

# 세계 탄소섬유 및 아라미드 섬유 시장동향

김영식, 박성민<sup>1</sup>

한국화섬협회, <sup>1</sup>한국염색기술연구소

## 1. 서론

고기능섬유와 고성능섬유를 엄밀하게 나누어 정의할 수는 없다. 일반적으로, 강도, 탄성률 등 섬유자체의 기본물성이 일반의류용에 비해 우수한 것을 고성능 혹은 고기능섬유라 한다. 대표적인 소재로는 탄소섬유, 아라미드섬유, 초고분자량 poly ethylene 섬유, PPS 섬유, PBO 섬유 등이 있다. 한편 고기능섬유는 광의적인 의미로 섬유본래의 성능보다도 특징적인 기능을 발휘하는 섬유로 도전성섬유와 항균섬유 등, 더 나아가 광섬유와 증공사 등도 고기능섬유라 칭하기도 하였다. 고기능섬유의 대표적인 소재는 크게 고강력·고탄성섬유

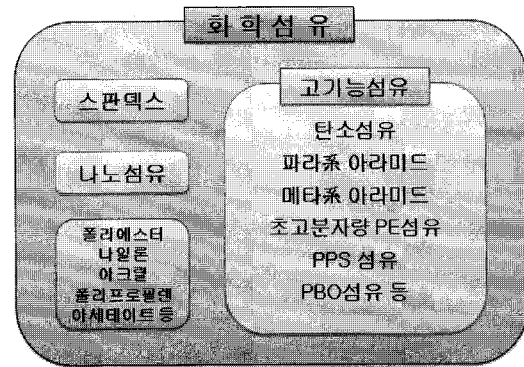


Figure 1. 고기능섬유의 범위.

Table 1. 고기능섬유의 특징과 주요용도

구분	섬유	특징	주요용도
고강력· 고탄성률 섬유	para계 아라미드	고강도·고탄성률, 내충격성, 내절창성, 내연마성, 비도전성, 비자성	방탄의류, 마찰재, 광섬유용 tension member, 고무보강재, tire cord, 내절창장갑, 내진보강
	PBO	고강도·고탄성률, 내열성, 내연마성, 내충격성, creep성	내열자재, 고무보강, 소방복, 요트로프, 보합재
	초고분자량 polyethylene	고강도·고탄성률, 저비중, 내마모, 내마찰성, 내약품성, 내후성	로프, 낚시줄, 네트, 내절창장갑, 헬멧, 토목자재, 내진보강
	polyarylate	고강도·고탄성률, 비흡습성, creep성, 내마모성, 내절창성	로프, 네트, 광섬유용 tension member, 이어폰 코드, FRP
	탄소섬유	고강도·고탄성률, 난연성, 내충격성, 고열전도율, 경량고강성	항공·우주, 스포츠용, 풍력발전 blade, 압력용기, 자동차재, 내진보강, 로봇핸드, 공업용 roll, 철도차량부재, C/C 브레이크, 고온로용 단열재, 경량단열재
기타(고강도 vinylon, 고강도 polypropylene 등)			
내열·난연성 섬유	meta계 아라미드	내열성, 난연성, 내약품성, 절연성	방호복, 방염복, 백필터, OA기 cleaner, 보강재
	polyphenylene sulfide(PPS)	내열성, 난연성, 내약품성, 보온성	백필터, 내열면 fastener, 의료용보온소재
	polyimide	내열성, 난연성, 내약품성, 과특성, 비접착성	백필터, 내열복, 방염복, 단열재
	불소섬유	내열성, 난연성, 내약품성, 마찰성, 비접착성	백필터, 접동재, 박리재
기타(polyamide-Imide, melamine, PBI, novoloid, 알루미늄 등)			

자료 : 한국화섬협회

와 내열·난연성섬유로 나눌 수 있다. 고강력·고탄성섬유에는 탄소섬유, 파라계 아라미드, PBO, 초고분자량 polyethylene, polyarylate, 고강도 vinylon, 고강도 polypropylene 등이 있으며, 경량·고강도라는 특징을 살려 방탄의료(防彈衣料), 방호의료(防護衣料), 고무보강, 토목·건축보강, 로프, 네트 등의 용도로 사용된다. 내열·난연성섬유에는 메타계 아라미드, PPS, polyimide, 불소(弗素) 등이 있으며, BagFilter, 방호(防護)·내열복(耐熱服), 산업자재 등으로 많이 사용되고 있다.

특히, 탄소섬유는 PAN계의 경우에는 복합재로서 항공·우주, 스포츠용품, 일반산업자재로 널리 사용되고 있으며, pitch계는 각종 type의 특성에 맞추어 로봇암, 공업용 롤, C/C 브레이크, 단열재 등으로 수요가 확대되고 있으며, 고강도 Vinylon은 토목·건축자재 등에 사용되는 고강도 type 이외에 FRC(섬유보강시멘트)의 asbestos 대체로 많이 사용되며, 수용성(水溶性) type은 특수용도로 사용되고 있다. 고강도 polypropylene은 주로 전자부재용(電池部材用)으로 사용되고 있다.

본 고에서는 최근 수요가 확대되고 있는 고기능섬유 가운데 탄소섬유, 아라미드 섬유 등에 대한 최근 동향을 조사하여 정리하였으며, 이를 전제로 조사, 분석한 내용을 서술하고자 한다.

### 1.1. 최근 산업용 고기능섬유 세계시장 동향

세계 고기능섬유의 수요는 최근 몇 년간 급속한 증가를 보이고 있다. 세계의 추정수요는 2003년 7.8만 톤에서 2007년에는 12.1만 톤으로, 2009년에는 12.7만 톤으로 증가한 것으로 추정된다. '03년~'09년간 연평균증가율은 약 8.5% 성장률을 나타내고 있다.

Table 2. 고기능섬유의 세계 수요규모(추정)(단위 : 톤, %)

품목	2003	2007	2009	연율('03~'09)
탄소섬유	para계 아라미드	meta계 아라미드	초고분자량 PE	PPS
기타	17,500	33,000	17,000	4,700
1,500	4,700	34,500	50,000	20,000
7,500	3,300	6,000	27,000	54,500
24,000	11,000	5,000	6,100	7.5
8.7	5.9	15.2	22.2	4.4
이상계	78,400	121,300	127,600	8.5

자료 : 각종 자료취합, 한국화학협회추정

주) 1. 탄소섬유는 large tow 제외  
2. 기타는 PBO, polyarylate, polyimide, 불소섬유, polyamide, melamine, PBI, novoloid

- 예상외로 연평균 증가율이 낮은 것은 '08~'09년 글로벌 금융위기로 인한 세계경기의 침체로 탄소섬유의 수요가 부진을 보였기 때문이다. 2010년 이후에는 다시 두 자리 수의 높은 성장율을 보일 것으로 전망된다.

최근 몇 년간 성장을 주도한 분야는 환경과 안전에 대한 의식이 고조되면서 고기능섬유의 「경량성」과 「고강도성」 등의 특징으로 환경소재와 안전소재 등에 적용되고 있는 life science 분야이다.

- 환경보호의 관점에서는 오염방지에 크게 공헌하고 있다. 특히, 중국에서는 고도경제성장으로 전력수요가 급증하면서 석탄화력발전소의 건설이 줄어 있고 있으며, 철강 등의 공장건설도 지속되고 있어 대기오염이 심각한 상태를 보여 고성능 백필터의 수요가 급증을 보이고 있다.
- 그 밖에 자동차의 배기가스 규제강화에 따른 배기가스 처리장치의 성능을 유지하기 위한 재료도 고기능섬유의 수요증가에 크게 기여하였다.
- 경량화에 의한 에너지 절약 효과도 주목을 받고 있다. 자동차 부재나 선박의 로프를 가벼운 고기능섬유로 대체함으로써 자동차나 선박의 연료절약을 실현하고 있다. 경량화는 CO<sub>2</sub> 삭감으로도 이어지고 있다.
- 일본의 탄소섬유협회에 따르면 자동차의 중전소재(주로 Steel)중 17%를 CFRP(탄소섬유강화수지복합재)로 대체하면 차체중량을 30% 경량화 할 수 있으며, 항공기(중형기)의 중전소재(주로 알루미늄) 중 50%를 CFRP로 대체하면 기체구조중량을 50%(총 중량의 9%) 경량화 할 수 있어, 자동차의 경우 대당 연간 0.5톤, 항공기는 대당 연간 2,700톤의 CO<sub>2</sub> 삭감효과를 기대할 수 있다.
- 일본의 자동차와 항공기 모두에 위에서 언급한 소정량의 CFRP를 사용하였다고 가정하면 일본 국내 총배출량의 1.5%에 상당한 CO<sub>2</sub>를 삭감할 수 있다.
- 고기능섬유는 석유대체에너지의 발전에도 공헌하고 있다. 풍력발전의 blade, 자동차의 CNG 탱크와 연료전지에 탄소섬유가 사용되고 있다. 또한, 태양전지용 실리콘을 제조하는 고온로(高溫爐)의 단열재는 불순물이 적은 탄소섬유가 적합하여 수요가 증가하고 있다.
- 향후 에너지 절약이나 석유대체에너지의 확충은 석유가격의 급등으로 인해 더욱 주목을 받을 것으로 전망된다.
- 안전의식의 향상에 있어서는 구미(歐美)를 중심으로 직장에서 종업원의 안전성 확보지향이 고조되면서 방호의

료(防護衣料), 내절창장갑(耐切創掌匣), 내열의료(耐熱衣料)에서의 수요가 확대되고 있다.

- 고기능섬유의 장갑은 얇고, 착용감이 좋아 작업효율을 향상시킴. 소방복 소재로의 수요도 증가하여 성능향상에 크게 공헌하고 있다. 인체의 안전이란 관점에서는 asbestos의 대체가 큰 수요로 부각되고 있으며, 섬유보강시멘트(FRC)용으로는 vinylon, 마찰재용으로는 아라미드 등의 수요가 증가를 보이고 있다.
- 최근 세계 각지에서 발생하고 있는 대규모 지진으로 인해 토목·건축의 내진보강분야에서도 주목을 받고 있다. 2008년 사천 대지진으로 중국에서도 내진보강의 필요성이 인식되기 시작하였다.
- 이러한 환경 및 안전문제에 있어서는 asbestos 규제, 자동차 배기가스 규제, 연비규제, 난연규제, 고온로의 집진규제 등의 존재도 고기능섬유의 수요를 확대시키는 요인이 되고 있으며, 또한, 녹을 방지하기 위해 사용하는 유제가 해양을 오염시킨다는 이유로 steel wire를 적재한 선박을 규제하는 항만이 증가하고 있는 것도 고기능섬유로의 대체를 촉구하는 요인이 되고 있다.

세계경제의 호조도 고기능섬유의 수요를 확대시키는 중요한 요인으로 작용하고 있다. 2004년부터 2007년에 걸쳐 세계 GDP 성장률은 4.5%~5.2%의 높은 성장을 보이고 있다. 철강, 자동차, 조선 등 고기능섬유의 수요산업이 호조를 보이고 있다. 단기적으로는 금융위기로 인한 경기후퇴로 조정구면은 불가피하나 중장기적으로는 수요의 확대기조에 변화가 없을 것으로 전망된다.

- IT·디지털기기의 발전에 의한 수요확대도 꾸준히 지속되고 있다. 광섬유의 부설(敷設)은 선진지역의 경우 2000년대 전반에 일순하였으나, 최근에는 인프라 정비가 추진되고 있는 BRICs에서 그 tension member의 수요가 증가하고 있다. 기간(基幹) 케이블이 일순한 구미에서도 가정용 인입이 증가하면서 수요가 늘고 있다.
- 또한, 반도체의 수요증가가 계속되고 있으며, 실리콘 결정용(結晶用)의 고온로 단열재, 대형 액정디스플레이 제조용 로봇핸드 등에서도 충격을 흡수하는 등의 진동감쇠성(振動減衰性)이 양호한 pitch계 탄소섬유의 수요가 증가하고 있다.
- 휴대음향기기의 수요확대로 이어폰 코드용 tension member의 수요도 증가하고 있다. 이러한 고기능섬유를

사용한 경제성의 메리트에 주목할 필요가 있다. 에너지절약 혹은 자원절약과 관련한 한 예이기는 하지만 고기능섬유의 뛰어난 내구성·내마모성으로 제품수명을 장수화하였다는 이점도 있다.

- 경량화로 취급이 용이하였다는 이점도 있다. 예를 들면 예인로프(tugrope)의 경우 철제로프(wirerope)로는 4명이 할 수 있는 작업을 2~3명으로 가능하였다. 벽면녹화용네트나 콘크리트보드에서도 종전에 비해 간단한 공법이 가능하게 되어 성력화(노동력을 줄임)가 실현되고 있다.
- 최근 들어서는 기존소재나 경합소재의 가격상승이 고기능섬유의 수요확대에 순풍으로 작용하고 있다.

일반산업용의 수요확대에 추가로 2003년 이라크 전쟁발발 이후 방탄의료와 내열의료 등 군수용도의 수요가 급증한 것이 고기능섬유의 수급을 타이트하게 하는 주 요인이 되고 있다.

- 세계적으로 전쟁지역의 확대, 전투원의 증가, 흉부 이외의 부위로 사용 면적이 늘어나면서 수요가 급증을 보이고 있다. 세계 각지에서 테러사건이 줄을 잇고 있어 경찰이나 민간부분에서의 수요도 증가를 보이고 있다.
- 방탄의료의 착용성이 향상되면서 생산이 가는 실 위주로 이루어지고 있다. 사가 가늘어지면 그 만큼 생산성이 떨어지게 되어 실제의 생산능력은 공칭능력을 크게 하회하게 되어 공급부족의 원인이 된다. 사의 세(細)데니어화는 방탄의료 이외에서도 나타난다.

이러한 수요증가에 고기능섬유 메이커는 설비증강으로 대응하고 있다. 고기능섬유는 기업의 수익에 크게 공헌하고 있어 각사가 공히 투자에 적극적으로 나서고 있다.

- DuPont은 1965년 아라미드 섬유를 상업생산한 이래 최대 규모인 5억불 규모의 투자계획을 발표하였다. 그 밖에 DSM, 제인(Teijin), 동양방(Toyobo), Kuraray 등도 신증설을 추진하고 있다.
- 또한, 탄소섬유에서는 PAN사 3사(Toray, Mitsubishi Rayon Toho Tenax), pitch계 4사(Kureha, Osaka Gas Chemical, Mitsubishi 수지(樹脂), 日本 Graphite Fiber)가 신증설을 실시, 검토하고 있다.
- 고기능섬유는 각각의 특성에 맞는 Niche 시장에서 용도가 전개되고 있어 방탄분야나 tension member 등의 용도를 제외하면 섬유간의 경합은 거의 없다. 섬유가 상업 생

산된 지 거의 10년 이상 경과했으며, 꾸준한 시장개척을 거쳐 각각의 전문분야를 형성하고 있다. 향후 성장시장으로는 FRP를 포하였다한 자동차분야에서의 수요를 크게 기대하고 있다.

- 최근 몇 년간은 신소재의 등장이 거의 보이지 않았으나, Toyobo가 용융방사식 고강력 polyethylene 섬유 「Tsunoooga」의 상업생산을 2008년부터 개시했으며, 중국에서는 내열 섬유인 polysulfone 섬유 「TANLON」이 조만간 시장에 출시될 예정이다.

고기능섬유는 1960년대에 DuPont이 아라미드 섬유를 상업화한 것이 시초이다. 1980년대 후반에는 일본기업을 중심으로 신규참여가 활발히 전개된다. 생산에 고도의 기술이 요구되어 고기능섬유를 요구하는 user와 연계한 용도개발이 필요했기 때문에 2000년대 전반까지는 생산메이커가 일본, 미국, 유럽 등 선진기업에 한정된다.

- 그러나 2004년 이후 중국을 중심으로 아시아 기업의 참여가 활발하게 전개된다. 2004년 중국의 Yantai Spandex(烟台氨纶)가 메타계 아라미드의 상업생산을 개시했으며, Guangdong Charming(廣東彩艷)도 동 섬유를 생산하고 있다.
- 2005년에는 코오롱이 파라계 아라미드의 상업생산을 개시하였다. 2006년 이후에는 중국에서 Jiangsu Ruitai Science & Technology(江蘇瑞泰科技) 등 수 개사가 본격적으로 PPS(polyphenylene sulfide)의 생산을 하고 있으며, 초고분자량 poly-ethylene 섬유에 있어서는 중국기업 3~4개사가 본격적으로 생산을 하고 있는 것으로 알려졌다.
- 불소섬유(弗素纖維)도 대만의 Yeu Ming Tai Chemical Industrial Co.,Ltd.(宇明泰)와 중국의 Shanghai Ling Qiao E.P.E.W. Co., Ltd.(上海凌橋)가 참여하고 있으며, 효성과 중국의 Yantai Spandex(烟台氨纶)가 파라계 아라미드의 참여계획을 발표하였다. 그 밖에 자세한 내용은 알 수 없으나, 중국 화섬기업의 고기능섬유에 대한 참여계획이 줄을 잇고 있다.
- 아시아 기업의 제품은 이미 시장에 출회되고 있으나, 전반적으로 품질이 낮거나 안정성이 결여되는 등의 문제가 있으며, 아직 규모도 작기 때문에 선발주자인 歐美, 日本 메이커에 큰 위협은 되지 못하고 있다.
- 특히, 고강력섬유는 기술적으로 어려워, catch up에는 상당한 시간이 필요할 것으로 보이고 있다. 특허문제도 아

직 존재하고 있어 진출을 어렵게 하고 있다. DSM은 중국을 중심으로 특허 위반경고를 적극적으로 제기하고 있다. DuPont도 파라계 아라미드에 대한 기업비밀 도용을 이유로 한국기업을 제소한 바 있다.

- 고강력섬유 이외에서는 PTT(3GT) 섬유에서 fiber에서 textile 까지 많은 특허를 일본 기업이 갖고 있어 기타 국가의 진출을 어렵게 하고 있다. 이러한 품질문제와 특허문제가 있으나, 중국은 군수용을 시야에 두고 국가전략의 일환으로 대학, 연구기관과 공동으로 고기능섬유의 개발을 적극적으로 추진하고 있어 향후에는 歐美와 일본 기업을 위협할 가능성이 높다는 견해가 지배적이다.
- 중국에 탄소섬유업체는 연구소와 대학을 포함하여 이미 10개사 정도가 있는 것으로 알려짐. 생산능력은 2008년 시점으로 연산 1,000톤 규모로 추정된다. 생산제품은 시장에 유통되지 않고 있다. 중국메이커는 core 기술인 프리커서의 품질에 문제를 안고 있어, 중국産 탄소섬유가 일본, 구미(歐美) 등의 선발업체를 위협하기까지는 상당한 시간이 필요할 것이라는 견해이다.

## 2. 본론

### 2.1. 소재별 시장현황

#### 2.1.1. 탄소섬유

Table 3. 탄소섬유의 역사

년도	주요내용
1879	- 에디슨이 전구의 필라멘트용으로 대나무섬유를 탄화하여 사용한것이 효시
1950	- 항공·우주용으로 rayon계 탄소섬유, polyacrylonitrile계 탄소섬유 (이하 PAN계로 약칭하였다), pitch계 탄소섬유 개발
1959	- 현재의 탄소섬유는 미국 UCC가 rayon을 원료로 공업화한 것이 시초
1969	- PAN계는 영국의 Courtaulds사가 최초로 공업화에 성공.
1971	- 일본 Toray 상업생산 개시
1972	- 미국 Hercules 상업생산 개시
1973	- 일본 Toho Rayon(현 Toho Tenax) 상업생산 개시
1974	- 일본 Mitsubishi Rayon이 prepreg에서 가공품에 이르는 사업을 출범시켰으나, 탄소섬유의 공업화는 1983년 본격화.

자료 : 한국화섬협회

탄소섬유란 국제표준화기구(ISO) 및 국제화섬표준화기구(BISFA)는 유기섬유(acrylic resin 혹은 석유/석탄의 pitch)인 프리커서를 열처리한 후 탄소화하였다. 즉, 탄소섬유는 문자 그대로 탄소성분으로만 구성된 무기섬유를 칭한다.

세계의 탄소섬유시장은 당초 스포츠·레저용도를 중심으로 확대되었으며, 최근에는 항공·우주, 로봇, 토목·건축, 풍력발전 등 일반산업용도로 확대되고 있다.

탄소섬유는 출발원료인 프리커서를 기준으로 살펴보면 rayon계, PAN계, pitch계로 크게 분류할 수 있다. PAN계는 acrylic 섬유, pitch계는 coal-tar나 석유를 원료로 한다.

- pitch계 탄소섬유는 PAN계에 비해 이흑연화성(易黑鉛化性)이 강하기 때문에 결정화가 쉬워 고탄성률 섬유를 얻기 쉬운 것이 특징이나, 압축강도가 PAN계의 절반으로 낮기 때문에 구조재용도로의 활용은 미미하였다. pitch계 고탄성 type의 시장규모는 수백 톤에 불과하여 PAN계에 비하면 규모가 작은 편이다. 대표적인 생산기업으로는 Mitsubishi 樹脂(상표 "DIALEAD"), 일본 Graphite Fiber(상표 "Granoc") 등이 있다.
- PAN계 탄소섬유는 다른 소재에 비해 비강도(강도/밀도)·비탄성률(탄성률/밀도)이 높아 주로 수지(樹脂)를 matrix한 복합재료인 탄소섬유강화 플라스틱으로 활용된다. 탄소섬유메이커 중에는 Composite 사업까지 일관하여 추진하는 기업도 있다. PAN계 탄소섬유는 일반적으로 5~7 $\mu$ m의 필

Table 4. 탄소섬유의 주요 응용분야

응용분야	응용제품	비고
1) 항공/우주 항공분야	· 비행기 주날개, 동체, 주요부품 · 전투기, 헬리콥터 · 로켓 및 인공위성의 동체	
2) 스포츠/ 레저분야	· 낚싯대, 골프샤프트 · 테니스/배드민턴 라켓 · 요트, 보트, 크루저, 카누 등 돛대 · 야구/하키 등의 스틱, 양궁, 경주용 자동차, 당구채 등	
3) 빌딩/건축 분야	· 빌딩 등 건축재료 보강재 · 교량의 주요 구조재 · 토목용 기초재료	
4) 자동차 분야	· 레이싱 카의 차체 · 본넷, 브레이크 라이닝 등 주요 구조재 · 천연가스/수소 자동차의 연료탱크 · 초고속열차의 동체	
5) 에너지 분야	· 풍력발전소의 블레이드 · 연료전지의 핵심재료 · 원유시추용 파이프보강재 · 심해용 케이블 구조재	
6) 전자/산업 기기 분야	· 노트북 등의 플라스틱 대체재 · 철강제조용 컴포지트 롤러 · 샤프트의 베어링 · 기타 엔지니어링 레진 대체용 · 정밀가공기기	
7) 의학/기타 산업 분야	· X-ray 투과장치 부품재료 · 인공관절 및 의료보조기 · 일반 산업기계 부품 · 바닥용 전기히터 시스템	

자료 : 한국화섬협회

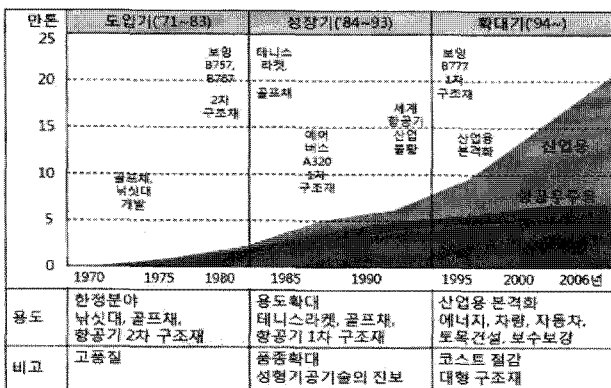


Figure 2. 탄소섬유의 발전추이.

라멘트를 1,000~24,000가닥의 small tow와 48,000가닥 이상의 large tow로 나눌 수 있다.

- large tow는 코스트가 낮아 한때 급격이 성장했으나, 소성공정(燒成工程)을 거치기 때문에 결국은 small tow와 코스트가 크게 다르지 않고, 안전성이 증시되는 분야가 많아지면서 성능이 한 단계 높은 small tow의 수요가 견조하여 가동률이 낮다. large tow의 주요메이커로는 미국의 Zoltek, Fortafil(일 toho tenax가 인수), 구주(歐州)의 SGL이 있다.
- 탄소섬유는 아라미드 섬유와 같은 고강도·고탄성 섬유이다. 이 두 섬유는 거의 같은 시기에 상업생산이 개시되었으나, 아라미드 섬유는 섬유자체로 사용되는 경우가 대

부분인 반면, 탄소섬유는 거의 대부분이 복합재(composit)로 사용된다.

- 세계 시장규모는 아라미드 섬유(para계)가 3.5~4.0만 톤, 탄소섬유(PAN계 small tow)가 약 4만 톤 규모이다. 주요 메이커는 아라미드 섬유가 DuPont 그룹, 帝人(Teijin)그룹, (주)코오롱인더스트리의 3사 체제를 구축하고 있는 반면, 탄소섬유(Small Tow)는 일본계 Toray, Toho Tenax, Mitsubishi Rayon 3개사(세계 share의 약 80% 점유), 미국에 2개사, 대만과 터키 각 1개사가 있으며, 그 밖에 large tow 메이커 3개사, pitch계 5개사, 그리고 중국에 PAN계 10여 개 사가 있는 것으로 알려졌다

Table 5. 탄소섬유와 아라미드 섬유의 비교

구분	PAN계 탄소섬유	아라미드 섬유
제품출시	1969년(Courtaulds)	1971년(DuPont)
용도	대부분 복합재로 사용	대부분 섬유단체로 사용
시장규모	4만 톤	3.5~4.0만 톤
주요메이커	일본 3사, 미국 2사, 중국 10사, 대만, 터키 각 1사	DuPont, Teijin

자료 : 한국화섬협회

기계적 특성에 따라 아래와 같이 구분하기도 하였다

- 초고탄성률 탄소섬유(UHM, ultra high elastic modulus type)
- 고탄성률 탄소섬유(HM, high elastic modulus type)
- 중간탄성률 탄소섬유(IM, intermediate elastic modulus type)
- 고강도 탄소섬유(HT, high tenacity/Standard elastic modulus type)
- 저탄성률 탄소섬유(LM, low elastic modulus type)

이외에 2차 가공에 따라 장섬유(filament)와 단섬유(staple)로 나눌 수 있으며, 여러 단계를 거쳐 최종제품은 방적사, 제직/편물, 펠트, 매트/페이퍼 혹은 수지(樹脂)를 함침한 프리프레그(prepreg) 등으로도 생산된다.

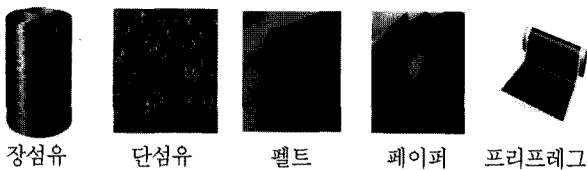


Figure 3. 탄소섬유의 제품형태에 따른 분류.

자료 : 한국화섬협회

### 2.1.1.1. PAN계 탄소섬유

#### 2.1.1.1.1. PAN계 탄소섬유의 특징

탄소섬유는 대부분이 탄소로 이루어져 있기 때문에 가볍고 비중이 낮으며 강도 및 탄성률이 강철보다 최대 8배 강하였다. 또한, 열팽창계수가 낮고, 열전도성이 우수하며, 내약품성, 전기전도성, 윤활특성이 매우 우수하였다. 다만, 강한 산성에 약하고 고온에서 쉽게 반응하여 산화되는 단점이 있으므로 열처리가 가장 중요하였다

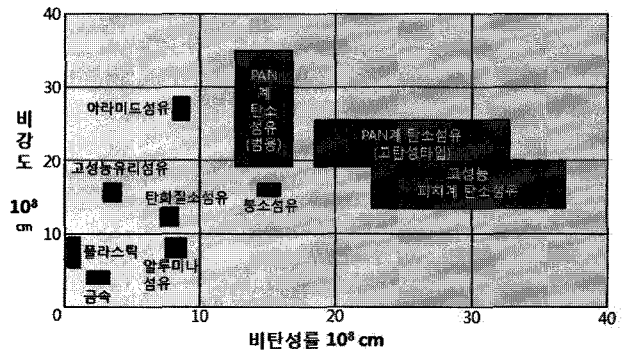


Figure 4. 섬유의 강도 및 탄성률 비교

자료 : 한국화섬협회

Table 6. 탄소섬유 및 기타 화섬과의 특성비교

섬유	강도		탄성률		신장률 %	밀도 g/cm <sup>3</sup>	용점/분해점 °C
	g/d	GPa	g/d	GPa			
PAN계 탄소섬유	14~70	3.5	1000~5850	230	0.2~0.4	2.4~3.1	300~540
para계 아라미드	22~26	2.8	500~1100	109	2.4~4.4	1.45	500~560
초고강도 polyethylene	30	3.5	1400	110	3.5	0.97	150
PBO 섬유	42	5.8	1300	280	2.5~3.5	1.56	650
강철선	3.9	2.5~2.8	290	160~200	1.4	7.8	1150~1500
폴리에스터	9	1.1	125	15	25	1.38	260

자료 : Toray

#### 2.1.1.1.2. PAN계 탄소섬유의 용도 및 응용분야

탄소섬유는 비강도, 비탄성률이 높은 역학적특성을 지니고 있어 가볍지만 강하고 단단하여 항공, 우주, 스포츠·레저, 구조재로 활용되고 있다. 탄소섬유는 이러한 역학적 특성 외에도 형태안정성, 내피로성, 내열성, 내약품성, 전기전도율·X선 투과성 등을 갖기 때문에 대부분의 용도에서 사용된다.

Table 7은 탄소섬유의 특징과 용도예를 나타낸 것이다.

Table 7. PAN계 탄소섬유의 각 산업별 용도

분야	수지종류	용도	이용특성	용도분야
스포츠·레저	CFRP	낚시도구 골프 라켓 해양 기타	경량화, 강성, 감도, 진동감쇠성(振動減衰性)	낚시대, 릴 shaft, head, face판 테니스, 배드민턴, 스쿼시 요트, 크루즈, 경기용 보트, mast 야구배트, 스키, 스키스틱, 양궁
	CFRT	낚시도구 골프 라켓	경량화, 강성, 내식성, 디자인	릴 head, 신발 테니스, 라켓볼
항공·우주	CFRP	비행기 로켓 인공위성	경량화, 내피로성, 내열성 내마모성, 치수안정성	1차구조재 : 주날개, 후미날개, 동체 2차구조재 : 보조날개, 방향타, 승강타 내장재 : 플로어판넬, 빔, 라버토리, 좌석 노즐콘, 모터케이스 안테나, 태양전지판넬, 튜브트라스구조재
일반산업용	CFRP	자동차 자전거 차량 고속회전체 전기부품 압력용기 의료기기 토목·건축 기타	경량화, 고속화, 내피로성 고강, 강성, 내식성, 고속화, 진동감쇠성, X선투과성, 치수안정성, 도전성	프로펠라샤프트, 경주용카, CNG 탱크 프레임, 호일, 핸들 철도차체, 리니어모터카, 좌석 원심분리기모터, 공업용롤러, 샤프트 파라볼라안테나, 음향스피커 유압실린더, 볼베 X선그리드, 수술용부품, 의자 케이블, 콘크리트보강재 수지형(樹脂型), 양산, 헬멧, 면상발열체(面狀發熱體)
	CFRT	OA·사무기 전자기기부품 기계부품 정밀기기 기타	접동성, 강성, 도전성 경량화, 고정도, 내모특성, 고강도, 치수안정 성, 진동감쇠성	프린터베어링, 감, 하우징 VTR 부품, CD 부품, IC 캐리어 베어링, 기어, 감, 베어링리테나 카메라부품, 플랜트부품 음향스피커콘, 안경프레임

자료 : 한국화섬협회

주) CFRP(Carbon Fiber Reinforced-Plastics : 비강도, 비탄성률특성에 착안한 용도가 주류)

CFRTP(Carbon Fiber Reinforced Thermo-Plastics : 경량화, 도전성 특성에 착안한 용도가 주류)

항공·우주용도로는 경량화효과를 발현하기 쉬워 탄소섬유 강화 플라스틱이 순조로운 추이를 보이고 있다. 소형 비즈니스 제트기나 헬리콥터에는 70~80%, 군용기에는 30~40%, 대형여객기에는 15~20%의 복합재료가 사용되어 경량화에 공헌하고 있다. 탄소섬유강화 플라스틱은 Boeing사의 B757, B767의 방향타로서 2차 구조재에 채용이 시작되었으며, 1988년 취항한 Air Bus사의 A320에서는 처음으로 1차 구조재로서 꼬리 날개에 채용된다. 2008년부터 취항한 A380에는 탄소섬유 복합재료만 20% 이상 사용되며(1기당 탄소섬유 사용량이 30톤에 달하여 20년간 1000기, 연간으로는 50기로 약 1,500톤의 수요가 기대된다). Boeing사의 7E7에는 기체중량의 50%

가 복합재료를 사용하게 되어 대형수요가 기대된다. 기존 항공기의 개량시에도 복합재의 사용이 증가하고 있다. 우주분야에서는 일찍이 인공위성의 구조재, 태양전지 패널, 안테나 등으로 고탄성률 탄소섬유가 경량, 고강성, 치수안정성, 열전도성의 특성으로 사용되고 있으며, 최근에는 통신위성에서의 사용이 확대되고 있다.

스포츠·레저용도로는 golf shaft, 낚시대, 라켓 등으로 많이 사용되며, 이 가운데 가장 먼저 용도가 본격적으로 전개된 것은 낚시대이다. 경량, 고강도가 요구되는 낚시대의 경량화 역사는 PAN계 고탄성률 탄소섬유의 역사로 최적구조설계의 진척으로 같은 길이 이면서 중량은 당초의 1/5에 불과

하였다. golf shaft는 1972년 태평양클럽마스터즈에서 게이브 류아가 탄소섬유 shaft를 사용하여 우승함에 따라 black shaft의 boom이 일기 시작하였다. 일본에서 시작된 shaft의 carbon화는 미국에서도 '94년경 급속히 진행된다. golf shaft는 큰 폭의 경량화가 추진되어 비저리나 방향안정성이 우수한 golf shaft의 출현에 크게 공헌하고 있다. 라켓시장에서는 테니스 라켓을 시작으로 배드민턴, 스쿼시, 라켓볼 등에서 폭 넓게 활용되고 있다. 스포츠·레저 분야에서의 탄소섬유수요는 최근 수년간 5,000톤 전후로 추이하고 있다. hockey stick이나 archery의 화살, 레저보트용 등 새로운 시장이 확대되고 있어 향후 견조한 추이를 보일 것으로 전망된다.

토목·건축분야에서는 탄소섬유의 높은 역학특성이나 내부식성을 활용하여 보수·보강, 건축부재, 철근대체, 콘크리트 보강 등으로 응용이 촉진되고 있다. 특히, 1995년 발생한 일본의 한신대지진을 계기로 기존 콘크리트 구조물의 보수·보강용으로 수요가 증가하고 있다.

에너지 분야에서 주목을 받는 것은 천연가스를 연료로 하는 자동차용 CNG(압축천연가스) 탱크이다. 천연가스는 유황 분 등이 적고, SOx가 거의 없으며, CO<sub>2</sub>와 NOx가 아주 적은 그린에너지이다. 이 압축탱크의 재료로 가볍고 강한 탄소섬유가 사용되고 있다. 향후에는 연료전지용의 수소탱크도 시장으로서의 가능성을 지니고 있다. 또한, 풍력발전의 풍차로는 그 대형화가 추진됨에 따라 기존의 유리 섬유로는 대응할 수 없어 탄소섬유를 재료로 한 blade의 채용이 기대된다. 향후 잠재시장으로는 심해의 해저유전굴착기분야에서 실용화가 추진되면 연간 수 천톤의 시장이 형성될 것으로 전망된다. 철은 염분이나 진흙으로 부식하기 쉽기 때문에 내부식성이 강한 탄소섬유소재가 최적인 시장이다.

수송기기분야에서는 자동차용도에서 대량수요가 기대됨에 따라 용도전개가 이루어지고 있다. 경량화와 충돌시 안정성으로 레이싱 카에는 탄소섬유가 많이 사용되고 있다. 일반차량으로는 대형트럭의 바디로 채용되어 경량화가 큰 폭으로 이루어져 적재량 증가에 공헌하고 있다. 향후 환경보호의 중요성이 강조됨에 따라 차체의 경량화가 더욱 요구될 것으로 보여 탄소섬유 composite의 수요가 확대될 가능성이 높다.

단, 가격이 문제로 유리 섬유는 kg당 170~180엔인데 반해, 탄소섬유는 2,000엔정도이다. 유리 섬유는 소각시재(燒却時災)가 남는 등 폐기면(廢棄面)에서 문제점을 안고 있다. composite의 가격은 성형가공방법의 개량으로 하락경향을 보이고 있다. 고급차와 대중차의 사용분리로 탄소섬유의 기능을 살릴 수 있는 부품의 분리 등이 이루어지면서 서서히 수

Table 8. CFRP를 적용한 미국 Ford사 컨셉카의 중량비교

부품명	철(kg)	CFRP(kg)	경감률(%)
바디	프레임	프런트	후드
트림(trim)	범퍼	차축	문
시트와 기타	209.1	128.3	43.5
22.2	19.4	55.8	41.7
70.6	31.4	94.3	94.4
13.3	7.6	6.3	20.1
22.4	27.7	16.2	54.9
26.4	69.7	65.8	67.5
64.0	46.3	60.8	48.4
전체	622.0	301.9	51.5

자료 : Ford

요가 확대될 것으로 기대되고 있다.

전자·전기분야에서는 전기전도성으로 인한 정전기제거효과를 활용하여 IC 제조공정에서의 제전성 IC tray, 전자파 shield 효과와 경량, 고강성을 활용한 노트북 케이스 등으로 활용하고 있다. 그 밖에 X선 투과성이 양호하고, 경량, 고강성인 특성을 활용하여 X선 카세트, X선 천판으로 사용되고 있으며, X선 투과성이 높기 때문에 낮은 X선원(線源)으로도 선명한 영상을 얻을 수 있어 환자의 피폭량저감에 도움이 되는 등 향후 새로운 용도개발이 기대되고 있다.

2.1.1.1.3. PAN계 탄소섬유의 현황 및 전망

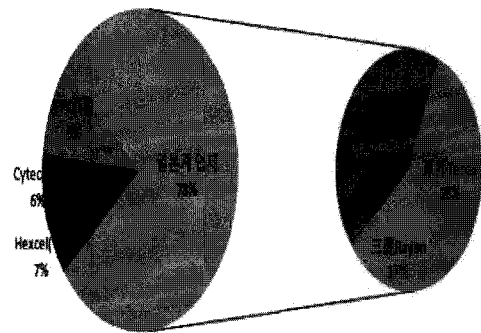


Figure 5. 세계탄소섬유 설비점유율('09년).

자료 : 한국화섬협회

세계 탄소섬유 시장은 일본의 3개사(Toray, Toho Tenax, Mitsubishi Rayon)가 전체의 80% 점유하고 있다.

Toray를 중심으로 수 십 년간 탄소섬유에 공을 들인 결과 미국의 Boeing과 유럽의 Air Bus의 항공기 부품, 소재는 물



Table 9. 세계 PAN계 탄소섬유의 생산능력 추이(단위 : 톤/년)

회사명	'06	'07	'08	'09
Toray(일)	4,400	3,600	2,600	6,600
CFA(미)	3,600	3,400	6,600	3,600
Soficar(프)	3,400	7,300	5,400	5,200
<b>Toray 그룹계</b>	<b>10,600</b>	<b>13,600</b>	<b>13,600</b>	<b>17,900</b>
Toho Tenax(일)	3,700	3,700	6,400	8,100
TCF(미)	700	700	700	2,000
TTE(독)	3,400	3,400	3,400	3,400
<b>Toho Tenax 그룹계</b>	<b>7,800</b>	<b>7,800</b>	<b>10,500</b>	<b>13,500</b>
Mitsubishi Rayon(일)	3,200	5,400	5,400	5,400
Grafil(미)	2,000	2,000	2,000	2,000
SGL(영)	500	500	500	600
<b>Mitsubishi Rayon 그룹계</b>	<b>5,700</b>	<b>7,900</b>	<b>7,900</b>	<b>8,000</b>
Hexcel(미)	2,300	2,300	3,300	4,200
Cytec(미)	1,800	1,800	1,800	1,900
FPC(대)	3,000	5,500	6,200	7,400
<b>세계계</b>	<b>31,200</b>	<b>38,900</b>	<b>43,300</b>	<b>52,900</b>

자료 : 한국화섬협회. 주) Regular Tow 기준

론 우주선, 첨단무기 재료로 활용되고 있다. 그 밖에 미국, 영국, 프랑스 등 화섬 선진국과 대만, 중국이 소량 생산하고 있는 것으로 알려짐. 한국도 '90년대에 탄소섬유를 생산했으나, 경쟁력이 없어 생산과 연구개발을 중단하고 100% 수입에 의존하고 있다. 최근 전주시가 탄소벨리를 만들고, 효성이 탄소 섬유 육성에 뛰어들었지만 초기단계로 앞으로 가야할 길이 멀어 보이고 있다. 세계 3대 탄소섬유 기업인 일본의 Toray, Toho Tenax, Mitsubishi Rayon은 세계 각지에 생산거점을 확보하고 증설을 추진하고 있다. 이는 Air Bus사와 Boeing사의 차세대 여객기에 CFRP의 수요가 크게 증가하고 있는 데 따른 것이다

'04~12년간 연평균 14%~16% 성장률 전망하고 있다(기타 섬유 3%). 세계 탄소섬유의 공급은 확대를 보이고 있는 스포츠 용도를 겨냥하여 1998년 이후 대증설이 이루어졌으나, 2001년 9월 뉴욕의 동시다발테러로 항공기용의 수요 감소로 소강상태를 보였으나, 수요 회복을 위한 노력으로 '03년부터는 공급균형을 이루면서 가격도 회복 경향을 보이고 있다.

향후 스포츠·레저용은 답보상태를 보일 것으로 전망되나, Air Bus사의 A380을 비롯한 항공기용의 수요증가와 시장개척을 배경으로 한 일반산업용의 본격적인 확대로 세계 탄소 섬유의 수요는 2002년 1.5만 톤에서 2005년에는 3.0만 톤,

2012년에는 6만 톤을 상회할 것으로 예상된다. 탄소섬유(CFRP 포함)의 수요는 항공용은 물론 향후 자동차의 주요부품과 CNG (압축천연가스)탱크, 풍력발전용 블레이드 등 일반 산업분야에서 채용이 급증할 것으로 전망된다. 특히, 차세대 항공기 제작에 CFRP가 대당 35톤~45톤이 소요되고 있어 총중량의 40~50%를 점할 것으로 전망된다. 지역별로는 미국과 유럽은 견조한 성장을 보일 것으로 예상되며, 중국을 중심으로 한 기타지역은 제품가공기지의 shift 등으로 확대될 것으로 전망된다.

Table 10. 항공기 분야의 탄소섬유복합재료 수요실적

취항년도	'82	'95	'06	'08
기종	B767외	B777	A380	B787
사용분야	2차 구조재	1차 구조재 2차 구조재	2차 구조재 1차 구조재	1차 구조재 2차 구조재
항공기 1기당 CFRP수요량	1.5톤(B767)	약 10톤	약 35톤	약 45톤

자료 : Boeing

탄소섬유 가격도 '03년 이후 수급균형을 보이면서 회복되기 시작하여 '08년 상반기 일본산 탄소섬유의 평균단가는 kg당 5,300엔으로 일반의류용 섬유의 20배 이상에 달하고 있으며, 향후 세계 경기의 회복으로 수요가 증가가 예상되고 있어 가격 강세는 지속될 것으로 전망된다.

Table 11. 일본산 탄소섬유 평균단가 추이

년도	평균단가(엔/kg)
'03	3,287
'04	3,627
'05	4,353
'06	4,970
'07	5,000
'08 상반기	5,300

자료 : 일본화섬협회

### 2.1.1.2. pitch계 탄소섬유

pitch계 탄소섬유는 coal tar 또는 석유중질분을 원료로 얻을 수 있는 pitch 섬유(pitch precursor)를 방사하여 불용화 후에 소정의 온도로 탄화하여 흑연화함으로써 얻을 수 있다. 제법(製法)의 모든 조건으로 저탄성률에서 초고탄성률·고강도의 광범위한 성질의 제품을 생산할 수 있다. 초고탄성률제품

은 고강성용도 이외에 뛰어난 열전도율과 도전성을 지니고 있어 여러 가지 용도로 사용되고 있다. 방사하는 pitch의 결정상태에 따라 mesophase pitch계, 등방성 pitch계로 분류할 수 있다. mesophase pitch는 구성분자가 결정상태로 배향되어 있어 편광현미경으로 관찰하면 광학적으로 이방성을 나타냄. 한편, 등방성 pitch는 구성분자가 랜덤으로 배향되어 있어 광학적으로는 등방성이다. 일반적으로 mesophase pitch로는 역학적 특성이 뛰어난 고성능탄소섬유(GPCF)를 제조하였다. 강도, 탄성률이란 기계적 특성에서는 mesophase pitch계가 뛰어나지만 등방성 pitch계 탄소섬유는 「탄소」가 지닌 뛰어난 내열성, 산화안정성, 내약품성, 내부식성, 내마모성, 자기윤활성 등의 특징을 지니고 있다.

2.1.1.2.1. pitch계 탄소섬유 생산능력

2008년 2월 시점으로는 pitch계 탄소섬유의 사업을 지속하고 있는 기업은 Table 12에 나타난 5개사 정도이다. 유일하게 일본 이외 기업인 Cytec사는 항공기 브레이크용의 수요를 주력으로 하고 있다. 지금까지 pitch계 탄소섬유의 특성을 살린 용도에서의 시장개척이 추진된 결과 PAN계 탄소섬유와 함께 최근 들어 시장이 확대되면서 각사가 설비증강에 나서고 있다. Mitsubishi 수지는 2008년 1월 400톤 증강하여 현재 생산능력을 연산 1,000톤 규모로 확대했으며, 향후에 시장동향을 주시하면서 증설을 검토하였다는 입장이다. 日本 Graphite Fiber의 광전공장(廣畑工場)의 생산능력은 명목상 120톤 규모이나, 2009년말에 실질생산능력을 60톤 증강한 180톤으로 증설하였다. Kureha는 2009년 상반사업소(常磐事業所)에 350톤 규모의 2라인을 단계적으로 가동하였다는 계획(1라인은 '09년 1월 완공)이며, 완공후의 설비능력은 1,800톤

Table 12. pitch계 탄소섬유의 생산능력(2009년말 기준)

회사명	생산능력 (톤/연산)	원료 pitch	섬유종류
Mitsubishi 수지	1,000	석탄계 · Mesophase	HP · 연속섬유 · 단섬유
Nippon Graphite Fiber	180	석탄계 · Mesophase/ 등방성	HP · 연속섬유 · 단섬유
Cytec Engineered Materials	230	석탄계 · Mesophase	HP · 연속섬유
Kureha	1,800	석탄계 · 등방성	GP · 단섬유
Osaka Gas Chemical	600	석탄계 · 등방성	GP · 단섬유

자료 : 각종 자료 취합

체제를 구축하게 된다. 또한 중국 상해(上海) 자사공장에서는 증설공사를 2008년 12월에 완공하여 생산능력을 3배로 증강하고 '09년 4월부터 신라인에서 제품을 출시하고 있다. 한편, 상반사업소에서는 탄소섬유가공품(성형단열재 및 단섬유)의 생산설비 증강공사를 추진하여 2009년 2월에 종전 규모의 2배에 달하는 생산능력을 구축했으며, 미국의 피츠버그 공장에서도 가공품의 2~3배 증설을 검토중인 것으로 알려졌다. Osaka Gas Chemical은 Tonouchi Center(大阪市 此花區)에서 300톤의 증설공사를 추진하여 총 600톤 규모의 설비능력을 갖추었다.

2.1.1.2.2. PMesophase pitch계 탄소섬유의 용도별 수요동향

mesophase pitch계 탄소섬유는 흑연결정이 섬유축 방향으로 규칙적으로 늘어난 「흑연섬유」이다. Table 13은 그 특징과 적용제품의 예를 든 것이다.

Table 13. mesophase pitch계 탄소섬유의 특징 · 기능과 용도전개

특징	기능	적용제품 예
경량 · 고강성	저휨성 고속동작 진동억제 省 space	로봇핸드 반송용 beam 구조물보강
고열전도	경량방열재 불연 플라스틱 고온안정성능	인공위성구조재 pantagraph carbon brake
zero 熱膨脹	超寸法安定性 고정도부품	antenna 구조재 정밀공작기계부품

자료 : 한국화학협회

경량 · 고강성 용도분야에서는 mesophase pitch계 탄소섬유의 특징 가운데 가장 소구력(소비자의 욕구)이 있어, 타 소재와의 차별화를 꾀할 수 있다는 점이 경량 · 고강성의 특징이다. 이 특징은 휨과 관성(慣性)모멘트가 작고, 고유진동수가 높은 기계부품을 제조하는데 적합하였다. 높은 고유진동수는 빠른 진동감쇠성능으로 이어지고 있다. pitch계 CFRP는 가진에 의해 발생한 진동이 다른 소재에 비해 짧은 시간에 수축하는 특성을 지녔다.

- 로봇핸드 : glass 기관반송용 등의 로봇핸드 소재로 사용된다. 공장이나 라인의 규모에 따라 다르지만 액정 디스플레이(LCD)제조라인 중 각 공정에 적합한 형상의 로봇이 라인당 약 100~500대 설치되어 공정간 대형 glass기

판을 주고 받고는 작업을 수행한다. 최신 제8세대 로봇에 서는 핸드를 구성하고 있는 1本1本 Fork의 길이가 약 3.5 m로 크다. 핸드는 로봇 본체에 설치하여 대면적이면서 얇고 위험한 glass기판을 적재하여 전후좌우, 상하로 이동하거나 회전하는 동작을 반복하였다. 동작에 의한 진동에 빠르게 반응함으로써 다음 동작을 빠르게 이행할 수 있다. 이것이 소요시간의 단축으로 이어져 LCD의 생산성 향상에 공헌하고 있다. 요구되는 동작을 만족하기 위해서는 로봇 핸드에 사용되는 CFRP의 탄성률이 300 Gpa를 넘는 것이어야 하였다. 이는 철의 탄성률 1.5배로 pitch계 탄소섬유이기 때문에 가능한 기술이다.

- 공업용 롤 : 원통형의 CFRP를 roll shell로 사용한 roll을 「carbon roll」이라 칭하고, 철, 알루미늄에 이어 제3의 roll 소재로 정착하였다. pitch계 탄소섬유는 10년 전부터 롤로서는 가장 적합한 재료로 필름 제조기계, 인쇄기계 등의 광폭화, 고속화에 기여하였다. 최근에는 액정 디스플레이를 구성하는 각종 기능 필름제조, 대형 glass 기판처리 분야에서도 폭 넓게 활용되고 있다.
- 프로펠러 샤프트 : 자동차업계에서는 「지구환경에 친화적임」을 캐치프레이즈로 CO<sub>2</sub> 배출삭감, 에너지 절약 등을 목적으로 자동차의 연비향상 검토가 추진되고 있다. 이 해결책의 일환으로 차체중량의 경량화와 자동차부품인 CFRP의 채용이 추진되고 있다.

고열전도 분야에서는 pitch계 탄소섬유가 다음과 같은 용도로 많이 사용되고 있다.

- 철도차량부품 : epoxy 수지 matrix로 한 CFRP 판을 gas burner로 구울 경우 pitch계 CFRP는 열전도율이 높기 때문에 burner의 불꽃으로부터 열을 주위에 빼앗겨 가열부가 착화온도에까지 달하지 못하기 때문에 착화하지 않음. 이 재료는 일본의 JR 불연인정을 취득하여 차량경량화효과와 함께 전차의 pantagraph의 carbon collector, 태차(台車) cover로서 활용되고 있다.
- 인공위성 : 경량·고강성으로 열전도율이 높은 pitch계 탄소섬유는 인공위성의 구조재료로서 널리 채용되고 있다. 인공위성 본체에는 특히 computer를 배치한 면에 채용되어 그 방열성능을 활용하여 IC로부터 발생하는 열을 방출함으로써 computer를 보호하였다. 또한, antenna 부재와 solar array(태양전지 판넬) 에도 채용되어 높은 열전도율에 의해 시스템 전체의 온도분포를 균일하게 하여 열변형을 억제하여 높은 정도를 유지하는데 기여하고 있다.

- carbon brake : carbon brake는 C/C brake라고도 칭하였다. 일반적으로 Phenol 수지(樹脂)를 matrix로 한 CFRP를 탄화하고, 여기에서 발생한 기공(氣孔)을 pitch계나 수지함침하였다. 침(CVI) 등에 의해 매우고(치밀화), 또한, 탄화를 반복하여 보강섬유인 탄소섬유와 matrix도 양방 「탄소」라는 복합재로 제조할 수 있다. 주행중인 자동차에 브레이크를 걸어 정차할 때에 자동차가 지닌 운동에너지는 마찰에 의해 발생하는 열에너지로 전환되어 대기중으로 방산된다. 기본적으로 용점을 지니지 않은 carbon brake는 일반적인 주철제(鑄鐵製) 브레이크에 비해 안정된 초고속의 브레이킹이 가능하였다. 또한, 열전도율이 높은 pitch계 탄소섬유를 보강섬유로 사용함으로써마찰열을 보다 효율적으로 방출할 수 있어 crack 발생 등의 원인이 되는 열 뒤뜸을 억제하여 극한의 조건하에서도 안정적인 브레이크 성능을 발휘하는 데 기여하고 있다.

- ceramic carbon brake : 「흑연섬유」로서의 pitch계의 순도·윤활성을 이용한 용도이다. 이전에는 경주용 자동차의 세계에서만 사용되어 온 carbon brake였으나, 최근에는 고급 스포츠카 등에 탑재되어 일반차 시장에도 출시되고 있다. 일반차용 브레이크에는 경주용 이상으로 엄격한 내구성과 내마모성, 브레이크성능의 안정성 및 어떠한 기후·환경에서도 사용할 수 있는 범용성이 요구되고 있다.

zero 열팽창 분야에서는 최근 산업기계용 수요에 있어서 zero 열팽창을 목적으로 한 pitch계 CFRP의 채용이 크게 증가하고 있다. 보다 높은 위치정도가 요구되는 가공기계나 고정밀측정기계, 정반 등 용도가 매우 다양하였다.

### 2.1.1.2.3. 등방성 pitch계 탄소섬유의 주요용도

등방성 pitch계 탄소섬유는 석유계 pitch를 원료로 한 것과 석탄계 pitch를 원료로 한 것이 있으며, 단섬유, chopped fiber, milled 등의 형태로 사용된다. 등방성 pitch계 탄소섬유는 경량이며 고강도라는 탄소섬유 고유의 특징과 내마찰·내마모성, 내열성, 내식성, 도전성 등의 특징을 갖고 있다. 주요 용도를 정리하면 Table 14와 같다.

Chop, Yam 등 사(絲)로서의 용도에 있어서 다양한 소재를 제조하는 고온로(高溫爐)에 사용되는 성형단열재로 불순물이 적다는 merit를 활용하여 ceramic을 대체해 왔다. 과거 20년은 반도체용 실리콘 결정용 로(爐)에서 수요가 확대되었으며, 최근에는 태양전지용 실리콘 로에서 수요가 급증하고 있다. 그 밖에 각종 제품제조용의 고온로(高溫爐)에서 사용되고 있

Table 14. 단열재의 사용분야

분야	세부분야	비고
반도체용		300 mm 웨이퍼는 일반화된다. 현재 450 mm가 개발되어 이 설비가 가능한 것은 4~5년후이다. 크기가 다르므로 기존의 로는 유용할 수 없음.
태양전지용		200 mm가 주류이다. 단결정과 다결정이 반반이다.
기타	ceramic	ceramic 소성시 사용하였다.
	磁性材料	hybrid車用 모터 등에 사용
	LED	빛이 강하여 자동차의 헤드라이트와 신호로 사용되기 시작하였다. 나무의 電飾用(熱이 발생하지 않아 상하지 않음) 등으로도 사용되고 있다.
	DPF	ceramic의 honeycomb filter. 燒結時에 2,300 °C의 열이 발생하였다고 graphite fiber가 아니면 대응할 수 없음.

자료 : 각종 자료로부터 작성

어 성장률이 연율 약 30%에 달하고 있다. 단열재는 사용되는 로에 따라 온도, 압력 등 스펙이 각각 달라 각자에 맞게 설계할 필요가 있어 오랜 기간의 노하우 축적이 무엇보다 중요하다. 수요는 일본 국내와 구미시장이 중심을 이루고 있으나, 최근에는 아시아, 중국 지역에서의 수요가 증가를 보이고 있다. 단열재는 1년을 주기로 교환하고 있어 replace 수요로 안정을 보이고 있다.

또한, 등방성 pitch계 탄소섬유 중에는 섬유의 형상을 curl 상태로 가공한 소재가 있다. 섬유가 curl 상태이기 때문에 서로 얽힘이 양호하여 「승고(崇高)하고 입체적인 제품을 쉽게 만들 수 있다」, 「피부에 자극이 적어 작업시 취급이 용이하였다」 등의 특성을 부여하였다. 주 용도는 경량단열재, 차량용, asbestos 대체, milled 등이 있다. 「경량단열재」는 curl 상태의 특성을 full로 활용한 용도로 경량, 불연, 압축회복성이 뛰어나기 때문에 신간선(新幹線)의 내벽과 외벽의 사이에 들어가는 단열재로 높은 share를 점하고 있다. 경쟁소재인 glass 섬유보다 cost는 높지만 중량이 30~40% 가볍고, 현장에서의 작업성이 용이하기 때문에 전체적인 cost 차이는 그리 크지 않다. 「자동차용」은 마찰재·마모성을 활용한 용도로 중심으로 내열, 단열, 흡음 등의 성능이 요구되는 용도로 사용되고 있다. 「asbestos 대체」는 chopped fiber의 형태로 사용되며, Vinylon 섬유와 아라미드 섬유와의 거의 같은 용도로 주로 고온장소(高溫場所)에서 사용되고 있다. 「milled」는 원사의 섬유형태를 확보하면서 가늘게 분쇄한 것으로 열가소성수지나 고무 등의 보강 등에 사용된다.

2.1.1.3. 주요 탄소섬유업체 동향

Toray는 일본·미국·구주(歐州) 3곳에 생산거점을 확보하고, global operation을 전개하고 탄소섬유사업을 전략적 사업으로 육성시키기 위해 대규모 투자지속, 특히 일반산업용도 보다는 항공기·자동차용도를 중심으로 투자를 확대하고 있다. 프랑스와 미국 공장의 설비확대에 총 500억 엔 투자하였다. Boeing사의 B777기의 꼬리날개와 B787용의 주 날개, 꼬리날개, 동체 등 1차 구조재(해당 부품이 제 기능을 하지 못할 경우 추락할 수 있는 부품)용으로 유일하게 supplier로서 prepreg 공급하고 있으며, Air Bus사가 사용하는 탄소섬유의 약 50% 공급. '10년까지 일본, 미국, 구주의 설비를 증설하여 세계 share의 40%, 매출 1,100억엔, 영업이익 180억 엔 목표로 하고 있다. 도레이첨단소재(한국) 660억 원 투자, 연산 2,200톤 규모 '13년 초 본격 생산계획이다.

Toho Tenax는 '08년 4월 세계 최대 규모의 생산라인(연산 2,700톤 규모)을 三島(Mishima)에 증설하고 가동개시. 2010년 자회사인 독일(獨逸)의 Toho Tenax Europe GmbH의 생산능력 연산 1,700톤 증설, 가동 개시했다.

Mitsubishi Rayon은 core 사업인 acrylic계 사업에 있어서 탄소섬유를 AN계의 기간사업으로 육성하기 위해 AN monomer, precursor, CF tow, prepreg, golf shaft 등 원료에서 가공품까지 일관 생산체제구축으로 사업확대 강화.

FPC(formosa plastic company)는 '07년에는 증설 및 Debottleneck을 통해 5,500톤으로 확대했으며, '08년에는 6,200톤, '09년에는 7,400톤으로 확대하여 세계 수요에 적극 대응했다.

Aska Akrlilik Kimya(터키)는 '10년 6월 탄소섬유 본격 생산, 향후 시장점유율 10%대로 확대했다.

중국은 '06년 탄소섬유수요가 4,500톤 규모로 급성장을 보이고 있는 반면, 생산량이 500톤 규모에 불과하여 대부분 수입에 의존하고 있다. 신증설이 추진되고 있어 2010년에는 총 생산능력이 5,000톤 규모에 달하여 수량적으로는 자급화 체제를 구축할 것으로 보이고 있다. 단, 기술적 문제로 국산품

Table 15. para계 아라미드와 meta계 아라미드의 비교

구분	특징	용도
para계 아라미드 섬유	고강력, 고탄성률	방호복, 로프·네트, 盛土補強, 소방복 등
meta계 아라미드 섬유	내열성, 난연성	소방복, 방호복, bag filter, OA機 cleaner, 전기절연재 등

자료 : 한국화섬협회

만으로 수요를 충족하기까지는 시간이 걸릴 것으로 보이고 있다. 각 업체는 해외기술의 도입노력과 함께 T-300 등 저급 품생산에서 벗어나 고급품 생산을 위한 개발 및 설비를 강화 중이다.

**2.1.2. 아라미드 섬유**

아라미드 섬유는 방향족 폴리아미드 섬유로 1974년 미국 연방거래위원회(FTC)로부터 2개의 방향족 고리에 아라미드 결합(-NHCO-)이 적어도 85% 이상 결합한 것으로 정의되어 종전의 지방족 나일론과는 구별하기 위해 아라미드 섬유로 명명하였다. 아라미드 섬유에는 내열성, 난연성을 특징으로 한 meta계 아라미드 섬유와 고강력, 고탄성률을 특징으로 한 para계 아라미드 섬유로 양분할 수 있다. 이들 아라미드 섬유는 코스트 및 성능 밸런스가 뛰어나 고성능, 고기능섬유 가운데 가장 생산량이 많을 뿐만 아니라 향후 큰 폭의 수요 확대도 기대된다. 아라미드 섬유는 1960년대에 DuPont이 meta계 아라미드를 상업 생산한 이래 약 40년간 꾸준한 발전과 성장을 거듭하였다. 지금까지는 일본의 Teijin와 미국의 DuPont 양사가 시장을 양분했으나, 최근에는 (주)코오롱과 중국 메이커가 진출, 참여를 검토하고 있어 양자 구도에 변화가 일고 있다.

**2.1.2.1. meta계 아라미드 섬유**

meta계 아라미드 섬유의 기본물성은 범용합섬과 큰 차이는 없으나, 내열성, 난연성이 매우 우수하였다. 내열성 면에서는 ① 용점, 분해점, 2차 전이점(轉移点)이 높음, ② 고온에서도 기계적 특성을 유지, ③ 장시간의 열화화가 적은 등

의 특징을 지니고 있다. 난연성 면에서는 ① LOI 값(한계산소지수=재료가 연소를 지속하기 위해 필요한 최소한의 산소농도로 통상 공기의 산소농도는 21%)이 27~29로 높음, ② 발화점, 인화점이 높음, ③ 연소 시의 가스발생량, 특히 유독가스 발생이 적다는 특성을 갖고 있다.

meta계 아라미드 섬유의 용도는 크게 산업자재와 의료·침장·인테리어 분야로 나눌 수 있다.

**2.1.2.1.1. meta계 아라미드 섬유 생산업체**

미국의 DuPont과 일본의 Teijin 양사가 오랫동안 시장을 양분해 왔으나, 2004년 중국의 烟台氨纶(Yantai Spandex)이 생산을 개시하였다. 중국에서는 이외에 廣東彩艷(Guangdong Charming)와 상해에도 몇 개의 생산메이커가 있는 것으로 전해지고 있으나 자세한 내용은 알려진 바 없다.

DuPont은 미국에 연산 15,000톤, 스페인에 4,000톤 규모의 공장을 보유하고 있다. 스페인공장은 증설을 추진하여 '09년 말 시점에는 5,200톤 규모로 확장된다

Teijin Techno Products는 岩國(Iwakuni)에 2,700톤 규모의 생산설비를 보유하고 있으나, 수요확대에 맞추어 Debottleneck에 의한 소폭의 증강을 지속적으로 추진하고 있는 것으로 알려졌다.

烟台氨纶(Yantai Spandex)은 2008년 9월 2,800톤에서 4,300톤으로 확장하였다. 廣東彩艷(Guangdong Charming)의 생산능력은 1,000~2,000톤으로 알려져 있으나, 자세한 내용은 알려진 바 없다. 이들 설비를 모두 합하면 세계 meta계 아라미드 생산능력은 연산 약 2.7만 톤 정도로 추정된다.

DuPont은 staple 외에 filament도 생산하여 미싱사, 소방복

Table 16. meta계 아라미드의 주요용도

산업자재	dryer canvas, laundry cloth, OA機 cleaner, 전기절연재, speaker cone 등의 직물 또는 felt로서 이용되는 용도, 보강용 단섬유로서 V벨트, hose, 마찰재, seal재, 수지보강 등의 보강재, 복합재용도 등이 주류를 이룸.	bag filter-meta계 아라미드의 중요한 용도중 하나이다. 아라미드 섬유제 bag filter는 아스팔트 플랜트, 고로(高爐), 시멘트공장, 쓰레기소각로 등에서 열풍(熱風)을 처리하는 등 고도의 내열성이 요구되는 분야에서 사용되고 있다.
		아스팔트용-최근 도로공사가 감소함에 따라 매년 수요가 줄고 있으나, 고로(電氣爐)용은 조강 생산의 증가를 배경으로 안정적인 성장을 보이고 있다.
		쓰레기소각로용-최근 다이옥신 배출감소를 위한 대책의 일환으로 고온에서 소각이 필요해짐에 따라 내열성이 높은 필터 수요의 증가로 아라미드 섬유의 수요도 증가하고 있으나, 한편으로는 타소재와의 경합이 격화되고 있다.
의류·침장·인테리어	내열성·방염성·遮熱性의 특징을 살려 소방, 경찰, 방위관계의 구조복, 항공복, 집무복 또는 차치체 등의 방염복에 채용되고 있다.	歐美市場에서의 방호복은 meta계 아라미드 섬유의 매우 큰 시장이다. 또한 고온에서 뿐만 아니라 저온에서도 섬유의 특징을 유지하여 방한복, 속옷 등의 소재로도 적용되고 있다.
		가격은 고가이지만 안전성이 중시되는 항공기 등에서는 blanket 등의 용도로도 이용되고 있다.

Table 17. 세계 meta계 아라미드섬유 기업 및 생산능력(단위 : 톤)

회사명	상표	공장위치	생산능력 (연산톤)
DuPont	Nomex	Wilmington, Del.(미국)	15,000
		Asturias(스페인)	4,000
	계	19,000	
Teijin Techno Products	Conex	岩國(Iwakuni)	2,700
Yantai Spandex	Newstar	山東省 烟台(Yantai)	4,300
Guangdong Charming	Chinfunex	廣東省 江門市 新會	1,000
세계계			27,000

자료 : 각종 자료로부터 취합 정리

용안감, hose 보강용 등으로 사용하였다. Teijin은 staple만을 생산하고 있다.

또한, DuPont의 Nomex는 아라미드 paper의 원료로 사용하고 있다. 아라미드 paper는 아라미드의 cut fiber와 pulp를 초지기에 통과시켜 제조하고, 주로 전기절연재로 사용하였다.

DuPont과 Teijin은 공동으로 아라미드 paper의 제조·판매 회사인 DuPont Teijin Advanced paper를 운영하고 있다.

2.1.2.1.2. meta계 아라미드 섬유 생산기업 동향

DuPont은 '06년 8월 방호용의료(防護用衣料)와 전기절연재(電氣絶緣材)의 수요확대에 대응하여 1억 불이 넘는 자금을 투자하여 Nomex의 fiber 및 paper의 생산능력을 세계적으로 약 10% 증강하는 3단계 능력증강계획을 발표하였다. 이와 동시에 DuPont Chemical Solutions는 스페인 Asturias 공장에서 아라미드의 주요 원료의 하나인 Isophthalic Acid Chloride의 생산설비를 신설하는 계획을 발표했으며, 또한, 동 공장에 신설비를 도입하여 fiber의 생산능력을 30% 이상 증강계획을 밝혔다. DuPont의 '08년 5월 보도자료에 따르면 동사는 Asturias 공장의 Nomex Staple 생산능력을 대폭 확대하였다. '07년 1월에 개시된 1억 불 규모의 Nomex 증설 프로젝트는 예정대로 추진되어 '08년 3/4분기에 완공되어 Nomex 생산능력이 '08년 10% 증강된 데 이어 '09년에는 30% 증강하였다.

Teijin은 2010년 1월 NEDO의 Nano 첨단부재실용화연구 개발사업의 일환으로 Teijin Techno Products와 Hosokawa Micron은 나노구조섬유를 적용한 차열성·쾌적성이 뛰어난 소방복 소재 개발하였다.

2.1.2.2. para계 아라미드 섬유

para계 아라미드 섬유는 고강력·고탄성률이 가장 중요한 특징으로 나일론, 폴리에스터 섬유의 약 2배에 상당한 인장강도를 지니고 있다.

Table 18. 아라미드 섬유와 타소재의 물성비교

종류	밀도 (g/m)	引張強度	引張彈性率	破斷伸度 (%)
		cN/Dtex	cN/Dtex	
Kevlar-29	1.44	20.3	450	3.6
Kevlar-49	1.45	20.8	780	2.4
Kevlar-119	1.44	21.2	380	4.4
Kevlar-129	1.44	23.4	670	3.3
Twaron(Regular)	1.44	20.8	500	3.5
Twaron(HM)	1.45	21.0	720	2.9
Technora	1.39	24.7	520	4.6
PBO(Regular)	1.54	37	1,150	3.5
PBO(HM)	1.56	37	1,720	2.5
초고분자량 Polyethylene	0.98	29	880	4.0
Polyarylate	1.40	20	490	3.7
Steel	7.85	3	250	1.7
E-Glass	2.54	8.5	250	4.0
탄소섬유(PAN계 HT)	1.80	23	1,240	1.7
탄소섬유(PAN계 HM)	1.81	13	2,150	0.6
탄소섬유(pitch계)	1.65	4.4	180	1.3

자료 : DuPont, Teijin 등 업체 발표자료

그밖에 경량성, 내충격성, 내철창성, 비연마성, 비전도·비자성, 저투전율, 진동감퇴성능의 특징을 지니고 있다. para계 아라미드 섬유는 인장탄성률에 있어서 스틸, E-glass에는 손색이 없으나 탄소섬유에는 미치지 못하였다. Table 18은 DuPont 그룹의 "Kevlar", Teijin의 "Twaron", "Technora"와 타 소재와의 물성비교를 나타낸 것이다.

2.1.2.2.1. para계 아라미드 섬유의 용도

Table 19. para계 아라미드 섬유의 용도

섬유단독 및 아라미드가 주체	로프·네트, 공사용 로프·성도보강등의 토목건축용도가 있다. 방탄조끼·방검의류·내철창장갑·소방복 등 방호의류는 매우 큰 용도임	방탄의류용은 9.11 뉴욕 동시다발 테러사건 이후 세계적으로 안전의식이 높아지면서 수요가 증가하고 있다.
		프린트기판용으로도 사용되어 휴대전화의 소형·경량화에도 기여하고 있으며, 알루미늄 압출성형용 등에 사용되는 내열필터에도 활용되고 있다.
		안전장갑이나 방호의류용으로는 권축가공을 실시하여 Stretch성·Wooly성을 부여하여 촉감과 착용감을 양호하게 한 제품도 출시되고 있으며, 장섬유이기 때문에 모우가 일어나지 않고, linter free성을 지닌 점도 수요증가에 기여하고 있다.
고무·樹脂·콘크리트 등 각종 매트릭스와의 복합재료	광섬유의 보강재, 브레이크패드 마찰재, 가스킷, 타이어코드, 벨트, 호스 등의 고무보강재에 이어 수치보강(FRP), 콘크리트보강(FRC) 등의 개발이 추진되고 있다.	광섬유의 고무보강재(tension member)용도는 IT화의 진전으로 급속히 확대된다. 단, 일본 국내는 기간선의 부설이 거의 완료되었고, 정보통신기술의 진보로 정보전달의 효율화가 급진전되어 한계에 직면.
		브레이크패드 마찰재나 가스킷은 석면대체용으로 pulp 상태의 아라미드가 사용된다. para계 아라미드의 주요 용도로 수요확대가 기대된다.
		콘크리트 보강용으로는 내진 sheet 등이 있다. 타 소재와의 경쟁과 철관을 사용하는 중진공법이 저 cost인데다 공공투자가 억제되어 가격이 하락하고 있는 점이 과제로 지적되고 있으나, 안전의식이 높아지고, 비자성을 띄고 있다는 점, 복잡한 성형이 가능하였다는 장점을 갖고 있어 수요확대가 기대되는 분야이다.
		타이어코드용은 수요확대가 지속되고 있다. 경량화로 연비가 상승하였다는 이점이 있으며 특히, 향후 연료전지가 사용될 경우 타이어의 경량화가 요구되어 아라미드 타이어코드의 수요는 급증할 것으로 기대된다.

2.1.2.2.2. para계 아라미드 섬유의 공급동향

세계의 para계 아라미드 시장규모(추정)는 1993년 2만톤에서 2003년에는 3.3만 톤으로 확대되었으며, 2007년에는 5만 톤 규모로 확대되어, 근 10년 사이에 연율 10% 정도의 성장을 기록하였다. 지금까지의 경위를 되돌아보면 1990년 후반부터 세계적인 IT화의 진전으로 광섬유의 수요가 증가하여 그 보강으로 사용되는 tension member용으로 수요가 확대된다.

2001년 중반에는 IT bubble 붕괴로 광섬유 수요는 급격한 감소를 보였으나, 2001년 9월 11일 뉴욕의 동시다발테러사건으로 방탄의류용의 수요가 급증을 보이면서 광섬유용 수요감소를 보전하는 양상을 보이고 있다. 2003년 미국의 이라크 침공으로 방탄용도의 수요확대와 여기에 일반산업용의 수요 증가가 가세하면서 세계적으로 공급이 매우 타이트한 국면을 맞기도 하였다. 이러한 수요증가에 대응하기 위해 Teijin, DuPont은 신증설로 대응하고 있다. 향후에도 연율 10% 정도의 성장이 전망되고 있으나, 세계동시불황으로 인해 불투명감이 높아지고 있다.

DuPont의 증설이 완료되는 2010년에는 순간적으로 공급이 느슨해질 가능성도 지적되었으나, 장기적으로는 성장세를 지

속할 것으로 전망되고 있다. 특히, 동 분야는 기술적으로 신규참여가 곤란한 제품군이기에 때문에 공급균형이 무너질 가능성이 낮아 전반적으로 타이트한 기조가 지속될 것으로 전망되고 있다.

2.1.2.2.3. para계 아라미드 섬유의 무역동향

2007년의 EU(27개국), 일본, 미국의 수출입 실적을 살펴보면 Table 20과 같다(HS Code 5402.11로 장섬유만, meta계 포

Table 20. EU(27개국)의 아라미드 장섬유 수출실적(2007년)

국가	물량(톤)	금액(천달러)	단가(달러/kg)
미국	4,876.3	126,061	25.9
캐나다	1,063.2	31,455	29.6
중국	807.8	18,555	23.0
브라질	508.6	11,188	22.0
일본	440.4	9,002	20.4
기타	1,669.9	51,583	30.9
세계계	9,366.2	247,844	26.5

자료 : Eurostat

합). EU(27개국)의 역외수출은 9,366톤, 이 가운데 미국, 캐나다 양국으로의 수출이 5,939톤으로 전체의 63% 점유하고 있으며, 그 밖에 브라질, 일본으로의 수출이 많은 부분을 차지하였다. 역외수입은 662톤으로 매우 적다. 주로 태국으로부터의 수입이 199톤, 중국이 153톤, 한국이 87톤을 점하고 있다.

Table 21. 일본의 아라미드 장섬유 수출입 실적(2007년)

수출			
국가	물량(톤)	금액(百万円)	단가(円/kg)
미국	808.4	1,592	1,969
중국	521.6	909	1,743
홍콩	325.1	554	1,705
네덜란드	273.0	1,007	3,689
대만	39.7	257	6,488
기타	51.5	154	2,993
세계계	2,019.2	4,474	2,216

수입			
국가	물량(톤)	금액(百万円)	단가(円/kg)
네덜란드	316.9	804	2,537
미국	7.0	33	4,669
영국	0.7	4	5,724
태국	0.3	2	6,920
한국	0.1	0	1,489
대만	0.0	0	13,190
세계계	325.0	843	2,593

자료 : JETRO

Table 22. 미국의 아라미드 장섬유 수출입실적

국가	2007			2008. 1-8		
	물량(톤)	금액(천달러)	단가(달러/kg)	물량(톤)	금액(천달러)	단가(달러/kg)
캐나다	6,462.6	39,385	6.1	3,473.8	23,747	6.8
멕시코	1,666.7	10,059	6.0	1,345.1	5,347	4.0
중국	478.5	2,146	4.5	406.0	2,505	6.2
브라질	348.9	8,016	23.0	492.4	8,997	18.3
영국	298.6	1,375	4.6	342.8	1,524	4.4
일본	386.8	1,929	5.0	305.3	1,430	4.7
기타	2,280.3	23,000	10.1	1,983.6	21,183	10.7
세계계	11,922.5	85,910	7.2	8,349.2	64,734	7.8

국가	2007			2008. 1-8		
	물량(톤)	금액(천달러)	단가(달러/kg)	물량(톤)	금액(천달러)	단가(달러/kg)
네덜란드	3,725.9	111,406	29.9	1,940.2	55,724	28.7
중국	2,825.4	9,103	3.2	2,090.7	7,085	3.4
영국	1,124.8	27,655	24.6	235.4	7,010	29.8
벨라루시	953.5	2,821	3.0	386.5	1,276	3.3
일본	820.3	13,124	16.0	414.5	7,597	18.3
기타	2,540.0	10,247	4.0	1,133.6	4,464	3.9
세계계	11,989.9	174,356	14.5	6,200.8	83,155	13.4

자료 : 美商務省

일본의 수출은 2,019톤이다. 이 가운데 미국, 중국·홍콩, 네덜란드로의 수출이 95%를 점유하였다. 수입은 325톤으로 거의 대부분을 네덜란드로부터 수입하고 있다.

미국의 아라미드 장섬유 수출입통계를 살펴보면 Table 22와 같으나, 단가가 극히 낮은 것으로 볼 때 다른 품종이 혼재되어 있는 것으로 보이고 있다.

#### 2.1.2.2.4. para계 아라미드 생산업체 동향

Teijin이 2000년 12월 Acordis로부터 Twaron 사업을 매수하여 세계의 아라미드 섬유 supplier는 오랫동안 DuPont과 Teijin 2그룹 체제이었으나, 2005년 코오롱이 동 사업에 참여했으며, 최근에는 중국의 meta계 아라미드 섬유 maker인 Yantai spandex para계 진출 계획을 표명하였다.

DuPont은 미국의 Richmond와 영국의 Maydown에 공장을 보유하고 있으며, 일본에는 Toray와의 합병기업인 Toray·DuPont이 동하공장을 운영하고 있다. 2000년부터 '06년에 걸쳐 Richmond 공장과 Maydown 공장에 대해 신기술인 new fiber technology(NFT)를 도입하여 4회에 걸쳐 설비증강을 추진하였다. 세계적인 수요증가에 대응하기 위해 2007년 9월 5억 불을 투자하여 세계의 Kevlar 생산능력을 단계적으로 증강하여 2010년에는 25% 이상의 증강계획을 발표하였다. 폴리머의 증산을 피하기 위해 Richmond에 있는 Spruance 공장에 5,000만 달러를 추가로 투자하여 이들 확대규모를 종합하면 kevlar 사업단체로는 투자액 및 확대규모가 1965년 본 제품을 상업 생산한 이래 최대 규모이다. 동사의 발표자료에 따르면 kevlar는 주로 다음과 같은 용도로 성장을 지속할 것으로 예상하고 있다.



- 경찰 및 군용으로 보다 우수한 방탄기능과 경량화를 더욱 실현한 방호복.
- 장갑용도로 손을 보호하고, 보다 자유로운 움직임을 가능하게 하는 기능성의 향상.
- 자동차용 타이어로 보다 원활하고, 정숙한 주행을 가능하게 하는 solution의 제공.
- 석유 및 가스 채굴에 있어서 보다 깊은 심해에서 탐사를 가능하게 하는 pipe의 강화.
- 차세대 항공기용으로 충분한 강도를 실현한 강화 honeycomb 구조체.
- 차세대형 장갑차량으로 파편에 대한 방호기능의 향상.
- 침구메이커가 매트리스의 내화기준을 충족할 수 있도록 하는 난연성 및 강도의 향상.
- 우주선에 사용되는 보다 튼튼한 발포체용도로써 인장 및 압축강도 대폭적인 향상.
- 건축물강화용으로 허리케인이나 토네이도로부터 건물, 가옥 등의 방화설비 강화.

5억 불에 달하는 설비투자의 일환으로 South Carolina주 쿠퍼리버에 Kevlar 섬유의 신규 생산공장을 건설하였다. 2008년 1월부터 건설을 시작하여, 2010년에 조업을 개시, 약 100명의 고용창출이 예상되고 있다. 쿠퍼리버의 신공장은 DuPont이 2007년 9월에 발표한 수단계, 수년에 걸친 Kevlar의 생산능력 확대계획의 중심프로젝트로 세계규모로 25% 이상의 생산능력 확대를 목표로 한 것이다. DuPont의 생산능력은 미국·영국·일본 공장의 설비를 모두 합하면 약 28,600톤으로 추정되며, 7,150톤 이상의 확장계획을 갖고 있는 것으로 알려졌다. 또한, 쿠퍼리버의 신공장은 DuPont의 생산능력 확대계획의 핵으로 동 공장의 신설만으로 25%가 넘는 능력 확장이 실현될 것이라는 지적도 있다. 신제품으로는 '08년에 방탄성능이 뛰어난 Type인 Kevlar XP를 발표하였다. 44 magnum 용의 방탄 Vest의 경우 Kevlar XP는 종전제품보다 탄환의 충격을 10% 경감하고, 제품은 적어도 10% 이상 경량화된다. 수요가 증가함에 따라 DuPont의 아라미드 제품의 매출은 매년 증가세를 보이고 있다. '02년 8억 3,600만 달러에서 '07년에는 14억 6,700만 달러로 연율 12%의 성장을 보이고 있다. 아라미드 제품은 동사의 안전방호부문의 주력제품으로 그 매출은 동 부문의 22~26%를 점유하고 있다. 일본에서는 Toray와의 합병기업인 Toray·DuPont이 동해공장에서 kevlar를 생산하여 일본국내에 판매하고 있다. 용도는 타이어코드, 방호의류, 광섬유 tension member, 구조물보강 등이다. 아라미드

Table 23. DuPont의 안전방호부문의 매출과 아라미드 제품의 매출 (단위 : 백만달러)

년도	안전방호부문(a)	아라미드 제품(b)	b/a, %
2002	3,483	836	24
2003	4,071	896	22
2004	4,693	1,079	23
2005	5,230	1,255	24
2006	5,496	1,264	23
2007	5,641	1,467	26

자료 : DuPont 「Databook」

Pulp는 DuPont으로부터 수입하고 있다.

Teijin는 2000년 12월 Acordis로부터 Twaron 사업을 매수하여, para계 아라미드 섬유를 네덜란드와 松山(Technora) 두 공장에서 생산하고 있다. 동사는 아라미드사업을 성장 SBU(전략 Risk Management의 강화와 독립된 전략·계획을 입안해야 할 사업단위)로 정하고 적극적인 투자·확대를 피하고 있다. 수요가 증가함에 따라 동사 아라미드 사업의 매출·이익이 증가를 보이고 있다. 세계적인 수요확대에 대응하기 위하여 Teijin은 네덜란드 공장의 증설을 추진하고 있다.

동 공장의 생산능력은 연산 11,000톤에서 '03년에는 18,500톤, '06년에는 23,000톤, '08년에는 26,450톤으로 추이하고 있다. '08년은 증설 플랜트 「NIKKO-1」 제사공정이 완성되어 '08년 후반부터 가동을 개시하여 약 15%의 생산능력이 확대된다. '09년 후반에는 원료·중합공정이 가동을 개시하였다. 송산공장도 생산·판매가 모두 이루어지고 있어 증설을 검토하고 있는 것으로 알려지고 있다.

Table 24. Teijin의 아라미드 사업 실적(단위 : 억엔, %)

년도	매출액	영업이익	영업이익률
2005	674	183	27
2006	767	221	29
2007	932	260	28

자료 : Teijin  
주) para계 및 meta계 아라미드 기준

코오롱은 1979년 아라미드 섬유의 개발에 착수하여, 1995년 개발에 성공하였다. '02년 아라미드 섬유의 프로젝트를 개시하여 '05년부터 상업생산을 시작하였다. 당초에는 독자의 제법을 개발하였으나 단념하고, kevlar와 twaron과 같은 제법으로 연산 2,000톤 규모로 시장에 참여하였다. 상표는

“Heracron”이며, 주 용도로는 고무소재, 마찰재 등이며, 일부 미국 수출용 중에는 방탄용이 상당부분 포함된 것으로 알려졌다. 무역통계(아라미드 장섬유로 단섬유는 포함되어 있지 않음)로 보면 이스라엘, 중국, 북미로 대부분 수출되고 있다. 일본으로는 약 310 kg이 수출되고 있다. DuPont은 코오롱을 상대로 2009년 2월 3일 para계 아라미드 섬유인 kevlar에 대한 기업비밀 및 기밀정보를 도출했다는 이유로 미국의 버지니아주 리치몬드 연방지방법원에 제소하기도 하였다.

그 밖에 한국 메이커로는 효성이 para계 아라미드 섬유의 사업화를 추진하고 있으며, 약 400억 원을 투자하여 연산 1,000톤 규모의 플랜트를 울산에 건설 중에 있다.

Table 25. 한국의 아라미드 장섬유 수출(2009년)

국가	수량(톤)	금액(천달러)	단가(kg)
이스라엘	241.1	4,832	20.0
중국	118.6	2,976	25.0
캐나다	12.9	304	23.5
이태리	6.9	156	22.6
미국	6.4	95	14.8
인도	14.7	335	22.7
세계계	687.8	16,158	23.4

자료 : KOTIS

2.1.2.2.5. para계 아라미드 생산업체 및 현황

Table 26. 세계 주요 para계 아라미드 업체 및 상표리스트

생산업체	상표
DuPont	Kevlar
Toray · DuPont	Kevlar
Teijin Techno Product	Technora
Teijin · Aramid	Twaron
Kolon	Heracron

자료 : 한국화섬협회

Table 27. 세계 para계 아라미드 섬유의 생산업체 현황

그룹	업체명	공장	연산(톤)	비고
DuPont 그룹	DuPont	Richmond, VA(미국)	18,000	신공장 계획
	DuPont(UK)	Maydown(영국)	8,100	
	Toray · DuPont	東海(日本)	2,500	
	계		28,600	
Teijin 그룹	Teijin Techno Product	松山(日本)	2,000	증설검토
	Teijin Aramid	Emmen(네덜란드)	26,450	'08년 증설완료
	계		28,450	
코오롱		龜尾	2,000	증설추진(8,000)
계			59,050	

자료 : 각종 자료로부터 취합, 정리함

· 박성민

2007-2009. 한국염색기술연구소 시험분석팀장  
 2010. 한국염색기술연구소 신사업추진팀장  
 2011. 경북대학교 섬유시스템공학과 박사  
 현재. ILAC-MRA KOLAS 국제공인인증시험소 기술책임자  
 Tel : 053-350-3861 / Fax : 053-350-3869  
 e-mail : aububa@dyetec.or.kr

· 김영식

1990. 한국외국어대학교 러시아과 졸업  
 1990-1991. ASAYA CORPORATION CO., LTD 근무  
 1992-1994. 三起精工(株) 해외영업부 과장  
 1995-현재. 한국화섬협회 기획조사팀 팀장