

우주항공 분야 탄소섬유 복합재 시장 및 기술 동향

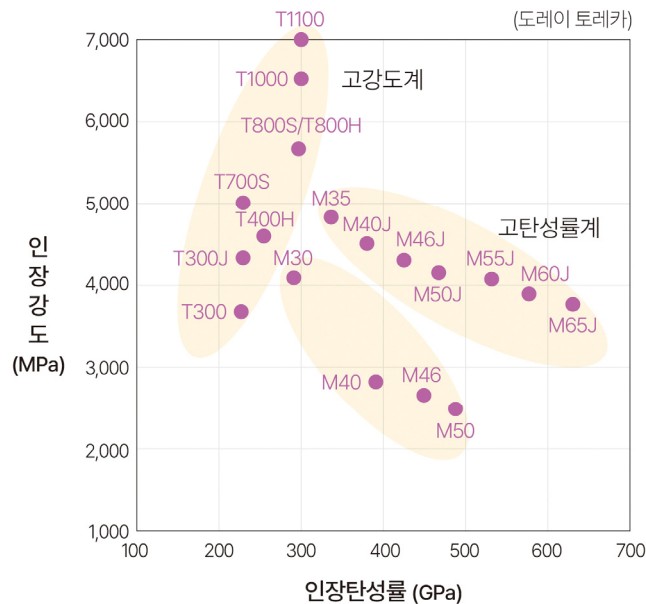
저자 최경호 탄소나노 PD KEIT
권기철 실장 한국탄소진흥원
박나라 선임 한국탄소진흥원
박효상 책임 KEIT

- 요약**
- 탄소섬유 복합재는 오일쇼크로 인한 연료 절감을 위해 1980년대 초반에 항공기 2차 구조재에 처음 적용되었으며, 1980년대 후반에는 1차 구조재까지 확대되었다. 현재 Boeing 787과 Airbus A350에는 탄소섬유 복합재를 50% 이상 적용하였으며, 온실가스 배출 저감과 에너지 효율 향상 등 지속적으로 경량화 소재·부품 적용을 확대하고 있다.
 - 우주산업은 기존 정부 주도에서 민간 영역으로 전환되면서 발사체 경량화를 통한 발사 비용 절감, 탑재 효율성 향상 등 경제적 실리를 추구하고 있다. UAM과 같은 차세대 이동체 분야에서 탄소섬유 복합재는 핵심 소재·부품으로 전망되고 있으며, 우주항공 산업의 탄소섬유 복합재 소재·부품의 산업적 니즈는 지속적으로 확대될 전망이다.
 - 우주항공 분야 글로벌 탄소섬유 복합재 시장은 2021년 26억 달러에서 연평균 19.52%로 성장하여 2027년에는 76억 달러 규모가 예상되며, 우주항공 분야가 전체 글로벌 탄소섬유 복합재 시장의 49%를 점유할 것으로 예상된다. 경량화 이슈 및 차세대 이동체 개발에 따른 탄소섬유 복합재 소재·부품의 수요 증가가 주요 성장동력으로 전망된다.
 - 우주항공용 탄소섬유 복합재 부품 제조에서 결함이 없고 우수한 품질의 오토클레이브 성형이 일반화되어 있다. 하지만 초기 장비투자 비용이 높은데다 고온·고압, 장시간, 저생산성 등의 단점으로 최근 Out of Autoclave 성형공정이 활발히 적용되고 있다.
 - 또 우주산업에서의 민간주도 다품종 소량 생산이라는 산업적 특성이 나타나고 있으며, 향후 차세대 이동체의 폭발적 수요량 증가를 충족시키기 위하여 양산화 기술개발이 요구되고 있다. 나아가 우리나라 우주항공산업의 글로벌 경쟁력 강화를 위해서는 산업적 특성을 고려한 탄소섬유 복합재 제조기술 확보가 필요하다.

1 우주항공분야 탄소섬유복합재 개요

탄소섬유 및 탄소섬유복합재란?

- 탄소섬유(Carbon Fiber)는 PAN(Polyacrylonitrile) 수지, 석유계·석탄계 피치(Pitch), 레이온(Rayon)으로부터 제조된 섬유로서 탄소 원소의 질량 함유율이 90% 이상인 탄소계 섬유 소재다. 비중은 철의 1/4, 비강도는 철의 10배 이상, 비탄성률은 철의 5배 이상으로 매우 높은 역학적 특성을 갖고 있다.
- 탄소섬유는 1971년 일본 도레이社에서 PAN계 탄소섬유를 처음으로 상업화하여 생산했다. 인장탄성률이 기준이 되어 초고탄성률(UHM, 탄성률 600GPa), 고탄성률(HM, 탄성률 350~600GPa), 중탄성률(IM, 탄성률 280~350GPa), 표준탄성률(HT, 탄성률 200~280GPa), 저탄성률(LM, 탄성률 200GPa 이하) 등으로 정립되어 있다. 인장강도는 탄소섬유 기술 개발에 따라 초고강도, 고강도, 범용으로 구분하면서 인장강도 기준이 변하지만, 현재 기준은 초고강도(UHT, 인장강도 7.0GPa), 고강도(HT, 인장강도 6.4GPa), 범용(IT 5.0GPa)으로 구분하고 있다.



출처: 히라마츠 토오루, 『가장 친절한 탄화수소 책』(일간공업신문사, 2012년)

그림 1.
역학적 성능에 따른 탄소섬유의 분류

- 탄소섬유는 대개 단독으로 사용되기보다 탄소섬유에 기지(基地) 재료인 플라스틱 수지(Plastic Matrix)를 함침(含浸)한 후 열과 압력을 인가하여 탄소섬유복합재(CFRP, Carbon Fiber Reinforced Plastic) 형태로 성형한 후 사용한다. 이렇게 제조된 탄소섬유복합재는 높은 비강도, 우수한 피로 특성,

높은 진동 감쇠 및 흡수 특성, 낮은 열팽창 및 치수 안정성 등의 장점을 갖고 있어 특히 우주항공 분야의 핵심 소재로 적용되고 있다.

- 탄소섬유복합재는 대표적인 경량 소재로 높은 역학적 특성과 내산화성이 우수하여 모빌리티(우주항공, 자동차, 기차 등), 에너지(풍력 블레이드, 수소 저장 용기, 연료전지 등), 스포츠·레저(골프채, 낚시대, 테니스 라켓 등), 건축(구조물, 파이프, 보강재 등) 등 응용 분야가 빠르게 확대되고 있다. 특히 기후 변화에 따른 산업에서의 경량화 니즈 및 차세대 이동체의 핵심 소재로 사용되는 탄소섬유복합재의 적용 범위와 수요는 급격하게 증가할 것으로 전망된다.

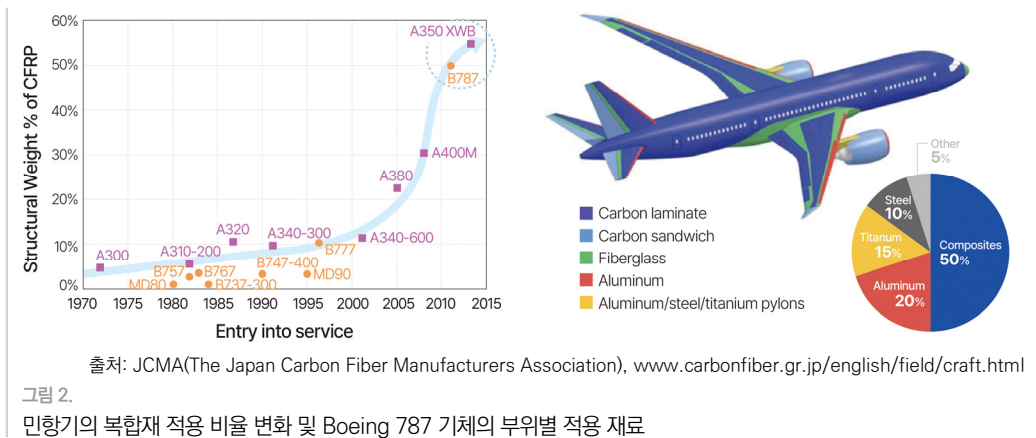
표 1. 탄소섬유 복합재의 응용 분야

분야	용도
우주·항공	항공기 동체/날개/부품, 인공위성 구조체 및 부품, 항공기 브레이크, 경량 전투기, 헬리콥터 로터 블레이드
스포츠·레저	골프채, 낚시대, 테니스 라켓, 스노보드, 요트/보트, 가방, 활, 화살
자동차산업	선루프 프레임, Hood, Door, Fender, Wheel, 차체 프레임, 브레이크 디스크/패드, 공기 없는 타이어
신재생에너지	풍력발전기 블레이드, 수소연료전지의 Bipolar plate, 수소 연료 저장 탱크, CNG 탱크
토목·건축	해양 구조물, 고압력용 해저 유전 송유 파이프, 해저 유전 굴삭기, 콘크리트 보강재, 단열재, 충전제, 산업용 케이블 로브
전기·전자 재료	전자기기 외장재(경량 및 전자파 차단), 카메라 삼각대
생체·의료	인공관절, 인공뼈, 인공장기용 필터, 의족, 보행 보조기기, 휠체어
방산	특수탄, 경량 구조 부품, 방탄조끼, 헬멧
환경	화학 필터, 정수/정화용 필터

2 우주항공분야 탄소섬유산업 현황

항공산업 현황

- 탄소섬유복합재는 1973년 오일쇼크를 계기로 1976년부터 연비 절감을 목표로 한 NASA의 'ACEE 프로그램'을 통해 항공분야에 적용되기 시작했다. 1·2차 구조 부위에 대한 복합재 적용을 연구했으며, 그 결과로 1983년 B767의 2차 구조 부위에 탄소섬유복합재를 적용하기 시작했다. 또한 에어버스社도 1979년부터 A300 기종에 탄소섬유복합재를 이용하여 방향타나 보조 날개 등에 대한 시험을 실시했고, 1980년 초반 A310의 2차 구조 부위에 탄소섬유복합재를 적용했다. 또한 1980년대 후반부터 하중을 많이 받는 1차 구조 부위(주익, 동체, 미익 등)에 탄소섬유복합재를 적용했다.
- 현재 대형 민항기 분야에서는 경량화 이슈가 지속적으로 제기되어 Boeing社와 Airbus社에서는 지속적으로 항공기 부품(동체, 날개, 내장재, 브레이크 등)에 탄소섬유복합재 사용 비율을 높이고 있다. Boeing 787과 Airbus A350 민항기는 기체중량 중 50% 이상에 복합재료를 적용하고 있다.



- 항공산업은 전 세계적으로 온실가스 배출량을 가장 빠르게 증가시키는 산업 중 하나로 혁신적인 변화가 요구되고 있다. 기후변화에 대한 탄소중립을 선도하는 유럽연합은 2050년까지 이산화탄소 배출량 제로를 목표로 하는 'Flightpath 2050' 계획을 발표했다. 또 CO₂ 배출 저감 로드맵의 주요 조치사항으로, 경량화 소재·부품 기술 및 수소와 전기 등 친환경 동력 항공기 개발을 채택했다. 따라서 1·2차 구조재와 내장재뿐만 아니라 수소연료전지 항공기 개발에 따른 수소저장탱크 및 수소저장탱크 구조물에 탄소섬유 복합재가 적용되어 탄소섬유 복합재 부품 수요는 지속적으로 증가할 전망이다.

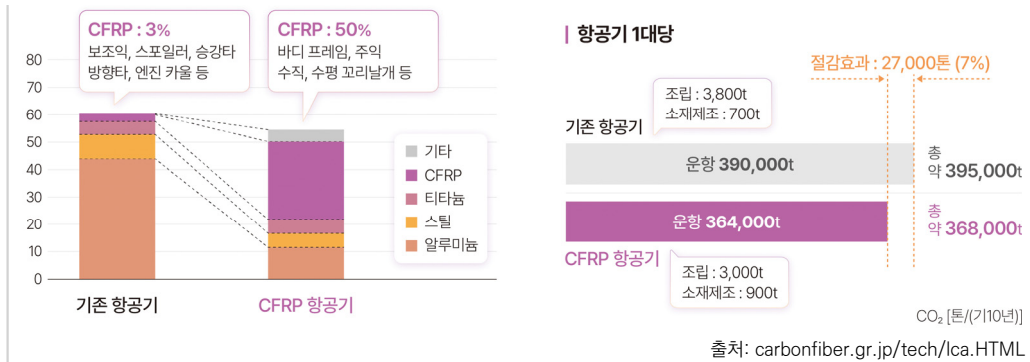
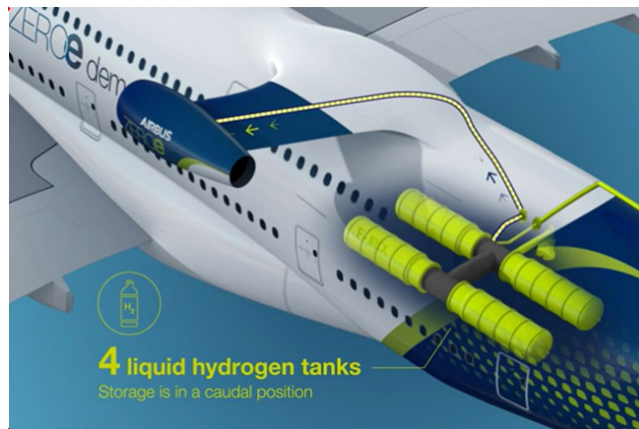


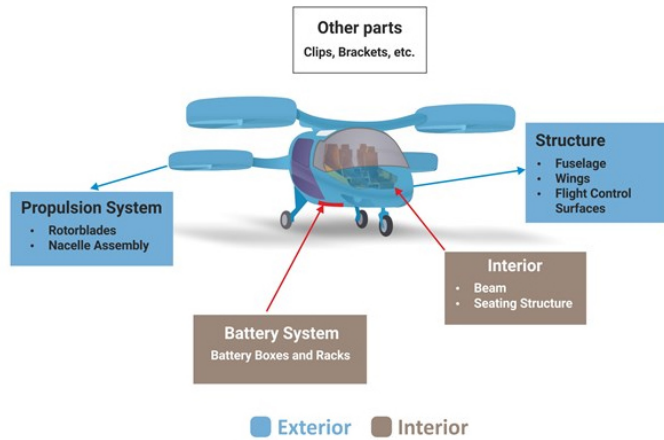
그림 3.
기체 구조의 경량화 효과 및 CO₂ 배출량 비교



출처: Airbus社 홈페이지

그림 4.
수소연료 항공기용 탄소섬유복합재 고압 탱크

- UAM 등 차세대 이동체(AVV, Advanced Air Vehicles) 개발에 의한 항공산업에서의 탄소섬유복합재 수요는 지속적으로 증가할 것으로 전망된다. 차세대 이동체는 자율비행과 하이브리드 전기추진으로 장시간 비행이 가능한 미래지향적 비행체로서 경량화가 필수적으로 요구되는 분야다. 따라서 현재 우주항공산업에 적용되고 있는 탄소섬유복합재를 기반으로 적용이 확대될 것으로 판단된다. 이에 더하여 인증산업 특성상 차세대 이동체 개발 초기에 검토 및 적용된 소재가 부품시장을 독점할 것으로 예측할 수 있다. 따라서 초기 모델에서부터 소재-부품-체계 기업 간 긴밀한 협조 및 협력 구도를 구축하고 있다.



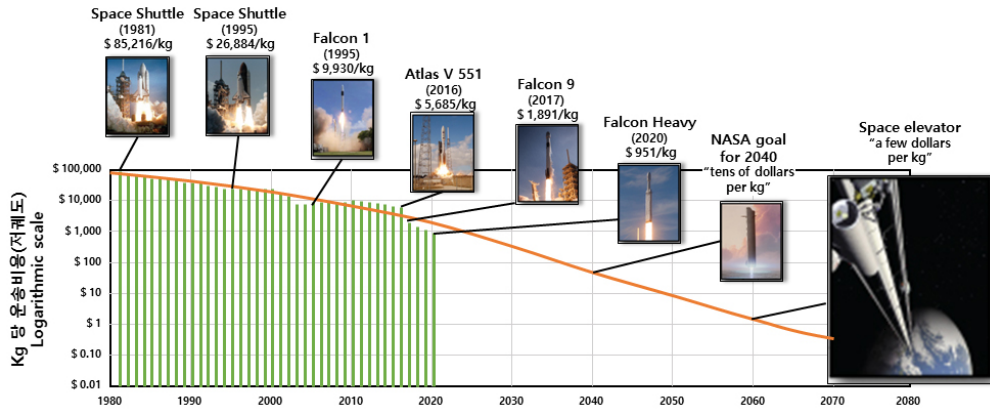
출처: Composite World

그림 5.

UAM 기체에서 탄소섬유 복합재의 적용 대상

우주산업 현황

- 우주개발 주도권이 국가에서 민간으로 이전하는 추세이다. 기존의 우주개발은 국가주도의 과학적 탐사와 국방용 개발이 주류였으나, 최근 발사체 및 소형 위성체 시장을 중심으로 민간 기업의 참여가 활성화되고 경제적 실리를 추구하는 상업적 시장으로 변화되고 있다.
- 민간 주도 우주산업의 변화로 발사비용 절감 및 운송능력 향상에 기여하는 경량화 특성이 우선시되고 있다. 뿐만 아니라 음향, 충격, 진동 등의 동하중을 견딜 수 있는 역학적 특성, 우주환경의 극심한 온도차(+150℃~-170℃)에도 견딜 수 있는 우수한 내열적 특성으로 인해 탄소섬유 복합재가 우주산업 부품의 핵심소재로 사용되고 있다.
- 특히, 우주산업에서의 경량화는 경제적 효과와 직결된다. 발사체의 경우 경량화를 통한 경제적 효과는 현재 운용중인 Falcon 9(기체중량 550톤, 90회 발사 성공) 기준 기체중량의 10%를 경량화하면 1억 달러 정도, 발사 수(90회)를 고려하면 90억 달러의 경제 효과를 기대할 수 있다. 그림 6에는 연도별 발사체 개발추이 및 경량화에 따른 비용 절감 효과를 도식화했다.
- 우주산업의 경우 민간 주도의 패러다임 변화로 각 기업의 제품에 맞는 맞춤형 설계, 형상에 따른 제조공정 등이 요구되면서 다품종 소량생산의 산업적 특성이 관찰되고 있다. 하지만 기술 중요도가 높고 자본 집약적인 산업 특성상 영세한 중소기업이 쉽게 접근하기에는 시장의 진입 장벽이 높다.



출처: Launch costs to low Earth orbit, 1980-2100.

그림 6.

우주 발사체 개발 추이 및 kg당 운송 비용 변화

탄소섬유복합재의 우주항공용 부품 적용현황 및 전망

- 탄소섬유는 우주항공 분야 부품에 요구되는 특성인 경량화, 고강도, 고탄성, 고내열성, 치수 안정성 등에 우수한 소재로, 직물, 프리프레그(Prepreg), 샌드위치 패널 등의 부품 형태로 우주항공산업 분야의 핵심 부품에 적용되고 있다.

표 2. 우주항공용 탄소섬유 복합재의 소재·부품 적용 현황

산업	적용 분야	부품	적용 소재
항공	항공기	동체	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 고강도)
		날개	
		엔진 부품 및 프로펠러	
		인테리어	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 범용 강도)
		조종익면	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 범용 강도)
		도어	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 범용 강도)
		압력 격벽	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 범용 강도)
	UAM	동체	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 고강도)
		날개	
		프로펠러 및 구조체	
		인테리어	탄소섬유 프리프레그(표준탄성, 범용 강도)

산업	적용 분야	부품	적용 소재
우주	위성체	위성 구조체	탄소섬유 프리프레그 등(중탄성, 고강도 이상)
		태양광 구조체	
		태양광 패널	탄소섬유 프리프레그 등(고탄성, 범용/고강도)
	발사체	페이로드 페어링	탄소섬유 프리프레그 등(고탄성, 범용/고강도)
		동체	탄소섬유 프리프레그 등(표준탄성, 고강도)
		연료탱크	
		케이블 덕트	탄소섬유 프리프레그 등(표준탄성, 범용 강도)
		추진체 노즐	C-C 복합재료 등

우주항공산업 분야에서 탄소섬유복합재 산업의 특징

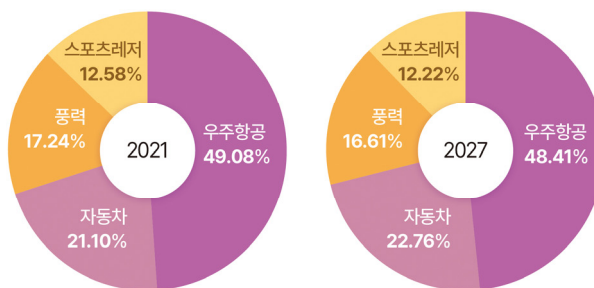
- 우주항공 분야에서 탄소섬유산업의 특징은 ① 중간재 산업, ② 기술 중요도가 높은 산업, ③ 자본집약적 산업, ④ 시장진입 장벽이 높은 산업, ⑤ 해외 의존도가 높은 산업이라는 점이다.

표 3. 우주항공용 탄소섬유 복합재 산업의 특징

특징	내용
중간재 산업	전방 산업이 요구하는 소재를 공급하는 중간재 산업으로, 요구 물성과 기능성을 부여한 소재의 생산이 핵심 요소이다.
기술 중요도가 높은 산업	소재 가공 기술, 제조 공정 기술 등 기술 중요도가 높고 원천 기술 확보 여부가 시장 참여 업체의 주요 경쟁력으로 작용한다.
자본집약적 산업	기술 개발에 장기적인 투자가 필수적이고 초기 설비 구축 및 생산을 위한 대규모 투자가 요구되는 산업으로 막대한 자본 투자에 대한 부담이 높다.
시장 진입 장벽이 높은 산업	기술 수준이 높고 수요처 확보가 어려우며, 인증 기반 산업으로 신규 업체의 시장 진입이 매우 제한적이다.
해외 의존도가 높은 산업	초고강도, 초고탄성 등 고품질 소재 기술의 열위, 원재료의 높은 수입 비중, 내수 공급량 부족 등으로 해외 의존도가 매우 높은 편이다.

3 시장규모 및 전망

- 글로벌 탄소섬유복합재 시장의 규모는 2021년도 기준 53억 달러에서 연평균 19.85%씩 성장하여 2027년에는 157억 달러까지 성장할 것으로 전망된다. 응용분야별 시장점유율은 2021년 기준 우주항공분야가 49.08%로 가장 높았으며, 자동차(21.10%), 풍력(17.24%), 스포츠·레저(12.58%) 순으로 조사되었다. 2027년에도 응용분야별 순위변동 없이 점유율만 1% 내외로 변동할 것으로 전망된다.

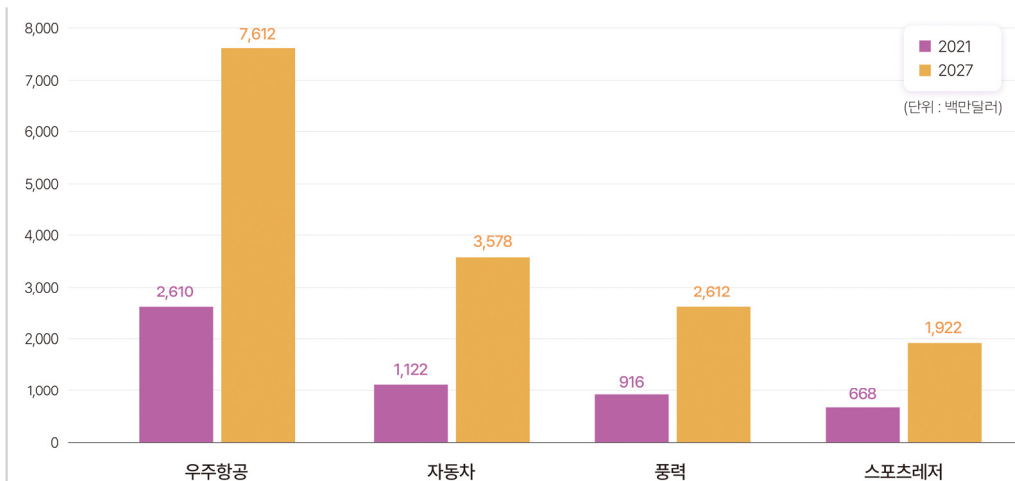


출처: 360iResearch, Carbon Fiber Reinforced Plastic Market research Report.

그림 7.

글로벌 탄소섬유 복합재의 응용 분야별 시장 점유율

- 글로벌 우주항공 분야 탄소섬유복합재 시장의 규모는 2021년 26억 달러에서 연평균 19.52%씩 성장하여 2027년에는 76억 달러의 시장이 형성될 것으로 전망된다. 주요 성장동력으로는 우주산업 및 UAM과 같은 차세대 이동체 시장에서의 수요가 증가할 것으로 예상된다.



출처: 360iResearch, Carbon Fiber Reinforced Plastic Market research Report.

그림 8.

글로벌 탄소섬유 복합재의 응용 분야별 시장 규모

4 기술개발 현황

- 소재 산업에서의 원천 기술 확보는 전방 산업의 경쟁력과 긴밀하게 연관되어 있다. 국내 탄소섬유 산업은 최근 몇 년간 정부의 지원을 통해 범용 탄소섬유소재 분야에서는 기술 자립화를 달성했으며, 초고강도, 초고탄성 등 고품질 탄소섬유 원천기술의 개발을 추진하고 있다. 나아가 우주항공 탄소섬유 복합재의 내열특성 향상을 위한 수지개발 연구, 지속가능한 탄소산업의 선순환체계 구축을 위한 열가소성 플라스틱 적용 연구, 에너지 효율 및 생산성 향상을 위한 성형공정 개발이 활발하게 진행되고 있다.
- 탄소섬유복합재의 핵심 요소인 탄소섬유를 제조하는 효성첨단소재(주)는 2022년도에 인장강도 6.4GPa, 탄성을 295GPa 이상의 'H3065(T-1000급)' 고강도 탄소섬유 개발에 성공했다. 현재 고강도 탄소섬유 H3065(T-1000급)는 파일럿 수준의 양산기술 확보를 위해 공정 최적화, 품질 안정화 등 기술 고도화가 진행될 것으로 기대된다.
- 글로벌 선도 기업인 도레이는 초고강도 탄소섬유(T1100급, 인장강도 7.0GPa)를 2020년에 개발 성공하여 1세대 차세대 이동체 시장 선점을 위하여 초고강도 탄소섬유의 초기 모델 적용 및 인증 활동을 진행하고 있다. 국내의 경우 고강도 탄소섬유(T1000급) 기술개발에 이어 최신 항공기 동체 및 부품, 인공위성을 비롯한 우주 발사체 등 우주항공산업에 핵심소재로 적용되는 초고강도, 초고탄성 탄소섬유 소재의 원천기술 개발을 추진하고 있다.
- 항공우주산업의 주요 구조재 및 내장재로 적용되는 탄소섬유복합재는 부품의 성능과 안전성을 보장하는 데 중요한 역할을 한다. 특히 고온 환경에 노출되는 요구특성으로 인하여 탄소섬유복합재에 결합제로 적용되는 수지의 내열 특성 향상을 위한 연구도 병행하여 진행 중으로, 우주항공 탄소섬유복합재에 적용되는 주요 열경화성 수지 및 특성은 다음과 같다.
 - 폴리이미드 수지(Polyimide Resin): 뛰어난 열 안정성과 고온 저항성으로 알려진 폴리이미드 수지는 300℃ 이상의 온도를 견딜 수 있으며, 다양한 구조 및 내열 부품에 사용된다.
 - 시아네이트 에스테르 수지(Cyanate Ester Resin): 우수한 내열성과 낮은 가스 방출 특성으로 우주(위성 및 발사체, 우주 탐사선) 부품에 적합하다.
 - 비스말레이미드 수지(Bismaleimide Resin): 우수한 내열성, 낮은 열전도도, 낮은 수분흡수성 및 기계적 특성(인성 및 압축강도)으로 이미 수년 동안 우주항공 분야에 사용되고 있다.
 - 고성능 에폭시 수지(Advanced Epoxy Resin): 열적으로 안정적이지는 않지만 우수한 역학적 특성으로 인하여 우주항공 분야에서 여전히 많이 사용되고 있다. 내열성 향상 및 고온열화 특성을 보완하기 위한 추가적인 연구가 진행되고 있다.
 - 나노복합수지(Nanocomposite Resin): 나노입자를 수지에 첨가하여 열전도도(열방출)를 향상시켜 열로 인한 분해에 대한 저항성을 향상시키는 연구가 진행 중이다.

- 탄소섬유 프리프레그는 복합재료 부품·제품 생산공정에 바로 사용할 수 있는 중간단계의 제품이다. 프리프레그는 열경화성(Thermosetting)과 열가소성(Thermoplastic) 수지가 모두 사용될 수 있으며, 현재까지는 대부분 열경화성 수지를 사용하고 있으나 향후 열가소성 수지의 사용이 증가할 것으로 예상된다. 열경화성 수지는 한 번 열을 가하여 성형하면 재성형이 되지 않는 특성이 있지만, 물성이 우수한 장점이 있다. 반면 열가소성 수지는 물성적 제약이 있으나 열을 가하여 재가공할 수 있는 특징이 있어, 지속가능한 탄소산업의 선순환체계 구축을 위해 열가소성 수지의 물성 보완 연구와 이를 적용한 우주항공용 탄소섬유복합재 개발도 활발히 진행 중에 있다.
 - 폴리에테르에테르케톤(Polyetheretherketone): PEEK는 우수한 기계적 특성, 내화학성 및 고온안정성으로 알려진 고성능 열가소성 수지로, 엔진부품, 항공기 내장부품, 구조 요소부품 등에 사용된다.
 - 폴리아릴에테르케톤(Polyaryletherketone): PAEK는 PEEK 및 PEK와 같은 고온안정성과 우수한 기계적 특성으로 엔진부품, 구조부품 등에 적용된다.
 - 폴리페닐렌 설파이드(Polyphenylene Sulfide): PPS는 우수한 고온내열성, 내화학성 및 기계적 특성으로 인하여 엔진부품, 전기 커넥터 등 열 손상을 방지하기 위한 부품으로 사용되는 고온 열가소성 수지다.
 - 폴리에테르이미드(Polyetherimide): PEI 수지는 우수한 기계적 특성, 고온저항성 및 난연성을 갖고 있으며, 내부 객실패널, 덕트, 항공 전자부품 등에 적용된다.
 - 폴리아릴술폰(Polyarylsulfone): PAS는 우수한 내열성과 기계적 특성으로 브래킷, 커넥터 등에 적용된다.
- 현재 우주항공 분야에 적용되는 탄소섬유복합재의 부품 성형은 대부분 오토클레이브 기술이 적용되고 있다. 프리프레그를 여러 겹으로 원하는 형상의 몰드에 적층한 후 고온(180℃), 고압(6기압) 하에서 성형하는 기술이다. 고품질이 요구되는 우주항공용 복합재의 부품 성형에 사용되고 있으며, 복잡한 형상의 제품 성형에도 결함이 없는 고품질의 제품을 얻을 수 있다.
- 다만 오토클레이브 성형 기술은 고온(180℃), 고압(6기압) 하에서 성형시간이 12시간으로 길기 때문에 생산성이 낮고 장시간 성형에 따른 높은 공정비용(수소, 질소 가스 등)과 장비 투자비가 높고 부품 크기가 제한적이다. 또한 최근 탄소중립 이슈에 따른 배출가스 감소 및 에너지 절감(효율화)의 지속적 요구로 OoA(Out of Autoclave) 기술이 활발하게 연구되고 있다.
- 이와 더불어 종래의 핸드 레이업(Hand Lay-up)에서 자동화 기술이 적용된 ATL(Automated Tape Laying), AFP(Automated Fiber Placement) 기술이 각광 받고 있다. ATL과 AFP 기술을 통하여 3차원 구조의 일체형 제품 제조가 가능해졌으며, 자동화 적층 기술 기반을 통해 재료의ロス 절감(원자재 절감), 공정 시간과 비용 절감(에너지 효율), 제품의 재현성(형상, 특성 등) 및 생산성 향상 측면에서 장점을 가지고 있다.
- 향후 차세대 이동체 시장 형성에 따라 기존의 대형 항공기와 달리 생산 대수가 급격히 증가하여 자동화 대량생산의 산업적 수요가 증가할 것으로 예상된다. 산업적 수요를 충족시키기 위하여 기존

오토클레이브 성형 기술이 가진 소량 양산 체제에서 Compression Molding, Press/Stamp forming과 같은 양산화 기술로의 플랫폼 전환이 필요하다.

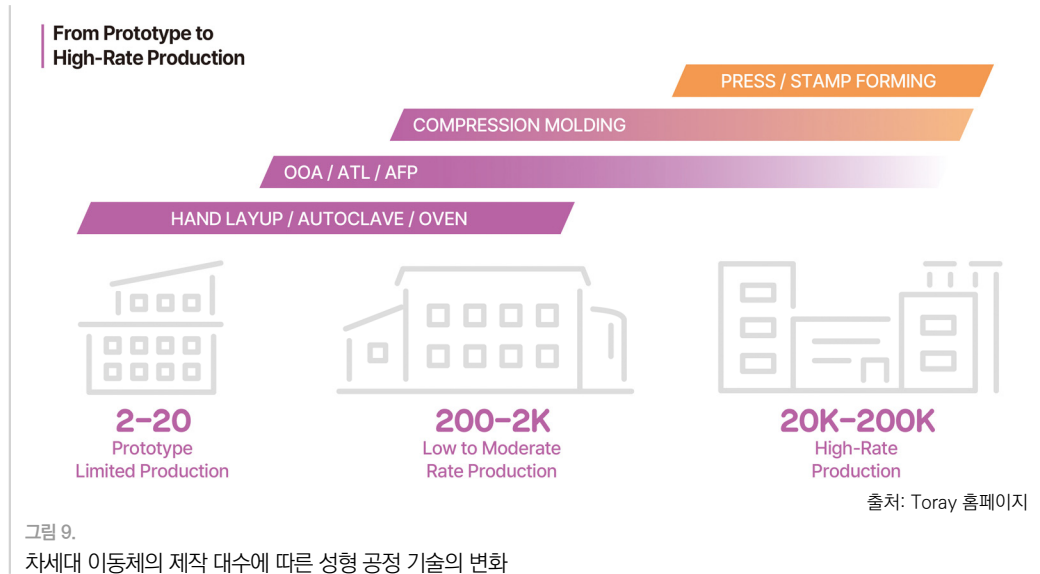


표 5. 탄소복합재 부품 제조를 위한 주요 기술 및 특징

기술명	주요 특징	개념도
오토클레이브 (Autoclave)	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 1·2차 구조재, 발사체, 인공위성, 차세대 이동체 부품 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 열경화성 수지를 함침시킨 프리프레그를 적층한 후 고온, 고압, 진공 등의 환경 제어를 통해 부품 제조 	
와인딩 (Winding)	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 수소 압력 용기(탱크) 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 와인딩 장력, 와인딩 각도에 따른 물성 설계 가능, 실린더나 구형의 압력 용기 제조 용이 	
RTM (Resin Transfer Molding)	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 1·2차 구조재, 발사체, 인공위성, 차세대 이동체 부품 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 오토클레이브 성형보다 성형 시간과 설비 투자 비용을 절감, 대면적 복합재 부품 생산에 유리 	
Resin/ Vacuum Infusion	<ul style="list-style-type: none"> 민항기용 복합재 날개 수지필름 함침법(RFI)과 수지 충전 공정(RTM) 생산 단가, 무게 절감 추진 	
ATL (Automated Tape Laying)	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 1·2차 구조재, 발사체, 인공위성, 차세대 이동체 부품 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 열경화성 UD 테이프, 대형 단순 형상 제조 유리 AFP 공정과 작동 원리가 비슷하지만, 대형 복합재 부품 제조 및 대량생산(45kg/시간)이 가능 	
AFP (Automated Fiber Placement)	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 2차 구조재, 발사체, 인공위성, 차세대 이동체 부품 등 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 건식 탄소섬유에 열과 압력 가하여 적층시키는 공정으로 각 플라이를 서로 다른 각도로 배치하여 필요한 특성을 구현할 수 있으며, 자동화를 통하여 재료의 스크랩이 거의 없고 섬유 방향과 위치 제어가 용이 	
Press/ Stamp Forming	응용 부품 <ul style="list-style-type: none"> 항공기 1·2차 구조재, 발사체, 인공위성, 차세대 이동체 부품 주요 특징 <ul style="list-style-type: none"> 열가소성 탄소복합재 성형 공법으로 히팅→트랜스퍼→포밍→탈형 순으로 이루어진 자동화 고속 열성형 공정 항공기 동체 등 대형 제품 성형을 위하여 일체형 복합재 성형 공정기술 개발 진행, 조립 시간의 단축 및 자동화를 통한 양산화 기술 개발 진행 	

5 소재부품 인증 및 트랙레코드 확보 현황

- 우주항공 산업은 인증 산업으로 초기 개발 시 소재의 준비 완료 및 검토 적용이 중요하다. 개발이 완료(기체 형식인증 완료)되면 소재의 중도 변경은 거의 불가능하여 후발 기업의 추가 시장진입이 어렵다. 이러한 특성을 고려하면 초기 시장 선점이 매우 중요하다.
- 국내 유일의 탄소섬유 제조업체인 효성첨단소재(주)는 'H3065(T-1000급)' 고강도 탄소섬유 개발에 성공하면서 기술력을 확보한 것으로 보고하고 있으나, 우주항공 시장에는 아직 진출하지 못한 실정이다. 특히 일본과 미국이 우주항공 소재시장의 87%(도레이 45%, 테이진 15%, 미쓰비시 5%, HEXCEL 13%, Cytec 9%)를 점유하는 확고한 시장 입지로 인해 진입 장벽이 높은 상황이다.
- 대한항공은 2004년부터 보잉 차세대 항공기 'B787' 제작·설계 사업에도 참여해 현재 레이키드 윙팁(Raked Wing Tip), 후방 동체(After Body), 날개 구조물인 플랩 서포트 페어링(Flap Support Fairing) 등 5가지 핵심 부품을 제작·공급하고 있다. 또한 한국항공우주산업은 B787 날개 및 기체 구조물 부품을 제작·공급하고 있다.
- 한국화이바는 세계 최고의 소형 무인기 제조업체인 미국 AeroVironment의 글로벌 공급망에 부품 납품을 목적으로 업무 협약을 체결했다. 한국카본은 이스라엘 IAI로부터 G-280 꼬리날개를 수주해 제작 중으로, 자체 개발한 프리프레그의 해외 인증도 추진하는 등 국제 경쟁력을 갖추기 위한 노력을 진행하고 있다. 코오롱테크컴퍼지트(주)의 복합소재 제품은 국내 업체인 이노스페이스의 초소형 발사체에 적용되어 브라질에서 시험발사를 성공적으로 진행한 실적이 있다.
- 일부 국내 기업들은 자체 기술력을 통하여 글로벌 우주항공 업체에 납품하는 성과가 나오고 있지만, 결국 항공용 탄소섬유복합재의 국산화 및 자립화를 이루려면 트랙 레코드 확보가 필요한 실정이다. 이에 정부 차원에서 적극적으로 기업을 유도할 필요가 있으며, 소재나 부품 개발의 단편적인 과제 지원이 아닌 인증과 적용을 염두에 둔 중·장기 대형·통합형 사업이 필요할 것으로 관측된다.
- 또한 2030년 이후 대량 양산이 예상되는 차세대 이동체 시장에서 국내 부품-소재-체계 업체의 공급망 구축 및 생태계 활성화를 위해서는 항공기 국내 설계·개발 이전에 핵심 소재의 개발 및 인증이 완료되어야 한다. 장기간 소요되는 소재 개발·인증(3~5년)과 항공기 개발 일정(5~10년)을 고려하면 현 시점에서 적극적인 준비가 필요한 실정이다.

6 관련 제언

- 탄소섬유는 우주항공 및 미래 모빌리티 산업의 핵심 소재로 고품질(초고강도, 초고탄성) 탄소섬유에 대한 수요는 지속적으로 증가할 전망이다. 현재 고강도(T1000급, 인장강도 6.4GPa) 탄소섬유 개발을 통하여 초고강도(T1100급, 인장강도 7.0GPa) 탄소섬유 원천기술 확보를 위한 기술적 역량과 잠재력은 확보한 것으로 판단된다. 하지만 기술 중요도가 높고 초기 시장 선점이 중요한 인증 산업의 특성을 고려하면 우주항공산업의 경쟁력 확보(강화)를 위해 차세대 소재 개발을 위한 원천기술 확보가 지속적으로 필요하다. 특히 탄소섬유복합재의 경우 방산분야에도 핵심소재로 적용되기 때문에 국방 분야와 기술개발 협력을 통한 장기적 지원도 필요할 것으로 예상된다.
- 현재 고품질의 우주항공용 탄소섬유복합재 부품 제조는 오토클레이브 공정을 통하여 제조되고 있다. 고온, 고압 환경에서 장시간의 경화공정을 통해 내부 결함이 없는 고품질의 제품을 얻을 수 있다. 하지만 고가의 장비로 인한 초기 투자비용이 높고 공정시간에 따른 생산량의 한계와 높은 에너지 소비량으로 인한 원료(수소 및 질소 가스) 사용량이 높아 고비용 공정이라는 단점이 있다. 따라서 최근에는 OoA, ATL, AFP 등 자동화 기반의 성형기술 개발이 활발하게 연구되고 있으며, 추후 차세대 이동체의 생산 니즈에 부응하기 위해서는 양산화 기술개발이 시급하다고 볼 수 있다. 특히 기지재인 플라스틱 수지와 결합되어 사용되는 탄소섬유복합재는 수지의 특성에 따라 성형공정이 결정되기 때문에 ‘우주항공용 고기능성 열가소성 수지+공정기술 개발’과 같은 패키지형의 R&D 사업 추진을 통한 효율적인 접근이 필요하다.
- 우주항공 탄소섬유복합재 부품제조 기업들은 자체 기술력을 통하여 글로벌 체계기업에 납품하고 있다. 하지만 국내 탄소섬유는 적용되고 있지 않아, 우주항공용 고강도 탄소섬유 글로벌 시장 진출에는 아직 미비한 실정이라 할 수 있다. 국내 우주항공용 탄소복합재 소재 및 부품에 대한 인증 및 트랙레코드 확보를 위한 전략적 움직임이 필요한 상황으로, 현재 국토교통부와 항공안전기술원은 NCAMP와 동등한 업무를 수행할 수 있도록 복합재료 시험평가기관(한국산업기술시험원)을 지정하여 보다 효율적인 업무 수행이 이루어질 수 있도록 조직을 구성했다. 또한 항공기 인증 및 운항 안전 고도화를 위한 국내 복합재료 인증 체계를 구축하는 노력도 진행하고 있다. 향후 국내 우주항공용 복합재의 인증 확보 → 국내 체계기 적용 → 트랙레코드 및 국내 복합재에 대한 신뢰성 확보를 통하여 글로벌 우주항공 탄소섬유 복합재 시장에 진입하기 위한 지속적인 노력과 전략적 접근이 필요할 것으로 예상된다.
- 우주항공용 탄소섬유복합재 산업의 특성상 기술 난이도와 높은 초기 투자비용으로 중소벤처기업의 시장진입 장벽이 매우 높은 특징이 있다. 특히 민간 주도 개발에 따른 우주산업의 경우 다품종 소량생산의 산업적 특성을 가지며, 제품에 맞는 형상설계 및 맞춤형 성형공정기술 등 다양한 지원이 필요한 실정이다. 또한 UAM과 같은 차세대 이동체 분야의 경우, 향후 급격하게 증가할 수요량 충족을 위하여 양산화 생산기술 개발을 조기에 확보하는 것이 필요하다. 이러한 산업화 기술을 지원하기 위하여 산업통상자원부는 경북 구미 지역에 ‘방산항공우주용 탄소소재·부품 랩 팩토리 센터’를 구축하고 있다. 향후 파운드리 서비스 지원 및 산·학·연 협력체계 구축을 통한 산업화 기술의 조기 확보 등 국내 탄소섬유 복합재 산업 활성화를 위한 주요 역할을 담당할 것으로 기대하고 있다.

출처 및 참고자료

1. 平松徹, 『トコトンやさしい炭素繊維の本』(日刊工業新聞社, 2012년)
2. 박광태 책임연구원, “탄소섬유: 자동차, 스포츠·레저, 항공우주 산업을 중심으로 수요 증가”, NICE평가정보(주) (한국IR협의회), 2020. 8. 6.
3. 360iResearch, *Carbon Fiber Reinforced Plastic Market research Report*.