발, 상업화를 완료하였고, 고강도 폴리에틸렌 원사의 경우 동양제강에서 상업화 완료단계에 있다. 이와 같은 산업용 슈퍼섬유는 개발이 완료되면 그것을 재료로 사용하는 다양한 2차 제품이 다시 개발되는 파급효과를 가지며 용도개발에 따라 그에 비례해 시장이 확대되는 특성을 가진다. 국내의 경우 슈퍼섬유산업은 이제 태동기에서 성장기로 막 접어드는 신산업이라 할 수 있다.

본 고에서는 2007년 섬유기술과 산업에 슈퍼섬유 소재 특

Table 1. 대표적인 슈퍼섬유의 기계적 물성 비교

종류	강도		탄성율		신장율	밀도	용점
	g/d	GPa	g/d	GPa	%	g/cm ³	°C
초고강도 폴리에틸렌 (UHMWPE)	25-40	3.5	1400	110	3.5	0.97	150
Aramid	22-26	2.8	500-1100	110	2.4-4.4	1.45	500-550
PBO	42	5.8	1300	280	2.5-3.5	1.56	650
Carbon fiber	14-70	3.5	1000-5850	230	0.2-2.4	1.97	500-2000
Steel wire	3.9	2.5-2.8	290	160-200	1.4	7.8	1150-1500

집으로 실렸던 “고강도 폴리에틸렌 섬유산업 및 제조기술 동향”에 이어서 “초고강도 폴리에틸렌 섬유소재”라는 제목으로 소재개발의 국내외 기술개발동향 및 시장동향을 위주로 하여 살펴보기로 한다.

2. 초고강도 폴리에틸렌 섬유소재

2.1. 기술동향

초고강도 폴리에틸렌 섬유를 생산하기 위한 분자량 100만 이상을 요구하는 초고분자량 폴리에틸렌 원료는 미국, 일본, 브라질, 한국에서 생산된다. 한국에서는 대한유화가 개발에 성공, 상업화 단계에 있다. 대한유화가 pilot 생산한 분자량 400만 이상 초고분자량 폴리에틸렌 powder를 이용하여 동양제강이 초고강도 폴리에틸렌 섬유 생산에 성공하였으며 그 품질내용은 인장강도 30~40 g/d 이상이다.

유연한 분자구조를 가지는 고분자의 분자구조를 재편성하여 초고강도 고탄성 섬유로 개발하고자 하는 연구는 1980년대에 이루어졌다. 1980년대 초 DSM사에서 젤방사라는 특수한 가공방법을 이용한 초고강도 고탄성 폴리에틸렌 섬유의 개발을 공식적으로 발표함으로써 관련업계의 관심을 집중시켰다. DSM사에서는 당시의 연구를 기초로 1990년 Dyneema라는 상품명으로 500 ton/year 규모의 상업 생산화에 성공하였다. 그 후 DSM사는 생산능력을 늘려 현재 네덜란드에서 3500 ton/year, 미국 공장에서 1500 ton/year, 합하여 연간 5000 ton 이상을 생산하며 SK 시리드로 grade를 생산 중에 있다.

이어서 DSM사의 특허를 기초로 하여 Allied Signal이 Spectra 라는 이름으로, Nippon Dyneema 사 (DSM과 Toyobo의 합작)가 DSM과 동일한 Dyneema라는 상품명으로 출시하여 전 세계 관련시장을 선점하였다. 현재 Allied Signal은 Honeywell사에 합병되어 연간 생산량이 1500 톤에 이르고 있다.

한편 일본의 Toyobo사는 DSM사와 기술 제휴협약을 체결하여 공동 개발에 참여한 결과 DSM사보다 빠른 1988년에 500 ton/year 생산능력을 확보 하였으며 현재 1600 ton/year에서 2010년 3200 ton/year 규모로 생산량을 증가시킬 예정이다. 가까운 중국은 제품품질이 불균일하여 고부가가치의 용도에는 사용하기 어려우나 꾸준히 생산 능력을 증가시켜 연간 약 2000ton 이상 생산하고 있는 실정이다.

2000년대 초 미국에서 일어난 9.11 테러사건으로 인하여 전 세계의 안전기준이 상향 조정되면서 그 때까지 잘 유지되어 왔던 수요공급 균형에 차질이 생기기 시작하였다. 미국 (Honeywell사)은 이 소재를 국방관련 소재로 분류하여 수출

을 제한하고 있으며, 네덜란드(DSM사)와 일본(Nippon Dyneema사)은 독점체제를 유지하면서 전 세계의 시장을 조장하고 있었다.

2.2. 국내 기술동향

국내 섬유산업에서 1990년대 이후 산업용 섬유 발전의 중요성이 인식되었지만, 국내기업들의 범용섬유 위주의 대량 생산체제에 의한 사업구조로 슈퍼섬유 개발을 위한 핵심기술 구축과 같은 기술적 성장태도를 이루지 못했다. 하지만 2000년 이후 섬유산업의 초점이 슈퍼섬유로 옮겨감에 따라 슈퍼섬유 개발에 대한 관심이 커짐과 동시에 그 수요 및 사용처는 증대되었다.

하지만 세계적으로 공급량이 부족한 상황과 고기능성 하이테크 섬유재료 중에서도 초고강도 폴리에틸렌 원사 국내개발은 전무한 상황에서 지식경제부에서 지원하는 중기거점사업의 일환으로 동양제강주식회사에서 순수 국내기술로 완전상업화 수준의 초고강도 폴리에틸렌 원사 제조기술 개발에 성공하여 MirAcle™이라는 상품명으로 생산을 하고 있다.

초고강도 고탄성 폴리에틸렌 섬유는 비강도 측면에서 강철 대비 15배 정도 강하고, 화학적으로 매우 안정하며 에너지 흡수능력이 우수하고, 비중이 1보다 적어 물에 뜰 정도로 가벼운 유일한 슈퍼섬유이기 때문에 고분자 복합재료의 강화섬유로 이용되어 고급스포츠 용품은 물론 국방관련 경량소재로 각광을 받고 있다. 또한 내광성이 양호해 옥외 사용에도 초고강도 고탄성을 특성을 살릴 수 있고 내약품성, 내마모성 등이 우수한 특성이 있다. 특히 방탄특성이 탁월하여 군용헬멧, 방탄판 또는 방탄의복 등에 타의 추종을 불허하는 소재로 인식되고 있다. 그 외에도 해양용 고성능 로프, 산업용 안전장갑 등의 용도에 응용되고 있다. 국내 수요업체들의 요구가 커지면서 정부와 관련업계에서도 국내기술개발에 대한 필요성이 대두되면서, 지식경제부 주관하에 산업원천기술개발사업 과제로 개발이 시작된 것이 2006년이였다.

2.3. 국내외시장 동향

2.3.1. 해외시장 동향

1960년대 후반부터 우주 항공 분야의 필요에 의해 탄생한 슈퍼섬유는 이제 산업 전반과 전략용 군수 물자, 그리고 전자 정보 통신 분야의 하이테크 소재로 크게 각광받고 있다. 이에 슈퍼 섬유인 초고강도 폴리에틸렌 섬유는 부분적인 섬유소재에 국한되기보다는 하나의 multiple한 소재로 타 산업

Table 2. 초고강도 폴리에틸렌 물량 현황

구분		2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
Honeywell	물량	0.8	0.8	1.0	1.2	1.5
	금액	412.8	412.8	516	619.2	774
	점유율 (%)	16.0	16.0	12.65	12.9	14.9
DSM	물량	4.7	4.7	4.7	4.7	5.0
	금액	2425.2	2425.2	2425.2	2425.2	2580
	점유율 (%)	64.0	64.0	59.5	50.5	49.5
Toyobo	물량	1.0	1.0	1.2	1.4	1.6
	금액	516	516	619.2	722.4	825.6
	점유율 (%)	20.0	20.0	15.2	15.1	15.8
중국계	물량	-	-	1.0	2.0	2.0
	금액	-	-	516	1032	1032
	점유율 (%)	-	-	12.65	21.5	19.8

(단위 : 물량-천톤, 금액-억원)

* 자료출처 : 2005년 자료 - KISTI 산업용 섬유 보고서 참고, 제조사 홈페이지 홍보자료 참고 2008년 자료 - 일본 NI Jeijin Shoji Co Ltd. Tokyo Industrial Fiber 조사 참고

에서 필요로 하는 기능을 더욱 더 업그레이드 할 수 있는 특수한 소재로 자리 매김 하게 되었다.

세계 시장의 판도를 살펴보면 유럽의 네덜란드 DSM사의 sales는 세계적인데 반하여 미국의 Honeywell사는 섬유수출에 제한적이다. DSM사의 Dynceema의 경우 우리나라에 수입은 되고 있으나 그 판매가 제한적이어서 충분한 수량의 공급에 어려움이 있다. 특히 Honeywell사의 Spectra는 미국 내 군수 전략물자로 선정되어 미국 방성의 승인 없이 수출될 수 없어, 적은 생산량으로 미국 국내소비로 제한되어 소비되고 있다. 마찬가지로 일본 Toyobo사의 제품도 그 원사 자체로써 거의 수입이 불가능하다. 따라서 초고강도 폴리에틸렌 섬유는 세계적으로 수요량에 비해 공급량이 부족한 상태인 것이다.

초고강도 폴리에틸렌 원사의 대략적인 지역별 연간생산량은 다음과 같다.

Table 3. 초고강도 폴리에틸렌 원사의 지역별 연간 생산량

	유럽	미국	일본	중국
생산량	3500톤	3000톤	1600톤	2000톤++

2.3.2. 해외시장 전망

슈퍼섬유의 출현으로 특히 초고강도 폴리에틸렌 섬유에 관련된 산업구조의 전체적인 변화가 예측된다. 특히 조선해양

분야에서는 선박의 대형화, 고급화, 에너지 절약의 측면이 중요하게 다루어지면서 보다 높은 강도와 경량의 무량리인을 요구하게 되어 그 수요가 증대되고 있다. 또 자연 재해의 증가로 보다 높은 강도의 storm protection panel이 요구되며 안전의 욕구와 신속한 기동성, security를 위하여 자동차와 비행기 방탄, 비행기와 자동차용의 복합 소재, 안전 장갑 등에 그 수요가 증대되고 이러한 추세는 앞으로도 계속될 것으로 보인다.

Table 4. 초고강도 폴리에틸렌 원사의 해외시장 전망

구분		2009년	2010년	2011년	2012년	2013년
세계시장	물량	10.1	11.7	13.0	15.0	20.0
	금액	5211.6	6037.2	6708.0	7740.0	10320

(단위 : 물량-천톤, 금액-억원)

2.4. 국내시장 동향

2.4.1. 국내시장 규모

초고강도 폴리에틸렌 섬유를 소재로 한 응용분야에 있어 섬유의 수입이 네덜란드 한 국가에 한정되어 있고 또한 판매체제도 제한적으로 되어있어 응용분야의 시장 발전에 애로가 있다. 중국에서 초고강도 폴리에틸렌 원사가 생산되기는 하지만, 중국제품은 품질이 상대적으로 열세인지라 그 용도 또한 제한적이다. 국내 시장에 있어서 초고강도 폴리에틸렌 원사는 아래 표와 같이 대부분의 양을 수입에 의존하고 있으나, 2011년 초에 상업화 양산이 시작된 동양제강의 MirAcle™이 어느 정도의 수입량을 대체할 수 있을 것으로 예측된다.

Table 5. 초고강도 폴리에틸렌 원사의 국내시장 현황

구분		2003년	2004년	2005년	2006년	2007년	2008년
국내시장	물량	0.22	0.30	0.42	0.56	0.74	0.88
	금액	113.5	154.8	216.7	289.0	381.8	454.1

(단위 : 물량-천톤, 금액-억원)

* 자료출처 : KIST 산업용섬유 조사 보고서, 나노섬유 및 성능 섬유 조사 보고서

2.5. 원사 제조공정

인장강도가 매우 우수한 슈퍼섬유의 일종인 초고강도 폴리에틸렌 섬유는 분자량이 100만에서 1000만 정도인 폴리에틸렌 수지를 사용하여 겔방사 공정 후 초연신 작업을 통해서 얻어진다. 초고강도 폴리에틸렌 섬유 제조에 사용되는 초고분자 폴리에틸렌은 일반적인 용융방사용 폴리에틸렌의 분자

량이 2만에서 30만 정도인 것에 비하면 분자량이 매우 큰 점이 특징이다. 이러한 초고분자량의 원재료를 용제를 사용하여 분자사슬의 얽힘이 적은 희석용액으로 겔화시킨 후 방사한다. 이렇게 방사하여 얻어진 겔섬유를 건조 및 용제 추출 공정을 거친 후 초연신 공정에서 가공하면 인장강도가 28-40 g/d 정도의 초고강도 폴리에틸렌 슈퍼섬유가 얻어지며 대략적인 공정을 모식도로 나타내면 Figure 1과 같다.

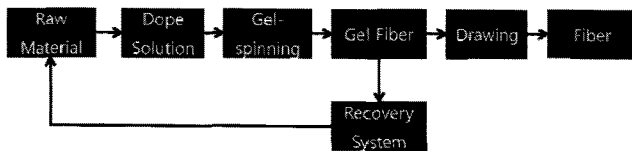


Figure 1. 초고강도 폴리에틸렌 원사제조 공정 모식도.

초고강도 폴리에틸렌 원사 제조 기술은 희석용액으로부터 얻은 겔사가 주요 포인트이므로 겔방사법이라 불린다. 현재 공업화되어 있는 초고분자량 폴리에틸렌 섬유의 방사법에는 건식방사와 습식방사 타입이 있다. Figure 2의 (좌)는 Toyobo사의 Dyneema 제품의 제법으로서 방사 중에 용매 제거를 적극적으로 하여 잔류용매가 적은 겔사를 초연신하는 방법으로 건식방사라 한다. (우)는 냉각수에 침지하여 얻은 용제를 다량으로 포함하는 겔을 건조하여 초연신하는데 이를 습식방사라 한다.

초고강도 폴리에틸렌 섬유제조시설은 원료의 계량 및 수송, 슬러리 탱크, 방사액 제조 시설, 압출기, 겔화/결정화 시설, 용매의 추출장치, 단단계 고온 연신장치로 연결되는 일괄공정으로 되어 있으며, 제1용매(방사액 제조 시 투입되는 용매)와 제2용매(제1용매를 추출하기 위한 용매)의 회수장치는 별도

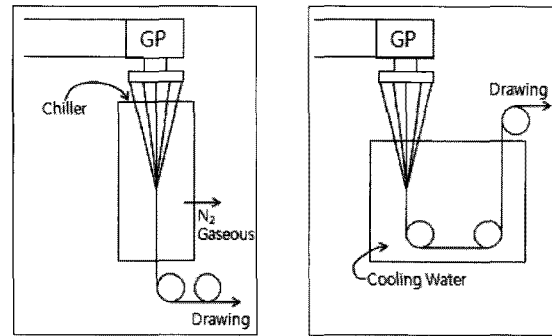


Figure 2. 건식(좌) 및 습식(우) 타입 방사.

Table 6. 해외 주요 생산국의 방사방법

구분	기술명	개발단계	개발 내용	개발 주체
네덜란드	UHMWPE 섬유화 기술	상용화	건식, Gel spinning	DSM
미국	UHMWPE 섬유화 기술	상용화	습식, Gel spinning	Honeywell
일본	UHMWPE 섬유화 기술	상용화	건식, Gel spinning	Toyobo

로 되어 있다. 일괄공정은 폴리에틸렌의 분자구조를 재편성하여 초연신(연신비 100이상)을 효과적으로 할 수 있는 조건으로 최적화 되어 있다. 자동적으로 계량수송되는 원료의 선택, 슬러리 탱크의 운전조건 확립과 균일한 방사액의 제조, 방사기의 설계 및 운전조건 적절성, 겔화/결정화 단계에서의 분자구조 결정, 겔섬유의 적절한 안정화, 효율적인 용매의 추출, 단단계 고온연신의 운전조건 등이 상호 연관되어 최적화됨으로써 초고강도 폴리에틸렌 원사의 개발이 가능하게 되

Table 7. 주요 초고강도 폴리에틸렌 원사의 물성

종류	강도		탄성율		신장율	밀도
	g/d	GPa	g/d	GPa	%	g/cm ³
Dyneema SK25 ¹	25	2.2	608	52	3-4	0.97
Dyneema SK65 ²	28-38	2.4-3.3	759-1158	65-100	3-4	0.97
Dyneema SK75 ³	38-45	3.3-3.9	1267-1552	109-132	3-4	0.97
Spectra 900 ⁴	25-30	2.18-2.60	850-920	73-79	3.6-3.9	0.97
Spectra 1000 ⁵	34-38	2.91-3.25	1150-1320	97-113	2.9-3.5	0.97
Spectra 2000 ⁶	38-39	3.25-3.34	1320-1450	113-124	2.8-3.0	0.97
MirAcle ⁷	30-40	2.7-3.4	1200-1400	103-120	3-4	0.97

1 : 675 denier

2 : 100, 150, 200, 400, 800, 1200 denier

3 : 50, 100, 150, 200, 400, 1600, 2400 denier

4 : 650, 1200, 4800 denier

5 : 215, 275, 375, 435, 650, 1300, 2600 denier

6 : 100, 130, 180 denier

7 : 400, 500, 800, 1300, 1500 denier

었다. Figure 3은 이러한 초고강도 폴리에틸렌 섬유 제조 시설의 모식도를 나타낸 것이다.

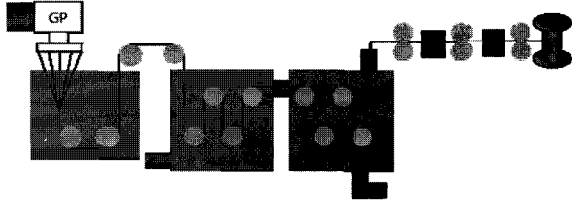


Figure 3. 초고강도 폴리에틸렌 섬유 제조 시설.

2.6. 용도 개발

초고강도 폴리에틸렌 섬유는 다른 슈퍼섬유에 비해 인장강도와 탄성률이 크면서도 비중이 작아 가볍다. 뿐만 아니라 내화학적, 내마모성, 초저온특성, 충격흡수성, 내일광성이 우수하여 그 기능성이 인정되어 하이테크 산업의 다양한 기능 소재로 주목 받고 있다.

현대산업의 초점이 첨단 산업으로 옮겨감에 따라 슈퍼 섬유의 수요량은 점점 증가하고 있으며 초고강도 폴리에틸렌 역시 그 용도가 산업용 자재에서 IT 용, 전기·전자, 자동차, 의료용 등 첨단 산업의 소재로 확대되고 있다.

그 동안 국내에서는 공급량이 부족하여 응용분야가 크게 개발되지 못했지만 원사의 국내 생산이 가능해지면서 보다 넓은 응용분야에서의 활용이 가능할 것으로 예상된다. 또 기존에 사용되는 소재의 대체재의 역할 뿐 아니라 새로운 소재로서의 역할도 기대된다. 특히 세섬도의 초고강도 폴리에틸렌 섬유는 생산량이 극히 적을 뿐 아니라 bio-medical과 같은 첨단산업 등에 사용되어 그 부가가치가 상당할 것으로 예상된다.

초고강도 폴리에틸렌 섬유가 이용될 수 있는 대표적인 응용분야는 다음과 같다.

① 일반 해양 산업분야

해양 선박이 점점 더 대형화되고 기능이 고급화됨에 따라 인장강도와 탄성률이 큰 고성능의 로프의 수요가 점점 더 증가하고 있다. 특히 물을 거의 흡수하지 않기 때문에 다른 소재와 복합적으로 사용하여 고강도를 요구하는 심해 유전 설비의 로프에도 사용 가능하다. 또 어선에 사용되는 어망으로 쓰이는 경우 중량 감소로 인한 에너지 절감 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다.

② 레저 및 스포츠 분야

초고강도 폴리에틸렌 섬유의 뛰어난 내마모성과 내굴곡 피로성을 이용하여 요트에 사용되는 각종 로프, 혹은 골프

net, 양궁 현 등에 사용될 수 있다. 특히 골프장의 net나 야구장의 net에 사용되는 경우 큰 강도를 유지하면서도 굵기가 가늘어지기 때문에 좀더 넓은 시야확보가 가능하다. 또 신율이 작아 고급 낚시줄로도 사용될 수 있다. 실제로 Dyneema 낚시줄의 경우 낚시꾼들 사이에서 인기를 얻고 있으며 시중에서 높은 가격대를 형성하고 있다. 뿐만 아니라 산악용 로프, 복합적 소재로 요트의 닻, 몸체와 산악용 자전거 프레임, 스쿠버 다이버의 산소 통과 같은 중요 탱크에 사용될 수 있다.

③ IT 및 의료분야

뛰어난 초저온 특성을 이용하여 초전도체의 packing류에 사용될 수 있고 그 외 경량으로 장시간 방전될 수 있는 고성능 2차 전지의 separator film, IT 제품의 고성능 hook용으로 이용된다. 또 치실 혹은 위 내시경의 wire 대응, 수술용 실, 관절조직, 치과 임플란트 등의 의료분야에서도 사용될 수 있다.

④ 방호 분야

뛰어난 충격 흡수성과 보호성을 이용하여 고급 방탄복, 방도복, 방호 제품에 이용될 수 있다. 방탄복의 경우 뛰어난 방탄특성뿐 아니라 비중이 1보다 작아 물에 뜨고 경량이라는 장점을 가진다. 또 뛰어난 내절단성과 내화화성을 이용하여 산업용 안전장갑에도 사용 가능하다. 뿐만 아니라 자연 재해에 의한 피해를 막기 위해 문이나 창문에 설치하는 protection panel 및 커튼으로 이용 가능하다.

이 밖에도 콘크리트 보강재, 차량용 부품, 풍력발전기의 블레이드 등 그 용도가 무궁무진하다.

원사의 테니어에 따른 용도전개를 살펴보면 다음과 같다.

Table 8. 초고강도 폴리에틸렌 원사의 테니어에 따른 용도

Denier	용도
50	의료용, 고급낚시줄용
200	의류용, 고급낚시줄용
300	고급낚시줄용
400	산업용 안전장갑
600	방탄복
800	네트, 차량용부품
1500	심해용 로프, 어망, 슬링, 레저용 산줄, 방탄복, 방검복, 해양레저용 줄/요트돛, 산악용 자전거, 테니스 라켓, 낚시대, 패러글라이딩, 스키 등의 레저분야,

2.7. 향후 기술전망

국내기술의 개발방향과 미래산업의 발전 방향을 고려할 때,

가장 시급한 과제는 400 denier 이하급의 세섬용 원사를 개발하는 것으로 현재 동양제강에서는 50 denier 급 제품 생산을 목표로 연구를 진행 중에 있다. 하지만 초고강도 폴리에틸렌 원사의 시장가격이 일반 원사에 비해 매우 고가로 형성되고 있어, 활발한 용도전개에 제한이 있는 것이 사실이다. 따라서 이런 관점에서 상업화 생산성을 획기적으로 향상시켜 가격 경쟁력을 가질 수 있는 연구개발이 지속적으로 진행되어야 한다. 초고강도 폴리에틸렌 원사의 적용관점에서 본다면, 이미 국산화가 진행되었거나, 진행 중인 슈퍼섬유와의 융·복합화를 통한 새로운 기능성을 확보함으로써 새로운 용도를 창출하여 세계수요를 리딩할수 있는 산업으로 자리잡아야 할 것이다. 그리고 원사를 최종 적용 용도에 쉽게 적용하고 그 적용범위를 확대할 수 있도록 UD, 제직, 직조 등의 중간재 가공기술 개발과 염색, 착색, 코팅 등의 후가공 기술의 개발도 병행되어야 진정한 슈퍼섬유 선진국 대열에 합류하는데 도움이 될 것이다.

3. 결론

초고강도 폴리에틸렌 원사는 결방사라는 특수한 공정을 통해 생산되는 섬유소재로서 여타의 슈퍼섬유와는 달리 물에 뜰 정도의 가볍고 강도가 매우 우수한 소재이다. 이는 21세기 산업에 없어서는 안될 필수 소재로 그 활용범위가 아주 넓다. 2010년 까지만 해도 필요한 원사 전량을 수입에 의존하였지만 이제 순수 국내 기술로 상업화 생산의 국산화가 완료되면서 수입대체 효과와 더불어 이를 응용한 다양한 기술 개발을 진행할 수 있게 되었다. 비록 해외 선진사와 비교하면 그 개발의 완성은 뒤쳐졌지만, 소재 선진국들과 기술격차를 해소하기 위한 연구개발이 끊임없이 진행 중이며 이를 위해서는 순수 국내기술의 연구개발에 대한 과감한 투자와 기술개발을 장려할 수 있는 국가적인 배려가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 오영세, 김우철, 정중철, 이영수, 섬유기술과 산업, **11**(4), 234 (2007).
2. P. Smith and P. J. Lemstra, *Polymer*, 21, 1341 (1980).
3. P. Smith and P. J. Lemstra, *Macromolecules*, 16, 1802 (1983).
4. P. J. Lemstra and C. W. M. Bastiaansen, *Polymer J.*, 19, 85 (1987).
5. J. Smook and A. J. Penning, *J. Mat. Sci.*, 19, 31 (1984).
6. KIST 산업용섬유 조사 보고서, 나노섬유 및 성능 섬유 조사 보고서 (2008).

· 김경숙

2009. 부산대학교 화학과 졸업
 2009-현재, 동양제강(주) 연구원
 Tel : 051-260-2731 / Fax : 051-260-2666
 e-mail : gskim@ropes.co.kr

· 박성수

2000. 부경대학교 전기공학과 졸업(석사)
 1981-1984, Westinghouse Supervisor
 1987-현재, 동양제강(주) 상무이사

· 차재혁

1994. 고려대학교 화학공학과 졸업
 2000. 미국 University of Akron Polymer Engineering(Ph.D.)
 2001-2006. LG 화학 중앙기술원 선임연구원
 2006-2010. GE Plastics Product Manager
 2010-현재, 동양제강(주) 연구소장