

'26.04.20.~26.04.26. 글로벌 탄소산업 주요 동향

'26.04.29. 진흥사업실 박에스더 인턴(585) & 황지영 수석(709)

□ 독일 Herone, CF/LMPAEK 편조 튜브 시스템, 액체 수소 연료 라인 50~60% 경량화('26.04.20.)

※ [Composites World] Herone GmbH의 자동화 기술은 테이프 편조와 프레스 성형을 결합하여 액체 수소 항공기 추진 시스템 및 우주 발사체와 같은 용도에 사용되는 경량 일체형 TPC 극저온 연료 라인을 생산한다. /Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/braided-cfpaek-tube-system-reduces-aviation-liquid-hydrogen-fuel-line-weight-by-50-60->
- #독일 #항공우주 #수소저장 #복합소재 #탄소섬유 #경량화 #프로젝트
- 저자 : 스텐어트 미첼, 기고작가

- 수소(H₂) 가스는 대기압 하에서 -253°C(20.28K)에서 액화되는데, 이는 절대 영도보다 불과 20도 높은 온도이다. 이 온도는 대부분의 구조 재료를 취성으로 만들기엔 충분히 낮으며, 존재하는 가장 작은 분자 중 하나인 H₂는 재료의 틈새를 찾아 그대로 통과할 수 있을 만큼 작다. 지상 극저온 인프라의 경우 이러한 문제는 해결 가능하다. 스테인리스강 및 진공 재킷 라인은 부피가 크고 무겁지만, 무게가 제약 조건이 아닌 경우에는 허용 가능하다.
- 이러한 요구 사항을 상용 항공기에 적용하면 상황은 완전히 달라진다. 액체 수소(LH₂) 연료 전지 동력 여객기는 탱크에서 연료 전지로 LH₂를 이송하는 연료 분배 시스템을 충분히 가볍게 설계해야 하며, 25년의 운항 수명 동안 10,000회 이상의 열 순환을 견뎌내야 한다. 또한, 매 비행마다 다음 극저온 냉각 전에 모든 것을 상온으로 되돌려야 한다.
- NASA(미국 버지니아주 햄프턴)의 연구에 따르면 적절한 단열이 없으면 비행 중 LH₂의 50~70%가 증발 할 수 있으며, 연료 시스템이 처음부터 제대로 설계되지 않으면 수소 항공은 상업적으로 실현 불가능해진다.
- 기존의 금속 극저온 배관은 열 순환으로 인한 열 수축을 수용하기 위해 벨로우즈, O링, 볼트식 플랜지 및 기계식 씰을 사용하지만, 이러한 부품들은 시스템 내 누출 가능 지점을 증가시킨다. 지상 환경에서는 누출이 바람직하지 않지만, 예를 들어 수소는 상승하여 공기 중에서 빠르게 확산된다. 그러나 극저온 의 고인화성 연료를 운반하는 탑승 항공기에서는 모든 연결 부위가 설계자와 규제 기관 모두가 고려해야 할 위험 요소이다. 산업용 극저온 기술에서 차용한 기존의 금속 방식은 이러한 제약 조건을 고려하여 설계되지 않았다.

기초 TPC 극저온 설계

- Herone GmbH(독일 드레스덴)는 지난 몇 년간 독일 정부 자금 지원을 받는 LuFo 프로젝트인 WAKOS 및 ZEDI의 일환으로 항공우주 운영 환경에 특화된 극저온 유체 라인 설계를 처음부터 재설계하는 데 주력해 왔다.
- 2018년 드레스덴 공과대학교(TU Dresden) 경량화 엔지니어링 및 고분자 기술 연구소(ILK)에서 분사하여 설립된 이 회사는 공동 창립자인 크리스티안 가르타우스 박사와 다니엘 바르푸스 박사의 ILK 박사 연구에서 비롯된 10년간의 열가소성 복합재(TPC) 중공 프로파일 연구를 기반으로 기술을 개발했다. 이 연구를 통해 일체형 열가소성 드라이브 샤프트 및 기어 시연 제품에 적용된 특허받은 연속 블로우 성형 및 사출 성형 공정을 개발했다.
- 이 회사는 탄소섬유 강화 저융점 폴리아릴에테르케톤(CF/LMPAEK, LMPAEK는 영국 클리블리스 소재 Victrex사 제품) 및 폴리에테르에테르케톤(PEEK) 복합재 중공 프로파일에 집중하여 스테인리스강 대비 50~60%의 무게 절감 효과와 극저온 수소 응용 분야의 요구 사항에 매우 적합한 물리적 특성을 제공하는 소재 시스템을 개발했다. 이러한 소재에 대한 집중은 회사의 액체 수소 연료 라인 시스템 설계의 기반이 된다.
- 해당 기반은 이미 비행 하드웨어를 제작한 경험이 있다. 유럽우주국(ESA)의 미래 발사체 준비 프로그램(FLPP)의 일환으로 ArianeGroup GmbH(독일 브레멘)과 협력하여, Herone(독일 드레스덴)은 최근 Ariane 6 발사체용 최초의 실물 크기 CF/LMPAEK 극저온 라인 시스템 구성 요소를 완성했다.
- 이 구성 요소는 거의 최종 형상에 가까운 테이프 사전 성형 방식으로 제작되었으며, 오토클레이브 외부에서 소결(OOA) 방식으로 조립되고, 열가소성 피팅이 튜브와 함께 단일 공정으로 소결된다.
- 발사체 운용에 필요한 압력 하중과 극저온 조건을 견딜 수 있도록 설계되었다. 이 우주 응용 분야는 무엇보다도 질량을 최소화해야 하며, 짧은 임무 시간과 외부 배출을 통해 잔류 누출 위험을 관리할 수 있는 단일벽 라인 설계가 허용된다.
- 반면 항공 분야에서는 훨씬 더 어려운 과제가 주어진다. 진공 단열, 2차 격납, 그리고 수천 번의 비행 주기 동안 탑승객의 안전을 보장할 만큼 낮은 누출률을 갖춘 이중벽 시스템이 필요하다. 아리안6 구성 요소는 제조 공정이 대규모로 작동함을 입증했지만, 항공 프로그램은 엔지니어링 요구 사항이 진정으로 미지의 영역에 들어서는 분야이다.

열가소성 수지 vs 열경화성 수지 매트릭스

- Herone의 접근 방식을 이해하려면 반복적인 극저온 사이클링 동안 복합 재료에 어

떤 일이 발생하는지 생각해 보는 것이 도움이 된다. 에폭시 기반 열경화성 복합 재료는 이러한 조건에서 유리와 유사한 거동을 보인다. 정상적인 사용 환경에서는 단단하고 성능이 우수하지만, 극저온(-150°C 이하)에 가까워지면 재료에 내재된 취성이 구조적 결함으로 나타난다.

- 열 사이클링 과정에서 매트릭스 미세 균열이 발생하여 적층판 전체로 전파될 수 있다. 각 균열은 잠재적인 수소 누출 경로가 되는데, 이는 적층판이 구조적으로 파손되었기 때문이 아니라 수소 분자의 직경이 매우 작아 많은 구조 평가에서 무시할 수 있는 균열을 통해 이동할 수 있기 때문이다.

플랜지는 튜브에 부착된 것이 아니라, 동일한 재질 체계로 만들어져 분자 수준에서 접합된 튜브 그 자체이다.

- PAEK 계열 열가소성 수지는 기존 수지와는 다른 특성을 보인다. Herone의 공동 창립자 겸 경영 파트너인 다니엘 바르푸스는 "유리병보다는 유연한 고분자 병이라고 생각하면 된다. 열경화성 수지는 극저온에서 연성을 잃지만, PAEK는 극저온에서도 유연성을 유지한다."라고 설명한다. "극도로 추워지면 거의 모든 재료가 취약해지기 때문에, 누출로 이어질 수 있는 미세한 균열을 방지하려면 충분히 유연한 재료가 필요하다. 바로 이런 이유로 열가소성 수지가 유용하다."
- PEEK는 액체 질소(LN₂)의 끓는점이자 극저온 재료 특성 분석에 사용되는 표준 온도인 -196°C(77K)에서 약 3~4%의 파단 신장률을 유지한다. 이는 액체 수소(LH₂) 사용 환경인 -253°C를 보수적으로 반영한 값이다.
- 유리섬유/에폭시 시스템의 파단 신장률은 약 1.5%인 반면, PEEK는 이러한 특성을 보인다. 재료 특성 분석에 77K의 표준 극저온 시험 온도가 사용되는 이유는 해당 극저온 물질이 모든 실험실에서 쉽게 구할 수 있기 때문이다. 따라서 실제 사용 온도인 -253°C(LH₂ 적용 분야)에서도 재료의 거동을 평가하기 위한 실용적이고 재현 가능한 초기 기준점으로 활용될 수 있다.
- PAEK 폴리머가 제공하는 유연성 유지는 열 피로 하에서 미세 균열에 저항하는 적층재와 그렇지 않은 적층재를 구분하는 핵심 요소이다. 또한, TPC는 일반적으로 열경화성 복합재보다 훨씬 높은 모드 I 층간 파괴 인성(두 개의 접착된 복합재 층을 책을 펼치듯 벌려 분리하는 데 필요한 단위 면적당 에너지)을 나타낸다. 이는 약 5배에 달한다. 따라서 균열 발생이 훨씬 덜 용이할 뿐만 아니라, 일단 균열이 발생하면 전파하는 데 훨씬 더 많은 에너지가 필요하다.
- 투과는 별개의 문제이지만 관련이 있다. 균열이 없더라도 H₂는 농도 구배에 따라 복합 적층재를 통해 확산된다. CF/LMPAEK 적층재는 극저온에서 에폭시 시스템보다 약 10배 낮은 H₂ 투과율을 제공하며, 액체 수소(LH₂) 사용 온도인 -253°C에서

는 복합재 벽 자체를 통한 투과는 무시할 수 있을 정도로 작아진다. 중요한 시점은 지상 취급, 연료 보급 및 예열 단계와 같은 상온 상태이며, 이 단계에서는 여전히 차단층이 필요하다.

- 기존 방식처럼 라이너를 후처리 단계로 적용하는 대신, Herone은 프리포밍 단계에서 편조층 사이에 금속 필름 투과 방지층을 직접 통합한다. 열가소성 기능성 방지층은 튜브 벽의 일부가 되어 구조물과 함께 가공되므로 복합재 단면의 균일성을 유지하고, 별도로 적용되는 라이너에서 발생하는 접합면을 방지한다.
- "고품질 열가소성 수지를 사용하고 우수한 성형 표면을 얻으면 섬유가 노출되지 않은 수지 함량이 높은 외부층이 생성된다."라고 바르푸스는 말한다. "이 표면은 밀봉 역할을 한다. 금속이 필요하지 않고 수지만 있으면 된다. 사람들이 열가소성 수지가 이런 기능을 할 수 있을 거라고 예상하지 못하는 부분 중 하나이다."

관절을 없애다

- Herone이 선택한 재료는 핵심적인 미세 균열 및 침투 문제를 해결하지만, 더 근본적인 공학적 질문은 구조적인 측면에 있다. 즉, 기존 금속 조립체를 지나치게 복잡하게 만드는 벨로우즈, O링 및 볼트로 고정된 플랜지 없이 어떻게 극저온 항공기 연료관을 제작할 수 있을까?

- 해답은 PAEK TPC가 열경화성 복합재와는 달리 제조 단계에서 가능하게 하는 기능에 있다. TPC는 초기 경화 후 재가열 및 재성형이 가능하기 때문에, Herone은 기능 요소(플랜지, 피팅, 페룰, 밀봉면)를 단일 통합 제조 공정에서 복합재 튜브 본체에 직접 사출 성형 또는 동시 경화한다.



그림 1. 일체형 CF/LMPAEK 플랜지는 단일 프레스 공정에서 튜브 본체와 함께 성형되어 접합부 수와 시스템 질량을 줄이는 동시에 어셈블리 전체에 걸쳐 균일한 열가소성 재료 시스템을 유지한다. 출처 | Herone GmbH

- 단섬유 강화 PEEK는 약 200°C로 예열된 PAEK 프리폼과 함께 380°C에서 동시 경화되어, 폴리머 계면에서 응집성 분자 결합과 거시적 규모에서의 기하학적 맞물림이 동시에 형성된다. Herone은 이를 "폼록킹 조인트"라고 부르는데, 접착제, 패스너 또는 엘라스토머 실링재 없이도 응집 결합만 사용했을 때보다 토크 하중 용량이 44% 더 높은 연결 방식을 구현한다. 플랜지는 튜브에 부착된 것이 아니라, 동일한 재료 시스템으로 성형되어 분자 수준에서 결합된 튜브 자체이다.
- "공동 압착 기술은 후처리 접합 작업이나 너트다운과 같은 추가 접합 사양이 필요 없도록 해준다."라고 바르푸스는 말한다. "이 공정은 복합 재료 자체의 기본 압착 사

양에 내재적으로 통합되어 있다. 결과적으로 공동 압착은 기존의 금속-복합재 접착 접합 방식에 비해 3~4배 더 높은 전단 설계 강도를 달성한다."

- 항공용 LH₂ 적용을 위해, Herone은 이중벽 구조를 개발하고 있다. 이 구조는 LH₂를 운반하는 복합재 내부 튜브 와 3D 프린팅된 폴리머 스페이서로 유지되는 진공 단열 환형 틈으로 분리된 복합재 외부 격납 튜브로 구성된다. 진공 중간 공간은 최대 5시간 동안 지속되는 비행 중 증발을 최소화하는 데 필수적인 열 절연 기능을 제공하며, 동시에 내부 튜브에 누출이 발생할 경우 2차 격납 역할을 한다. 중간 공간 모니터링 기능을 통해 외부 튜브로 문제가 확산되기 전에 조기에 감지할 수 있다.
- Herone은 동일한 CF/LMPAEEK 소재 시스템으로 두 벽을 설계하고 각각 독립적인 라미네이트 적층으로 엮어 각 튜브의 열팽창 계수(CTE)를 독립적으로 조절한다. 내부 튜브에 거의 0에 가까운 축 방향 CTE를 갖는 라미네이트를 적용하여 냉각 시 축 방향 수축을 억제한다. 내벽과 외벽의 CTE를 일치시킴으로써 기존 배관에서 벨로우즈를 사용하여 처리하던 차등적인 움직임을 제거한다. 벨로우즈를 없애면 접합 부 수, 시스템 무게 및 잠재적 누출 지점을 동시에 줄일 수 있다.

기능적 조립을 위한 역기

- 이 회사의 제조 공정은 자동 테이프 편조로 시작된다. LMPAEEK 매트릭스 형태로 공급되는 Victrex AE250 테이프는 PAEK 호환 사이징 처리되어 사이징 처리되지 않은 섬유보다 섬유-매트릭스 접착력이 20% 더 높다. 이 테이프는 로봇 시스템에 의해 맨드릴에 편조되는데, 이 시스템은 공급 속도, 편조 각도 및 층 순서를 제어한다. 편조 각도는 ±15°에서 70°까지 선택 가능하며, 0° 층 통합도 가능하여 각 용도에 맞게 라미네이트 구조를 조정할 수 있다. 여기에는 열팽창 계수(CTE) 관리를 위한 특정 다축 각도 및 내부 압력 하에서의 원주 응력 용량을 위한 더 높은 나선 각도가 포함된다. 곡선 구간의 경우, 맨드릴 형상 덕분에 튜브는 직경의 두 배가 넘는 곡률 반경을 통과하면서도 섬유 주름이 발생하지 않는다. 이는 별도로 섬유를 결속해야 하는 건식 섬유 편조 방식에 비해 TPC 테이프 구조가 갖는 직접적인 이점이다.
- 로봇 테이프 편조 기술은 제어된 편조 각도로 완전히 함침된 CF/LMPAEEK 테이프를 맨드릴에 배치하여 중간 가공 단계 없이 블래더 보조 경화에 바로 사용할 수 있는 최종 형상의 중공 프리폼을 생산한다.
- 이 단계에서 지정된 적층층 사이에 금속 차단막을 배치하는 것을 포함하여 편조 프리폼 제작이 완료되면, 조립체를 가열 프레스로 옮긴다. 튜브 내경을 통해 삽입된 내부 팽창식 블래더가 프리폼 내부에서 금형 표면에 방사형 압축 압력을 가하는 동안 프레스 조립체는 가공 온도로 가열된다. LMPAEEK 폴리머로 제작된 탄소섬유 강화 프리프레그의 경우 305~340°C, PEEK의 경우 385°C가 사용된다. 이러한 OOA

압축 공정을 통해 약 15분 만에 기포 함량을 2% 미만으로 줄일 수 있으며, 이는 오토클레이브 경화 열경화성 프리프레그의 경우 240분과 비교된다.

- 이 회사의 드레스덴 공장은 4백만 유로 이상의 생산 투자를 통해 연간 2만 개의 부품 생산을 목표로 하고 있으며, 이러한 생산량은 15분 간격의 압축 공정에서만 실현 가능하다. 금속 차단 필름은 압축 전에 편조층 사이에 배치되고, 별도의 공정 없이 동일한 프레스 공정 중에 열융착되어 완성된 벽면에 부착된다.
- 현장 조립을 위해 Herone은 PEEK 기반의 전기융착 소켓 시스템도 개발했다. 이 시스템은 열가소성 슬리브에 내장된 저항 발열체가 전원이 공급될 때 접합부를 융착 온도까지 가열하여 추가 도구나 외부 열원 없이 현장에서 두 개의 라인 섹션을 용접할 수 있도록 한다.
- 바르푸스는 "우리는 배관처럼 작동하는 접합 방식을 개발했다."라고 말한다. "소켓을 현장으로 가져와 간단한 전기 연결부를 끼우기만 하면 열이 나머지를 처리한다. 공구도 필요 없고 외부 프레스도 필요 없다. 접합부는 제자리에 단단히 고정된다."
- 이 개념은 기존 배관 산업의 접합 기술의 단순성을 활용하여 항공우주 등급 복합재 극저온 라인에 파이프 섹션을 안정적으로 접합할 수 있도록 한다.

항공우주 프로그램에서 CF/LMPAEK의 활용 가능성에 대한 근거 제시

- 장시간 극저온 열 순환을 거친 CF/LMPAEK 라미네이트 시편의 미세 구조 분석 결과, 평판형 시편과 관형 시편 모두에서 미세 균열이 관찰되지 않았다. 이는 동일 조건에서 수행된 열경화성 복합재 시험 결과와 확연히 다른 중요한 차이점이다.
- 열 순환 전후 시편에 대한 투과 측정 결과, 배리어 통합형 라미네이트는 항공 LH 2 서비스 요구 사항을 충족하는 것으로 확인되었다. 이 소재 시스템은 PAEK급 소재 승인에 따라 광범위한 항공우주 프로그램의 인증 데이터를 보유하고 있으며, AS/EN9100 제조 인증을 획득했다.
- 항공우주 등급 스테인리스강과 비교했을 때, CF/LMPAEK 테이프 편조 튜브 어셈블리는 배관 시스템의 무게를 50~60%까지 줄여줄 것으로 예상된다. 또한, 일체형 CF/LMPAEK 플랜지를 통해 별도의 금속 플랜지 하드웨어를 대체할 수 있는데, 플랜지는 금속 배관 어셈블리 전체 질량의 약 3분의 1을 차지하기 때문이다.



그림 2. CF/LMPAEK 튜브 벽의 단면 현미경 사진은 접착 계면 없이 적층판 층 사이에 금속 투과 방지층이 압축 성형 과정에서 열적으로 융합되었음을 보여준다.

- 현재 항공기용 이중벽 구조에 대한 기술 준비 수준(TRL)은 3이며, 향후 1년 내에 TRL6을 목표로 하고 있다. 여객기용 액체수소(LH₂) 배관에 대한 구체적인 인증 표준은 아직 확립되지 않았다. 유럽 항공안전청(EASA)의 CS-25 규격이 적용되고 있으며, 미국 연방항공국(FAA)의 2024년 12월 수소 연료 항공기 로드맵은 2028년과 2032년까지의 개발 목표를 설정하고 있다.
- 그럼에도 불구하고, Herone의 탄소섬유/저압 폴리프로필렌 에피택시(LFPAEK) 기반 튜브 어셈블리의 파손 거동은 이러한 규제 체계의 의도와 잘 부합한다. 과압 하에서 갑자기 파손될 수 있는 금속 배관과 달리, TPC 튜브는 구조적 손상이 발생하기 전에 폴리머 매트릭스에서 먼저 파손되어 내부 공간 모니터링 시스템을 통해 감지 가능한 국부적인 누출을 일으킨다. 이러한 파손 모드의 예측 가능성은 안전성뿐만 아니라 엔지니어링 측면에서도 CF/LMPAEK의 우수성을 뒷받침하는 중요한 요소이다.
- 이 설계의 열가소성 매트릭스는 지속가능성 측면에서도 중요한 역할을 한다. LMPAEK는 재용융이 가능하기 때문에 생산 과정에서 발생하는 자투리와 수명이 다한 부품을 잘게 자른 TPC 원료로 재가공할 수 있어, 열경화성 복합재 폐기물이 일반적으로 매립되는 것을 방지할 수 있다. 순환 경제 의무를 단순한 법규 준수가 아닌 진정한 설계 제약 조건으로 인식하기 시작한 업계에서 이러한 재가공 가능성은 매우 중요하다.
- 바르푸스는 "단순히 금속을 복합재로 대체하는 것이 아니다."라고 말하며, "항공 산업의 수소 기반 시설이 실제로 검증, 유지 관리, 그리고 궁극적으로 재활용할 수 있는 시스템을 구축하고 있으며, 업계가 필요로 하는 속도로 생산할 수 있는 방식으로 이를 구현하고 있다."라고 덧붙였다.



그림 3. CF/LMPAEK 일체형 플랜지는 튜브 본체와 연속적인 열가소성 소재 시스템을 형성하여 기존 극저온 라인 조립에 필요한 금속 부품 및 접착제 인터페이스를 제거한다. (모든 이미지 출처 | Herone GmbH)

○ 관련 콘텐츠

- [오토 에비에이션, 레오나르도사의 전 복합소재 기체를 장착한 팬텀 3500 비즈니스 제트기 출시](#)(`25.06.27.)
- [블래더 보조 압축 성형 파생 기술은 복잡하고 오토클레이브 처리가 필요한 고품질 자동차 부품 생산](#)(`24.10.25.)
- [유리섬유 편조를 이용한 SMC 동시 성형은 트럭 적재함 소재로서의 가능성 입증](#)(`24.09.25.)
- [저비용 고효율 CFRP 이방성 격자 구조](#)(`24.08.30.)

□ 독일 BMW, 특허받은 평면 저장 시스템인 iX5 수소 연료 저장용 CFRP 탱크 사용(26.04.20.)

※ [Composites World] 700바 압력의 4형 수소 탱크 7개를 병렬로 연결하여 7kg의 수소를 저장함으로써 주행 거리를 최대 750km까지 연장하고, 다중 파워트레인 차량 아키텍처에서 배터리 전기 옵션과 동일한 공간에 장착할 수 있다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/bmws-patented-flat-storage-system-uses-cfrp-tanks-for-ix5-hydrogen>
 - #독일 #전기자동차 #수소저장 #탄소섬유 #복합소재 #시장 #CFRP
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
- BMW 그룹(독일 뮌헨)의 iX5 수소차는 차세대 X5 라인업의 일부로, 가솔린, 디젤, 플러그인 하이브리드, 배터리 전기차를 비롯한 수소(H₂) 연료전지차 등 5가지 파워트레인 옵션을 제공하는 매우 유연한 아키텍처를 특징으로 한다.
 - BMW 수소 플랫폼 스토리지 시스템은 기존 설치 공간에 약 7kg의 수소를 저장할 수 있도록 설계되었으며, 6세대 고전압 배터리와 완벽하게 호환되어 실내 공간을 손상시키지 않는다. 이 시스템은 탄소섬유 강화 에폭시 복합재로 덮인 플라스틱 라이너를 사용한 7개의 700bar Type IV 압력용기로 구성된다.
 - 개별 압력 용기 대신, 여러 개의 압력 용기가 병렬로 연결되어 중앙 메인 밸브로 제어되는 밀폐형 장치를 형성하고 견고한 금속 프레임에 통합되었다. 이러한 최적화된 저장 개념 덕분에 BMW iX5 수소차는 주행 가능 거리가 최대 750km까지 늘어나며, 5분 이내에 재충전이 가능하다. BMW 그룹은 이 기술을 바탕으로 여러 건의 특허를 출원했다.
 - 새로운 평면형 탱크 구조 덕분에 연료 전지 모델은 다른 모델과 동일한 생산 라인에서 생산할 수 있으며, 수소 탱크는 차량 구조가 제공하는 기계적 보호 기능을 추가로 활용하여 이미 입증된 안전성을 더욱 향상시킨다. 이 모델에는 최신 3세대 연료 전지 기술이 탑재되어 있으며, Toyota와 공동 개발한 것으로 알려져 있는데, 이 기술은 기존 시스템보다 25% 더 작으면서도 더욱 강력하고 효율적인 시스템을 구현한다.
 - iX5 수소차는 2028년부터 BMW 그룹의 생산 네트워크 전반에 걸쳐 출시될 예정이며, 연료 전지 생산은 모든 구동 시스템 유형에 걸쳐 수십 년간 축적된 개발 및 생산 전문 지식을 보유한 BMW 그룹 슈타이어 공장에서 시작될 것이다.
 - BMW 그룹은 기술 개방적인 접근 방식과 다양한 제품 포트폴리오가 핵심 성공 요인이라고 강조한다. 새로운 BMW X5에 수소 연료전지 기술을 통합함으로써 BMW

그룹은 전략적으로 생산 라인업을 확장하고 고객에게 수소 모빌리티의 이점을 제공하고 있다. 수소는 장거리 주행과 빠른 충전을 가능하게 하는 전기 주행을 제공하는 동시에 에너지를 다변화하고 특정 인프라 또는 원자재 공급망에 대한 의존도를 줄여준다.



그림 4. 출처 | BMW 그룹

○ 관련 콘텐츠

- [저비용 고효율 CFRP 이방성 격자 구조](#)(`24.08.30.)
- [편조 보강재를 사용한 항공우주용 프리프레그는 생산 속도와 비용 측면 개선](#)(`25.04.21.)
- [중국 탄소섬유 시장 전망](#)(`24.10.02.)

□ 미국 Lack Enterprises, IGCS International 지분 인수('26.04.20.)

※ [Composites World] Lack의 고분자 화학, 도금, 사출 성형 및 첨단 복합 재료 전문 지식은 미국 항공우주 및 방위 산업 분야에서 IGCS의 사업에 도움이 될 것이다.
/News

- <https://www.compositesworld.com/news/lack-enterprises-acquires-equity-stake-in-igcs-international>
 - #미국 #항공우주 #프로세스
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 의 수석 편집장
- IGCS International(미국 텍사스주 댈러스)은 CVE 인증을 받은, 서비스 장애를 입은 퇴역 군인이 소유한 중소기업(SDVOSB)으로, 미 국방부(DoD) 및 연방 기관에 임무 지원 및 MRO 용품을 공급하는 업체이다. 이 회사는 Lacks Enterprises(미국 미시간주 그랜드래피즈)가 자사 지분을 인수했다고 발표했다.
- 1961년에 설립된 Lacks Enterprises는 60년 이상의 전문성을 보유한 가족 소유의 첨단 제조업체로, 고분자 화학, 플라스틱 크롬 도금, 사출 성형, 금속 마감 및 고성능 복합소재 분야에서 풍부한 경험을 자랑한다. Lacks 탄소섬유 사업부는 초경량 2피스 탄소섬유 휠 및 부품을 생산하며, 이러한 기술력을 바탕으로 항공우주 및 정부 분야에 다양한 혜택을 제공하고 있다.
- 이번 전략적 투자는 IGCS International의 정부 공급망 연계, 물류 및 유지보수·수리(MRO) 솔루션 전문성(미 국방물류국(DLA), 미 공군 및 육군 사령부와 체결한 수백만 달러 규모의 BPA, IDIQ 및 기타 계약 포함)과 Lacks Enterprises의 첨단 제조 역량을 결합한다. 두 회사는 협력을 통해 전기 도금, 사출 성형, 복합 재료 및 혁신적인 경량 소재를 포함한 고성능 자동차 기술을 항공우주, 방위 산업 및 광범위한 정부 부문에 도입할 예정이다.
- 이번 파트너십은 경량 복합소재 기술, 첨단 소재 및 통합 공급망 솔루션의 활용 범위를 확대하여 임무 준비 태세를 강화하고, 무게를 줄이고, 성능을 향상시키며, 국방부 및 기타 연방 기관을 더욱 효과적으로 지원하는 데 중점을 둘 것이다.



- 관련 콘텐츠
- [NIAR, eVTOL용 오버몰딩 TPC 생산 공정 혁신\('25.02.21.\)](#)
- [Engel은 TPC 드론 블레이드용 자동화 고속 공정 개발\('26.04.17.\)](#)
- [트렐레보리, 혁신센터 확장 및 리모델링에 투자\('25.08.18.\)](#)

□ JEC 2026 주요 내용: AFP-RTM 통합, 새로운 비트리머 프리프레그, AFP 데이터 매핑, 배터리 케이스용 금속 코팅 섬유 등(26.04.21.)

※ [Composites World] CW 편집장 진저 가드너가 올해 주목할 만한 전시물과 합성 사진 분야의 새로운 발전에 대해 이야기한다. /Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/jec-2026-highlights-afp-rtm-integration-new-vitrimer-prepreg-metal-coated-fiber-in-battery-cases-and-more>
- #JEC #수소저장 #RTM #열가소성수지 #복합소재
- 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장

- 올해 JEC World 전시회 후기에는 일반적인 짧은 요약뿐만 아니라 오랫동안 준비해 온 이야기들을 좀 더 자세히 다룬 기사들도 포함되어 있다. 언제나처럼 새로운 기술과 복합재료 분야에 새로운 기회와 가능성을 열어줄 잠재력에 초점을 맞추었다.

고속 복합재 생산 라인에 AFP-RTM 통합

- Coexpair Dynamics(벨기에 나무르)는 오랜 기간 수지 이송 성형(RTM) 및 프리프레그 기반 SQRTM 기술과 장비를 공급해 온 Coexpair의 설립자 André Bertin과, Coexpair에서 열경화성 수지 및 열가소성 복합재 가공을 위한 자동 섬유 배치 (AFP) 증착 헤드 및 기술 제공 분야에서 수십 년의 경험을 보유한 것으로 알려진 이전 Automated Dynamics팀(현재 Trelleborg Sealing Solutions Albany)의 파트너십으로 탄생했다.
- "우리는 몇 년 전 정밀 성형 부품 생산을 위한 새로운 자동화 솔루션을 제공하기 위해 Coexpair Dynamics를 설립했다."라고 Coexpair 공동 CEO인 앙투안 비에르세는 설명한다. 이 신설 회사는 항공우주 및 방위 산업을 위한 AFP 시스템을 제공하며, 여기에는 AFP 갠트리 및 로봇 장비와 다양한 소형 AFP 헤드가 포함된다.
- Coexpair Dynamics의 CEO인 장-필립 크레팽은 "우리의 목표는 상용 및 방위 항공기 OEM 업체들이 요구하는 대량 생산을 가능하게 하기 위해 고정밀, 고효율 복합재 적층 공정의 자동화를 발전시키는 것이다."라고 말했다.
- 이 회사는 고속 생산과 관련된 특정 고객 애플리케이션에 맞춰 맞춤형 AFP 장비를 개발할 뿐만 아니라, 부품 설계부터 특수 장비 개발, 저속/초기 생산에 이르기까지 고객을 지원하는 엔지니어링 및 연구 개발 파트너 역할도 수행할 수 있다. 또한 Coexpair Dynamics는 생산 데이터 수집 및 SCADA 기반 통합을 위한 Floware 와 전체 복합재 제조 워크플로우 전반에 걸친 공정 모니터링, 제어 및 추적성을 위한 Maestro를 포함하는 소프트웨어 4.0 제품군을 통해 통합 디지털 환경을 제공한다.
- Coexpair Dynamics는 기존 오토클레이브 경화용 적층 공정을 지원하는 것 외에도

Coexpair와 협력하여 AFP(아세틸렌 성형)를 RTM (레진 성형) 및 SQRTM(프리프레그 기반 동일 인증 RTM)과 같은 OOA(오토클레이브 외) 경화 솔루션과 통합함으로써 정밀 고성능 복합 구조물의 고속 생산을 위한 자동화를 향상시키고 있다.



- Vierset은 "현재 프리프레그를 SQRTM 틀에 AFP 방식으로 적층하고 공압식 RTM 프레스로 자동 이송한 후 프레스를 닫고 레진을 주입하여 경화시키는 완전 자동화 라인의 첫 번째 개념 증명을 구축하고 있다."라고 말했다. "이 두 가지 복합재 제조 공정의 통합은 항공우주 및 방위 산업 분야의 복합 구조물 생산을 위한 고도로 자동화되고 로봇화 된 생산 라인의 구상 및 설계 방식을 혁신하는 것을 목표로 하는 진정한 혁신적 패러다임을 제시한다."



- Coexpair Dynamics의 수석 사업 개발 담당자인 디디에 그랑빌은 "회사는 AFP(Advanced Fiber Processing) 과정에서 현장 응고(ISC)를 이용한 열가소성 복합재 개발에도 힘쓰고 있다"고 덧붙였다. 2025년 6월, Coexpair Dynamics는 "고성능 복합재 항공 구조물용 ISC를 활용한 첨단 열가소성 수지 제조"를 주제로 한 ESI-F35 프로젝트에서 중요한 성과를 발표했다. Coexpair Dynamics는 첨단 복합재 공급업체 인 Syensqo를 위해 독자적인 TPC(Therapeutic Plastic Processing) AFP 자동화 장비의 설계, 개발 및 제조를 완료했다.



그림 6. Coexpair Dynamics는 프리프레그 또는 건조 섬유용 AFP(상단)와 RTM 또는 SQRTM 시스템(중앙)을 결합한 완전 생산 라인, 그리고 TPC 구조용 현장 압연을 사용하는 AFP 시스템(오른쪽 하단)을 포함한 새로운 자동화 솔루션을 개발하고 있다. 출처 | Coexpair Dynamics

- Granville은 이 시스템이 항공우주용 열가소성 복합재(TPC) 소재의 처리 속도를 400% 향상시켜 새로운 시장을 개척하고, 자동화 및 공정 제어 개발에 있어 Siemens(독일 뮌헨)의 기여로 개발된 고급 제어 시스템을 특징으로 한다고 언급했다.

FACC, TPC 및 RTM 항공기 구조물 실증기 주도

- Langzauner(오스트리아 람브레히텐)는 1차 항공기 구조물 공급업체인 FACC(오스트리아 리드 임 인크라이스)와 OEM인 Embraer(브라질 상조제두캄푸스)가 주도한 프로젝트에서 개발된 TPC 주 구조 실증기를 전시했다.
- 다중 스파로 구성된 이 가동 날개는 길이 3.2미터, 폭은 300mm에서 700mm로 점

차 좁아진다. 3D 스킨 적층과 C-스파는 Toray Advanced Composites(네덜란드 니베르달)의 세텍스 TC1225 탄소섬유/LMPAЕК(빅트렉스) 단방향(UD) 테이프를 스프링 보정 적층 툴링에 직접 적층하는 AFP(아날로그-프로세싱 공정)를 사용하여 제작되었다. 이 작업은 파트너사인 Coriolis Composites(프랑스 케벤)에서 수행되었으며, 이후 FACC로 운송되어 오토클레이브에서 소결되었다.

- 조립은 FACC에서 자체 개발한 로봇 유도 용접 공정을 사용하여 수행되었다. 첫 번째 단계에서는 스파를 상부 스킨에 유도 용접한 후, 하부 스킨을 이전 하위 조립품에 용접했다. 이 공정에는 가열 및 냉각 과정에서 최적의 온도와 압력을 유지하고, 용접 과정 중 상부 스킨(다중 플라이 드롭 섹션 포함)과 하부 C-리브 플랜지에 압력을 가하여 완전 융합 용접 접합부를 구현하는 특허받은 제어 시스템이 적용되었다. AFP 공정에서 발생한 폐기물은 장섬유 성형 복합재로 재활용되어 Langzauner 프레스에서 후연부를 프레스 성형하는데 사용되었다. 이 후연부 스킨 또한 유도 용접되어 상부 및 하부 스킨으로 구조물이 완성되었다. 금속 부속품은 실제 하중 조건에서 실시되는 실규모 하중 시험 중 하중을 가할 수 있도록 체결구와 함께 통합되었다. 이 프로젝트는 고속 생산 시 조립 시간을 40% 단축하고 구매 대비 비용 비율을 1.1로 낮추는 데 성공했다.



그림 7. JEC에서 전시된 열가소성 복합재 멀티스파 윙 가동 시연기. Langzauner 사에서 전시한 열가소성 복합재 멀티스파 날개 가동 구조 시연기. 출처 | CW

- JEC에서 Hexcel(미국 코네티컷주 스탬퍼드)이 전시한 두 번째 시제기는 클린 에비에이션(Clean Aviation)의 초고 성능 날개(UP-Wing) 프로젝트(2023-2026)의 일환으로 개발되었으며, 단거리/중거리 항공기(SMR, 일반적으로 1,000~2,000해리, 승객 150~250명)를 대상으로 현행 SMR 항공기 대비 두 자릿수 연료 소비량 감소를 목표로 한다. 이 프로젝트의 기술준비수준(TRL) 4단계 결과는 향후 10년 후반에 실전에 투입될 미래 항공기 계획과 일치한다.
- 이 다중 스파 플레퍼론은 적재적소에 적절한 재료를 사용하는 것이 중요하다는 것을 보여주기 위해 다양한 기술을 사용하여 제작되었다.



그림 8. 주입 및 기타 공정을 사용하여 제작된 멀티스파 플레퍼론 데모 장치가 JEC에서 전시되었다. Hexcel사가 전시한 멀티스파 플레퍼론 데모 장치. 출처 | CW

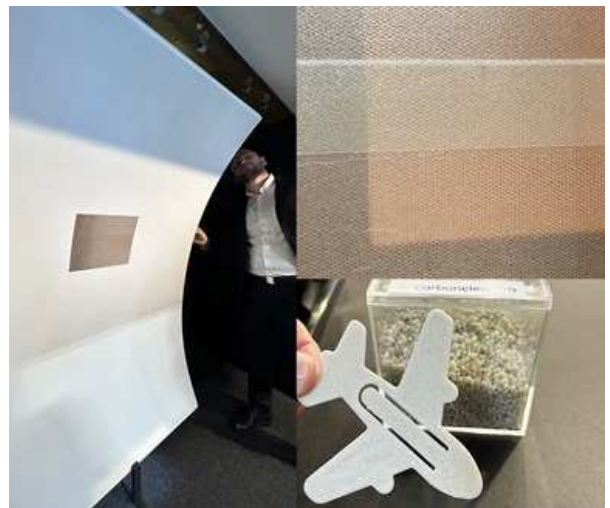
- 하부 후면 스킨은 Hexcel의 M51 오토클레이브 외(OOA) UD 프리프레그와 IM5-24K 탄소섬유를 사용하여 속경화 에폭시로 40분 동안 프레스 성형
- 선단부에는 Hexcel M21E 표준 오토클레이브 경화 프리프레그와 HexTow

IMA-12K 탄소섬유 사용

- 부품 양 끝단의 마감 보강재 에는 FACC의 특허받은 MARI 공정을 사용하여 Hexcel RTM 6 에폭시 수지를 함침시킨 HexForce G0926 HS-6K, 375g/m² 5겹 새틴 원단 사용
 - 본체는 Hexcel 속경화 HF610F-2K(2액형) 에폭시 수지를 사용한 수지 이송 성형(RTM) 방식으로 제작
 - 프리폼은 Hexcel HiMax IM-12K 건식 탄소섬유(+/- 45° 및 0°/90° 비크림프 직물(NCF))와 인성 강화를 위한 부직포 베일을 사용하여 제작된 두 개의 단 순 외피와 C, L, Z 스트링거 프리폼으로 구성
 - 프리폼을 RTM 금형에 조립하고, Hübers 혼합, 계량, 분배(MMD) 시스템에서 수지를 혼합한 후, 통합된 부품을 주입하고 30분 동안 경화
- 이 부품들의 최종 조립은 기계식 체결 장치를 사용하여 이루어졌으며, 모든 부품의 기하학적 정확도가 높아 별도의 심(shim)이 필요하지 않았다.

Isovolta의 새로운 비트리머 기반 프리프레그

- Isovolta(오스트리아 비너노이도르프)는 에폭시 기반의 혁신적인 비트리머(vitrimer)에 유리, 탄소, 아라미드 또는 기타 섬유와 같은 보강재를 결합한 새로운 프리프레그를 출시했다. 비트리머는 가열 시 가교 반응을 일으키는 고분자이지만, 열가소성 수지와 유사하게 열성형 및 재활용이 가능하다.
- Isovolta는 유리섬유 강화 비트리머 프리프레그와 허니콤 코어로 제작된 항공기 내부 측벽 시연품을 선보였다. Carobon Cleanup(오스트리아 트라운)은 이러한 압축 라미네이트를 자체 기계적 공정을 통해 재활용하여 펠릿을 만들고, 이를 데스크톱 압출 3D 프린터에 투입하여 전시회에 선보인 항공기 모양의 종이 홀더 시연품을 제작했다.



- Carobon Cleanup의 설립자이자 CEO인 요르그 라다니치는 “새로운 소재를 개발할 때 처음부터 순환 경제를 고려하는 것이 중요하다.”라고 말하며, “Isovolta와 협력하여 다양한 신규 응용 분야에서 고객을 지원하는 데 도움이 되는 컨테이너형 재활용 장비 솔루션을 선보일 수 있게 되어 기쁘다.”라고 덧붙였다.

그림 9. Isovolta의 새로운 비트리머 프리프레그 (왼쪽)와 허니콤 코어로 제작된 항공기 내부 측벽은 프레스에서 나온 직후 뛰어난 표면 마감을 보여준다(오른쪽 위). 카본 클린업(Carobon Cleanup)은 재활용 시연을 진행했다.(오른쪽 아래). 출처 | CW

UniSQ는 디지털 트윈, TPC, CMC 등에서 혁신을 선도한다.

- 브리즈번 서쪽에 위치한 서던 퀸즐랜드 대학교(호주 투움바)에는 섬유 강화 폴리머 및 세라믹 복합재 개발에 주력하는 미래 소재 센터(CFM)가 있다. 이 센터는 MEMKO(멜버른), Dassault Systèmes(프랑스 벨리지-빌라쿠블레), Boeing Australia(멜버른)와 협력하여 복합재 항공기 구조물의 수리 및 제조를 가속화하고 개선하기 위한 엔드투 엔드 디지털 스레드를 개발한 공로로 JEC World 2026 혁신상을 수상했다.
- 2023년에 발표되었고 호주의 iLAUNCH 트레일블레이저 프로그램의 일환으로 진행된 이 프로젝트는 다음과 같은 발전을 목표로 한다.
 - 검사 데이터를 해석하고 디지털 트윈 통합
 - 손상 유형에 맞춘 최적화된 패치 디자인을 신속하게 생성
 - 패치 접착 공정에 대한 현장 모니터링 사용 및 RVmagnetics(슬로바키아 코시체)의 마이크로와이어 센서 사용 포함
- 제조 공정 또한 디지털화되었으며, Dassault 시스템즈의 3D EXPERIENCE 툴을 통해 AI기반 필라멘트 와인딩 공정 모니터링이 가능해졌다. 이러한 공정 중 제조 데이터는 디지털 스레드에 업데이트되어 제조된 구조물의 설계 분석은 물론 향후 수리 및 수명 종료 결정에 도움을 준다.
- iLAUNCH 기금으로 지원되는 복합재 제조 및 수리 디지털화 프로젝트를 이끄는 트리스탄 셸리 박사와 물리 홀 박사가 JEC World 2026 모빌리티 플래닛에 전시된 자신들의 연구에 대해 설명하기 위해 참석했다. 하지만 이는 CFM이 복합재 분야에서 추진하는 다양한 노력 중 하나일 뿐이다. 호주의 경제 가속기 프로그램인 Ignite의 지원을 받는 또 다른 프로젝트에도 TPC가 참여하고 있다.
- TPC에서 근무하는 전 Boeing 엔지니어인 홀은 이 기술의 열렬한 지지자일 뿐만 아니라, 센서를 활용하여 공정 제어를 최적화하고 앞서 설명한 것처럼 디지털 트윈을 개선하는 데에도 적극적이다. 그의 연구에는 Netzsch(독일 젤브)의 유전체 센서를 사용하여 용융 및 결정화와 같은 주요 재료 전이 현상을 식별하는 작업이 포함된다. 홀은 이러한 센서가 제공하는 데이터와 통찰력이 더욱 최적화되고 효율적인 공정뿐만 아니라 항공기 구조물 인증에도 매우 중요하다고 강조한다.
- 또한, CFM은 DART CMP(복합재료 플랫폼) 항공기 기체 프로젝트에 참여하여 산화물 세라믹 매트릭스 복합재(OCMC) 연구를 진행하고 있다. 이 프로젝트에서 연구팀은 필라멘트 와인딩 방식을 이용한 OCMC 자동 제조 공정을 검증하고, 우주 공간에서 사용될 부품의 재사용 가능성을 분석하기 위한 설계 및 시뮬레이션을 수행하고 있다.
- 예를 들어, Hypersonix(호주 브리즈번)가 개발 중인 극초음속 비행체 제품군에 사용

될 수 있다. CFM은 최근 Carbon Axis(프랑스 페리니)의 XPlace mk3 AFP 헤드를 기존의 MF Tech(프랑스 퀘벤)의 필라멘트 와인딩 셀에 설치하여 기존의 열경화성 수지, 열가소성 수지뿐만 아니라 CMC 구조물의 하이브리드 제조가 가능해졌다.

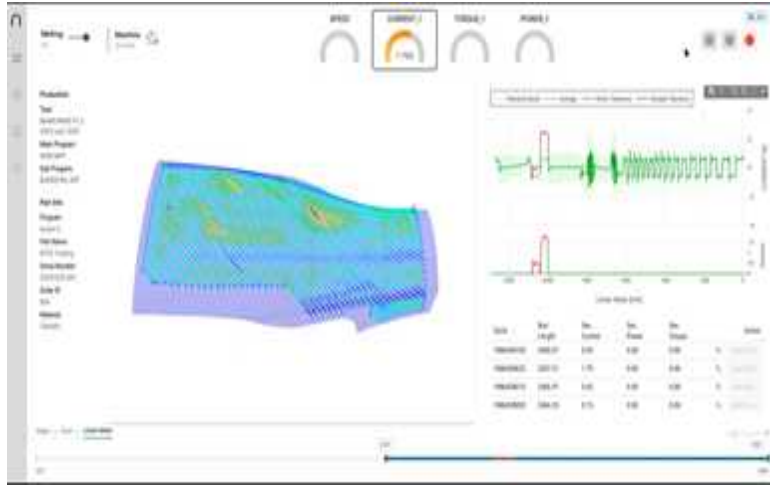


그림 10. AFP 데이터를 복합 부품에 위치적으로 매핑하여 디지털 트윈을 생성했다. 출처 | Nebumind

제조된 디지털 트윈을 시각화하기 위해 AFP 데이터를 위치별로 매핑한다.

- Nebumind(독일 뮌헨)는 "제조 데이터를 기반으로 디지털 트윈을 구축하여 결함을 추적하고, 제조된 부품을 비교하고, 공정을 검증하고, 공정 모니터링을 위한 허용 오차 범위를 개발하는 등" 다양한 작업을 수행하는 소프트웨어를 개발했다. 공동 창립자인 프란츠 엔겔(Franz Engel)과 캐롤라인 알버트(Caroline Albert)는 이전에 Airbus 자회사인 InFactory Solutions(독일 오토브룬)을 경영했다. 엔겔은 JEC World 2026에서 이 소프트웨어가 현재 AFP 공정 및 부품 개선에 어떻게 활용되고 있는지에 대해 발표했다.
- "AFP는 방대한 양의 공정 및 기계 데이터를 생성하지만, 이 데이터가 부품과 직접 연결될 때 진정한 가치가 발휘된다."라고 그는 설명한다. "우리의 핵심 접근 방식은 모든 데이터를 공간적으로 구조화하여 모든 데이터 포인트를 부품의 정확한 XYZ 위치에 할당하는 것이다." 로봇 또는 NC 제어 방식의 AFP 시스템에서는 최대 1kHz의 높은 샘플링 속도로 섬유 적층 지점을 추적함으로써 이를 구현하며, 약 1m/초의 공정 속도에서도 밀리미터 수준의 공간 해상도를 달성할 수 있다. "이를 통해 제조 공정을 분석하기 위한 고품질의 위치 기반 데이터 토대가 마련된다."라고 Engel은 말한다.
- 그는 "주로 상태 모니터링에 사용되는 기존의 시계열 분석 방식과는 달리, 공간 데이터는 부품이 실제로 어떻게 제조되는지 직접 비교할 수 있게 해준다"고 설명했다. 적층 속도, 압축력, 온도와 같은 공정 변수는 기계 제어 장치와 외부 센서 모두에서 얻을 수 있으며, 부품의 정확한 위치에서 측정할 수 있다. "이를 통해 제조업체는 부품을 지점별로 비교할 수 있으며, 공정 일관성과 결과적인 부품 품질을

확실하게 파악할 수 있다."

- 하지만 이러한 수준의 분석을 위해서는 모든 데이터 스트림의 정확한 동기화가 필수적이며, 특히 고속 AFP 공정에서 더욱 중요하다. 엔겔은 "Nebumind 소프트웨어는 세심한 시스템 통합 및 동기화 전략을 통해 필요한 데이터 품질을 보장한다."라고 설명한다. 또한 Nebumind는 Siemens와 같은 파트너사와 협력하여 산업 환경에 원활하게 통합될 수 있도록 지원한다. "우리는 신뢰할 수 있는 공간 데이터 용합을 제공하고, 고급 공정 이해, 모니터링 및 품질 보증을 가능하게 한다."

중국과 유럽의 협력으로 전기차 배터리 복합재 케이스용 알루미늄 섬유 개발

- FibreCoat(독일 아헨)는 Forward Engineering(독일 뮌헨) 및 부품 제조업체 Coleitec(중국 광저우)과 협력하여 알루미늄 코팅 현무암 섬유인 알루미늄 섬유(AluCoat)를 적용한 차세대 전기차(EV)용 복합 배터리 케이스를 공개했다. 복합 케이스에 직접 통합된 알루미늄 섬유 직조 섬유는 추가적인 금속 호일, 판 또는 코팅이 필요 없어 EMI 차폐, 자연 냉각 및 향상된 내화성을 제공하는 동시에 공정 단계, 무게 및 탄소 배출량을 줄인다.
- FibreCoat는 소재를 공급했고, 포워드 엔지니어링은 개발 과정을 총괄했으며, Coleitec은 에폭시 수지를 사용한 HP-RTM 공정을 통해 제조를 담당했다.
- 포워드 엔지니어링의 매니징 파트너인 게오르그 캐스마이어는 "플라스틱 및 복합소재의 EMI 차폐 문제를 해결하기 위한 더 나은 솔루션에 대한 수요가 높다."라고 말한다. "우리는 지난 몇 년간 여러 OEM 업체를 위해 다양한 배터리 케이스 개발에 참여해 왔지만, 경량 EMI 차폐는 여전히 해결되지 않은 과제였다. 하지만 FibreCoat의 기술은 기술 섬유 주변에 기능성 층을 추가하는 방식으로, 복합소재에 적용할 수 있는 새로운 접근법이며 다양한 방식으로 유연하게 활용할 수 있다. 이제 제품 설계에 활용할 수 있는 도구가 더욱 풍부해졌으며, 우주, 로봇 및 기타 산업 분야에서 이 기술의 이점을 누릴 수 있는 다양한 응용 분야를 기대한다."
- FibreCoat의 CEO인 로버트 브뤼일은 이 기술이 비용 절감에도 도움이 된다고 강조한다. "기존의 금속 코팅 섬유나 금속 섬유와 비교했을 때, 당사는 유리 또는 현무암 필라멘트를 분당 1,500~2,000미터의 속도로 생산하면서 동시에 코팅하기 때문에 10~20배 저렴하다. 이러한 방식은 자동차, 국방, 우주 산업과 같이 비용과 속도에 대한 압박이 크면서도 고성능을 유지해야 하는 분야에서 대량 생산 및 규모 확장을 매우 빠르게 가능하게 한다."
- 또한, 이 배터리 케이스의 경우 FibreCoat는 기존 공정에 바로 적용할 수 있는 솔루션일 뿐만 아니라, 이러한 적용 분야에서 이전에 필요했던 단계를 제거했다. FibreCoat의 사업 개발 매니저인 Neel Savla는 "Coleitec은 AluCoat 직조 소재를 HP-RTM 공정에 통합하기 위해 설비를 변경하거나 추가 단계를 거칠 필요가 없었

다."라고 설명한다. "또한 금속 호일을 부착하거나 코팅을 적용하는 등 후처리 과정에서 필요했던 추가 공정을 없애준다. 따라서 전기차 부품 생산 단계와 시간을 줄여 추가적인 비용 절감을 가능하게 한다."

- JEC에서 전시된 배터리 케이스는 구상 단계부터 완성된 시제품까지 6개월이 채 걸리지 않았다.
- Coleitec의 CTO인 빈 웨이는 "이번 협력은 글로벌 공급망이 각 파트너의 강점과 장점을 활용하기 위해 긴밀히 협력하는 훌륭한 사례이다."라고 말했다. Coleitec은 지난 3년간 60만 개의 배터리 박스를 생산했으며, 100만 개 이상의 주문 잔고를 보유하고 있다. 그는 "우리는 경량 복합소재 기술을 전문으로 하며, 이러한 동시 개발은 혁신적인 기술의 상용화를 가속화한다."라고 덧붙였다.
- 파트너사들은 다음 단계로 배터리 케이스를 이용한 시스템 레벨 테스트를 완료할 예정이다. 브뤼 대표는 "테스트가 완료되면 중국과 유럽의 OEM 업체 및 공급망에 공동으로 접근할 것"이라고 밝혔다.
- Coleitec은 중국의 주요 광섬유 생산 업체에 FibreCoat를 소개하고 있으며, FibreCoat는 독일, 폴란드, 체코, 조지아에 있는 기존 생산 시설 외에 추가 생산 시설 설립을 검토하고 있다. 브뤼 대표는 "지난 6년간 4개의 생산 시설을 구축했으며, 완전한 유럽 공급망을 제공할 뿐만 아니라 기술 라이선스를 통해 아시아, 미국 등 제품이 필요한 곳이라면 어디든 신속하게 규모를 확장할 수 있다"고 덧붙였다.

비정형 TPC

- 고성능 열가소성 수지 분야에서 20년 이상 경력을 쌓은 대만 COREX Materials Co.의 기술 및 전략 책임자인 피에르 코트는 TPC(열가소성 폴리머) 도입의 장벽이 재료 비용뿐만 아니라 제조 공정의 복잡성과도 관련이 있다는 점을 발견했다. PEEK 및 PEKK와 같은 반결정성 폴리머는 엄격한 공정 제어와 좁은 열전도율을 요구하기 때문에 특정 산업 환경에서는 확장성이 제한될 수 있다.
- 코트는 COREX에서 TPC를 소재, 공정 및 응용 분야가 함께 개발되는 시스템으로 접근하는데 중점을 두었다고 말한다. 이러한 접근 방식을 통해 비정질 열가소성 수지는 뚜렷한 이점을 제공한다. 안정적인 가공 특성으로 인해 결정화 제약이 없어 더욱 견고하고 반복



그림 11. COREX Materials는 보다 저렴하고 간편한 비정질 TPC 소재를 공급한다. 출처 | CW, COREX Materials

가능한 제조가 가능해진다.

- 코트 대표는 "우리는 대만의 강력한 전자 제조업을 지원하기 위해 처음에는 폴리카보네이트(PC) 기반 복합재를 개발했다."라고 말했다. 적용 분야가 스포츠 용품 및 구조 부품으로 확대됨에 따라, 회사는 내열성, 인성 및 가공성의 균형이 각기 다른 고성능 폴리머인 폴리설펜(PSU), 폴리에테르설펜(PES), 폴리에테르이미드(PEI) 및 폴리페닐설펜(PPSU)으로 포트폴리오를 확장했다.
- COREX는 제조 공정에 맞춰 다양한 복합재 제품 형태를 개발한다. 여기에는 연속 보강을 위한 UD 테이프, 성형 공정을 위한 집적 라미네이트 및 유기 시트, 그리고 압축 성형에서 평면 준등방성 거동과 설계 유연성을 가능하게 하는 불연속적인 "잘게 자른 UD" 형태가 포함된다. 또한, 막대와 같은 열가소성 압출 성형 프로파일은 고도로 제어된 연속적인 형상을 구현할 수 있도록 한다. 코트는 "이러한 형태들을 조합함으로써 엔지니어들은 처음부터 성능, 형상, 제조 용이성 및 다기능성을 통합한 하이브리드 구조를 설계할 수 있다."라고 말한다. "재료는 방정식의 한 부분일 뿐이다. 대부분의 문제는 재료의 거동, 공정 조건 및 부품 설계 간의 접점에서 발생한다. 우리의 역할은 바로 그 접점에서 문제를 해결하는 것이다."

드론 부품 및 드릴 비트에 TPC를 사용한다.

- Mitsui Chemicals(일본 도쿄)은 TPC 드론 프로펠러 블레이드와 자사의 TAFNEX 탄소섬유 강화 폴리프로필렌(PP) 소재를 사용한 동체 구조를 선보였다.

- 블레이드 두 개는 폼 코어를 열성형하여 제작되었고, 나머지 하나는 오스트리아 정부 지원 네오블레이드(NeoBlade)연구 프로젝트 컨소시엄(오스트리아 슈베르트부르크의 엔겔(Engel) 포함)이 개발한 단방향 테이프와 사출 오버 몰딩 기술을 사용하여 제작되었다. 이와 동시에 열가소성 동체 구조도 발표되었으며, 열경화성 수지에서 열가소성 수지로 설계를 이전하는 개발 접근 방식을 설명하는 백서도 함께 공개되었다." 디지털 엔지니어링과 열가소성 복합재를 통해 대량 생산을 가능하게 하는 방법 "이라는 제목의 이 백서는 파트너사인 Simutence(독일 카를스루에)와 공동으로 제작되었다.



그림 12. 프로펠러 날개는 열성형 폼 코어 샌드위치 구조(왼쪽 상단)와 사출 성형으로 제작되었으며, 본체 구조 또한 TAFNEX를 사용하여 사출 성형되었다. 출처 | CW

- 이 회사는 테이프 와인딩 방식으로 제작하고 독일 드레스덴의 애니브리드(Anybrid)사에서 사출 성형을 통해 기능화한 드릴 비트도 전시했다. 이 시연품은 독일 정부가 자금을 지원한 Wi-In 연구 프로젝트의 일환으로, 단일 생산 셀 내에 두 가지 생산 공정을 통합하는 방안을 연구했다. 또한 이 프로젝트는 이러한 구조물이 섬유유와 수지를 분리할 필요 없이 기계적으로 재활용 및 재사용될 수 있음을 입증했다.

복합 액체 수소 탱크

- 네덜란드 왕립 항공우주센터 (NLR)는 Toray Advanced Composites(네덜란드 니베르달)와 네덜란드 LH₂ 복합재 탱크 컨소시엄의 12개 파트너사와 함께 개발한 소형 복합재 액체 수소(LH₂) 탱크(크기: 1.4m× 390m)를 전시했다. 이 탱크는 진공 및 다층 단열재(MLI)로 분리된 TPC 내부 탱크와 열경화성 복합재 외부 탱크로 구성된다.

- 내부 실린더는 Torayca T700G 탄소섬유와 Victrex(영국 클리블리스)의 LMPAEEK 폴리머로 구성된 145gsm Toray Cetex TC1225 UD 프리프레그 테이프를 사용하여 제작되었고, 외부 실린더는 Torayca T700S 탄소섬유로 만든 Toray TC346 강화 에폭시 UD 프리프레그를 사용했다. 전시를 위해 탱크는 Blueshift(미국 매사추세츠주 스펜서)의 AZ-FTB 300 접착 테이프로 부분적으로 덮었다. 실제 사용 시에는 탱크 전체를 덮어 화염으로부터 보호함으로써 1,000°C 이상의 지속적인 고온에서도 구조적 무결성과 기능적 성능을 유지한다.

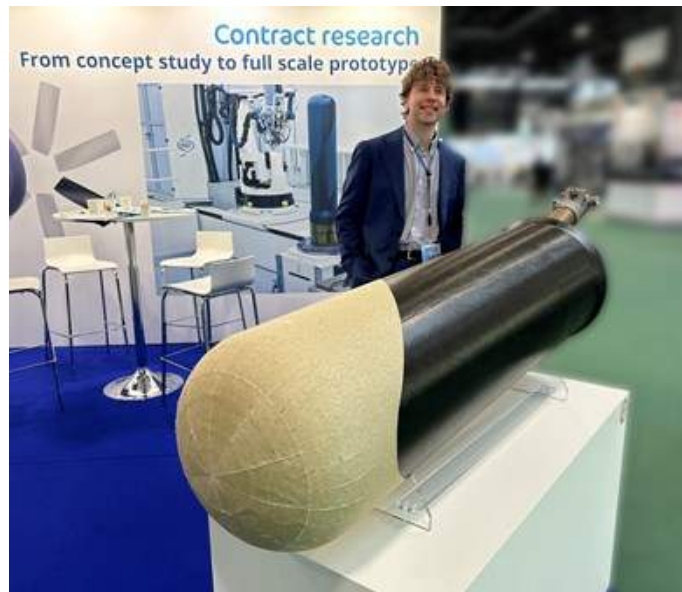


그림 13. 열가소성 및 열경화성 복합재료를 모두 사용하고 화재 및 열 보호를 위해 블루시프트 테이프로 일부를 덮은 액체 수소(LH₂) 저장용 복합 탱크. 출처 | CW

- 91% 복합소재로 제작된 이 조립체는 통합형 광섬유 센서와 3D 프린팅된 스테인리스 스틸 어댑터를 갖추고 있으며, 순중량 5kg의 LH₂를 저장할 수 있다. 이 조립체는 2026년 2분기에 NLR에서 테스트될 예정이다.
- Cetim(프랑스 낭트)은 LH₂ 복합재 탱크 기술, 특히 Coleitec가 주도하는 STOHYC 프로젝트의 일환으로 개발된 라이너리스 타입 5 복합재 탱크용 1미터 TPC 돔 데모 시연기를 전시했다. 프랑스 프로그램의 다른 파트너로는 Hexcel(프랑스 생드니), Loiretech(프랑스 부게네), Onera(프랑스 팔레조) 및 MF Tech(프랑스 아르장탕)가

있다.

- Cetim의 스파이드 TP 레이저 보조 테이프 배치(LATP) 시스템을 사용하여 제작된 이 돔은 탄소섬유/PEKK 테이프를 이용한 고곡면 성형에 혁신적인 "절단 및 계단식" 적층 방식을 적용했다. 이 솔루션은 기존의 테이프 와인딩 또는 AFP 공정에서 흔히 발생하는 기포 및 과도한 겹침과 같은 결함을 최소화하는 데 도움이 된다. 이러한 결함은 극저온 열응력으로 인해 매트릭스 균열을 유발할 수 있다. Cetim의 첨단 소재 및

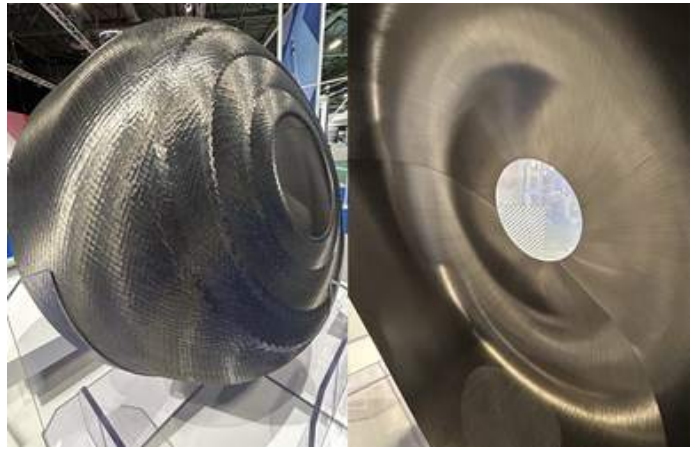


그림 14. "절단 및 계단식" 적층 방식과 레이저 보조 테이프 배치 기술을 사용하여 제작된 5형 라이너리스 복합재 LH 2 탱크 용 탄소섬유/PEKK 돔은 과도한 재료와 다공성을 줄이면서 고품질의 내부 마감을 구현한다. 출처 | CW

- 부품 담당 매니저인 클레망 칼렌스(Clément Callens)는 "기존 필라멘트 와인딩 방식은 돔에 과도한 두께를 발생시킨다."라고 설명하며, "반면, 당사는 LATP 공정과 현장 응고를 통해 돔에 필요한 배치 각도를 구현하여 기공 발생을 방지한다. 또한, 당사가 개발한 시뮬레이션 도구는 섬유 경로를 최적화하는 데 중요한 역할을 했다."라고 덧붙였다.
- Cetim은 섬유 경로를 정밀하게 조정함으로써 재료 품질, 돔 밀폐성 및 구조적 안정성을 향상시켜 더 가볍고 완전 복합소재로 된 극저온 탱크를 제작할 수 있다고 주장한다. 또한 열가소성 폴리머는 재활용성과 산업적 확장성을 향상시킨다. Cetim은 극저온 조건에 적합한 접착 공정도 개발했으며 극한 조건에서 이를 검증했다.



그림 15. 출처 (왼쪽부터 시계방향) | CW, UniSQ, CW 및 FibreCoat

- 관련 콘텐츠
- [블래더 보조 압축 성형 파생 기술, 복잡하고 오토클레이브 처리가 필요한 고품질 자동차 부품 생산](#)(24.10.25.)

- [차세대 항공기 기체 구조를 위한 다기능 열가소성 복합재료와 적층 제조 기술의 결합](#)(`24.6.27.)
- [상용 항공기용 복합 액체 수소 탱크 개발](#)(`25.1.16.)
- [프리프레그 압축 성형은 고속 프로펠러 제조 지원](#)(`25.5.30.)

□ 독일 DLR, 도심 응급 작전용 충돌 안전성이 뛰어난 탄소복합소재 eVTOL 시연(26.04.21.)

※ [Composites World] 여러 부서가 참여한 이 프로젝트는 최적화된 충돌 안전 구조 설계와 폐기물이 적고 가벼운 복합재 생산 공정을 결합하여 기체 구조 및 안전한 배터리 통합을 개발했다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/dlr-demonstrates-crashworthy-composite-e-vtol-for-emergency-urban-operations>
 - #독일 #항공우주 #탄소섬유 #복합소재 #RTM
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
- 도시 구조 프로젝트(2020-2024)에서 독일 항공우주센터(DLR)는 응급 의료 및 도시 구조 작전에 사용할 2인승 eVTOL 회전익기를 설계, 제작 및 충돌 시험을 수행했다. 이 기체는 하이브리드 전기 시스템과 충돌 시험을 거친 탄소섬유 강화 복합재 구조를 갖춘 비행 의료 대응 장치로 설계됐다.
 - 안전성을 최우선으로 고려하여 에너지 흡수 부품과 강화된 객실과 같은 기능을 탑재했으며, 이는 고충격 충돌 시뮬레이션에서 효과가 입증됐다. 폐기물을 최소화하는 첨단 복합소재 제조 공법으로 제작되고 모든 개발 과정이 디지털 방식으로 이루어진 이 항공기는 안전하고 효율적인 응급 항공 수송의 새로운 기준을 제시한다.
 - 이 프로젝트는 슈투트가르트에 있는 DLR 구조 및 설계 연구소가 주도했으며 다음 부서들이 참여했다.
 - 구조적 무결성 및 부품 설계 및 제조 기술 부서
 - 생산 기술 분야의 자동화 및 품질 보증부서(아우크스부르크 사업장) 및 아우크스부르크 경량 생산 기술 센터 (ZLP)
 - eVTOL 설계는 특히 복합소재로 제작된 기체 하부 구조에 중점을 두었으며, 지속적인 학제 간 교류를 통해 공동으로 개발, 설계, 시제기 제작 및 충돌 시험을 진행했다. 프로젝트 관리 및 생산은 아우크스부르크에서, 시험 및 최종 충돌 시험은 슈투트가르트에서 이루어졌다.

충돌 안전성을 고려한 eVTOL 설계는 차체 하부 구조에 중점을 두었다.

- 기체 구조 개발을 위한 기존 구조 설계 방식과 병행하여, 충돌 안전성 설계 및 제조·생산 측면을 고려한 설계를 모든 설계 단계에서 수행하고 분석했다. 개발된 충돌 안전성 설계에는 기체 구조, 안전한 배터리 통합, 그리고 충격 흡수 시트가 포함된다. 구조 설계, 충돌 안전성 설계, 그리고 생산을 연계한 목적은 최적화된 충

돌 안전성 구조 설계와 혁신적인 생산 공정을 결합한 기체 하부 구조를 개발하는 것이었다.

다양한 복합 기술을 활용한 제조

- 의료진 수송용 eVTOL의 시연 구조물은 중앙 하부 구조와 두 개의 주요 프레임으로 구성되며, 설계 과정 결과를 바탕으로 아우크스부르크의 ZLP에서 제작됐다. 시연 구조물 제작에는 건식 섬유 배치, 수지 전달 성형(RTM), 오토클레이브 외부(OOA) 프리프레그 등 다양한 섬유 강화 복합재 기술이 사용됐다. 이러한 공정들은 각각의 구조적 요구 사항에 따라 선택되었으며, 신뢰할 수 있고 가벼운 부품 생산을 실현하는 데 기여했다.

실규모 충돌 시험을 통해 복합소재 하부 구조의 안전성이 검증됐다.

- 충돌에 최적화된 좌석과 충돌 방지 배터리 통합 장치를 갖춘 시제기는 슈투트가르트 연구소의 시험 설비 구조물에 설치됐다. 이 충돌 개념은 실제와 유사한 수평-수직 복합 충돌 조건($v_z=7.4\text{m/s}$, $v_x=4.3\text{m/s}$)에서 실시된 실규모 충돌 시험을 통해 성공적으로 입증됐다. 도시 구조 프로젝트의 결과는 향후 전기 수직 이착륙기(eVTOL) 및 헬리콥터 구조 설계 관련 연구 프로젝트에 활용될 예정이다.



그림 16. 출처 | DLR. All rights reserved

- 관련 콘텐츠
 - [블래더 보조 압축 성형 파생 기술은 복잡하고 오토클레이브 처리가 필요한 고품질 자동차 부품 생산](#)(24.10.25.)
 - [후처리: 3D 프린팅 플라스틱 및 복합소재로 제작된 구강 지지대는 거동이 불편한 사용자 지원](#)(26.03.30.)
 - [저비용 고효율 CFRP 이방성 격자 구조](#)(24.08.30.)

□ 미국 REGENT, 시글라이더 자율 드론 '스콰이어', 첫 지면 효과 시험 비행 완료('26.04.22.)

※ [Composites World] REGENT 디펜스가 군사용으로 설계한 하이드로포일 해상 활공기 중 하나인 스콰이어는 레이더 탐지를 피해 70노트의 속도로 비행하며, 50파운드의 탑재량과 100해리의 항속 거리를 자랑한다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/regent-seaglider-autonomous-drone-squire-completes-first-ground-effect-test-flight>
 - #미국 #항공우주 #방위방산 #시장 #탄소섬유
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
-
- 탄소섬유 복합재 소재의 시글라이더(Seaglider) 개발 및 제조업체인 REGENT(미국 로드아일랜드주 노스 킹스타운)가 국방 임무용으로 제작된 자율 시글라이더 드론 'Squire'의 지면 효과 비행에 성공했다.
 - 이번 성과는 국방 목적의 지면 효과(WIG) 항공기가 미국에서 비행에 성공한 최초의 사례로, REGENT가 이 핵심 기술 분야에서 중국을 제치고 선두에 오르는 발판을 마련했다고 한다.
 - 이번 비행 시연은 REGENT의 지속적인 Squire 시험 캠페인의 최신 성과이며, 시급한 국방 수요에 대응하여 해당 플랫폼을 우선적으로 개발하고 있음을 보여준다. REGENT는 미국과 동맹국에 현대적인 해상 역량을 제공하기 위해 Squire를 비롯한 국방 특화 시글라이더(Seaglider) 함정 개발을 추진하고 있다.
 - 시글라이더(Seaglider)는 수면에서 날개폭만큼의 공기역학적으로 효율적인 쿠션 위를 비행하는 WIG(Window-Induced Gravity) 함정으로, 레이더 탐지를 피하면서 효율적이고 장거리 작전이 가능하다. 최대 시속 70노트(81마일)의 속도, 100해리 이상의 작전 가능 거리, 그리고 50파운드의 탑재량을 갖춘 Squire는 정보, 감시 및 정찰(ISR)을 비롯한 핵심 국방 임무는 물론 맞춤형 물류 지원, 대잠전, 수색 및 구조 작전 등을 수행할 수 있다.
 - 국방 고객들은 광범위한 해역에서 속도, 항속 거리 및 임무 유연성을 갖추고 작전할 수 있는 플랫폼을 필요로 한다. Squire는 바로 이러한 요구를 충족하도록 설계됐다. 이번 시연은 고속 자율 임무 수행 능력 구현을 향한 실질적인 진전을 보여준다.
 - Squire와 REGENT 디펜스 포트폴리오 전반에 대한 관심이 지속적으로 증가하고 있다. 미 정부는 REGENT와 같이 신속하게 움직여 임무 수행에 필요한 역량을 현장에 제공하는 신형 방위산업체의 중요성을 강조해 왔다.



그림 17. Joby Aviation의 marina 소재 비행 시험 및 제조 시설에 있는 전기 에어 택시 두 대. 출처 | Joby Aviation.

○ 관련 콘텐츠

- [주목할 만한 기술: 복합소재 배터리 외피의 혁신](#)(^{24.12.13.})
- [에어버스, 시티에어버스 차세대 eVTOL 프로그램 잠정 중단](#)(^{25.02.05.})
- [Joby는 미국 내 eVTOL 생산 능력을 두 배로 증진 계획](#)(^{25.12.31.})

□ 미국 Piper Aircraft, M700 퓨리 기종에 7엽 복합재 MT 프로펠러를 공장 출고 옵션으로 제공('26.04.22.)

※ [Composites World] MT-Propeller가 첨단 복합소재와 공기역학적 효율성을 고려하여 설계한 이 프로펠러는 이륙 거리 단축, 상승률 향상, 객실 소음 감소 등의 개선 사항을 제공한다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/piper-aircraft-introduces-composite-seven-blade-mt-propeller-as-factory-option-for-m700-fury>
- #미국 #항공우주 #복합소재 #탄소섬유
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing의 수석 편집장
- Piper Aircraft(미국 플로리다주 베로비치)은 MT-Propeller Entwicklung GmbH(독일 아팅)에서 생산한 첨단 7엽 MT-Propeller가 유럽 항공 안전국(EASA)으로부터 Piper M700 퓨리 항공기 에 대한 추가 형식 인증(STC) 승인을 받았으며, 조만간 미국 연방 항공국(FAA)의 인증도 받을 것으로 예상한다고 발표했다.
- 복합소재와 공기역학적 효율성을 고려하여 설계된 7엽 MT-프로펠러는 성능과 객실 편의성을 모두 향상시켜 조종사에게 정교하고 반응성이 뛰어난 비행 프로파일을 제공할 뿐만 아니라 이륙 거리 단축, 상승률 향상, 객실 소음 감소 등 눈에 띄는 성능 개선 효과를 제공한다.
- MT-Propeller Entwicklung GmbH(독일 아팅)는 1981년 게르트 뮐바우어(Gerd Muehlbauer)에 의해 설립되었으며, 단발 및 쌍발 엔진 항공기, 비행선, 풍동 및 기타 특수 용도에 사용되는 천연 복합소재 프로펠러 제조업체로서 일반 항공 분야에서 널리 알려져 있다.
- "7엽 MT-프로펠러를 퓨리 플랫폼에 통합함으로써 Piper Aircraft는 지속적인 혁신과 고객 중심의 개선에 전념하고 있음을 보여준다." - 마크 우엘렛, Piper Aircraft 엔지니어링 및 제조 담당 부사장
- Piper Aircraft의 단발 엔진M클래스 시리즈(M700 퓨리, M500, M350)는 기업 및 개인 고객에게 뛰어난 성능, 가치 및 만족스러운 소유 경험을 제공한다. Piper Aircraft는 일반 항공기 제조업체 협회(GAMA)의 회원사이다.
- 관련 콘텐츠
 - [공장 견학: 에어버스, 스페인 일레스카스\('24.08.28.\)](#)
 - [오션게이트 타이탄 참사 재조명\('24.07.01.\)](#)
 - [프리프레그 압축 성형은 고속 프로펠러 제조 지원\('25.05.30.\)](#)

□ 중국 Jushi, 10만 톤 규모의 전자제품용 유리섬유 생산 공장 개설 (`26.04.22.)

※ [Composites World] 고급 서비스 및 자동차 전자 장치를 지원하는 탄소 배출 제로 스마트 제조 시설은 주시의 글로벌 시장 점유율을 4% 증가시킬 것으로 예상된다.
/News

- <https://www.compositesworld.com/news/china-jushi-opens-100000-ton-electronics-grade-fiberglass-plant>
 - #중국 #전자제품 #유리섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 의 수석 편집장
- Jushi 유한회사(중국 항저우)는 3월 중순, 중국 동부 장쑤성에 최대 규모의 전자용 유리섬유 생산 공장을 가동했다고 발표했다. 화이안에 위치한 이 공장은 연간 10만 톤의 전자용 유리섬유와 3억 9천만 미터의 전자 직물을 생산할 수 있는 능력을 갖추고 있다.
 - 전자용 유리섬유는 인쇄 회로 기판(PCB)의 원료이다. 전자용 유리섬유의 성능은 PCB의 유전 특성, 열팽창 계수 및 신뢰성을 직접적으로 결정하기 때문에 디지털 경제의 핵심 기반 원료로 볼 수 있다.
 - Jushi는 이 공장이 초극세사 및 초박형 직물과 같은 고급 전자 기판 소재를 생산한다고 밝히며, 완전 가동 시 고성능 서버 및 자동차 전자 장치용 고성능 PCB와 같은 신형 산업의 시급한 수요를 효과적으로 충족할 것으로 기대한다고 덧붙였다.
 - Jushi의 Yang Guoming 총괄매니저는 이 프로젝트가 전자정보 산업 사슬의 안정적인 공급에 핵심적인 역할을 할 것으로 기대한다고 덧붙였다. 이 공장은 가전제품, 5세대 이동통신, 산업 제어 등 신형 분야에 고급 원자재를 공급하고, 중국의 새로운 정보 인프라 구축에 필요한 원자재 공급을 보장할 것이다.
 - 후아이안 공장은 산업 인터넷, AI 기반 품질 검사 및 디지털 트윈과 같은 기술을 적용하여 전 공정 지능형 생산을 달성했으며, Jushi는 유리섬유 생산 시설이 탄소 배출 제로라고 덧붙였다.
 - Jushi는 세계 전자 유리섬유 시장에서 23%의 점유율을 차지하고 있으며, 화이안 공장이 최대 생산 능력에 도달하면 이 수치는 28%까지 증가할 것으로 예상된다.



그림 18. 유리섬유 제조는 로봇이 담당. 출처 | 중국 Jushi/Yicai 글로벌

○ 관련 콘텐츠

- [공장 견학: 테이진 카본 아메리카\(Teijin Carbon America Inc.\), 미국 사우스캐롤라이나주 그린우드](#)(24.05.27.)
- [공장 견학: 에어버스, 스페인 일레스카스](#)(24.08.28.)
- [오토 예비에이션, 레오나르도사의 전 복합소재 기체를 장착한 팬텀 3500 비즈니스 제트기 출시](#)(25.06.27.)

□ 프랑스 SMM Composites, Computed Wing Sail용 고성능 CFRP 부품 54개 단 몇 주 만에 생산(26.04.22.)

※ [Composites World] 요약: 오메가 형상에 6캐비티 주입 금형을 사용하여 최대 강성과 장기적인 구조적 신뢰성을 확보하고, 대규모 3D 프린팅 및 정밀 가공을 통해 최고 품질을 유지하면서 납기를 단축했다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/smm-composites-produced-54-high-performance-cfrp-parts-for-computed-wing-sail-in-weeks>
 - #프랑스 #해양선박 #탄소섬유 #복합소재 #CFRP
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
-
- SMM Composites(프랑스 라네스터)는 특허받은 접이식 강성 날개 세일을 개발한 해양 추진 분야의 선구자 CWS-Computed Wing Sail 프랑스 몽투아르드브르타뉴)이 제시한 과제, 즉 18개의 오메가로 구성된 총 54개의 부품으로 이루어진 날개 3개를 단기간 내에 제작하는 임무를 성공적으로 완수했다.
 - SMM Composites는 wing 세일용 탄소섬유 복합재 보강재를 정해진 기한 내에 납품했을 뿐만 아니라, 최대 강성과 장기적인 구조적 안정성을 포함한 요구되는 품질 기준도 충족했다.
 - 이를 위해 SMM Composites는 다음과 같은 반복 가능한 고품질 및 생산성 향상 전략을 개발했다.
 - 6개의 구멍이 있는 목재 주형을 사용하여 6개의 부품을 동시에 생산함으로써 단 3번의 주입 공정만으로 단일 날개에 필요한 18개의 오메가 형상을 모두 제작할 수 있다.
 - CMS 첨단 소재 기술의 도움을 받아 대규모 3D 프린팅 기술을 사용하여 맞춤형 가공 고정 장치를 설계했다. 이 고정 장치는 통합된 하향식 진공 클램핑 시스템을 특징으로 하여 가공 중 신속하고 정확한 위치 지정과 견고한 안정성을 보장한다.
 - 그 결과, SMM Composites가 자랑하는 완벽한 품질의 장인 정신과 첨단 생산 기술이 조화롭게 어우러진 제품이 탄생했다.



그림 19. 날개 뒹 생산. 출처 | SMM Composites

○ 관련 콘텐츠

- [탄소섬유와 생체 모방 디자인을 통해 레이스에 최적화된 양산형 차량에서 최고의 성능 구현](#)(`24.07.29.)
- [필라멘트 와인딩 기술은 고성능 복합재 보철물의 접근성 향상](#)(`24.05.22.)
- [복합재 최종 시장: 새로운 영역 \(2025년\)](#)(`25.02.24.)

□ 영국 SMMT, 영국 자동차 산업 보호를 위해 EU에 '유럽 내 생산' 규정 개정 촉구(26.04.22.)

※ [Composites World] 영국자동차노조연합(SMMT)은 일자리, 투자 및 공급망의 안정성을 보호하기 위해 영국에서 생산된 차량, 부품 및 배터리가 "유럽산(Made in Europe)" 기준에 따라 동등한 대우를 받아야 한다고 밝혔다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/smmt-urges-eu-to-amend-made-in-europe-rules-to-protect-uk-auto-trade>
 - #영국 #전기자동차
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 의 수석 편집장
- 4월 15일, 영국 자동차제조협회(SMMT, 영국 런던)는 유럽연합(EU)에 산업가속화법(IAA) 개정안을 통해 영국 자동차 산업을 "유럽 내 생산"을 원칙으로 하는 신뢰할 수 있는 파트너로 유지할 것을 촉구했다.
 - IAA의 모든 자동차 관련 조항에서 영국산 차량, 부품 및 배터리에 동등한 대우를 부여하는 것은 오랫동안 유지되어 온 상호 이익이 되는 무역 관계를 지속하는 데 도움이 될 것이며, 이는 경제 성장과 일자리 창출, 산업 변혁 지원 및 탈탄소화 촉진으로 이어질 것이다.
 - 이번 요구는 영국 무역협회가 브뤼셀에서 EU 대표들과 만나 치열한 글로벌 경쟁과 지정학적 불확실성 속에서 영국 자동차 산업이 유럽 산업 및 경제 전반에 미치는 전략적 중요성을 강조하는 가운데 나왔다. SMMT는 영국 자동차를 IAA의 "유럽산(Made in Europe)" 정책에서 제외하는 것은 영국뿐만 아니라 EU의 자동차 제조 역량에도 상당한 피해를 입히고, 공급망 회복력을 저해하며, IAA의 목표를 훼손할 것이라고 지적했다.
 - 40년 이상에 걸쳐 구축된 EU와 영국 간의 자동차 산업 협력 관계는 연간 800억 유로 규모에 달한다. 영국은 EU의 최대 승용차 수출 시장이며, 반대로 EU의 승용차 수출 시장 또한 영국에 연간 397억 유로를 수출하고 있다. 또한 EU는 영국 자동차 제조업체에 매년 91억 유로 상당의 자동차 부품을 판매하고 있는데, 이는 미국과 중국을 포함한 다른 어떤 시장보다도 많은 금액이다.
 - 영국자동차제조업협회(SMMT)의 보고에 따르면, 현재 초안대로라면 '유럽산(Made in Europe)' 정책은 영국 자동차 제품을 EU 제조업체에 제공되는 인센티브, 특히 EU 신차 시장의 약 60%를 차지하는 기업 차량의 친환경화 관련 인센티브 및 CO₂ 슈퍼 크레딧에서 제외함으로써 이러한 무역 관계를 위협하고 있다.
 - 이러한 인센티브는 저탄소 및 무공해 차량을 도입하는 기업에 재정적 지원을 제공

하고 제조업체의 EU 시장 판매 능력을 강화한다. SMMT는 “영국이 이러한 인센티브를 받지 못하게 되면 자동차 산업은 심각한 불이익을 겪게 되고, 생산량 감소로 이어져 EU 공급망 수요를 크게 위축시키고 소비자 선택의 폭을 좁히고 가격을 인상하게 될 것”이라고 밝혔다.

- 이러한 조치는 유럽이 친환경 모빌리티로 전환하는 중요한 시기에 전기차(EV) 무역에 악영향을 미쳐 투자를 위축시키고 업계의 규제 요건 충족 능력을 더욱 저해할 것이다.
- 브렉시트로 인한 혼란에도 불구하고, EU-영국 무역협력협정의 무관세 혜택에 힘입어 배터리 전기차(BEV)의 EU-영국 무역은 호황을 누려왔다. 2019년 이후 영국의 EU산 전기차 수입액은 10배 증가했으며, 영국에서 판매되는 전기차의 거의 3분의 2(61.6%)가 EU 공장에서 수입되고, EU에서 생산된 전기차는 영국의 전기차 보조금 지원 대상 모델의 90%를 차지한다.
- 영국자동차노조(SMMT)의 마이크 호스 최고경영자는 “EU와 영국 자동차 산업은 고도로 통합되어 있으며, 글로벌 환경의 불확실성이 커짐에 따라 더욱 긴밀한 관계가 필수적이다”라며, “양측의 파트너십을 약화시키는 대신, 협력을 심화하고 TCA(자동차 거래 협정)의 잠재력을 최대한 발휘하여 세계적으로 경쟁력 있는 자동차 산업으로의 성공적인 전환을 보장할 기회를 잡아야 한다”고 말했다.
- 영국자동차산업협회(SMMT)는 EU가 영국을 “유럽산(Made in Europe)” 프레임워크에 포함시켜 영국산 차량 및 부품이 모든 IAA(산업협력협정) 측면에서 EU산 부품과 동등하게 인정받도록 할 것을 촉구한다.
- 또한 EU는 다른 유사한 무역 파트너 국가들에게도 같은 대우를 적용하는 방안을 고려해야 한다. 새로운 무역 장벽을 만드는 대신, 양측은 2025년 전략적 파트너십을 기반으로 산업 협력을 심화하고 공급망의 회복력을 강화하며 무역 관계를 공고히 해야 한다.



그림 20. SMMT UK 자동차 관련 인포그래픽. 출처 | SMMT

○ 관련 콘텐츠

- [TPI는 모든 부분이 복합소재로 제작된 Kenworth SuperTruck 2 캡 생산](#)(24.05.24.)
- [복합재 최종 시장: 자동차 \(2025년\)](#)(25.07.21.)
- [SABIC 복합소재 하이브리드 배터리 커버는 전기차의 안전성과 효율성 향상](#) (25.09.12.)
- [DITF 지향성 rCF 테이프는 순수 섬유 CFRP 대체재 목표](#)(24.12.06.)

□ 프랑스 Space Rider, TPS용 CMC 바디 플랩이 초고속 충돌 후 플라즈마 테스트 통과(26.04.24.)

※ [Composites World] ISiComp의 C/C-SiC 세라믹 매트릭스 복합재(CMC) 열 보호 시스템(TPS) 부품이 CIRA에서 또 다른 품질 테스트를 통과하여 직경 1cm의 구멍이 있는 상태에서 1200°C에서 600초 동안 견뎠다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/cmc-body-flap-for-space-rider-tps-passes-plasma-test-after-hypervelocity-impact>
 - #유럽 #세라믹매트릭스복합재료
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
- 유럽우주국(ESA, 프랑스 파리)의 스페이스 라이더 프로그램에 대한 인증 시험이 이탈리아 항공우주연구센터(CIRA, 이탈리아 카푸아)에서 Thales Alenia Space(프랑스 툴루즈)의 주 계약 하에 계속 진행되고 있다. 이번 시험에서는 미세 운석 및 궤도 파편(MMOD)과의 충돌 후 열 보호 시스템(TPS)용 소형 동체 플랩 어셈블리(BFA)의 거동 및 내구성을 평가하는 데 중점을 두고 있다.
 - BFA 시험체는 CIRA와 Petroceramics(이탈리아 스테차노)가 공동 개발 및 특허를 획득한 탄소섬유 강화 탄소 및 탄화규소(C/C-SiC) 세라믹 매트릭스 복합재(CMC)인 ISiComp로 제작된 일체형 보강재가 포함된 300×400×50mm 크기의 윤곽형 공기 역학적 제어 표면이었다.
 - ISiComp 플랩은 CIRA의 Scirocco플라즈마 풍동(PWT) 내부에서 극한의 열 및 구조적 저항 시험을 거쳤다.
 - 이번 시험의 목적은 대기권 재진입을 모사한 플라즈마 흐름에 노출된 부품의 구조적 건전성을 손상 발생 시에도 검증하는 것이었다. 해당 플랩은 이전에 Fraunhofer 고속 동역학 연구소(EMI, 독일 프라이부르크 임 브라이스가우)에서 궤도상에서 발생할 수 있는 MMOD 충돌을 시뮬레이션하기 위한 초고속 충돌 시험을 거쳤다.
 - ISiComp 플랩은 2.3mm 직경의 알루미늄 발사체가 초속 6.5km의 속도로 충돌하여 표면에 직경 약 1cm의 구멍이 생겼다. PWT(압축강화처리)시험 중 플랩은 1200°C의 온도에 도달했으며, 600초 이상 안정적으로 유지됐다.
 - 이처럼 극한의 플라즈마 노출 후에도 구멍의 크기는 변하지 않았으며, 이는 육안 검사뿐 아니라 비파괴 검사를 통해서도 확인됐다. 이러한 결과는 대기권 재진입과 유사한 조건에 노출되었을 때 ISiComp의 뛰어난 손상 내성 특성을 입증하며, 터널 시험 전후에 수행된 록인 열화상(LIT) 분석 결과와의 비교를 통해 재확인됐다.

- BFA에 대한 이전 인증 테스트에는 2025년에 성공적으로 완료된 동적 구조 테스트가 포함된다. Space Rider는 현재 베가C로켓에 탑재되어 2028년 1분기에 발사될 예정이다.

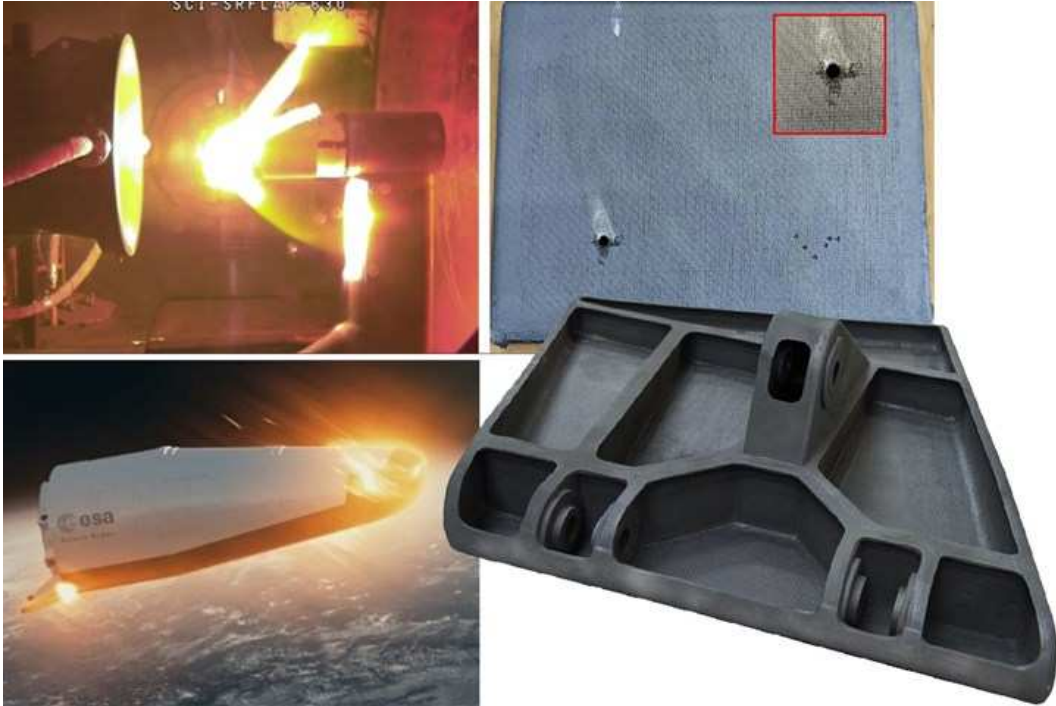


그림 21. 출처 | CIRA, ESA

- 관련 콘텐츠
 - [저비용 고효율 CFRP 이방성 격자 구조](#)(`24.08.30.)
 - [인도와 미국에서 고온 복합재 시장 확대](#)(`25.06.12.)
 - [주목할 만한 기술: 재사용 가능한 발사체와 극초음속 기술이 우주 접근성 향상](#)(`24.10.16.)

□ 영국 Cygnet Texkimp, 항공우주 분야 계약 두 건에 3D 직조 크릴 공급 예정('26.04.24.)

※ [Composites World] 5,000~7,000개의 탄소섬유 보빈을 사용하는 대규모 고용량 직조 솔루션은 항공기 엔진, 팬 케이스 및 블레이드, 날개, 튜브 및 커넥터와 같은 부품 개발에 도움이 될 것이다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/cygnet-texkimp-to-deliver-3d-weaving-creels-for-two-aerospace-contracts>
 - #영국 #항공우주 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 의 수석 편집장
- Cygnet Texkimp(영국 노스위치)는 항공우주 시장에 대량 생산 3D 직조 크릴 기술을 공급하는 두 건의 계약을 체결했다.
 - 대형 크릴은 탄소섬유를 풀어 3D 직조기에 넣어 차세대 항공기용 경량 고성능 엔진 부품을 생산하는 데 사용될 예정이다. 각 크릴은 5,000개에서 7,000개의 탄소섬유 보빈을 수용할 수 있도록 제작된다.
 - 이번 계약은 Cygnet Texkimp와 항공우주 제조업체, 독립 연구 기관들이 3D 직조 분야의 혁신을 지원하는 특수 크릴 기술을 개발하고 테스트하기 위해 10년 동안 진행해 온 협력 프로그램의 결과로 체결된 최신 계약이다.
 - 3D 직조 기술은 수천 개의 개별 섬유 다발을 복잡한 3차원 형태로 직조하여 강하고 가벼우며 구조적으로 우수한 탄소섬유 강화 복합재 부품을 제작할 수 있는 방법을 제조업체에 제공한다. 차세대 항공기 부품 제조업체들은 정밀한 형태로 매우 많은 양의 섬유를 적용하여 상당한 구조적 안정성을 갖춘 부품을 제작하기 위해 3D 직조 기술을 활용하고 있다. 이 공정은 항공기 엔진, 팬 케이스 및 블레이드, 날개, 튜브 및 커넥터를 포함한 더욱 가볍고 효율적인 부품을 개발하여 지속가능성을 향상시키고 탈탄소화를 달성하기 위한 전략의 일환으로 도입되고 있다.
 - Cygnet Texkimp의 3D 직조 크릴은 일관되고 정확하며 반복 가능한 방식으로 섬유를 풀어서 3D직조에 공급한다. 이 크릴은 수천 개의 섬유 보빈을 수용하도록 설계되었으며, 다양한 섬유 밀도(k-count)와 섬유 다발 폭에 맞춰 설계된 맞춤형 가이드 시스템을 통해 모든 섬유 다발이 공정을 통과하는 동안 서로 가까이 이동하더라도 손상되지 않도록 보장한다.
 - 지능형 제어 시스템은 하류 직조 공정으로 이어지는 섬유의 장력을 낮고 일정하게 유지하는 데 사용되며, 작업자는 섬유 무게와 직조 구조 내 위치에 따라 개별 위치 또는 영역의 장력을 조정할 수 있다.

- "우리 크릴의 성능은 수십 년에 걸쳐 검증되었으며, 이를 통해 항공우주 분야 파트너사들은 우리 장비가 정확성과 반복성, 작동 편의성, 섬유 처리 능력 등 모든 면에서 최고 수준의 성능을 발휘한다는 확신을 가질 수 있다. 이러한 모든 요소는 까다로운 산업 환경에서 매우 중요하다."라고 Cygnet Texkimp의 크릴 제품 담당 이사인 Peter Stevenson은 결론지었다.



그림 22. 출처 | Cygnet Texkimp

- 관련 콘텐츠
 - [후처리: 3D 프린팅 플라스틱 및 복합소재로 제작된 구강 지지대는 거동이 불편한 사용자 지원](#)(26.03.30.)
 - [중국 탄소섬유 시장 전망](#)(24.10.02.)
 - [블래더 보조 압축 성형 파생 기술은 복잡하고 오토클레이브 처리가 필요한 고품질 자동차 부품 생산](#)(24.10.25.)

□ 미국 Firefly, AFP 복합소재 배럴 제작 통해 Alpha Flight 8 개발 (26.04.24.)

※ [Composites World] 요약: 알파 로켓의 임무 탑재량, 신뢰성 및 제조 효율성 향상을 위한 계획된 업그레이드가 현재 통합 및 테스트 단계에 있다. /News

• <https://www.compositesworld.com/news/firefly-highlights-alpha-flight-8-progress-with-afp-composite-barrel-builds>

• #미국 #항공우주 #금형 #설계 #압축성형 #탄소섬유 #복합소재

• 저자 : 스투어트 미첼, 기고 작가

○ Firefly Aerospace(미국 텍사스주 시더파크)는 2026년 2분기 말 발사를 목표로 하는 Alpha Flight8 임무 개발에 진전을 보이고 있다고 밝혔다.

○ 이 우주 기업은 4월 22일 링크드인에 게시한 글에서 현재 통합 및 테스트 단계에 있으며, Ingersol Machine Tools(미국 일리노이주 록퍼드)에서 공급받은 자동 섬유 배치(AFP) 장비를 활용하여 여러 차례의 비행에 사용될 탄소섬유 복합재 배럴 4개를 동시에 제작하는 데 박차를 가하고 있다고 전했다.



그림 23. 출처 | Firefly Aerospace 링크드인

○ 위 사진은 그중 하나이다. Firefly는 "이러한 자동화된 제조 공정을 통해 알파 블록II 업그레이드의 일환으로 차량 전체의 품질과 신뢰성을 향상시킬 수 있다."라고 밝혔다.

○ 이번 임무에서는 2026년 1월에 발표된 알파 로켓의 업그레이드 버전인 블록 II가 처음으로 공개될 예정이다. 이 로켓은 길이가 7피트(약 2.1미터) 증가했으며, 자체 개발한 항공 전자 장비를 탑재하고 구조적 강도를 개선하여 상업 및 국가 안보 임무에 필요한 탑재량, 신뢰성 및 제조 효율성을 향상시켰다. 이러한 업그레이드 사

항을 검증하기 위해 지난 2월에 시험 비행이 실시됐다.

○ 관련 콘텐츠

- [PHOEBUS 프로젝트, CFRP 액체 산소 및 수소 상단 탱크 제작에 진전](#)(`25.11.03.)
- [우주 공간에서 CFRTP를 제조하기 위한 초음파 용접](#)(`25.08.22.)
- [항공기 및 우주선용 액체 수소 복합 튜브 분야에서 GTL 기술의 획기적인 발전](#)
(`24.08.20.)