

2014년 정보분석보고서

탄소섬유 복합소재의 기술개발 현황과 시장 전망

박준환

정보분석연구소



목 차

1. 탄소섬유	1
1.1 탄소섬유의 정의	1
1.2 탄소섬유의 개발연혁	2
1.3 탄소섬유의 분류	4
1.4 탄소섬유의 제조	6
1.5 탄소섬유의 특성	10
2. 탄소섬유복합재	13
2.1 탄소섬유복합재의 특성	13
2.2 탄소섬유복합재의 제조공정	14
3. 산업 동향	20
3.1 해외 동향	20
3.2 국내 동향	25
4. 시장 동향	30
4.1 용도개발 동향	30
4.2 유망분야 분석	35
4.2 세계시장 동향	39
4.3 국내시장 동향	43
5. 참고문헌	45

1. 탄소섬유

1.1 탄소섬유의 정의

탄소섬유는 철보다 5배 가볍고, 강도는 10배 강하며(1 mm² 당 약 800kg의 무게를 지탱), 내충격성 및 내열성이 뛰어난 고강도/고탄성 첨단소재로서 항공·우주, 방위산업 및 반도체 등 고부가가치 복합재료의 핵심소재로 사용되어 왔다. 하지만, 탄소섬유는 1990년대에 들어와서 세계 정치의 냉전체제가 종료됨에 따라 군사, 항공·우주 용도에 있어서 첨단 복합재료의 수요 정체가 발생하여 침체기를 겪었으며, 섬유산업에서 차지하는 비중 또한 유리섬유에 비해 매우 작아 그 용도에 있어서도 스포츠·레저산업 등과 같은 2차 소재로서만 사용되어왔다.

그러나 최근에는 탄소섬유의 경량, 고강도, 고내열성 등의 특성을 살릴 수 있는 꾸준한 용도 개발의 노력에 힘입어서 건축재료, 콘크리트 구조물, 내진 보강 등의 토목·건축 분야, CNG 탱크, 풍력 발전용 블레이드, 원심 분리 로터, 플라이 호일 등의 대체 에너지, 그린 에너지 분야, 선박, 차량 등의 고속 운송 기기분야, 해양 개발·심해저 유전 채굴 분야, 기기의 고성능화, 의료 복지 기기, 전기 전도 용도, 초 내열 용도 등 우주·항공분야에서부터 건설 산업에 이르기까지 다양한 산업 분야에 대한 적용분야의 폭이 넓어지고 있는 상황이다. 탄소섬유는 주로 복합재의 보강재로 사용되며, 탄소섬유복합재는 2005년도 미국에서 선정한 10대 미래기술에 포함된 소재이며, 2009년 TIME지 신년호에서는 경량화 소재기술 등의 에너지 절약기술을 제 5에너지로 규정하였다.

탄소섬유는 탄소원소의 질량 함유율이 90% 이상으로 이루어진 섬유상의 탄소재료로서 폴리아크릴로니트릴(PAN), 피치(pitch) 또는 레이온(rayon)으로부터 제조된 섬유형태의 전구체물질을 탄화시켜 얻어지는 섬유를 의미한다. 원료에 따른 탄소섬유 제조과정은 <그림 1>과 같다.

(a) PAN계 탄소섬유



(b) Pitch계 탄소섬유



(c) Rayon계 탄소섬유



<그림 1. 원료별 탄소섬유 제조 과정 [1]>

1.2 탄소섬유의 개발 연혁

탄소섬유의 역사를 살펴보면, 최초 발명은 발명왕 에디슨이 1880년 천연 셀룰로오스를 셀룰로오스 섬유를 탄화시켜 백열전구용 필라멘트로 사용한 것으로, 미국 특허(USP 223,898호)로 등록되어 있다. 1958년 미국의 Union Carbide사에서 레이온 직물을 고온의 불활성 기체 속에서 열처리하여 만든 탄소 섬유 직물을 개발한 것이 실용적 탄소섬유의 최초이며, 1960년대에 들어서면서 영국에서 탄소섬유 연구개발이 활발히 이루어졌다. 1960년대 초 일본 도레이(Toray)에서 폴리아크릴로니트릴(PAN)로부터 탄소섬유를 개발하기 시작하면서 본격적인 생산이 이루어졌다고 할 수 있다. 피치계 탄소섬유는 일본 군마대학의 오다니 교수가 1965년 석유 크래킹의 증류 잔류물인 석유 피치를 용융 방사하여 산화 불용화 처리한 후 탄소화하여 저탄성률 탄소섬유를 만들어 이듬해인 1966년 특허로 등록하였고,

1970년의 Kureha에 등방성 피치계 탄소섬유 공업화하였다. 탄소섬유 개발 및 공업화의 역사를 <표 1>에 나타내었다.

<표 1. 탄소섬유 개발 및 공업화 역사>

년도	개발 및 공업화 내용
1880	(미) Thomas A. Edison 셀룰로오스 섬유를 탄화시켜 백열전구용 필라멘트 제조
1958	(미) Union Carbide사의 자회사 National Carbon사 레이온계 탄소섬유 개발
1961	(일) 일본 오사카 공업시험소 PAN계 탄소섬유 개발
1963	(미) 레이온 섬유를 원료로 하는 연속 필라멘트의 공업화
1965	(일) 群馬대학 오다니 교수 피치계 탄소섬유 개발
1967	(영) 롤스로이스사 등에 의하여 PAN계 탄소섬유 공업화, 제트엔진에 CFRP 적용
1971	(일) 도레이사 PAN계 탄소섬유 양산 개시(12톤/년)
1972	(미) Hercules사 PAN계 탄소섬유 생산 개시
1972	탄소섬유 낚시대 출시
1973	탄소섬유 골프채 샤프트 출시
1976	(일) 피치계 탄소섬유 공업화
1982	보잉 757, 767 및 에어버스 항공기에 탄소섬유 부품 사용
1984	(미) GM 자동차 차체 완전 복합화
1986	(일) 도레이사 초고강도 탄소섬유 T1000 개발
1986	(한) 제철화학 국내 최초로 탄소섬유 생산설비 구축
1991	(한) 태광산업 PAN계 탄소섬유 생산 (60톤/년)
2000	(한) 나노테크닉스 피치계 활성탄소섬유 개발
2001	(한) 태광산업 PAN계 탄소섬유 생산 중단
2008	(미) 보잉 787 탄소섬유 복합재료 50% (무게비) 채택 및 양산
2012	(한) 태광산업 PAN계 탄소섬유 재생산
2013	(한) 효성 PAN계 탄소섬유 생산

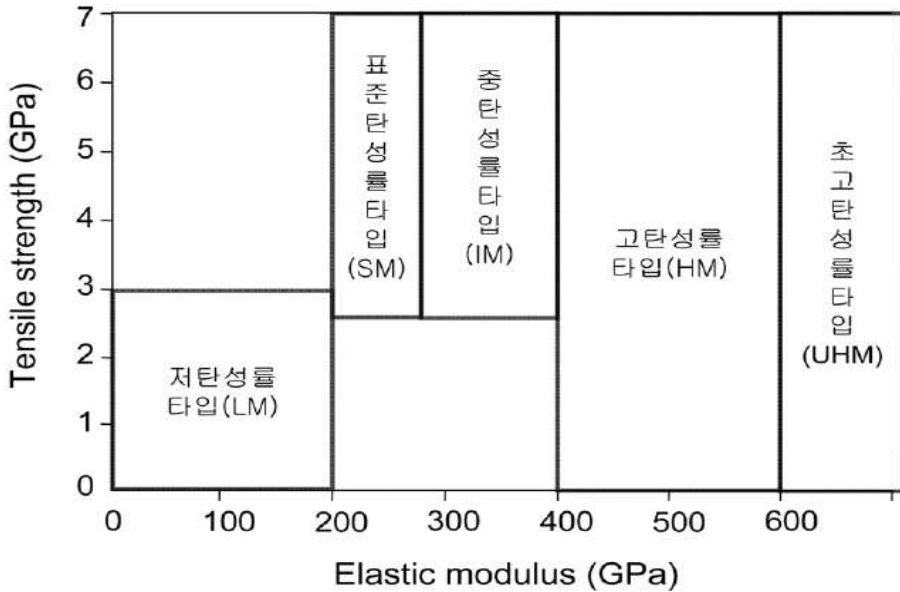
탄소섬유의 제조공정은 다단계로 이루어져 있을 뿐만 아니라 공정 자체가 매우 까다로워 최근까지 일본, 미국, 유럽의 일부 회사들에서만 대량생산이 이루어지고 있었다. 또한 탄소섬유가 첨단무기 등의 군수산업에 많이 활용될 수 있는 것을 감안하여 기술 유출 등의 이유로 자국 외의 수출을 규제하고 있는 실정이다. 이러한 상황을 고려할 때 우리나라도 자동차산업, 레포츠산업, 군수산업 등의 발전을 위하여 탄소섬유관련 기술 개발에 박차를 가해야 할 것으로 생각된다.

1.3 탄소섬유의 분류

탄소섬유는 원료, 제조방법, 성능 및 형태 등에 따라서 다양하게 분류할 수 있다. 원료에 따라 탄소섬유를 분류하면 폴리아크릴로니트릴(PAN)계, 피치계, 레이온계로 분류한다. 현재 가장 널리 활용되고 있는 PAN계 탄소섬유는 PAN을 비활성 분위기, 1000~2000℃에서 열처리하여 제조한다. 탄소섬유들 중 가장 고가이며 구조체로서의 특성이 좋은 것으로 알려져 있다. 피치계 탄소섬유는 석탄이나 석유에서 나오는 피치를 섬유화하고 탄화하여 제조한다. 레이온계 탄소섬유는 레이온 섬유를 전구체로 사용하여 제조하는데, 전구체의 물성 조절이 어렵고, 수율도 매우 낮아 널리 상용화되지 못하였다. 따라서 현재는 PAN계와 피치계 탄소섬유가 탄소섬유 시장의 주를 이루고 있다.

원료에 따른 구분도 있으나, 탄소섬유가 복합재료의 보강섬유로서 주목받아 발전해왔기 때문에 탄소섬유의 기계적 성질, 특히 인장강도, 인장 탄성률을 이용하여 분류하는 경우가 많다. 일반적으로는 역학 특성에 기초한 분류와 원료에 기초한 분류가 병용되고 있다. 탄소섬유를 실제 응용하는 면에서는 탄소섬유의 기계적 성질, 특히 인장강도, 인장 탄성률이 매우 중요하므로 이를 이용하여 탄소섬유를 범용 탄소섬유(general purpose grade CFs: GPCFs)와 고성능 탄소섬유(high performance grade CFs: HPCFs)으로 나누기도 한다

(<그림 2>).



<그림 2. 기능에 따른 탄소섬유의 분류 [2]>

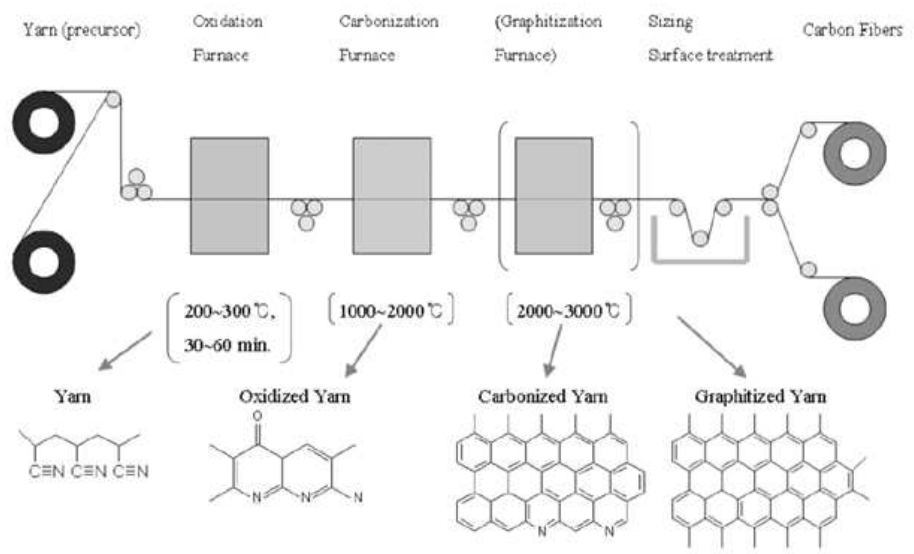
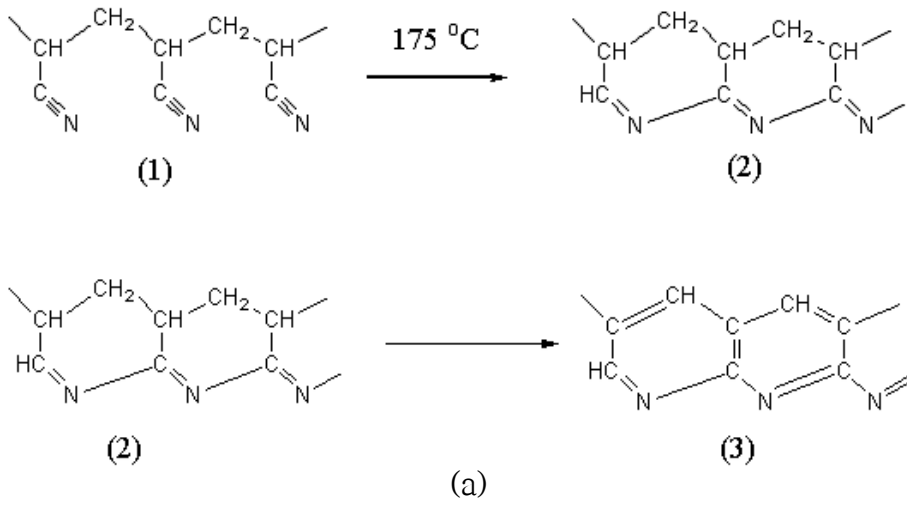
저탄성률 탄소섬유 (low modulus type: LM형)라고도 불리는 범용 탄소섬유는 인장강도 1,000 MPa, 인장탄성률 100 GPa 전후의 기계적 성질을 가지고 있으며, 고성능 탄소섬유에 비하여 가격이 저렴한 장점이 있다.

고성능 탄소섬유는 고강도, 고탄성률, 중탄성률 탄소섬유로 나눌 수 있으며, 항공기 산업에 많이 활용되고 있다. 고강도형 탄소섬유는 인장탄성률 220~260 GPa, 인장강도 3,000 MPa 이상의 탄소섬유를 말하며, 특별히 인장강도가 6,000 MPa 이상인 탄소섬유는 초고강도형 탄소섬유라고 부른다. 고탄성률 탄소섬유는 인장탄성률 350 GPa 이상의 탄소섬유를 말하며, 특별히 인장탄성률이 600 GPa 이상인 것을 초고탄성률 탄소섬유라 부른다.

탄소섬유를 형태에 따라 분류하면 연속섬유, 스테이플 섬유, 직물류로 나눌 수 있다. 일반적으로 탄소섬유는 직경 5~7 μm 이므로, 탄소섬유를 실제로 응용 하는데 있어서 여러 가지 형태가 요구된다. 첫째로 연속섬유로는 필라멘트사(filament yarn)를 들 수 있다. 많은 필라멘트로 구성된 섬유 다발을 토우(tow)라고 부르는데, 탄소섬유 개발 초기에는 필라멘트 수가 1,000~12,000인 것이 상품화 되었다가 이후 기술의 발전으로 인하여 필라멘트 수가 48,000~320,000로 확대된 필라멘트 다발이 생산되고 있다. 이처럼 필라멘트 수가 큰 것을 통틀어 라지 토우라 부르고, 종래의 필라멘트가 작은 것들을 스플 토우라 부른다. 스테이플 섬유(staple fibers)에 필라멘트사 또는 토우를 일정 길이로 절단한 형태인 촛섬유(chopped fibers)와 촛섬유 또는 필라멘트사를 분쇄하여 만든 분말상의 제품인 분쇄섬유(milled fibers)가 있다. 분쇄섬유는 촛섬유보다 더 짧은 길이의 섬유가 필요할 때 활용된다. 마지막으로 직물류(fabric) 탄소섬유에는 직물(woven fabric cloth), 편조물(braid), 펠트(felt), 매트(mat) 및 종이(紙) 등이 있다.

1.4 탄소섬유의 제조

PAN계 탄소섬유는 <그림 3(a)>에 보인 것 같이, polyacrylonitrile (PAN, (1))을 가열하여 제조한다. 먼저 PAN을 175 $^{\circ}\text{C}$ 정도까지 가열하면 (2)와 같이 고리구조를 형성하면서 까맣게 변하는데, 이 구조는 사다리 형태의 고분자(ladder polymer) 라고 볼 수 있다. (2)를 더 가열하면, 산화반응에 의해서 방향족 고리 구조를 가진 고분자, 폴리퀴니자린(polyquinizarine) (3)으로 변환하며, 이 고분자를 1000~3000 $^{\circ}\text{C}$ 까지 가열하면 흑연구조를 가진 탄소섬유가 만들어진다. <그림 3(b)>에 탄소섬유를 제조하는 방법을 도식적으로 나타내었다 [13].



(b)

<그림 3. 탄소섬유 화학반응 및 제조공정 [3]>

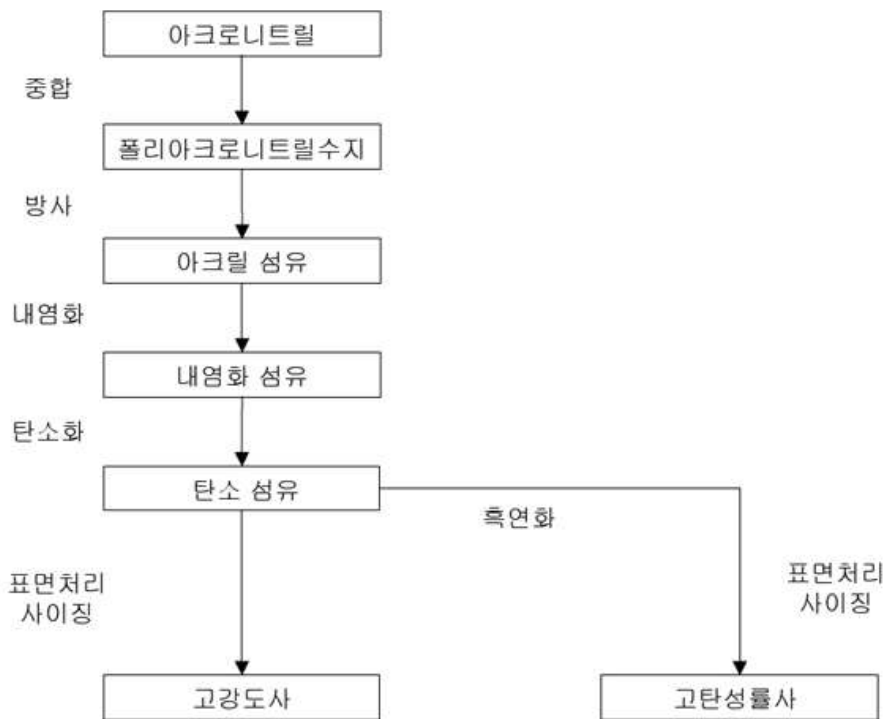
레이온계 탄소섬유는 직물 모양 또는 펠트 모양의 레이온을 약 900℃까지 천천히 회분 방식으로 태운 다음 최고 2500℃ 이상의 온도까지 가열하여 흑연화 하는 방법이다. 따라서 제조시간이 긴 단점이 있었고, 레이온을 미리 인산유도체나 질산염 등에 침지하여 팽윤시키는 화학처리를 한 후에 탄화시킴으로서 탄화에 필요한 시간을 단축시킬 수 있었으나 인체에 유해하다는 이유로 중단되었다.

레이온계 탄소섬유는 셀룰로오스(cellulose)로부터 안정화 및 탄화하여 얻는 방법으로, 복합물이어서 순도를 높이기 위한 화학적 처리 공정이 필요하고 결정화 처리를 위한 고온 열처리 시 연신이 필요하기 때문에 비용이 많이 든다. 특히, 수율이 약 15% 정도 밖에 되지 않고 다른 섬유와 비교할 때 프리커서 구입이 매우 어려우며 인장강도는 PAN계 보다 떨어지고 탄성률은 피치계보다 낮다는 여러 가지 단점을 갖고 있다.

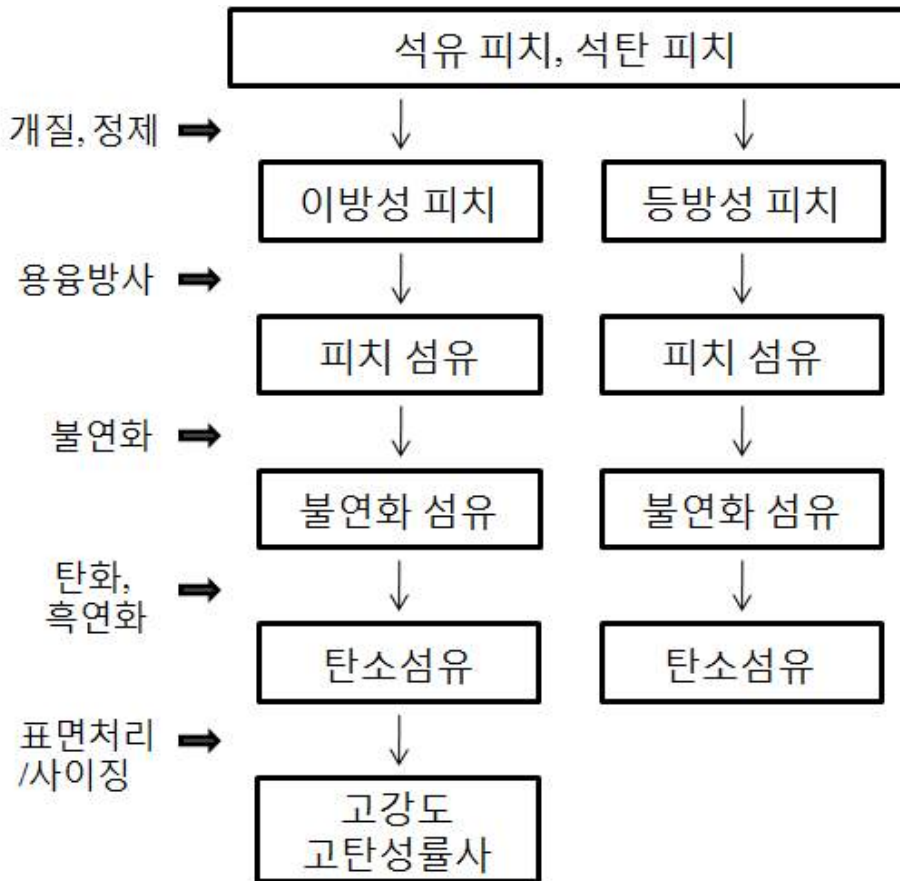
PAN계 탄소섬유는 기계적 물성이 우수한데 그 중에서도 특히, 인장강도가 다른 탄소섬유에 비해 가장 높으나, 제조단가가 높다는 단점을 가지고 있다. PAN계 탄소섬유는 <그림 4>에 나타난 프로세스와 같이 PAN계 섬유에 내염화 처리를 하여 안정화시킨 후, 불활성 분위기 하에서 탄화 소성 또는 흑연화 처리하는 방법으로 만들어진 다. PAN계 탄소 섬유의 제조에 있어서 가장 중요한 공정은 내염화 공정이며, 이 공정에서 PAN 분자는 탄소화 반응을 제어하기 쉬운 피리미딘 고리를 주성분으로 하는 래더형 고분자로 된다. 내염화 섬유는 이 공정까지만 거친 섬유이다. 의복용 등에 이용되는 보통의 PAN 섬유는 그 자체로는 바람직한 래더형 분자 구조가 형성되기 어렵기 때문에 공중합 등의 수단으로 전구체 원료를 개질하여 사용한다. 이에 따라 섬유 성능이나 생산성도 향상된다.

피치계 탄소섬유는 사용원료에 따라 석탄계와 석유계로 분리되어진다. 석탄계는 콜타르(coal tar)를 원료로 하여 얻어지는 피치를 이용하여 탄소섬유를 제조한다. 피치계 탄소섬유의 제조 프로세스도 PAN계 탄소섬유 제조 프로세스와 유사하지만 PAN계와는 다른 면도 있다 (<그림 5>). 축합 다환 방향족 탄화수소의 혼합물인 피치는 일반적으로 무정형이고 광학적으로 등방성이다. 일정 성상의 등방성

피치를 불활성 가스 분위기 하에서 적당한 온도 (350~500℃)로 가열하면 다양한 경로를 거쳐서 최종적으로는 광학적으로 이방성을 보여서 네마틱상의 피치 액정을 포함한 메소페이스 피치 (이방성 피치 A)로 전환된다. 이방성 피치 A는 등방성 피치에 비해서 고분자량이고 연화 온도도 높기 때문에, 일반적으로 방사 온도를 높게 할 필요가 있다.



<그림 4. PAN계 탄소섬유 제조공정 [3]>



<그림 5. 피치계 탄소섬유 제조공정 [3]>

1.5 탄소섬유의 특성

탄소섬유의 대표적인 특성은 가볍고 강하며 높은 탄성율에 있다. 최근 수년간에 걸쳐서 기계적 물성의 향상이 이루어졌는데 인장 강도로는 대략 5,600 MPa, 인장탄성율은 500 GPa를 지닌 탄소섬유가 판매가 되고 있다. 이렇게 뛰어난 기계적 특성의 원인으로서는 탄소섬유의 기본적인 구조인 리본상의 미세구조에 기인한 것이며, 피치계 탄소섬유의 경우 도메인이 섬유 축 방향으로 배열하여 매우

높은 열적 그리고 전기적 특성을 보인다. 기본적으로 강도는 구조에 매우 민감한데, 조그마한 미세구조의 변화, 결함의 형태 및 양에 의해 크게 영향을 받는다.

탄소섬유의 열적 특성 중에 가장 뛰어난 것으로는 선팽창계수를 들 수 있다. 대략 $-0.7 \sim -1.2 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 로서 음의 값을 보이면서 온도상승에 따라 수축하며, 섬유직경방향으로는 $5.5 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 로 보고되고 있다. 매트릭스 수지의 대표적인 에폭시의 선팽창계수는 $45 \sim 65 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ 로 탄소섬유에 비해 매우 높은 수치를 보이는데, 이것이 복합재료의 열응력의 문제가 된다. 탄소섬유의 비열은 약 0.7 kJ/kg 로서 고강도, 고탄성률간의 차이는 별로 없으며, 금속과 비슷한 수치를 보이며 수지보다는 약간 작은 수치를 가진다. 탄소섬유의 열전도율을 직접 측정하는 예는 극히 드물며, 대부분 복합재료의 열전도율을 측정한 값으로부터 추정한다. 고탄성율의 경우, 85 W/mK 으로 금속에 비견되는 값을 보인다. 탄소섬유는 일반적으로 소성온도가 $1,000^\circ\text{C}$ 이상일 때 전기전도성이 양호해지며 결정성에 의존을 하므로 흑연화 섬유가 탄소섬유보다 높은 전기전도율을 보이는데, 전자의 경우가 $1.5 \sim 3.0 \times 10^{-3} \text{ } \Omega\text{cm}$, 후자의 경우가 $0.5 \sim 0.8 \times 10^{-3} \text{ } \Omega\text{cm}$ 의 전기저항 값을 보인다. 표 2에 탄소섬유를 각각의 특성별로 분류하여 정리하였다.

<표 2. 탄소섬유의 특성 [2]>

분류	탄소섬유 특성
형태적 성질	<p>가늘고 길며 잘 구부러진다. 다양한 형태 가공성 우수하다. 매트릭스와 조합한 섬유 보강재 제작 가능하다. 섬유축 방향과 직각방향은 이방성을 가진다.</p>
화학·물리적 성질	<p>대부분 탄소원소로 구성되었다. 불연성이다. 화학적으로 안정, 산·염기 용매에 강하다. 산화에 의해 열화된다. 고온의 공기, 산화성 산에 대해 약하다. 고온 하에서 금속 탄화물 형성한다. 다공성이며, 표면 활성화에 의해 흡탈착 성능을 나타낸다.</p>
기계적 성질	<p>밀도가 금속보다 작다. 인장 강도, 인장 탄성률이 크다.</p>
열적 성질	<p>선팅창률 계수가 작고 치수 안정성 우수하다. 고온 하에서도 기계적 특성이 저하되지 않는다. 극저온 영역에서도 열전도성이 작다.</p>
전기·전자적 성질	<p>전도성이 우수하다. 전파를 반사하며, 전파 시일성이 우수하다. X선 투과성 양호하다.</p>

2. 탄소섬유복합재

2.1 탄소섬유복합재의 특성

탄소섬유의 가닥은 수 마이크론의 직경을 가진 수 천개의 실 가닥으로 구성되어 있다. 실질적으로 탄소섬유만으로는 원하는 재료특성을 얻기는 어려워 대부분 탄소섬유와 수지를 이용한 탄소섬유복합재 형태로 활용된다. 탄소섬유복합재는 탄소섬유-수지 복합재 및 탄소 섬유를 강화재로 하는 탄소섬유 강화 플라스틱 등 탄소섬유와 다른 재료를 조합하여 단일재료로는 얻기 어려운 우수한 특성을 가진 재료를 말한다. 탄소섬유복합재는 가볍고 강하며, 탄성이 우수하여 스포츠, 레저, 항공기, 자동차, 건축산업 및 일반산업용도 등 다양한 분야에서 사용되고 있으며, 대부분의 탄소섬유가 탄소섬유복합재의 형태로 산업에서 이용되고 있다.

탄소섬유를 이용해 탄소섬유복합재를 만들면 가격이 10배 정도 뛰며, 주요 부품을 만들 때에는 30~40배의 부가가치가 만들어진다. 따라서 탄소섬유복합재는 전형적인 고부가가치 기술 집약적 산업으로 판단된다 (<그림 6>).

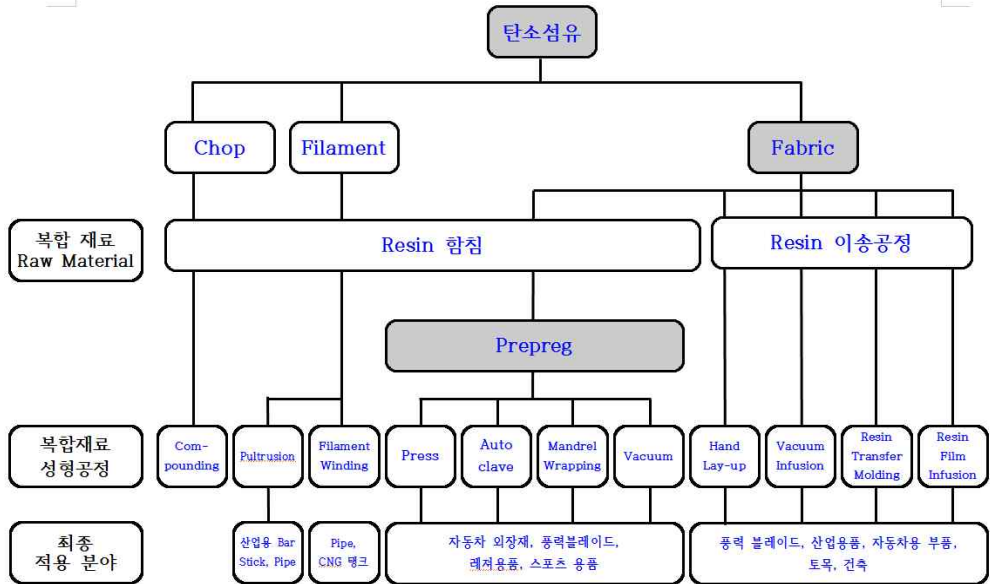
탄소섬유복합재는 지름 수 μm 의 섬유와 수지의 조합을 기본단위로 하여 직물이나 적층 구조의 중간구조를 거쳐 실제의 구조를 형성한다. 탄소섬유복합재는 제조공정에서 일체성형으로 재료가 완성됨과 동시에 구조가 완성될 수 있어 재료설계와 성형과정이 매우 중요하다. 따라서 요구특성에 맞는 탄소섬유복합재 구조를 설계하는 것이 필수적이라 할 수 있다.

성의 한계, 복잡한 형상 구현의 어려움 등 여러 가지 한계도 있다. 따라서 첨단 복합소재 부품에는 프리프레그(prepreg)라는 중간재를 이용한 성형법이 주로 사용하게 된다.

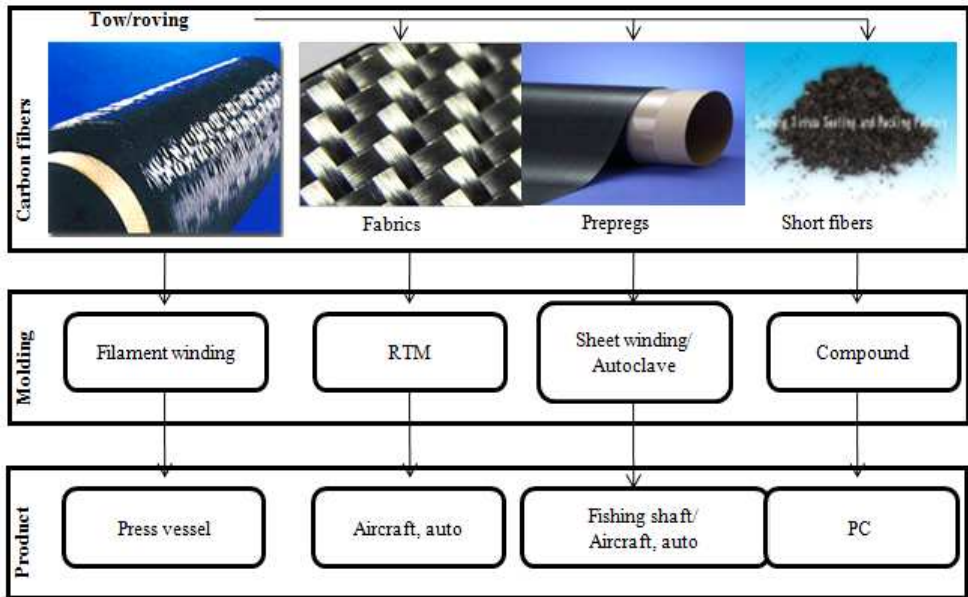
탄소복합재료를 성형하기 위한 중간재가 되는 프리프레그는 대부분 열경화성 수지(35~40%)에 단일방향으로 정렬시키거나 제직한 탄소섬유(60~65%)를 함침시켜 가공된다. 프리프레그는 preimpregnated materials의 약어로 결합재(matrix)를 강화섬유(reinforced fiber)에 함침시킨 sheet 형태의 제품으로 이는 복합재료시장에서 폭 1 m의 테이프 형태로 지관에 권취되어 거래되고 있다.

결합재는 적용조건에 따라 선택이 가능하며 일반적으로 epoxy, phenol, polyimide 등의 수지가 사용된다. 프리프레그를 적용한 기술은 항공분야, 자동차, 풍력, 건축용 보강재 및 스포츠 레저용 등 다양한 분야에서 중요성이 부각된다.

프리프레그를 복합재료로 성형하기 위한 공법으로는 sheet winding, auto clave, vacuum bag, bag mold, mold press 등의 방법들이 있으며 적용분야의 특성에 따라 성형방법을 택하여 적용한다. 항공산업 및 레저·스포츠분야를 위한 복합재료용 프리프레그 제조는 주로 sheet winding, auto clave법을 이용해 성형하며, 그 밖에 패브릭이나 단섬유를 포함한 성형방법 및 활용분야를 <그림 7>과 <그림 8>에 나타내었다.



<그림 7. 탄소복합재료 제조 공정 개념도[4]>



<그림 8. 탄소섬유 형태별 제조공정 [5]>

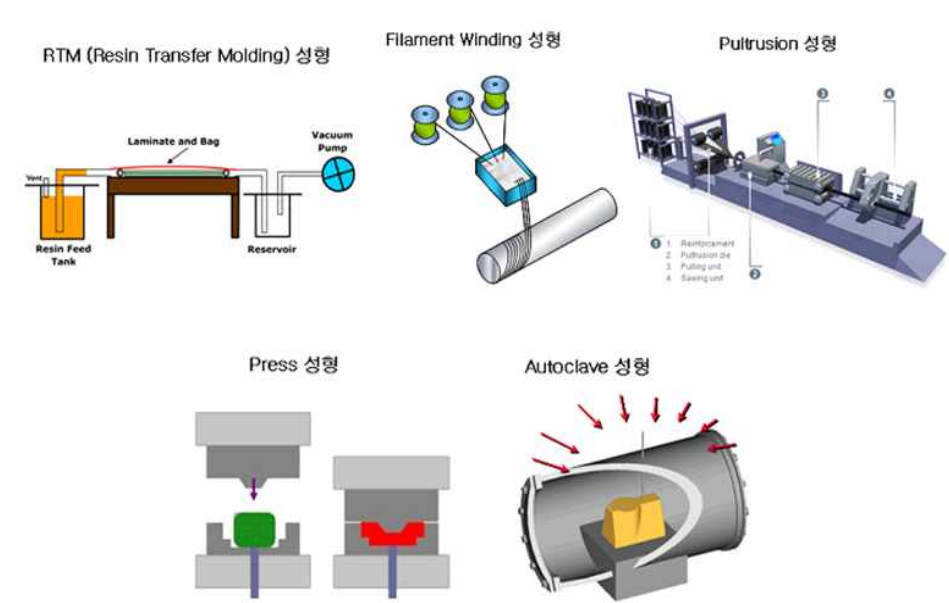
탄소섬유강화 복합재료의 성형기술은 고속화, 저가격화, 양산 대응형 성형기술, 중간 재료의 개발 노력 등으로 계속해서 진화되고 있으며, 대표적인 예는 다음과 같다.

- ① 고속성형기술: 반응사출성형 (RIM, reaction injection molding), 인발성형 (pultrusion), 고속 FW (filament winding) 성형 등의 성형법이 대상이다.
- ② 성형기술/중간재의 최적화: 고속 성형에 도움이 되는 중간재 (fabric, 수지, 조합 기술)나 프리폼 기술의 진보가 요망되고 있다.
- ③ NC (numerical control) 부착 자동적층법: 항공기 부품의 오토클레이브 성형시 생산성이 낮고 어려우므로 최근 NC 부착 자동 적층기법 도입하고 있다.

이 외에도 ④ 전자동 파이버 프레스먼트기, ⑤ 전자선 경화에 의

한 저비용 고성능의 대형 복합재 구조체 제조법, ⑥ RTM (resin transfer molding) 성형기술의 진화, ⑦ ACM (advanced composite materials) 열성형 시스템 등 여러 가지 방법 들이 실용화되어 탄소 섬유강화 복합재료 성형기술이 진화하고 있다.

프리프레그를 적용하지 않는 가장 대표적인 성형방법으로서 RIM (resin infusion molding), filament winding 등이 있으며, filament winding 성형방법은 matrix가 함침된 strand, tow 등의 섬유다발을 소정의 패턴에 따라 mandrel에 감아 요구하는 적층패턴을 형성시키는 방식이며, RIM은 mold에 직물을 lay-up 시킨 후, matrix를 주입해주는 방법으로 resin 주입방식 등의 공정에 따라 RTM (resin transfer molding), VaRTM (vacuum assisted resin transfer molding) 등으로 명명한다 (<그림 9>).



탄소복합소재 성형방법

<그림 9. 탄소섬유강화 복합재료의 성형공정 [6]>

프리프레그를 적용하는 성형방법으로는 크게 autoclave 성형법, press 성형법 및 blow 성형법으로 구분된다. Autoclave 성형방법은 항공용 부재, 미사일, 우주선 등과 같은 첨단 제품에 응용하는 방법으로 제품에 균일한 압력을 가하여 신뢰성이 우수하나 성형시간이 길어 공정비용이 높은 단점이 있으며, blow 성형은 제품의 내부에 비닐 풍선을 넣어 성형함으로써 tube 형태의 제품을 생산하기에 용이할 뿐만 아니라 생산속도가 빠르다. Press 성형방법은 압/수의 금형내에 프리프레그를 적층하고 이를 hot-press로 경화하는 방법으로 공정시간이 짧고, 소요 부자재 가 적어 공정비용 및 생산성이 높다는 장점 있다.

3. 산업 동향

3.1 해외 동향

탄소섬유의 2010년 기준 세계 생산능력은 약 87,750톤으로 전년도 74,750톤 대비 17.4% 증가된 것으로 파악된다. 탄소섬유 중 PAN계 생산설비는 2012년 89,800톤으로 전년도(70,100톤) 대비 증가하지만, 주로 비메이저 기업 중심으로 증설이 이루어 지고 있다. PAN계 탄소섬유의 해외 제조업체 현황과 Pitch계 탄소섬유의 해외 제조업체 현황을 <표 3>과 <표 4>에 나타내었다.

① PAN계 탄소섬유: 스몰 토우(small tow)

Toray, Toho Tenax, Mitsubishi Rayon 등을 주축으로 일본의 회사들이 세계 탄소섬유 시장의 상당 부분을 점유하고 있다. 당분간 탄소섬유 시장은 공급자시장으로 전개될 전망이다. 기존 기술장벽으로 인해 글로벌 7~8개 기업이 과점시장을 구성되어 있다. PAN계 탄소섬유 시장점유율은 Toray 40%를 비롯한 일본 3개사가 55.5% 이상을 점하고 있다. 특히 Toray는 1971년부터 독자적인 기술로 탄소섬유를 생산·판매하고 있으며, 현재 세계 1위의 생산량을 자랑한다. 항공 및 우주, 스포츠, 일반 산업용 등 폭넓게 시장에 진출하고 있으며, 최근에는 항공기용 탄소섬유부문에 집중하고 있다. 세계 2위 탄소섬유 생산업체인 Toho Tenax도 항공업계의 인정을 받아 항공기용 탄소섬유에 주력하고 있다. Mitsubishi Rayon의 경우는 1983년부터 탄소섬유를 생산하여 현재 약 연간 10,000 톤의 탄소섬유를 생산능력을 보유하고 있으며, 골프채 등의 스포츠 분야에 주력하고 있다.

일본 이외에도 미국의 Hexcel 및 Cytec, 대만의 Formosa Plastics 등에서 PAN계 탄소섬유를 생산하고 있으며, 대만의 Formosa Plastics 경우 1995년부터 탄소섬유를 생산하였는데 급격히 성장하여 현재 약 8,800톤 규모의 생산 능력을 갖추고 있는 것으로 파악된다.

② PAN계 탄소섬유: 라지 토우(Large Tow)

라지 토우 PAN계 탄소섬유의 경우 미국의 Zoltek을 주축으로 SGL

Carbon(영국, 독일), AKSA(미국), Toray(일본) 등에서 생산하고 있으며, 항공기, 탄소/탄소 브레이크, 스포츠 용도 등에 활용하고 있다.

<표 3. 세계 PAN 탄소섬유 제조업체 현황 (2013)>

분류	제조회사	생산능력 (톤)	상품명	주력분야	비고
R-tow (Regular)	Toray	20,800 일본 8,000 미국 5,400 프랑스 5,200 한국 2,200	Torayca	항공기 (보잉)	글로벌 탄소섬유 선두업체
	Toho Tenax	13,900 일본 6,400 미국 2,400 독일 5,100	Besfight	항공기 (에어버스)	세계 2위 2007년 Teijin Limited 와 통합
	Mitsubishi Rayon	10,100 일본 8,100 미국 2,000	Pyrofil	스포츠 (골프채 등)	세계 3위
	Hexcel(미)	7,200		항공기	Hercules사 기술
	Cytech(미)	3,400	Thornel	ACM, 열·전기, 마찰용도	전 BP Amoco, Toray 기술
	Formosa (대만)	8,800		스포츠 분야	Hitco 기술
	기타(중국)	12,200		스포츠 분야	
L-tow (Large)	Zoltek	10,500 미국 헝가리	Panex	에어백용, 항공기 C/C 브레이크	
	SGL	9,000	Panox	산화내염섬 유·항공기 브레이크용	
	AKSA	1,500		골프 샤프트 용	골프채 메이커
	Toray	300	Torayca		

<표 4. 세계 Pitch계 탄소섬유 제조업체 현황 (2010)>

분류	제조회사	생산 능력	상품명	원료/형태	주력분야
메조페이스Pitch계	Mitsubishi Rayon	1,000	Dialead	석탄계/ 장섬유	항공·우주, 전자부품, 산업용, 시멘트 강화재
	일본그라 파이트파 이버	180	Granoc	석탄, 석유계/ 장섬유, 액정방사	항공·우주, 토목·건축, 스포츠
	Petoca	1,300	Melblown	석유계/ 단섬유 Meltblow	전지 전극재료, 커패시터, 면상발열체
	Cytec	230	Pitch Thornel	석유계/ 장섬유	초고열 전도성 재료, 구조재료, 마찰재료
등방성 Pitch계	Kureha	1,450	Kreca	석유계/ 단섬유 원심법	커텐 wall, 단열재, 전자파 차폐재
	Osaka Gas	600		석탄계/ 단섬유 와류방사	전자파 시일재
	기타	1,300			

③ Pitch계 탄소섬유

석유 및 석탄의 pitch로부터 메조페이스 탄소섬유 및 등방성 탄소섬유를 생산하고 있으며, 일본의 회사들이 대부분의 시장을 점유하고 있다. 단열재, 전자파 차폐제로부터 토목·건축, 항공·우주 분야에 이르기까지 다양하게 활용되고 있으나, PAN계 탄소섬유에 비해 아직 그 시장이 미비한 실정이다 (2012년 기준 pitch계 3.8% 시장 점유). 하지만 피치계 탄소섬유는 탄성, 열전도성이 상대적으로 뛰어난 초고탄성 재료로 가공해 항공우주, 전기전자 등 특수 고부가 제품군 적용가능하다. 특히, 이방성 피치를 원료로 하는 탄소섬유는 결정성이 높고 흑연화가 용이해 원가경쟁력 면에서 PAN계에 앞서는

장점이 있다 (표 5). PAN계 탄소섬유가 우주·항공용 고강도 탄소섬유라면 피치계 탄소섬유는 스포츠·산업용 범용섬유라고 할 수 있으며, 다른 계통의 섬유와는 달리 콜타르 및 석유정제 잔류물로부터 얻어지는 저가의 탄소계 물질인 피치를 직접 용융 방사하여 얻는다. 피치는 저가의 높은 경제성과 구조제어의 용이성으로 해마다 높은 성장률을 보이고 있다. PAN계 대비 연구가 많이 이루어지지 않았고, 현재 뚜렷한 리더도 없어 기술개발을 통한 고부가 시장 진출 가능성이 있다.

현재 피치계 탄소섬유 시장을 살펴보면, Kureha와 Mitsubishi, Osaka Gas Chemicals가 세계 수요의 3/4 을 차지하고 있다 (<그림 10>). Mitsubishi는 피치계 이방성 탄소섬유를 생산하고 있는 기업이고, 이방성 탄소섬유는 고성능 탄소섬유로서 우주·항공용이나 로봇 등의 재료로 사용된다. 이방성 탄소섬유는 범용 탄소섬유인 등방성과는 용도가 다르므로 실질적으로 등방성 피치계는 Kureha와 Osaka Gas Chemicals 두 회사의 독주 체제라고 할 수 있다.

<표 5. PAN계 대비 Pitch계 탄소섬유의 장단점 [7]>

항 목	Pitch계 탄소섬유 특성
에너지 경제성	피치 구조 자체가 탄소섬유 구조인 흑연과 유사하여 PAN계 대비 에너지 소비량이 작음
높은 수율	피치 전구체 섬유는 불순물인 N ₂ , H ₂ 및 기타 탄소물질 비율이 PAN 섬유에 비해 낮아 수율이 높음 (50~60%→75%)
높은 탄성	이방성 피치(mesophase)는 900 GPa 이상의 고탄성 PAN계는 500 GPa 수준, 등방성 피치는 100 GPa
전기적/열적 특성	PAN 섬유 대비 전기 및 열 특성 우수하나, 인장강도는 PAN 탄소섬유 비해 낮음

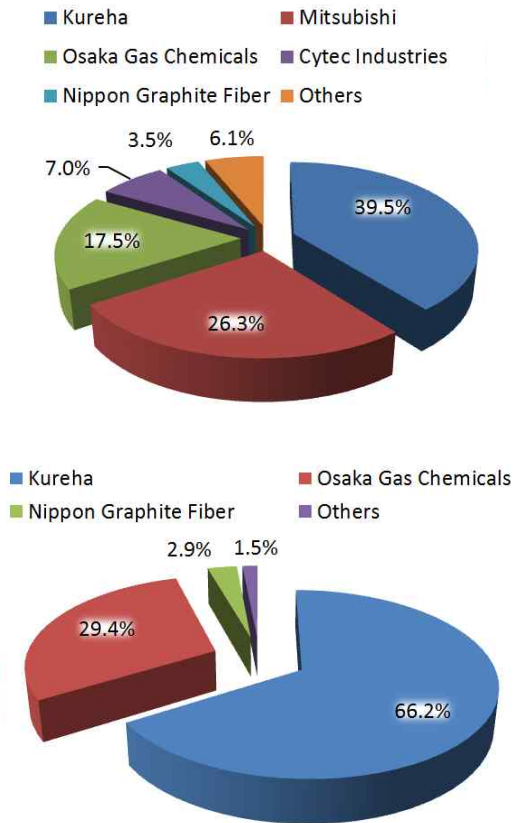


그림 10. 세계 피치계 탄소섬유 제조업체(상) 및 등방성 탄소섬유 제조업체 (하) 점유율 (2009년 기준, [8])

각 회사별로 부문별 매출을 살펴보면(<표 6>), 등방성 피치계 탄소섬유를 제조하는 회사는 Kureha, Osaka Gas Chemicals, Nippon Graphite Fiber뿐이며, 탄소섬유는 chopped fiber, milled fiber, felt 등과 같은 탄소섬유 재료와 단열재와 같은 성형품의 형태로 판매되며 매출은 약 900억 원에 이른다.

<표 6. 피치계 탄소섬유 제조 회사의 부문별 매출 현황 (2009년 기준) [8]>

(단위 : 백만원)

제조사	원료 피치의 광학특성	탄소섬유 및 응용제품
Kureha	등방성	59,400
Mitsubishi	이방성	39,600
Osaka Gas Chemicals	등방성	26,400
Cytec Industries	이방성	10,560
Nippon Graphite Fiber	이방성, 등방성	5,280
Others	-	9,240
계		150,480

출처 : 탄소섬유 기술, 시장동향, JMS 2010

3.2 국내 동향

① 탄소섬유

국내에서는 동양제철화학인 연간 150톤 규모의 탄소섬유제조시설을 가동하고 있다가 1991년부터 생산을 중단하였고, 태광산업도 연간 60톤의 탄소섬유를 생산하다가 2001년에 생산을 중단하였다. 따라서 최근까지 국내 탄소섬유 생산이 전무하였으며, 2012년부터 태광산업이 연간 1500톤 규모의 PAN계 탄소섬유 생산을 시작으로 도레이첨단소재, 효성 등에서 2013년부터 탄소섬유 생산을 시작하였다. 현재 국내 탄소섬유 생산량은 약 6000톤 규모로 시장진입 초기 단계로 판단된다. GS칼텍스, OCI, 포스코, 삼성석유화학 등에서도 탄소섬유 시장에 관심을 가지고 시장진입을 준비하고 있는 것으로 파악되며, 국내 탄소섬유 생산업체 현황을 <표 7>에 정리하였다.

<표 7. 국내 탄소섬유 제조업체 현황>

업체명	공장	탄소섬유 종류	생산 시기	생산량 (연간)	비 고
태광산업	울산	PAN	2012년	1500t	탄소섬유 원료부터 제품까지 수직계열화를 갖춘
도레이 첨단소재	구미	PAN	2013년	2200t	도레이는 프랑스, 미국에 이어 한국에도 자회사를 통해 본격 진출함으로써 일본을 포함한 4개국에서 생산·판매 체제를 갖춘
효성	전주	PAN	2013년	2000t	‘텐섬’이라는 브랜드로 생산, 2020년까지 연간 1만 7000t 규모의 공장을 갖출 계획
GS 칼텍스	미정	Pitch	2015년	60t	정유공정 잔사유를 활용해 2015년 국내상업생산을 목표로 피치계 탄소섬유 개발
OCI	군산	Pitch	2015년	100t	콜타르를 개질하여 고연화점 피치를 생산하고 있으며, melt-blown 방식으로 피치계 단섬유를 생산하여 단열재 제조에 적용 예정
SK 케미컬	미정	PAN			미츠비시레이온의 탄소섬유 원사를 들여와 프리프레그로 가공 및 판매
삼성석유 화학	미정	PAN			독일 SGL사와 합작 SGL사의 탄소섬유복합소재 들여와 국내 마케팅 및 판매

탄소섬유 단열재는 다결정 실리콘, 단결정 실리콘, 사파이어, SiC 잉곳 제조 등 주로 1500℃ 가 넘는 초고온에서 사용되고 있는데, 전량 수입에 의존하고 있는 상황이다. 한국은 폴리실리콘과 실리콘 잉곳 등 그린에너지 분야의 세계적인 생산국임에도 불구하고, 탄소섬유와 단열재에 대한 연구가 이루어지지 않아 차세대 그린에너지 개발에 대한 발판이 매우 부족한 상태이다. 이러한 기초적인 부분에서부터 해외의 기술에 의존하고 있어 이에 대한 연구가 시급하다.

태양광 산업이 발전할수록 그와 관련된 부품소재산업 또한 성장세를 이룰 것으로 전망되며 태양광 산업의 원료인 실리콘을 제조하기 위해서는 탄소섬유 단열재는 필수적이다. 따라서 국내/외 시장규모는 태양광 산업의 성장과 같은 패턴으로 급성장 할 것으로 전망된다. 태양전지의 원료인 실리콘 잉곳 제조용의 탄소섬유 단열재 세계 시장은 현재 2011년 약 1,300억 원 규모이고 매년 10~20%씩 성장이 예상된다.

② 탄소섬유복합재

SK케미칼과 한국카본을 중심으로 일본 및 미국으로부터 탄소섬유를 수입하여 프리프레그를 생산하여 최종제품 제조사들에 공급하고 있으며 (SK케미칼과 한국카본의 합산 수입량: 연간 600t 추정), 많은 중소기업들은 autoclave, 필라멘트 와인딩, melt-blown 등의 방법을 이용하여 스포츠 및 레저분야에서부터 우주·항공분야에 이르기까지 다양한 제품들을 생산하고 있다 (<표 8>).

SK케미칼은 2012년 12월 일본 미쓰비시와 탄소섬유 개발 및 생산과 관련된 MOU 체결, 현재 미쓰비시레이온에서 탄소섬유를 수입해와 가공한 뒤 제조사에 공급하고 있으며, 2001년 8월에 중국 칭다오에 탄소섬유 프리프레그 공정을 설립하여 가동 중이다. 한국카본은 일본 및 미국으로부터 탄소섬유를 수입하여 프리프레그로 가공한 뒤 제조사에 공급하고 있으며, 콘크리트 구조물을 보강하기 위한 카보넥스라는 상품명으로 탄소섬유 보강재료(시트)를 생산하고 있다. 최근 SK케미칼, LG하우시스, 한화 L&C 등에서는 대량생산에 적합한

열가소성 수지 프리프레그를 개발하여 자동차, 전기 전자 용도에 적용하고자 하는 시도가 활발하게 진행되고 있다.

국내 업체의 항공용 소재 인증 부재로 항공용 프리프레그는 전량 Hexcel, Cytac, Toray 등과 같은 외국 업체에서 수입해오고 있는 실정이다. 국내 항공우주 시장의 성장 및 방위산업 소재 국산화 필요성이 대두 되고 있는 현 시점에서 탄소섬유와 마찬가지로 항공용 프리프레그에 대한 국내 업체의 항공 소재 인증 및 품질 관리 시스템 도입이 필요하다고 판단된다.

중소기업의 경우를 살펴보면, (주)테크는 탄소복합재료를 이용한 초고온 내열 및 마찰복합재 등을 생산하고 있으며, 세카텍은 초미세 탄소섬유의 초열전도 합성 세라믹 분말을 혼합, 분산시켜서 면상 발열 신소재를 개발하고 있다. (주)나노테크텍의 경우 melt-blown 방식에 의한 pitch계 활성탄소섬유를 제조하여 환경 및 산업용 고성능 필터 소재로 공급하고 있다. 아직 시장진입 초기 단계로 정확한 생산량 파악이 어려우나, 국내의 많은 중소기업들이 탄소섬유복합재의 생산을 시도하고 있는 것으로 판단된다.

<표 8. 국내 탄소섬유복합재 제조업체 현황>

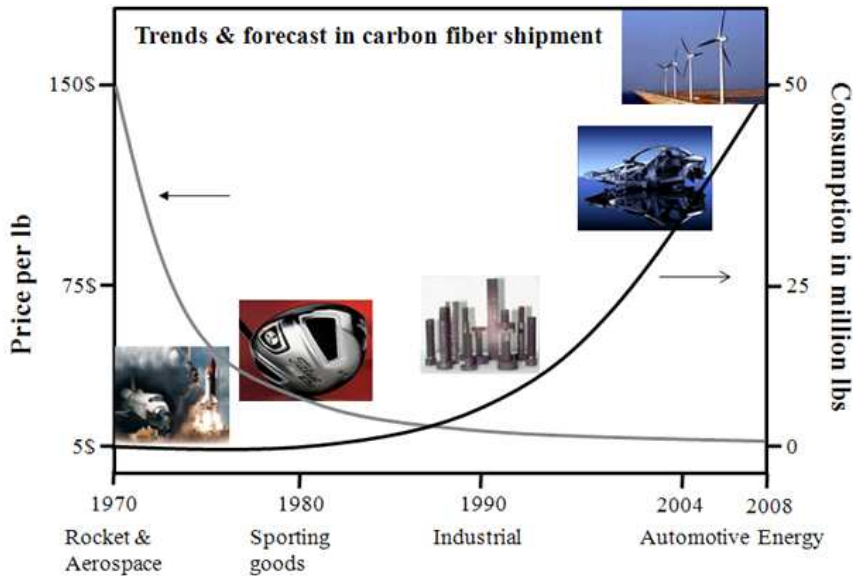
업체명	응용제품군	비고
한국카본	프리프레그, CFRP	
한국화이버	프리프레그, CFRP	유리섬유
SK케미컬	프리프레그	
티비카본	프리프레그	
효성	프리프레그, CFRP	
(주)테크	C/C 복합재 초고온 내열 및 마찰복합재	
테크항공 (롯데그룹)	비행기 날개	Autoclave
일진컴포지트	CNG 탱크	필라멘트 와인딩
WIN & WIN	활, 화살, 자전거	
KM	풍력발전기 날개	
화승	스노우보드 스키 등	
CNF	X-ray Back board	
우남 마린	배 마스트	
반도 마린	배 마스트	
협진 INC	연료전지, 핸드폰 back 판	
(주) 나노테크닉	Pithc계 활성탄소섬유	Melt-blown

4. 시장 동향

4.1 용도 개발 동향

비강도, 비탄성률이 매우 큰 PAN계 탄소섬유는 금속을 대체할 수 있는 첨단 복합재료로 항공·우주산업 및 고성능 스포츠 용품 등에 널리 활용되어 왔다. 최근에는 다양한 용도개발에 힘입어 일반 산업 용도에서도 탄소섬유의 수요가 급증하고 있으며, 특히 건축산업의 보강재로 주목을 받고 있다.

다른 탄소섬유에 비해 단가가 높은 PAN계 탄소섬유는 초기에는 골프 샤프트, 낚시대 등 고성능 스포츠 용품을 비롯하여 부가가치가 큰 항공·우주산업 등에 한정되어 사용되어 왔으나, 탄소섬유 가격 하락에 따라서 다른 소재의 대체재로서 수요가 늘고 있는 실정이다 (<그림 11>). 최근에는 천연가스 및 연료전지 자동차의 연료탱크, 풍력 발전기 블레이드, 심해 해저의 고압력용 해저 유전 송유파이프 등 다양한 분야로의 응용이 이루어지고 있는 실정이다.



<그림 11. 탄소섬유 가격 인하에 따른 용도 변화 [9]>

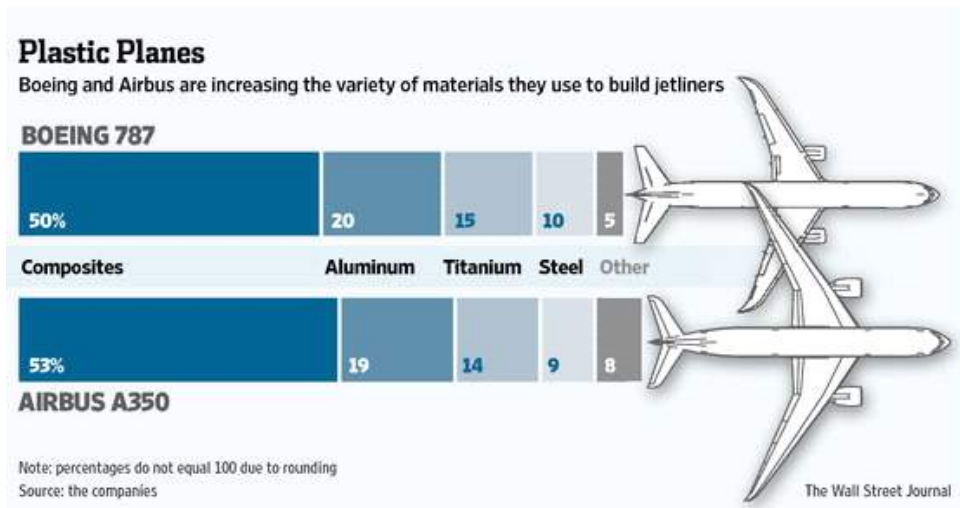
범용 타입의 pitch계 탄소섬유는 건축물 보강재나 단열재, 충전재 등으로 이용되고 있으며, 고성능 타입은 독자적인 특징을 살려 새로운 시장을 형성하고 있다. 특히 고성능 타입의 메소페이스 pitch계 탄소섬유는 극한 상태에서 사용되는 항공·우주 분야의 구조체나 전자기기의 외장재 등으로 활용이 늘어날 것으로 생각된다.

현재 탄소섬유 및 탄소섬유복합재의 활용분야는 우주·항공, 스포츠·레저, 자동차 산업, 신재생에너지, 토목·건축, 전기·전자재료, 생체·의료재료, 군수, 환경 분야로 나눌 수 있으며, 그 구체적인 용도는 <표 9>에 정리한 것과 같다.

<표 9. 탄소섬유복합재 응용분야>

분 야	용 도
우주·항공 분야	항공기 동체/날개/부품, 인공위성 구조체 및 부품, 항공기 브레이크, 경량 전투기, 헬리콥터 로터 블레이드
스포츠·레저 분야	골프채, 낚시대, 테니스 라켓, 스노보드, 요트/보트, 가방, 활 및 화살
자동차 산업 분야	선루프 프레임, Hood, Door, Fender, Wheel, 차체프레임, 브레이크 디스크/패드, 공기없는 타이어
신재생에너지 분야	풍력발전기 블레이드, 수소연료전지의 Bipolar plate, 수소연료 저장탱크, CNG 탱크
토목·건축 분야	해양 구조물, 고압력용 해저 유전 송유 파이프, 해저 유전 굴삭기, 콘크리트 보강재, 단열재, 충전재, 산업용 케이블 로브
전기·전자재료 분야	전자기기 외장재 (경량 및 전자파 차단), 카메라 삼각대
생체·의료재료 분야	인공관절, 인공뼈, 인공장기용 필터, 의족, 보행 보조기기, 휠체어
군수 분야	특수탄, 경량구조 부품, 방탄조끼, 헬멧
환경 분야	화학 필터, 정수/정화용 필터

우주·항공 분야의 경우 항공기의 1차 구조 및 2차 구조에 활용되고 있으며 경량화의 경제효과가 매우 커서 지속적으로 탄소섬유의 사용이 확대될 전망이다. 보잉 787의 경우 전체 재료 중 50%의 비중으로 탄소섬유복합재를 이용하고 있으며, 에어버스의 A380의 경우에도 50% 이상의 탄소복합재료를 사용하여 20% 이상의 연료비를 절감하였다 (<그림 12>).

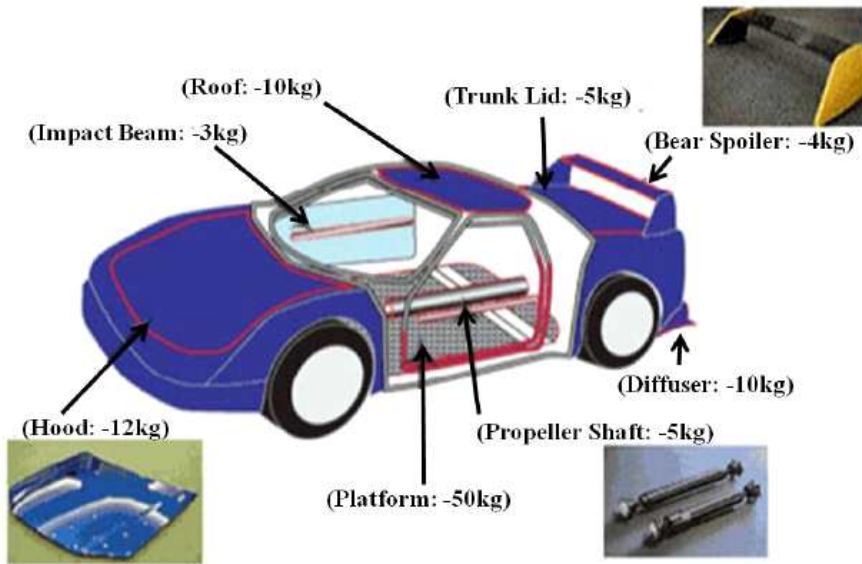


<그림 12. 보잉 787 드림라이너와 에어버스 A350 재료 성분 비중>
 자료원: 월스트리트저널

스포츠·레저 분야는 탄소섬유복합재 활용이 가장 오래된 분야로 낚싯대, 골프 샤프트, 테니스 라켓 등에 꾸준히 활용되어 왔다. 최근에는 자전거 몸체, 경기용·사냥용 활과 화살, 모터사이클 헬멧, 제트스키, 스노우 보드, 스키 등으로 용도가 확대되고 있다.

자동차 산업 분야의 경우 경주용 자동차 및 일부 고급 자동차에 한정적으로 활용되고 있다가, 최근 들어 유럽 및 일본의 자동차 회사를 중심으로 자동차 부품을 탄소섬유복합재로 대체하려는 시도가 활발히 이루어지고 있다 (<그림 13>). 지구 온난화 문제와 고유가 시

대의 도래 등에 따른 환경과 에너지 문제가 심각하게 대두되면서, 자동차 연비 향상을 위한 경량화는 자동차 산업이 필연적으로 가야 할 길로 생각된다. 이에 부합하는 소재로 탄소섬유복합재가 활발하게 연구되고 있으며, 세계 자동차 산업의 규모를 생각해 볼 때 미래 탄소섬유복합재의 주력 시장이 될 것으로 판단된다.



<그림 13. 자동차 내 탄소섬유복합재의 활용 [10]>

신재생에너지 분야에서는 CNG (Compressed natural gas)를 연료로 하는 자동차가 주목을 받고 있어, 이에 따라 종래의 금속 연료용기를 탄소섬유복합재로 대체하려는 시도가 이루어지고 있다. 또한 풍력발전에서 풍차날개의 대형화가 추진되면서 가볍고 강하며, 내구성이 있는 탄소섬유복합재가 활용되고 있는 실정이다. 풍차의 회전날개에 적용하면 기존의 유리섬유복합재료가 가지고 있던 날개 길이 한계를 극복하고 그 무게도 대폭 줄일 수 있어 발전용량을 약 15배 늘릴 수 있다.

탄소섬유복합재는 무게가 철강에 비해 약 40%정도 밖에 되지 않

고 탁월한 내부식성을 가지고 있다. 이러한 특징을 이용하여 토목·건축 분야에서는 탄소섬유복합재를 내외벽 판넬, 저장탱크, 교량, 파이프, 건축물 보강재료, 철근대체, 건축 부재 등으로 활용하려는 시도가 활발히 진행되고 있으며 향후 커다란 수요가 예상된다.

전기·전자재료 분야에서는 탄소섬유복합재는 가벼우면서 전자파 차단효과가 있어 다양한 전자기기의 외장재로 많이 활용될 수 있다. 2013년 4월에 출시된 LG OLEC TV는 탄소섬유복합재를 외장재로 활용하여 TV 무게를 약 50% 감량하였다 (<그림 14>).

또한 탄소섬유는 인체 및 생체 적합성이 우수하여 인공관절, 인공뼈, 인공장기용 필터 등에 활용 가능하며 현재 연구가 진행 중이다. 가벼우면서 마모와 부식에 의한 강한 장점이 있어 의족 등의 의료재료 분야에도 활용 가능하다 또한, 자전거 몸체에 활용된 것처럼 가벼우면서 강도가 큰 특성을 살려 보행 보조기기 및 휠체어의 몸체를 제조하는데 활용가능하며, 향후 고령화 시대를 고려하면 본 분야의 수요 증가가 기대된다.

끝으로 군수 분야에서는 전투기, 차세대 주력 전투기, 블랙 호크 헬리콥터, 방탄조끼, 헬멧, 각종 장비 등에 탄소섬유복합재가 활용되고 있으며, 환경 분야에서는 활성탄소섬유(ACF)를 중심으로 공기 청정용 필터, 정수용 필터, 용제 회수 장치 등에 이용되고 있다. 또한 탈취 목적의 생리용품, 제습, 방재용 마스크, 환경 호르몬의 제거 등에도 탄소섬유의 응용이 고려되고 있다.

<p>인공 뼈</p>	<p>인체 생체 적합성이 우수하여 인공 뼈, 장기 등 연구중임. Carbon Clavicle(쇄골)</p> 	<p>공기없는 타이어</p>	<p>미국 Polaris사의 공기없는 타이어. 벌집모양 구조로써 '14년부터 군용으로 판매 예정.</p> 
<p>의족</p>	<p>아이슬란드 Ossur사 개발. 경량, 마모와 부식에 강한 장점이 있음.</p> 	<p>산업용 케이블 로프</p>	<p>철 대비 열에 대한 팽창 적고 강도가 높아 철탑간 거리 증가 가능. 엘리베이터 로프로도 활용.</p> 
<p>건축물 보강재</p>	<p>노후 콘크리트 구조물의 보강재로 활용중임. 추가 공사 없이도 강도 및 경도 보강이 가능함.</p> 	<p>가전제품</p>	<p>'13년 4월 출시, LG의 55" OLED TV. 4.3mm CF-RP 구조로 기존 TV무게 31Kg에서 14kg을 감량함.</p> 

〈그림 14. 탄소섬유복합재의 신규활용 예 [11]〉

4.2 유망분야 분석

미래 탄소섬유시장 확대를 위한 탄소섬유복합재 유망분야의 사업화 기간을 분석한 보고서의 결과는 다음과 같다. 탄소섬유의 용도를 고성능(우주항공, 풍력), 저기능(자동차, 조선해양), 기능성 (IT, BT, 에너지, 의학), 범용 (스포츠, 토목)으로 나누어 사업화 기간을 분석한 결과 ‘범용’ 및 ‘기능성’ 응용부품의 사업화 기간이 평균 3.9년, 4.5년으로 ‘고성능’ 및 ‘저기능’에 비하여 상대적으로 짧게 나타났다 (<표 10>).

<표 10. 탄소섬유 용도 별 사업화 소요기간>

용도	세부산업	유망품목	평균 사업화 기간(년)
고성 능	우주항공	동체, 날개, 전투기, 인공위성 등	6.1
	풍력	블레이드	
저기 능	조선	요트, 해양플랜트, 원유시추 파이프 등	4.8
	철도	차체	
	자동차	차체, 샤시, 연료탱크, 특장부품 등	
범용	스포츠, 소비재	자전거, 낚시대, 활, 보드, 가방, 등산용품 등	3.9
	건축	보강재	
	구조체 및 토목	보강재	
기능 성	전자부품	플라스틱 대체재	4.5
	의합	인공관절 보조기, X-ray 투과장치 등	
합 계			4.8

시장동향 및 사업화 기간 등을 고려할 때 탄소섬유복합재 유망분야로 자전거를 생각할 수 있다 (<그림 15>). 국민 생활수준의 향상과 건강에 대한 관심 증대로 스포츠 용품시장의 고급화가 진행되고 있다. 그러나 자전거 국내수요의 약 60% 이상이 수입품이며, 특히 탄소섬유를 활용한 고급제품의 대부분이 수입되는 실정을 고려할 때 탄소섬유를 이용한 자전거 프레임 및 부품 생산 시장은 밝다고 생각된다. 특히, 현재 활발한 자전거 도로 확충 등을 통하여 정부는 자전거의 교통분담률을 향후 10년 이내에 20%로 끌어올릴 계획인

것을 고려하며, 탄소섬유복합재의 자전거 시장 진출이 향후 활발할 것으로 예상된다.



<그림 15. 탄소섬유복합재를 이용한 자전거 용품>

자전거와 더불어 의료용 장비에서도 탄소섬유복합재의 수요가 크게 증가할 것으로 생각된다. 최근 인구고령화와 장애우의 삶의 질 향상을 위한 관심이 증대되는 가운데 휠체어, 보행보조기 등 경량화가 요구되는 이동수단을 중심으로 탄소섬유 활용이 확대될 전망이다. 의료용 장비의 다양한 분야에 탄소섬유복합재의 응용이 가능하고 시장 확대도 예상되나 아직까지 탄소섬유복합재를 활용한 의료용 장비 시장이 구축되어 있지 않아 현재의 시장규모 파악 및 미래 예측이 어려운 실정이다 (<그림 16>). 하지만 본격적인 고령화 시대와 고령화 시대를 대비한 의료 복지 분야의 정부 보조 정책 강화 등을 고려할 때 의료용 장비 시장의 확대는 필연적이라고 판단된다.



휠체어



보행보조기



의족



의수

<그림 16. 탄소섬유복합재를 이용한 의료용 장비>

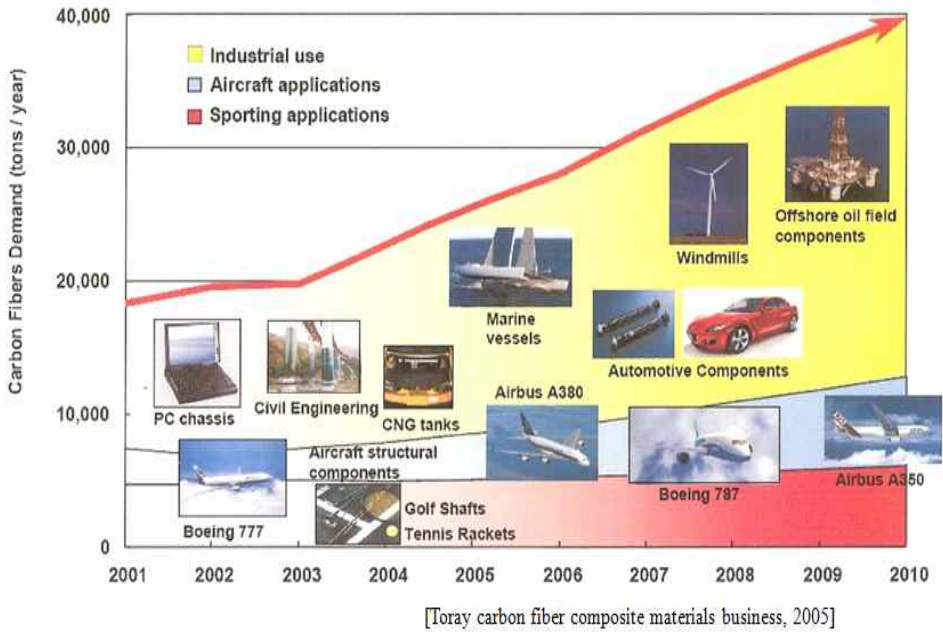
최근 폭발적으로 증가하고 있는 캠핑 인구를 고려할 때 캠핑용품 시장도 탄소섬유복합재의 틈새시장으로 생각할 수 있다(캠핑인구 250만명, 2,000개의 오토캠핑 동호회, 전국 300개 캠핑장). 특히 가족 중심의 캠핑인구의 증가로 여성의 캠핑용품 구매가 증가하고 있으며, 이에 따라 디자인과 휴대성을 겸비한 캠핑용품 시장이 확대될 것으로 판단된다. 캠핑용품이 기본적으로 견고하면서, 디자인과 휴대성이 뛰어나야 함을 고려할 때 탄소섬유복합재의 물성과 잘 부합하여 향후 캠핑시장에서 탄소섬유복합재의 수요가 증대될 것으로 생각된다. 구체적으로 야외 탁자, 의자, 텐트 지지대 등에서 이용 가능할 것으로 생각되며, 탄소섬유복합재의 가격경쟁력이 시장진입에 중요한 요소이다. 최근 고가의 캠핑용품 시장이 지속적으로 확대되고 있음을 고려할 때, 탄소섬유복합재의 시장진입 가능성은 충분한 것으로 판단된다.

4.3 세계 시장 동향

세계 탄소섬유시장은 일본에서 1970년대초 가시화된 이후 40년 후 2010년 이후 본격화된 것으로 판단된다. 세계 탄소섬유시장이 1980년 중반까지 도입기에는 주로 낚시대, 항공우주 2차 소재 등에 사용되었다. 그 이후 1990년 중반까지는 성장기로 항공기1차 소재로 그 용도가 확대되었다. 2000년 중반까지는 IT, 조선 등 산업전반으로 그 용도가 확대되는 국면이었다. 2005년 이후 본격적인 탄소섬유 시장의 본격적인 확대기로 평가하고 있으나 금융위기 이후 2009년 탄소섬유 시장이 급락함에 따라 실질적으로 2010년 이후가 본격적인 확대기로 평가하고 있다. 동 시기에는 항공기 뿐 아니라 풍력, 자동차 분야까지 그 영역이 확대될 것으로 전망된다.

탄소섬유의 산업별 비중을 보면 고부가가치인 우주항공 17%, 스포츠 11%, 건설 21%, 자동차(스포츠카) 23%, 산업재 8%, 전자 6%, 조선 6%, 전기 3% 비중을 차지하고 있다. 탄소섬유가 시장에 등장한 지 약 40년이 경과하였으나, 아직 섬유산업에서 차지하는 비중은 유리섬유에 비하여 매우 작다. 그러나 탄소섬유의 용도 개발이 활발히 모색되고 있고, 다양한 산업에서 탄소섬유의 수요가 예측되므로 향후 지속적인 시장 확대가 예상 된다 (<그림 17>).

탄소섬유/복합재료는 현재 시장 형성기로 향후 연평균 15%로 급격히 성장하여서, 2012년 11조원에서 2030년에는 약 80조원 시장을 형성할 전망이다. 또한, 현재 적용되고 있는 용도 외 신규 용도가 창출되고 있어 파급 효과는 더 커질 것으로 예상된다 (<표 11>). 구체적으로 세계 탄소섬유복합재 산업 시장규모 전망을 살펴보면 (<표 12>), 스포츠 및 레저산업에서는 탄소섬유의 시장이 성숙화 단계이므로 안정적인 수요 증가가 예상되고, 우주·항공 분야 및 일반 산업분야에서 탄소섬유복합재 시장의 수요가 크게 증가할 것으로 생각된다.



<그림 17. 탄소섬유 산업별 수요예측 [9]>

<표 11. 세계 탄소섬유 및 탄소섬유복합재 시장규모 및 전망 [11]>

구분		2012	2015	2020	2030	CAGR(%)
탄소섬유	물량 (톤)	45,000	70,000	140,000	600,000	15.4%
	금액 (Mil.\$)	2,040	3,000	5,000	15,200	-
탄소섬유 복합재료	물량 (톤)	67,000	104,000	210,000	900,000	15.3%
	금액 (Mil.\$)	10,300	15,100	25,200	78,000	-
합계 (mil.\$)		12,340	18,100	30,200	93,200	

<표 12. 세계 탄소섬유 복합재 산업별 시장규모 및 전망>

분야(용도)	항목	시장 규모(톤)	성장률(%)		현재상태	
			2007	2010		
스포츠 및 레저용	골프 샤프트, 라켓프레임, 낚시대	20,000	8-10	>5	성숙화 단계, 안정 성장분야	
우주·항공용	일반항공기, 우주왕복선	17,000	7-8	>20	보잉 B787 비행기 1대당 100톤	
산업용	압력용기	CNG 탱크	9,000	10-12	>15	청정 에너지라는 사회적 요청이 대두
	몰딩과 운드	전자, 항공기, 의료기기, 자동차 분야 등	15,000	20-30	>40	기계적, 열적·전기적 특성 부여
	토목건축	고속도로의 상판보강, 빌딩, 도로교각, 철도고가교의 보강	7,000	7-8	>10	건축보강의 본격화
	에너지관련	풍력발전용의 풍차브레이드	1,000	-	>30	지구환경보전, CO2 삭감이라는 관점

탄소섬유의 일본 업체들의 시장점유율은 세계 수요의 80% 정도에 달하고 있다. 1990년대에 예상했던 수요 확대 전망보다 다소 부진하게 시장이 확대되어 왔지만, 최근에는 대형 항공업체의 대형 프로젝트와 토목 및 일반 산업 분야에서의 용도 개발에 따른 수요 확대로 현재는 공급이 부족한 상태로 파악된다. 앞으로도 토목 및 일반 산업분야가 탄소섬유의 시장 확대를 주도할 것으로 예상된다.

탄소섬유를 기반으로 한 복합재 응용부문 중 항공/우주/방위산업 분야는 기술교류가 다른 분야에 비해 활발하지 않은 편이다. 이는 세계 34개국(한국, 일본, 미국, 러시아 등 포함, 중국 제외)이 회원국으로 가입된 미사일 기술 통제 체제(MTCR)에 있기 때문에 기술교류가 특정국가 일본, 미국에 집중된다. 현재 탄소섬유 중 가장 부가가치가 높은 분야가 우주항공 분야이지만 시장진입이 원활 하지 않은 편이다.

지역별로는 북미 지역이 세계 전체 수요의 40%대로 가장 큰 시장이며 유럽, 일본이 그 뒤를 따르고 있다. 북미와 유럽에서는 항공·우주 분야의 수요가 주를 이루고 있으며, 일본의 경우 초기에는 스포츠 및 레저산업이 주를 이루었으나, 최근에는 항공기 구조재료, 일반 산업용 소재, 자동차 및 에너지산업 관련 소재 등으로 시장이 확대되고 있다. 향후 중국을 중심으로 아시아지역에서 스포츠 및 레저산업에서의 수요 증대될 것으로 예상된다.

2001년까지만 해도 중국 복합재료 생산량은 세계의 10%정도에 불과하였으나 최근 해외 선진기술의 도입, 국가적 정책지원 등에 힘입어 기술개발 방향을 확정하고 본격적인 시장 확장에 나서고 있다. 중국 내에서는 체육용품시장을 중심으로 고성능 탄소복합소재가 이용되고 있으며 골프채, 테니스채, 스키, 스키차, 화살대, 낚싯대, 자전거대, 배의 노, 경주용 자동차 등에 수요가 증가하면서 관련시장이 커지고 있다. 그 외 토목·건축분야의 복합소재로드, 탄소섬유증강 베니어판, 탄소섬유증강 콘크리트, 탄소섬유 복합소재판, 탄소섬유막 등도 생산량이 급증하고 있다.

최근 세계 탄소복합재 시장에서 중국이 새로운 변수로 떠오르고 있다. 2005년 이후 중국의 복합재료 전체 생산량은 95만톤으로 전년 동기 대비 45.6% 증가한 수치를 기록하였으며, 수출량 역시 57만톤 규모로 전년대비 31.3%가 증가하면서 급격한 성장세를 보이고 있다. 또한 시장예측에 의하면 향후 생산능력의 증가속도는 둔화 되지만 수요량은 비교적 높은 수준을 유지하게 될 것으로 보여 불과 몇 년 사이 가장 경쟁력 있는 시장으로 떠오르고 있다. 중국의 탄소섬유 프리프레그 및 복합재료 제품은 가격 경쟁력을 갖추고 있어 중국시장의 성장은 국내시장에 직·간접적 영향을 주고 있다.

4.4 국내 시장 동향

2012년까지만 해도 국내 수요인 연간 2700톤을 일본 도레이 등 해외 업체에서 전량 수입했다. 이를 바탕으로 국내에서 7억달러 규모의 복합재료와 부품을 제조했다. 국내의 시장은 거의 대부분이 PAN계 탄소섬유 프리프레그 제품 시장으로 구성되어 있으며, 피치계 탄소섬유는 인장강도 등의 물성이 상대적으로 떨어져 국내에서는 거의 사용되고 있지 않고 있다.

한국카본, SK케미칼 등에서 탄소섬유 프리프레그를 생산하고 있으며, 탄소섬유는 전량 수입하고 있는 실정이다. 2012년 태광산업, 2013년 효성에서 국내의 기술로 탄소섬유를 생산하고 있지만, 제품의 품질 및 가격 경쟁력 등의 이유로 아직까지 국내 시장 진입이 활발하지 않은 것으로 판단된다. 국내 수요(2013년 2,700톤)중 300톤 내외만 국산 소재를 사용하였고, 국내 탄소섬유 업체는 일본 Toray 등이 생산하는 중간 성능(T-700) 등급의 탄소섬유를 양산 중이나 가격 경쟁력이 미흡하며, 복합재료/부품 분야는 자동차, 항공기 등 구조재에 사용되는 탄소섬유복합재료가 갖추어야 할 특성에 대한 정보가 부족한 실정이다.

2014년 현재 도레이첨단소재를 포함한 3개 회사의 국내생산 능력은 5,700톤으로 국내 수요량을 상회하는 수준이나 공급과잉 우려는

미미할 것으로 판단된다. 이 같은 판단은 현재 국내 탄소섬유 시장은 공급확대에 따른 가격안정이 신규 수요를 창출하는데 긍정적 영향을 미칠 것으로 전망되기 때문이다.

아직까지 국내에서는 스포츠 및 레저산업에 한정되어 수요가 있는 것으로 생각된다. 하지만 향후 환경 규제에 의한 자동차 경량화에 따른 자동차산업 시장, 자전거, 수상스키, 요트 등 다양한 레저산업 시장, 고령화 시대에 대비하여 휠체어 및 주행보조 기기 등 헬스케어 시장 등에서 탄소섬유복합재의 수요가 지속적으로 증대될 것으로 판단된다.

탄소섬유의 국내시장 규모는 아직 미미한 편이나 그 성장세는 빠를 것으로 전망된다. 특히 향후 세계 탄소섬유 시장은 항공분야 이외 반도체, 자동차, 조선 등 일반 산업용 수요성장세가 기타 수요시장보다 성장속도가 빠를 것으로 전망되기 때문이다. 특히, 향후 2015년 국내 핵심산업의 세계 경쟁력 목표가 설정된 조선, 반도체, 자동차 산업의 경쟁력이 추가로 확보될 수 있는 방안으로 탄소섬유의 확대 적용을 계획하고 있다.

최근 몇 년간 탄소섬유 복합소재에 대한 국내 기업의 관심이 부쩍 늘었으며, 이에 따른 결실로 핵심 소재 중 하나인 탄소섬유 국산화에 대한 성과가 나타나기 시작하였다. 또한 탄소섬유 프리프레그 생산량도 지속적으로 증가하여, 일부 품목은 내수는 물론 동북아 시장에서 우월적 지위를 얻고 있다.

그러나 프리프레그의 고품위화 및 항공용 소재 인증 부재로 항공용, 방산용 프리프레그의 대부분을 수입하고 있는 것도 현실이다. 프리프레그는 탄소섬유와 첨단복합소재를 이어주는 핵심 소재이다. 고기능성 프리프레그 수지 개발과 항공용/방산용 프리프레그 생산설비 확보 및 인증 체계를 확립하는 과제가 남아 있다.

5. 참고문헌

- [1] 교육과학기술부, 한국과학기술정보연구원, “탄소섬유의 최신 응용 동향” (2011).
- [2] 서민강, 박수진, “탄소섬유 제조방법 및 응용분야”, Polymer Science and Technology, Vol. 21, pp. 130-140 (2010).
- [3] R&D정보센터 “국가주력 6대 탄소산업 정부정책과 국내·외 산업 실태분석 및 발전전망” (2014).
- [4] 전라북도 “탄소밸리구축사업 예타대비 자료” (2009).
- [5] 교육과학기술부, 한국과학기술정보연구원, “초고온 탄소복합재료” (2009).
- [6] 서민강, 박수진, “항공기용 탄소섬유강화 복합재료의 개발동향 및 전망”, 섬유산업과 기술, 16(3), pp. 183-196 (2012).
- [7] 오창섭, 김영철, “탄소연속섬유 복합체 제조기술”, 한국과학기술정보연구원 2011.
- [8] 탄소섬유 기술 시장동향, JMS 2010.
- [9] Min-Kang Seo, Byung-Gak Min, Soo-Jin Park, “Carbon Fibers (II): Recent Technical Trends and Market Prospects of Carbon Fibers”, Carbon Letters, Vol. 9, pp. 324-339 (2008).
- [10] 김기석, 배경민, 오상엽, 서민강, 강창기, 박수진, “자동차 경량화를 위한 탄소섬유강화 복합재료의 동향”, Elastomers and Composites, Vol. 47, pp. 65-74 (2012).
- [11] (주)효성, “탄소섬유가 여는 창조경제”, 제5차 창조경제특별위원회 발표자료 (2013).
- [12] 정훈희, 김익수, “탄소섬유 프리프레그 산업의 최근 동향”, 섬유기술과 산업, 제10권 1호, pp. 75-87 (2006).
- [13] 장태진, “세계 민간 항공기 시장 동향과 전망”, 항공우주산업 기술동향, 8권 1호, pp. 12-22 (2010).

- [14] 관계부처 합동 민관합동창조경제 추진단, “탄소섬유복합재료 프로젝트” (2014).
- [15] 박형근, “기지개 켜 탄소섬유 시장 그 가능성은?”, 포스코경영연구소 POSRI 보고서 (2013).