

'26.01.19~26.01.25. 글로벌 탄소산업 주요 동향

□ **공장 견학: PulFlex Technologies, 미국 펜실베이니아주 포드 시티**
(`26.01.19.)

※ [Composites World] 맞춤형 풀트루전 장비는 폴리우레탄 수지, 복잡한 형상, 극단적인 크기 또는 두께에 특화되어 국방, 인프라, 산업 부품 등 다양한 분야에서 풀트루전 기술의 한계 극복 / Articles

- <https://www.compositesworld.com/articles/plant-tour-pulflex-technologies-ford-city-pa-us>
- <https://youtu.be/EanmeUqHvpw>
- #미국 #방위방산 #탄소섬유 #복합소재 #공장 견학 #압출 성형 #프로젝트
- 저자 : 한나 메이슨, CompositesWorld 기술 편집자

○ "저희는 맞춤형 풀트루 전 전문 업체로, 다른 풀트루전 업체들이 할 수 없거나 하기 싫어하는 작업을 주로 한다."라고 PulFlex Technologies(미국 펜실베이니아주 포드 시티 소재)의 총괄 매니저인 브라이언 베이멜은 설명한다. "매우 복잡한 형상부터 아주 큰 형상, 초박형 제품까지 모든 것을 제작하며, 전봇대부터 두께가 몇 밀리미터에 불과한 탄소섬유 방산 부품까지 모든 것을 풀트루전한다. 연구 개발용 부품 몇 개를 생산하기도 하고, 연간 50만 개를 생산하기도 한다. 저희는 풀트루전 업계에서 아주 흥미로운 위치를 차지하고 있다."

○ PulFlex Technologies의 물리적 위치 또한 매력적인 장소이며, 주력 사업이 압출 성형 유리섬유 복합재인 회사에 매우 적합한 곳이다. 피츠버그에서 북동쪽으로 차로 약 45분 거리에 있는 앨러게니 강변의 포드 시티는 산업가 존 포드(피츠버그 플레이트 글래스 컴퍼니, 현재 PPG 인더스트리)에 의해 설립되었으며, 유리 생산의 중심지가 되었다. 현재 PulFlex 시설이 있는 곳은 원래 19세기에 유리 공장으로 지어졌으며, 이후 PPG는 현재의 페인트 및 코팅 사업으로 전환했다.

○ 이러한 산업적 유산을 바탕으로, PulFlex Technologies는 복합소재 및 플라스틱 산업, 특히 열가소성 수지 및 열가소성 복합소재 분야에서 각각 약 40년의 경력을 자랑하는 Craig Lawson과 Steve Mansfield에 의해 2016년에 공식적으로 설립되었다. 10여 년 전, 두 사람은 수지 제조업체의 사업 개발 부서에서 근무하면서 폴리우레탄(PUR) 분야에 더욱 깊이 관여하게 되었다.

○ 맨스필드는 "우리는 시판되는 PUR 수지가 우리가 이전에 사용해 본 다른 많은 수지 시스템보다, 특히 압출 성형에 사용하기에 훨씬 우수하다는 것을 깨달았다."라고 말한다.

○ 예를 들어, 그는 폴리우레탄(PUR)을 사용하면 압출 성형 부품에서 무게 기준으로

80% 이상의 섬유 함량을 구현할 수 있다고 설명한다. 이는 폴리에스터(PE)나 비닐 에스터(VE)를 사용할 때 달성할 수 있는 수치의 두 배에 달한다. 또한 PUR은 더 높은 강도와 강성을 제공하여 더 얇은 부품을 설계할 수 있게 해주고, 스티렌을 함유하지 않으며 제조 과정에서 휘발성 유기 화합물(VOC)을 배출하지 않는다.

- 과거에는 자외선 안정성이 PUR을 외부 용도에 사용하지 않는 이유로 거론되었지만, 자외선에 안정적인 수지와 자외선 차단 페인트 및 코팅을 사용하면 이제는 하나의 선택지로 고려될 수 있다.
- 맨스필드는 "다른 많은 폴트루전 업체들이 PE와 VE만 고집하며 이 소재를 사용하지 않는 것이 흥미로웠다. 그들이 익숙한 소재이기 때문이죠. 그래서 우리는 기회를 포착했다."라고 덧붙였다.
- 이러한 사실을 알게 된 후, 맨스필드와 로슨은 PUR 중심의 복합재 압출 성형 기술 역량을 구축하고 사업을 확장하는 방법에 대해 논의하기 시작했다. 그러던 중 우연히 지역 행사에서 블레어 스트립 스틸(Blair Strip Steel) 회사의 소유주들을 만나게 되었고, 컨설팅 업무를 위해 포드 시티에 있는 블레어 스트립 스틸 산하 기계 공장인 벨플렉스 테크놀로지스(BelleFlex Technologies)를 방문해 달라는 요청을 받았다.

"불가능한 것을 가능하게 만드는 것이 우리 DNA에 새겨져 있다. 다른 회사들은 고객들에게 불가능하다고 말하지만, 우리는 어떻게든 해내는 방법을 찾아낸다."

- 알고 보니 벨플렉스 부지에는 건물 내에 사용되지 않는 공간이 있었고, 블레어 스트립 스틸은 결국 그 공간을 로슨과 맨스필드에게 제공하여 2016년에 펄플렉스 테크놀로지스가 될 회사를 설립하게 했다.
- 100년이 넘는 역사를 자랑하는 철강 회사가 어떻게 복합재 사업을 인수하게 되었을까요? 로슨은 "블레어 스트립 스틸은 현재 8대째 가업을 이어오고 있으며, 회사 이름의 가치를 유지하고 사업을 건전하게 지키는 데 큰 관심을 갖고 있다. 플라스틱에 맞서 방어하는 대신, 플라스틱을 적극적으로 도입하기로 결정한 것이죠."라고 설명한다.
- 맨스필드는 페이스북 마켓플레이스에서 신생 회사의 첫 번째 폴트루전 라인을 구입하고 직접 플로리다로 가서 가져왔다. 로슨과 맨스필드는 기술 전문성을 키우는 과정에서 알고 지내던 다른 폴트루전 업체들과 자신들의 사업에 대해 소통하기 시작했고, 잠재적 경쟁업체들이 오히려 자신들의 노력을 지지하고 사업 시작에 필요한 장비까지 제공해 주는 것에 놀랐다. 로슨은 "우리가 하려는 일은 기존 업체들과 경쟁하기보다는 협력할 수 있을 만큼 차별화된 것이었다."라고 말한다.

- "그리고 그 이후로 모든 것이 폭발적으로 성장했다. 10년이 지난 지금, 우리는 두 곳의 사업장에 16개의 폴트루전 라인과 55명의 직원을 보유하고 있다."라고 베이델은 말한다. "이 모든 것은 적절한 시기에 적절한 사람들을 만난 것과 시장의 빈틈을 파악한 것이 결합된 결과이다."



그림 1. 인발 성형 부품. CW 가 펄플렉스 공장을 방문했을 당시, 생산 라인에는 출하 준비가 완료된 부품들이 진열되어 있었다. 여기에는 창문 보강재(왼쪽 위), 차고 문 보강재(오른쪽 위), 건축 자재(오른쪽 아래), 울타리 기둥(왼쪽 아래) 등이 포함되었다. 출처 | CW



그림 2. 매트 슬리터(위), 수지 혼합물(아래). 대량의 수지 및 매트 주문은 공급업체에서 처리하지만, PulFlex는 현장에서 매트를 절단(상단)하고, 성능 및 미적 목표를 달성하기 위해 다양한 색상과 첨가제를 사용하여 맞춤형 수지를 혼합할 수도 있다(하단). 출처 | CW(상단) 및 PulFlex(하단)

오늘날 PulFlex: 복잡한 부품 개발에 도전

- CW는 최근 BelleFlex 사업장 뒤편에 위치한 75,000평방피트 규모의 PulFlex 생산 시설을 둘러볼 기회를 가졌다. 두 번째 시설은 인근 임대 건물에 있는 55,000평방피트 규모의 연구 개발 센터로, 비교적 최근에 설립되었다.
- 현재 이 회사의 사업 중 약 80%는 PUR 기반 폴트루전이며, 주로 유리섬유를 사용하지만 탄소섬유를 사용하는 사례도 점차 늘어나고 있다.
- 일반적으로 PulFlex는 대형 폴트루전 업체들이 주로 담당하는 단순하고 대량 생산되는 "범용" 부품보다는 더 복잡하거나 개발 단계에 있는 프로젝트를 수주한다. 베이델이 앞서 언급했듯이 생산량은 연간 최소 3개에서 최대 25만 개까지 매우 다양하다.
- "저희는 작은 회사로 시작했고, 생산량이 아주 많지 않은 소규모 고객들을 유지해 왔다. 저희는 소규모 고객의 입장을 잘 알고 있으며, 저희를 찾아주시는 고객분들께 감사하는 마음으로 소규모 프로젝트를 계속 진행하고 있다. 폴트루전 방식은 중대형 생산량에 매우 적합하지만, 소규모 기업을 위한 작은 프로젝트라도 성공적으로 진행할 수 있다면 기꺼이 그렇게 하고 싶다."라고 펄플렉스의 영업 및 프로젝트 매니저인 엘리자베스 델프는 설명한다.
- CW 가 방문했을 당시, 해당 회사는 지난 12개월 동안 PulFlex가 개발한 보행자 다리 상판 구성 요소, 다양한 창호 프로파일, 방파제 부품, 삽 손잡이 및 데이터 센터

배관을 포함하여 30개의 새로운 부품을 전시하고 있었다.



그림 3. 제조 시설 내 자재 보관. 원자재가 준비되어 있는 동안 근처에서 부품의 압출 성형 라인이 설치되고 있다. 출처 | CW



그림 4. 풀트루전 라인. PulFlex의 주요 압출 성형실은 다양한 길이와 너비의 12개 라인을 운영하고 있으며, 확장을 위한 공간도 마련되어 있다. 출처 | CW

재료 준비 및 보관

- PulFlex는 본사에서 현재 다양한 공급업체로부터 구매하여 회사 필요에 맞게 개조한 14개의 풀트루전 라인을 운영하고 있으며(확장 가능), PulFlex 방문객들은 일반적으로 프런트 데스크와 로비, 회의실 및 사무실 공간이 있는 2층에서 시작한다. 또한 부품 설계를 검증하는 데 사용되는 소형 데스크톱 3D 프린터도 있다.
- 생산 현장 아래층에서 베이델은 "우리 시설의 레이아웃은 원자재가 들어와 생산 과정을 거쳐 바로 나갈 수 있도록 특별히 설계되었다. 여분의 재고는 다른 건물에 보관하지만, 재고 수준은 비교적 낮게 유지하고 있다."라고 말한다. 원자재와 금형은 차고 문을 통해 건물 안으로 반입되는 즉시 인근의 금형 및 자재 보관 구역에 보관된다.
- PulFlex는 고객 요구 사항에 따라 다양한 섬유와 수지를 사용한다. 여기에는 Jushi(중국 통상 및 미국 캘리포니아주 어윈데일), Metyx(미국 노스캐롤라이나주 개스토니아), Superior Fiberglass & Resins(미국 인디애나주 인디애나폴리스)의 유리섬유 소재, Dow(미국 미시간주 미들랜드)의 수지, A&P Technology(미국 오하이오주 신시내티)의 탄소섬유 편조 직물 등이 포함된다.
- 이 구역에는 필요에 따라 사용되는 수지 혼합 및 매트 절단 스테이션도 있다. PulFlex의 화학 및 품질 엔지니어인 에밀리 시에슬린스키는 "고객이 전화하면 부품에 가해지는 응력의 위치, 필요한 내화성, 자외선 안정성, 강성, 예산 등을 알려 주면, 저희는 기성품이나 자체적으로 맞춤 제작 및 혼합한 다양한 옵션을 제공한다."라고 설명한다. "부품에 적합한 섬유와 수지 선택은 정말 중요하다."
- 대량 주문의 경우 일반적으로 공급업체에서 매트를 원하는 크기로 절단하지만, 소

량 및 맞춤 주문의 경우 현장에 수동 매트 절단기가 마련되어 있다. 베이델은 "주문이 들어오면 재고를 확인하고, 절단기로 주문을 보내면 자재가 절단되어 배송 준비가 완료된다."라고 설명한다.

- 특정 부품의 압출 성형 라인이 설치되는 동안 재료 준비가 진행된다. 베이델은 "일반적으로 금형이 제작된 후 일주일 안에 라인을 설치할 수 있다. 모든 과정이 비교적 빠르게 진행된다."라고 말한다.

주요 폴트루전 라인: 직접 사출 PUR

- 자재 보관 구역을 지나면 시설의 주요 생산 현장이 나타나는데, 이곳에는 공간의 대부분을 차지하는 12개의 폴트루전 라인이 자리하고 있다. 이 공간의 맨 끝에는 BelleFlex 건물 쪽으로 통하는 입구와 PulFlex의 출하 보관 구역으로 이어지는 통로가 있다.
- 다양한 길이와 폭을 가진 대부분의 라인은 PUR(폴리에틸렌 러버)을 사용한다. 베이델은 "작업장에 들어서면 강한 스티렌 냄새가 나지 않는 것으로 보아 거의 모든 라인이 PUR을 사용한다는 것을 알 수 있다."라고 말한다. PulFlex는 필요에 따라 기존의 PE(폴리에틸렌) 또는 VE(베타에틸렌) 폴트루전 라인도 운영한다. 외관상 가장 큰 차이점은 기존 폴트루전 라인은 전통적인 수지 욕조를 사용한다는 점이다. 즉, 로빙이 액체 수지 욕조를 통과한 후 다이로 이동한다. 반면 PUR 라인은 사출 박스를 사용하여 로빙에 직접 수지를 공급한다.
- 직접 주입 공정은 섬유가 건조한 상태로 들어가 젖은 상태로 나오는 깨끗한 검은색 상자처럼 비교적 간단해 보이지만, 실제로는 이 공정에 회사의 많은 지적 재산이 저장되어 있다. 베이델은 "저희의 모든 폴리우레탄(PUR)은 직접 주입 시스템으로 주입된다. 폴리올과 이소시아네이트는 정적 믹서를 통해 주입 상자 안으로 펌핑되어 혼합된 후, 섬유가 통과하면서 주입 상자를 깨끗하게 닦고 수지를 다이에 끌어당깁니다. 그런 다음 발열 공정이 시작된다."라고 설명한다.
- 로슨은 덧붙여 말했다. "우리가 하는 일의 상당 부분은 툴링 시스템과 사출 시스템에 있다. 바로 그 점이 저희를 다른 회사와 차별화하는 요소이다. 단순히 수지와 섬유가 담긴 드럼통을 사는 것만큼 쉬운 일이 아닙니다. 우리가 개발한 사출 시스템과 섬유 함침 방식이 바로 저희를 차별화하는 핵심이다."
- 왜 전부 PUR을 사용하지 않나? 베이델은 "PUR 폴트루전은 프로젝트 시작 단계에서 금형 비용이 두 배로 든다는 점이 문제이다. 그래서 전통적인 PE 수지 욕조를 사용하기도 하지만, 결국에는 많은 프로젝트를 직접 사출 방식으로 전환하는 경우가 많다."라고 인정한다.
- CW가 현장을 방문했을 당시 가동 중이던 생산 설비에는 색깔 있는 삽자루부터 최

고 품질의 표면 마감을 위한 맞춤형 공정이 필요한 접이식 검은색 수영장 울타리 부품, 고층 빌딩 건설에 사용되는 거더 지지 구조물에 이르기까지 모든 것이 포함되었다.

- 베이델은 "사람들은 항상 '공정 속도가 얼마나 빠르나요?'라고 묻지만, 쉽게 답하기는 어렵다."라고 덧붙였다. "어떤 부품은 분당 60인치로 압출 성형될 수 있고, 어떤 부품은 분당 4인치밖에 안 될 수도 있다. 부품에 따라 크게 달라진다."
- 물류는 PulFlex의 제조 공정에서 큰 부분을 차지한다. 이 회사는 일반적으로 신규 부품에 대해 10주의 리드 타임을 제시하는데, 이는 주로 금형 제작 및 배송에 소요되는 시간이며, 기존 고객의 경우 2주 정도로 단축된 리드 타임을 제공하기도 한다.



그림 5. 직접 사출 폴트루전 라인(위) & 전통적인 폴트루전 라인(아래). PulFlex의 대부분의 압출 성형 라인은 회사의 대표적인 직접 주입 PUR 기술(하단)을 사용하지만, 고객 요구에 따라 PE, VE 및 기타 수지용 기존 수지조(상단)도 사용할 수 있다. 출처 | CW



그림 6. 유리섬유 롤이 압출 성형 라인으로 끌어올려지고 있다. 이 회사가 현재까지 고객에게 공급한 가장 긴 부품은 60피트(약 18미터) 길이의 전봇대이다. 각 전봇대(아래 사진)의 금형을 사용하여 제작하는 1시간 남짓한 시간에 1,800개의 유리섬유 로빙(위 사진)을 사용하여 만들어진다. 출처 | PulFlex(위) 및 CW(아래)

가공, 배송 및 두 개의 더 긴 폴트루전 라인

- 부품 제작이 완료되면 인접한 출하실로 옮겨진다. 이 길고 직사각형 모양의 공간에는 배송 차량 픽업을 위한 차고 문이 있는 넓은 보관 구역과 인접한 기계 공장,

그리고 두 개의 추가적인 대형 압출 성형 라인이 있다. 베이멜에 따르면, 이 대형 라인의 최대 폭은 60인치(약 152cm)이지만, 길이는 배송될 트럭의 크기에 따라 제한될 뿐이다. "저희는 100피트(약 30m)가 넘는 길이의 부품도 견적을 낸 적이 있다."



그림 7. 절단기. PulFlex의 기계 공장에서는 필요에 따라 공구와 부품을 가공한다. 위 이미지에서는 Laguna CNC 기계로 급지 카드를 절단하고 있다. 아래 이미지에서는 PulFlex의 기계 엔지니어가 기계공과 긴밀히 협력하고 있다. 출처 | CW

그림 8. 냉각탑 부품. 플렉스 커넥트. PulFlex는 유리섬유/PUR 소재의 Flex Connect 제품(위 사진)을 포함하여, 이전에는 압출 성형 복합재로 제작하기 어려워 보였던 복잡한 형상과 부품을 전문적으로 생산한다. 아래 사진은 복잡한 냉각탑 부품을 보여준다. 출처 | PulFlex

전봇대 압출 성형 금형

- CW가 방문했을 당시, 이 생산 라인 중 하나는 대형 방파제 부품을 생산하고 있었고, 다른 하나는 PulFlex가 지금까지 제작한 가장 긴 부품인 60피트(약 18미터) 높이의 전봇대를 압출 성형하기 위해 가동 중이었다. 이 전봇대 하나에는 1,800개의 유리섬유 로빙과 수많은 구조 매트가 필요하다.
- 현재는 폴리에틸렌(PE)을 사용하여 생산되고 있으며, 생산 라인은 분당 약 7인치(약 18cm)의 속도로 가동되어 전봇대 하나를 생산하는 데 1시간 15분이 소요된다. 베이멜은 "우리는 농담 삼아 전통적인 목재 전봇대가 자라는 속도보다 훨씬 빠르다고 말하곤 한다."라고 전했다.
- PulFlex의 소규모 기계 공장에는 Laguna(미국 텍사스주 그랜드프렐리) CNC 기계를

비롯한 여러 대의 기계가 있다. 베이델은 "우리가 구매하거나 제작하는 모든 공구는 결국 이 기계 공장을 거치게 된다."라고 말한다.

기계공 및 엔지니어

- 일부 가공 작업은 자매 회사인 BelleFlex에서 워터젯 방식으로 진행하며, PulFlex는 피츠버그 지역의 여러 기계 가공 업체와 협력하고 있다. 베이델은 "이처럼 원자력 및 방위 산업 관련 기업들이 많은 지역에 위치해 있어 가공 능력이 뛰어난 업체들을 많이 확보할 수 있다는 것은 매우 행운이다."라고 말한다.
- 기계 공장에서 기계공은 기계 엔지니어와 협의한다. 베이델은 PulFlex의 기계 엔지니어들이 모든 공정 단계에 관여한다고 설명한다. "그들은 고객과 상담하고, 부품을 설계하고, 기계공과 협력하여 수정 작업을 하고, 카드를 절단하고, 생산 라인을 설정하는 데 도움을 준다. 우리 엔지니어들은 모두 용접 기술과 기본적인 기계 가공 기술을 갖추고 있다."
- "모두가 이 과정에 참여한다. 우리 모두는 독립적으로 생산 라인을 구축하는 방법에 대한 경험을 가지고 있다."라고 델프는 덧붙였다.

연구 및 교육에 대한 집중은 새로운 제품 개발로 연계

- PulFlex는 본 시설에서 생산 작업을 수행하는 것 외에도, 특히 인근에 위치한 두 번째 사업장에서 두 개의 추가 풀트루전 라인을 활용하여 많은 연구 개발 작업을 진행하고 있다.
- 현재 진행 중인 연구에는 Dow와 협력하여 전기 자동차 배터리 케이스 내부 부품용 내화 시스템 개발, 리그닌 기반 탄소섬유 또는 대마, 아마와 같은 천연 섬유로 만든 압출 성형 부품 개발, Mallinda(미국 콜로라도주 덴버)에서 공급하는 비트리머를 활용한 재활용 가능한 풍력 터빈 응용 분야 개발, 그리고 A&P Technology에서 공급하는 편조 직물과 같은 탄소섬유 소재를 사용하는 다양한 방위 관련 프로젝트 등이 포함된다.
- 베이델은 "우리는 많은 연구 개발 프로젝트를 진행하고 있다. 항상 불가능해 보이는 것을 추구하고, 고객이 원하는 특성을 구현하기 위해 노력하고 있다."라고 말한다.
- 이러한 연구 개발 노력 덕분에 회사는 탄소섬유 복합재 분야에서 꾸준히 사업을 확장해 왔다. 시에슬린스키는 "탄소섬유는 다루기가 조금 더 까다롭지만, 설정 및 가공 시간은 유리섬유와 거의 동일하다."라고 말한다. 또한, PulFlex는 연구 개발 현장에 특허받은 3개의 풀러가 장착된 압출 성형 라인을 설치하여 더욱 엄격한 조건에서 가공할 수 있도록 했다.
- 과거 연구 개발 프로젝트의 결과로 탄생한 이 제품은 2024년 회사의 첫 번째 직

판 제품으로 출시되었다. Flex Connect라고 불리는 이 1.5 × 1.5인치 유리섬유/PUR T-슬롯 프레임 솔루션은 자동화 셀과 같은 산업 분야에 일반적으로 사용되는 80/20 알루미늄 프레임을 보완하기 위해 설계되었다. 알루미늄 프레임의 단점은 전기 전도성이 있어 노출된 전선이 풀려 금속 프레임에 닿을 경우 인체 및 장비에 위험을 초래할 수 있다는 점이다. 또한 알루미늄은 특정 환경에서 부식되기 쉽다.

- 이러한 위험을 제거하기 위해 "업계의 다른 업체들은 수년간 복합소재 버전을 만들려고 노력했지만, PE와 같은 일반적인 수지는 약해져서 프레임의 얇은 끝부분을 압출 성형할 때 쉽게 부러진다."라고 베이멜은 말한다. "PUR 복합소재는 부러지지 않고 견딜 수 있는 횡방향 강도를 가지고 있다."
- 이 제품은 자동화 분야에서 점차 주목을 받고 있으며, 델프는 펄플렉스가 대학의 공학부와 협력하여 학생들에게 제품과 그 활용법을 소개하고 있다고 덧붙였다. 그녀는 "우리의 목표는 학생들이 대학 시절에 복합소재를 접하게 하여 졸업 후 직장에서도 복합소재를 자연스럽게 떠올리도록 하는 것이다."라고 말했다.

성장 및 미래 잠재력

- 지난 몇 년간 회사의 마케팅 및 영업 노력 덕분에 2025년 견적 건수는 2023년 대비 4배 이상 증가할 것으로 예상된다. 베이멜 대표는 "우리는 빠르게 성장하고 있다. 맞춤형 압출 성형 제품이 과거에만 국한되지 않는다는 사실을 계속해서 알리고 싶다."라고 말했다.
- 이 회사는 국방 및 인프라 분야에서 가장 큰 성장 잠재력을 가진 새로운 분야로 지속적으로 사업을 확장하고 있다. 베이멜은 "방위 부품의 경우, 사람들은 얇고 강한 제품을 원하지만, 요즘에는 필요에 따라 신속하게 규모를 확장할 수 있도록 대량 생산 능력도 요구한다. 그래서 우리는 현존하는 가장 강력한 압출 성형 기술인 PUR과 탄소섬유를 사용하고 있으며, 다른 어떤 회사도 이 기술을 사용하지 않다."라고 주장한다. PulFlex가 미국 기업이라는 점 또한 미국 국방 관련 사업을 확보하는 데 유리한 요소이다.
- 맨스필드는 "인프라 분야에서 설계자들은 여전히 PUR 압출 성형 제품을 새로운 소재로 여기고 있기 때문에 업계에서 이 소재에 더 익숙해지도록 노력하고 있다."라고 설명한다. "예를 들어, 전봇대용 3미터(10피트) 가로대를 압출 성형하여 테스트했다. 기존에는 폴리에틸렌(PE) 소재로 제작하여 중앙에 하중을 가하고 파손될 때까지 테스트했는데, 약 3,260kg(7,100파운드)까지 견뎠다. 하지만 동일한 부품을 PUR 소재로 제작하여 테스트한 결과, 5,960kg(13,000파운드)까지 견뎠다."
- 그는 덧붙여 말했다. "불가능한 것을 가능하게 만드는 것이 우리 DNA에 새겨져 있다. 처음부터 모든 보조금과 개발 사업을 확보해 온 방식도 그렇고, 고객들이 여

전히 우리를 찾는 이유도 바로 그것이다. 다른 사람들은 모두 불가능하다고 말하지만, 우리는 방법을 찾아낸다.”

폴트루전이란

- 인발 성형은 길이가 길고 단면적이 일정한 연속적인 복합 부품을 생산하는 데 널리 사용되는 제조 공정이다.
- 기본적인 폴트루전 공정 에서, 섬유 로빙은 유압 풀러를 통해 크릴에서 수지 욕조 (또는 PulFlex의 PUR의 경우 직접 주입 상자)를 통과한 다음 가열된 다이를 통과 하도록 당겨진다.
- 금형은 부품을 원하는 모양으로 성형하고 경화 공정을 완료한다. 금형에서 꺼내지면 톱이 자동으로 프로파일을 정확한 길이로 절단한다.
- 다양한 직물과 매트도 로빙과 함께 라인을 통과시켜 여러 방향으로 강도나 기타 특성을 부여할 수 있다. 베이멜은 "이 공정은 매우 부드러워 보이지만, 다이를 통과하는 힘은 수천 파운드에 달한다."라고 말한다.



그림 9. 압출 성형 부품 모음 및 PulFlex Technologies 제조 시설 외관. PulFlex Technologies는 폴리우레탄(PUR) 기반 복합재 압출 성형을 통해 구현되는 복잡한 구조와 고성능 제품을 전문으로 한다. 이 회사는 자매 회사인 BelleFlex와 함께 피츠버그 외곽에 위치한 옛 PPG 유리 공장을 사용하고 있다. 출처 | PulFlex (상단 사진, 오른쪽 하단), CW(왼쪽 하단)

□ 미국 FireFly, 우주 임무 수행 속도 향상위해 알파 로켓을 블록 II로 업그레이드(26.01.19.)

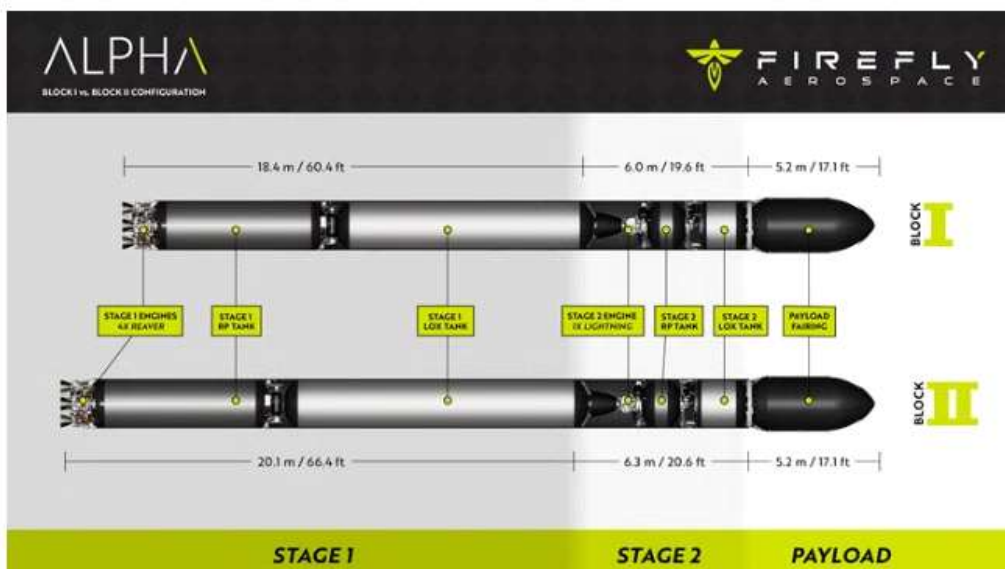
※ [Composites World] 알파의 블록 II 구성에는 향상된 길이, 더욱 견고한 복합 구조, 개선된 열 보호 시스템, 그리고 자체 개발 배터리 및 항공 전자 장비가 포함 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/firefly-upgrades-alpha-rocket-to-block-ii-for-more-responsive-space-missions>
 - #미국 #우주항공 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- FireFly Aerospace(미국 텍사스주 시더파크)는 자사의 알파 로켓에 대한 블록 II 구성 업그레이드를 발표했다. 이번 업그레이드는 신뢰성 향상, 생산성 간소화, 발사 운영 개선에 중점을 두어 상업, 민간 및 국가 안보 임무 수요를 더욱 효과적으로 지원할 예정이다.
- 향후 몇 주 내에 발사될 예정인 FireFly의 Alpha Flight 7은 현재 구성으로 비행하는 마지막 비행이 될 것이며, Alpha Flight 8에서 진행될 전체 블록 II 업그레이드에 앞서 비행 경험을 축적하고 교훈을 검증하기 위해 여러 블록 II 하위 시스템을 새 도우 모드로 사용하는 시험 비행 역할을 할 것이다.
- “블록 II 업그레이드는 성장하는 글로벌 발사 시장의 변화하는 요구를 충족하기 위한 FireFly의 전략적 성장 계획의 일환이며, 향상된 안전, 품질 및 신뢰성에 중점을 둔 지속적인 개선 문화를 더욱 강화한다.”라고 FireFly Aerospace의 CEO인 제이슨 김은 말했다. “FireFly는 고객과 긴밀히 협력하고 첫 6번의 알파 발사와 수백 건의 하드웨어 테스트에서 얻은 데이터와 교훈을 반영하여 부품 통합, 주요 구성 업데이트 및 자동화 장비로 제작된 더욱 견고한 구조를 통해 신뢰성과 제조 용이성을 향상시키는 업그레이드를 진행했다.”
- 신뢰성과 생산 속도를 향상시키는 것 외에, 블록 II는 극초음속 시험, 골든 돔을 포함한 국가 안보 임무, 국내외 고객을 위한 상업용 위성 발사 등 중요하고 신속한 우주 임무를 위해 알파 로켓의 배치 가능한 발사 능력을 확장하도록 설계되었다.
- Alpha Flight 8에 탑재될 예정인 블록 II 업그레이드에는 다음 내용이 포함된다.
- 길이 및 구조적 강도 증가. 알파호의 길이를 약 97피트에서 104피트로 늘렸으며, FireFly의 AFP 장비를 이용한 신속 제조에 최적화하고 모든 탄소섬유 복합 구조물의 강도를 강화했다.
 - 자체 개발한 통합 배터리 및 항공전자 시스템. 기존의 상용 배터리 및 항공전자 시스템을 자체 제작한 통합 시스템으로 교체하여 FireFly의 우주선과 로켓 전반에 걸쳐 사용함으로써 일정, 신뢰성 및 생산 효율성을 향상시킨다.

- 최적화된 추진제 탱크, 열 보호 시스템을 개선하여 신뢰성을 높이고, 액체 산소 및 RP-1 탱크 구성을 최적화하여 단 연소 시간을 늘렸다.
- 자체 개발한 항공전자 장비 및 열 개선 사항을 포함한 일부 업그레이드는 Alpha Flight 7에서 시험될 예정이다. 로켓의 1단부는 최근 밴덴버그 우주군 기지에 있는 FireFly 발사대로 이송되었으며, FireFly 팀은 현재 정적 연소 시험 및 발사에 앞서 2단부 및 탑재체 페어링과의 최종 통합 작업을 진행하고 있다.
- FireFly Aerospace의 발사 부문 부사장인 아담 오크스는 “FireFly는 고객 목표 달성을 지원하는 것 외에도 7차 비행을 통해 8차 비행에서 진행될 본격적인 블록 II 업그레이드에 앞서 핵심 시스템을 시험하고 있다.”라고 말했다. “이러한 접근 방식을 통해 계획된 블록 II 일정을 앞당기고, 알파 로켓 전체에 걸쳐 무게 절감, 생산 최적화 및 신뢰성 향상을 위해 설계된 개선 사항을 검증할 수 있다. 이미 비행 검증을 거친 리버 및 라이트닝 엔진과 탄소섬유 복합재 구조는 이 로켓의 핵심 기술로서 변함없이 중요한 역할을 할 것이다.”



그림 10. 출처 | FireFly Aerospace



□ 일본 Toray, 탄소섬유 CO₂ 분리막이 바이오가스 정제 비용 절감 (26.01.19.)

※ [Composites World] Toray의 이산화탄소 분리막은 하수처리장 업체와의 1년간의 시험에서 수분 제거 비용을 70% 절감하는 효과를 입증하여 확장 가능한 바이오가스 정화의 길 오픈 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/toray-shows-carbon-fiber-co-separation-membrane-cuts-biogas-purification-costs>
 - #일본 #풍력/에너지 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- Toray Industry(일본 도쿄)은 오사카현에 있는 고객사 하수처리장의 바이오가스 생산 시설에서 탄소섬유 소재의 이산화탄소 및 메탄 분리막을 이용한 이산화탄소와 수분 제거 시험을 1 년간 진행한 결과, 상당한 진전을 이루었다고 밝혔다. 회사 측은 이 기술을 적용한 수분 제거 비용 이 기존 기술 대비 약 70% 절감되는 것을 확인했다.
- 전 세계적인 에너지 부족과 탈탄소화 추진으로 더욱 효율적인 CO₂ 분리 기술이 필요해졌다. Toray는 내화학성이 뛰어나고 가스를 분리할 수 있는 복합 CO₂/메탄 분리 멤브레인을 개발하고 있다. Toray는 천연가스 및 바이오가스 정제와 산업 배기가스에서 CO₂를 포집하는 것을 목표로 하고 있다.
- 바이오 가스 정제는 폐기물 및 기타 원료의 발효 과정에서 생성되는 가스에서 불순물을 제거하여 바이오메탄으로 전환하는 공정이다. 이 과정에서 CO₂ 뿐만 아니라 수분도 제거해야 한다. 그러나 기존 시스템에 사용되는 고분자 및 제올라이트 멤브레인은 수분에 노출되면 성능이 저하되므로, 설비에서는 먼저 흡착제를 사용하여 가스를 건조해야 한다. 이러한 추가 공정은 비용을 증가시키고 메탄 정제 공정의 규모 확장을 어렵게 한다.
- Toray는 이 기술을 바이오가스를 넘어 천연가스 정제 간소화, 산업 배기가스에서 CO₂ 분리 및 포집, 그리고 CO₂ 포집, 활용 및 저장 에까지 적용하고자 한다.

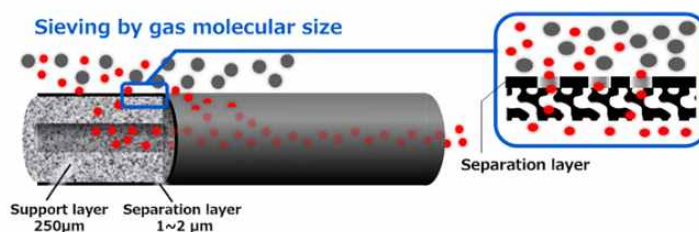


그림 12. 탄소섬유로만 구성된 CO₂ 분리막. 출처 | Toray Industry

□ 독일 Saertex, 중국 NCF 시설 설립으로 복합재 사업 영역 확장 (26.01.19.)

※ [Composites World] Saertex 그룹은 아시아 지역에서의 입지를 강화하기 위해 중국 핑후에 Saertex SCF 차이나 유한회사를 설립했다. 이 회사는 2026년 3월부터 풍력, 자동차 및 항공우주 분야에 사용되는 첨단 탄소섬유 직물 생산 예정 / News

• <https://www.compositesworld.com/news/saertex-expands-composites-reach-with-carbon-fiber-ncf-site-in-china>

• #독일 #중국 #원단/프리폼 #탄소섬유 #복합소재

• 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

○ 독일 자르베크에 본사를 둔 Saertex 그룹은 글로벌 성장세를 이어가며 복합소재의 주요 시장 중 하나인 아시아 지역의 생산 능력을 확장하고 있다.

○ 2025년 8월, Saertex SCF 차이나 유한회사를 설립함으로써 상하이 인근 핑후에 새로운 생산 시설 건설의 기반을 마련했다. 생산은 2026년 3월부터 시작될 예정이다.

○ Saertex Specialty Carbon Fabrics(SCF) China는 풍력 에너지, 자동차 및 항공우주 산업을 위한 기술 탄소섬유 제조를 전문으로 한다.

○ Saertex GmbH & Co. KG의 CEO인 롤랜드 노비키는 “중국은 혁신적인 경량 솔루션의 핵심 시장이며, 당사의 탄소섬유에 큰 잠재력을 제공한다.”라고 말하며, “핑후에 새로운 사업장을 설립함으로써 중국 고객에게 더욱 효율적이고 유연하게 제품을 공급할 수 있는 기반을 마련하게 되었다.”라고 덧붙였다.

○ 해당 시설은 탄소섬유 무크림프 직물 제조를 위한 최첨단 생산 기술을 갖추고 최고 품질 기준을 충족할 것이다. 고객은 최적화된 공급망, 단축된 납기, 그리고 상하이 광역권 및 중국 시장 전역에서 Saertex 제품의 향상된 가용성을 누릴 수 있을 것이다.

○ Saertex SCF China Ltd. 설립은 그룹의 글로벌 성장 전략에 있어 중요한 이정표이며, 복합소재 분야에서 가장 역동적이고 빠르게 성장하는 지역 중 하나에서 회사의 입지를 강화한다.



그림 13. 핑후에 위치한 SCF 중국 유한회사의 위치. 출처 | Saertex

□ 이탈리아 ACS와 FOL, 파트너십을 맺고 이탈리아 레이싱 브랜드 Promec 부활(26.01.19.)

※ [Composites World] 이탈리아 기업들이 힘을 합쳐 역사적인 모터스포츠 아이콘인 Promec을 재출범시키고, 힐 클라임 경주에서 영광을 차지하기 위한 PJ26 탄소섬유 경주용 자동차 공개 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/acs-fol-partner-to-revive-italian-racing-brand-promec>
 - #이탈리아 #자동차 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 자동차, 해양 및 항공우주 분야용 탄소섬유 부품 설계 및 양산 전문 기업인 이탈리아 기업 Advanced Composites Solutions(ACS, 이탈리아 토르토레토)와 정밀 기계 가공 전문 기업인 FOL Srl(안카라노)은 역사적인 이탈리아 레이싱 브랜드인 Promec의 재출시를 목표로 전략적 파트너십을 시작한다고 발표했다.
 - 오랜 세월 동안 Promec은 이탈리아 모터 스포츠계에서 벤치마크 역할을 해왔으며, 첨단 기술 솔루션과 힐 클라임 경주용 스포츠 프로토타입 차량 개발에 크게 기여하며 두각을 나타냈다. 엔지니어 지안프랑코 트롬베티의 지휘 아래, Promec은 디자인 전문성, 혁신, 그리고 모터스포츠에 대한 열정의 대명사로 자리매김하며 귀중한 기술적, 스포츠적 유산을 남겼다.
 - 스페인 아브루초 주 테라모에 본사를 둔 ACS와 FOL의 파트너십은 이러한 유산을 계승하고 새로운 산업 및 스포츠 단계로 발전시키기 위해 만들어졌다.
 - 본 프로젝트는 이탈리아 힐 클라임 챔피언십(Campionato Italiano Velocità Salita)에 출전할 E2-SC 카테고리 레이싱카 "PJ26"의 설계 및 제작을 목표로 한다. 탄소섬유 모노코크 새시와 크래시 박스 등 안전 및 성능에 필수적인 요소들의 인증을 포함하여 이미 중요한 기술적 진전을 이루었다. 또한, Promec의 기존 디자이너들을 참여시켜 힐 클라임 레이싱에 특화된 설정을 개발하는 방안도 검토 중이다.
 - FOL의 소유주인 지오밤바티스타 디 과르디아는 "우리의 목표는 기술적 우수성과 디자인 비전을 표현해 온 브랜드인 Promec을 이탈리아 모터스포츠 역사에서 마땅히 차지해야 할 위치로 되돌려 놓는 것이다."라고 말했다.
 - ACS의 CEO인 로베르토 카테나로는 "Promec의 재출시는 전통과 혁신을 결합하고자 하는 열망에 기반한다. 차세대 경주용 자동차에 첨단 복합소재 분야의 전문성을 제공한다는 것은 과거 이 브랜드를 업계의 선두주자로 만들었던 기술 정신을 계승하는 것을 의미한다."라고 덧붙였다.



그림 14. 디 과르디아(왼쪽)와 카테나로(오른쪽)가 PJ26 복합 새시와 함께 있는 모습. 출처 | ACS Srl

□ 미국 Nammo, 첨단 썰매 개발을 위해 USA Skeleton과 파트너십 (26.01.19.)

※ [Composites World] Nammo Composite Solutions는 미국 봅슬레이 및 스킨레톤 협회와 협력하여 스킨레톤 썰매용 첨단 탄소섬유 부품을 제작함으로써 항공우주 수준의 정밀도 빙판 위 유도/ News

- <https://www.compositesworld.com/news/nammo-partners-with-usa-skeleton-for-high-tech-sleds>
 - #미국 #탄소섬유 #트렌드
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 2025년 12월, Nammo Composite Solutions LLC(NCS, 미국 유타주 솔트레이크시티)는 미국 봅슬레이 및 스킨레톤 협회(USABS, 미국 콜로라도주 콜로라도스프링스)와 새로운 파트너십을 체결하고 미국 스킨레톤 팀의 공식 기술 파트너가 되었다고 발표했다.
- 이번 협력의 일환으로 NCS는 스킨레톤 썰매용 첨단 탄소섬유 복합소재 부품을 설계 및 제조하여 항공우주 등급의 정밀도와 신뢰성을 빙상 경기에 적용할 예정이다. 이 부품들은 NCS가 방위 및 항공우주 분야 고객에게 제공하는 것과 동일한 엄격한 기준을 충족하도록 설계되어 미국 대표팀 선수들이 국제 대회를 준비하면서 경기력의 한계를 뛰어넘을 수 있도록 지원한다.
- NCS 사장인 네이트 로더는 "Nammo Composite Solutions는 압박 속에서도 최고의 성과를 내는 사람들을 위해 제품을 만든다."라고 말한다.
- NCS는 국방부 계약업체와 항공우주 OEM 업체는 물론 1차 및 2차 협력업체에 서비스를 제공하며, 초기 개념 및 시제품 제작부터 양산에 이르기까지 복합 구조 개발의 모든 단계에 걸쳐 전문성을 제공한다. NCS는 AS9100 및 Nadcap 인증을 통해 품질에 대한 확고한 의지를 보여주고 있다.



그림 16. 출처 | Nammo Composite Solutions LLC

□ 미국 Avient, 지속 가능한 복합소재 개발 제시(26.01.20.)

※ [Composites World] JEC World 2026: Avient의 고강도, 경량 열가소성 및 열경화성 복합소재는 난연 패널 및 방탄 소재를 포함하여 다양한 산업 및 응용 분야에 맞게 설계/ Products

- <https://www.compositesworld.com/products/avient-demonstrates-sustainable-composite-materials-development>
- #미국 #건축건설 #탄소섬유 #복합소재 #열가소성 수지 #지속가능성 #JEC World 2026
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

○ 미국 오하이오주 에이번 레이크에 위치한 Avient Corp.는 고강도, 경량화 및 내구성 특성을 지닌 다양한 복합소재 기술을 전시하고 있으며, 이러한 기술은 광범위한 산업 및 응용 분야에 적합하다.

○ 이 회사의 혁신은 실제 현장의 문제점들을 해결하는 과정에서 비롯된다. 난연성 열가소성 복합재(TPC)와 같은 개발은 건축 및 건설 업계가 규제 요건을 충족하는 데 도움을 줄 뿐만 아니라, 증가하는 가격의 주택 수요에도 부응한다. 인프라 분야에서 Avient의 복합재는 더욱 탄력적인 프로젝트를 위한 기반을 마련하고, 장기적인 성능을 고려하여 설계된 소재를 통해 전력 및 전기화에 대한 증가하는 수요에 대응할 수 있도록 지원한다.

○ Avient의 전시회에 소개된 자료는 다음과 같다.

열가소성 복합소재(TPC)

- 해머헤드 FR 난연 복합 패널
- 폴리스트랜드 연속 섬유 테이프 라미네이트 — 섬유 강화 단방향 테이프 및 다축 라미네이트
- ThermoBallistic 방탄 패널
- 해머헤드 해양 구조용 폼 코어 샌드위치 패널
- 폴리스트랜드 허니콤 코어 TPC 샌드위치 패널

열경화성 복합소재

- GridCore 복합 전봇대
- 고든 컴포지츠(Gordon Composites)의 열경화성 적층재 및 봉재 - 연속 유리 및 탄소섬유 봉재, 적층재 및 복합재 스프링
- 글라스폼은 압출 성형 방식으로 봉, 튜브 및 맞춤형 프로파일 생산
- 글래스아머 방탄 패널

엔지니어링 광섬유 솔루션

- Fiber-Line은 코팅, 꼬임 및 맞춤형 편조를 포함한 성능 향상 섬유 공정을 통해 아라미드, 유리, 탄소, HMPE 및 LCP 섬유 가공
- 파이버라인 압출 공정 — 열경화성 플트루전 봉 및 맞춤형 압출 코팅 섬유

- 파이버라인 특수 엔지니어링 열가소성 종이 - 섬유 강화 열가소성 단방향 테이프

○ Avient 부스는 5번 홀 5F49에 있다. Avient 팀에서 현재 언론 인터뷰 일정을 조율 중이다.



그림 17. 출처 | Avient Corp.

□ 미국 Greene Tweed, 열가소성 복합재 가이드 베인 통해 엔진 무게 감소 (‘26.01.21.)

※ [Composites World] Greene Tweed는 금속 스테이터 베인을 자사의 DLF 소재로 교체하여 금속 리딩 엣지와 함께 공동 성형함으로써 성능, 비용 및 고속 생산 목표를 충족하는 동시에 엔진당 4kg 무게 감소 / Articles

• <https://www.compositesworld.com/articles/cutting-engine-weight-via-thermoplastic-composite-guide-vanes>

- #미국 #항공우주 #탄소섬유 #복합소재 #압축 성형 #열가소성 수지 #프로세스
- 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 수석 기술 편집자

- 항공기 엔진 효율성 향상은 열가소성 복합재(TPC)를 포함한 새로운 복합소재, 공정 및 응용 분야의 개발을 지속적으로 촉진하고 있다.
- 2025년 10월, Greene Tweed(미국 펜실베이니아주 컬프스빌)는 세계 최대 상용 엔진 제조업체 중 하나와 10년 계약을 체결하고 자사의 Xycomp DLF TPC 소재로 제작된 50개 이상의 맞춤형 부품을 공급한다고 발표했다. 불연속 장섬유(DLF)로 설명되는 이 소재는 항공우주 등급의 탄소섬유 강화 PEEK, PEKK 또는 PEI 프리프 레그 테이프를 잘라 독자적인 공정을 통해 압축 성형한 것이다.
- 복잡한 엔진 브래킷과 공기역학적 페어링을 포함한 이러한 부품들은 금속의 강도와 내구성을 유지하면서 무게를 최대 60%까지 줄이도록 설계되었다.
- Greene Tweed의 구조 부품 제품 관리자인 트레이비스 미즈는 "이러한 무게 절감은 연비 향상, 배출가스 감소 및 엔진 성능 향상에 직접적으로 기여한다."라고 말한다.
- Greene Tweed(엔진당 4kg의 무게 절감을 목표로 하는 TPC 엔진 가이드 베인을 개발했다. 2015년부터 시작된 이 개발은 주로 소형 비즈니스 제트 엔진에 사용되는 고정식 비구조 베인에 초점을 맞추었다고 스위스 이베르동에 위치한 Greene Tweed의 구조 및 엔지니어링 부품 첨단 기술 그룹 수석 과학자인 세바스티앙 콜러(Sebastien Kohler)는 설명한다. 이러한 베인은 대형 구조 베인보다 기계적 요구 사항이 덜 엄격한 경우가 많다. 콜러는 "이번 고정자 베인 연구는 향후 더 큰 베인이나 회전 블레이드를 개발하여 미래 엔진의 효율을 높이는 데 기여할 수 있는 가능성을 열어주는 첫걸음이라고 생각한다."라고 덧붙였다.

"금형 캐비티 두 개만으로 연간 1만 개의 부품을 생산할 수 있지만, 이 공정은 훨씬 더 높은 생산량을 달성할 수 있다."

- 엔진당 60개의 스테이터 베인이 필요했기 때문에 Greene Tweed는 사이클 시간을 단축하기 위해 특허받은 성형 공정을 개편해야 했다.
- Kohler는 "금형 캐비티 두 개만으로 연간 1만 개의 부품을 생산할 수 있었지만, 이 공정은 훨씬 더 높은 생산량을 낼 수 있다."라고 말한다. 베인을 한 번에 성형하는 방식은 에어포일 프로파일을 제어하고 부품의 고정 및 위치 지정 기능을 포함하는 거의 최종 형상에 가까운 결과를 제공한다. Kohler는 "하지만 충격 성능을 개선하기 위한 작업이 필요했다."라고 덧붙였다. 파손 및 박리 현상을 방지하기 위해 Greene Tweed는 자체 성형 공정에 맞춰 특별히 설계된 형상의 맞춤형 금속 리딩 엣지(MLE)를 개발했으며, 여기에는 맞물림을 용이하게 하는 인쇄된 특징이 포함된다.
- Kohler 팀은 ITHEC 2024에서 초기 결과를 발표하며, 1.5인치 직경의 우박을 초속 165m의 속도로 충돌시키는 시험을 통과했으며, 현재 여러 대의 시험용 엔진 세트 주문을 준비하고 있다.

TPC 베인 타임라인

- 60년 이상 고성능 항공우주 부품을 공급해 온 Greene Tweed는 2005년에 Xycomp DLF 기술을 개발하기 시작했다. 당시 Greene Tweed는 GE Aerospace(미국 오하이오주 신시내티)의 자회사인 유니슨과 협력하여 엔진 코어 및/또는 팬 케이스의 기계 및 전기 부품을 지지하는 탄소섬유/PEEK 소재의 엔진 조립(EBU) 브래킷을 생산했다. 2011년에는 항공기 엔진 및 나셀에 사용되는 비행 인증을 받은 Xycomp DLF 부품을 생산하게 되었다.
- 엔진 가이드 베인의 무게를 줄이려는 노력은 새로운 것이 아니라고 미즈는 말한다. "여러 고객들이 이 분야에서 금속을 복합재로 대체하기 위해 다양한 접근 방식을 시도해 왔다. 사출 성형 복합재 베인도 그중 하나였지만, 우박 충격 테스트를 통과하지 못했다. 금속 코팅을 하면 성능이 향상되지만, 사출 성형 베인은 여전히 실패했다."
- Greene Tweed는 2015년 고객사의 비즈니스 제트기용 DLF 베인 평가 요청을 처음으로 받았다. 미즈는 "충격 요건을 충족하기 위해 금속 코팅을 사용해야 했다."라고 말한다. "이 코팅은 비대칭 코팅이었는데, 우박 충격 침식 요건을 충족하기 위해 앞쪽 가장자리는 더 두껍게 코팅했지만, 뒤쪽 가장자리는 그럴 필요가 없었기 때문에 무게를 최적화하기 위해 코팅 두께를 약 0.009인치에서 0.006인치로 점차 얇게 만들었다. 얇은 코팅으로 시작해서 충격 요건을 통과할 때까지 두께를 점차 늘렸지만, 결국 베인이 너무 무거워졌다. 비대칭 코팅은 앞쪽 가장자리 침식 저항성도 향상시켰지만, 궁극적으로 무게와 비용이 너무 많이 증가하여 목표 적용 범위를 벗어나게 되었다."

- 2017년, 이 회사는 동일 고객을 위한 다른 엔진 부품으로 사업 방향을 전환했다. 그리고 2018년에는 기존 공정으로는 비용 및 생산량 목표를 달성할 수 없다는 것을 깨달았다.
- 이에 Greene Tweed는 필요한 성형 공정 개발과 MLE(다중 레벨 엔지니어링) 통합 방안 마련에 착수했다. 하지만 그 전에, 충격 요구 사항을 충족할 수 있는 다른 방법이 있는지 먼저 확인하고 싶었다. 그래서 이베르동에 있는 콜러 팀은 사내에서 우박 충격 시험을 수행하고 고속 카메라로 기록하는 방법을 개발하기 시작했다(자세한 내용은 " 불연속 TPC 부품의 우박 충격 저항성 향상 " 참조).



그림 18. 잘게 자른 UD 테이프로 만든 Xycomp DLF는 거의 최종 형상에 가까운 부품을 만들 수 있다. GE Unison을 위해 Greene Tweed에서 제작한 열가소성 복합재 EBU 브래킷. Xycomp DLF 소재는 잘게 자른 단방향 테이프를 압축 성형하여 거의 최종 형상에 가까운 부품(상단)으로 만들어지며, GE Unison을 위해 Greene Tweed가 탄소섬유/PEEK를 사용하여 생산한 EBU 브래킷(하단)이 그 예이다



그림 19. 하이브리드 블레이드/DLF 베인 및 충격 시험 손상. DLF 코어 위에 연속 섬유 블레이드를 성형한 하이브리드 가이드 베인에 대한 시험은 충격 테스트를 통과하지 못했으며, 165m/s의 속도로 1.5인치 직경의 우박이 충돌했을 때 앞쪽 가장자리가 파손되는 현상이 나타났다.

하이브리드 베인

- "연속 섬유와 DLF를 결합하여 MLE 없이도 충격과 침식을 통과하는 날개를 만들 수 있는지 확인하고 싶었다."라고 Mease는 말한다.
- "기본적으로 금속 코팅을 연속 섬유 복합재 층으로 교체했다."라고 콜러는 덧붙였다. "또한 가이드 베인 형상을 재현하기 위해 가공된 곡선형 솔리드 크로스플라이 및 준등방성 라미네이트로 성형한 가이드 베인도 테스트했지만, 심각한 박리와 균열이 발생하여 성능이 저조했다. 성형된 하이브리드 베인은 연속 섬유가 앞쪽 가장자리를 감싸고 있어 박리가 덜 발생하여 성능이 더 좋았다. 하지만 충격 테스트에서는 여전히 앞쪽 가장자리에 파손이 나타났다. 우리가 원하는 수준에 도달하지 못했다. 그래서 어쩔 수 없이 MLE 솔루션 개발에 착수하게 되었다."

프로세스 최적화

- Greene Tweed는 MLE가 통합된 DLF 가이드 베인을 성공적으로 구현하기 위해 여러 문제를 해결해야 했지만, 성형 공정 개발이 핵심이었다. Kohler는 "브래킷이나 다른 부품에 금속 인서트를 많이 사용해 봤지만, 이런 MLE는 처음이다."라고 말하며, "우리가 사용하는 공정은 HyFusion이라고 하며, Greene Tweed가 오래전에 특허를 냈다."라고 덧붙였다.
- "이것은 약간의 유동성을 갖도록 변형된 압축 성형 방식이다. 사출 성형과 유사한 형태라고 할 수 있죠."라고 미즈는 덧붙였다. "이 방식은 가이드 베인 용도에 매우 적합하며, 베인 길이 방향을 따라 최적의 섬유 배향 및 정렬을 제공한다."
- "하지만 기존 공정은 이러한 대량 생산, 예를 들어 항공기 한 대에 여러 엔진이 장착될 때 필요한 60개의 블레이드 생산에 최적화되어 있지 않았다."라고 콜러는 설명한다. "그래서 사이클 시간을 단축하기 위해 공정을 수정해야 했다." 20분 이내의 사이클 시간을 가능하게 하는 이 새로운 공정은 콜드퓨전(ColdFusion)이라고 불린다. "우리가 목표로 했던 사이클 시간은 이러한 엔진 블레이드 생산에 있어 전례 없는 시간이었다. 물리적 한계 때문에 원하는 결과를 얻지 못한 경우였죠. 콜드퓨전이라는 이름은 독창적인 공정 성과를 암시하며, 기존 복합재 공정 명명법인 하이퓨전(HyFusion)과도 잘 어울린다."
- "하지만 우리는 공정에서 열을 가하고 제거하는 방식을 최적화했다."라고 미즈는 말한다. "따라서 열적인 요소도 있고, 높은 수준의 자동화와 공정 제어를 포함하여 장비도 최적화했다."
- 콜러는 가이드 베인이 공기 흐름을 조절하는 데 사용되기 때문에 이러한 제어가 매우 중요하다고 설명한다. "에어포일 형상을 제어하고 매끄러운 표면을 만들어야 한다. 이를 위해 가공 및 연마 단계를 추가할 수 있지만, 비용과 시간이 많이 소요된다. 또는 부품이 금형에서 흠집 없이 나오도록 해야 한다. 그러려면 금형 내에서 TPC 소재가 어떻게 응고되는지 정확히 이해해야 한다. 또한 부품의 변형이나 형상 정의에 문제가 없도록 금형을 최적화해야 한다."
- 그는 "그러한 성형 및 변형을 예측하는 것은 상당히 복잡하다"며 "이러한 부품을 이런 방식으로 제작할 수 있도록 모든 모델링 요소를 마련하는 데 꽤 오랜 시간이 걸렸다"고 덧붙였다.
- "저희는 에어포일에 적합한 균일하고 깔끔한 표면 마감을 얻는 데에도 상당한 어려움을 겪었다."라고 미즈는 말한다. "많은 공정과 금형 개발 과정을 거쳤지만, 이제는 간단한 디버링만으로 날개를 금형에서 쉽게 분리하여 바로 사용할 수 있다."

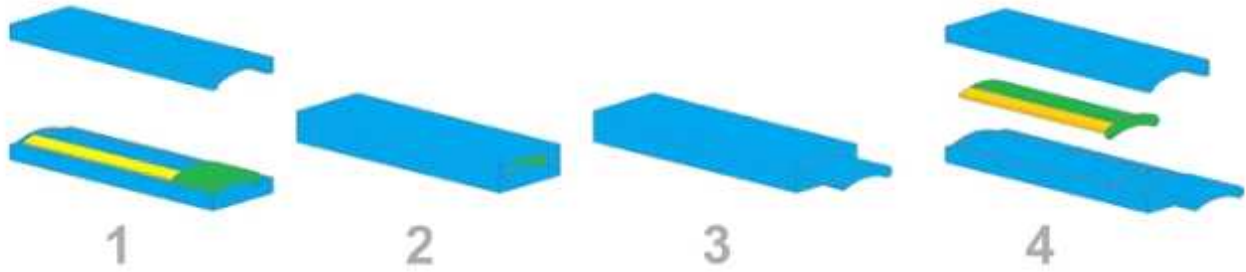


그림 20. TPC 엔진 가이드 베인용 압축 성형 공정 수정. 콜드퓨전 공정 단계: 미리 성형된 금속 리딩 에지(MLE, 노란색)와 DLF 재료(녹색)를 금형(파란색)에 삽입한다(1). 그런 다음 금형을 닫고(2) DLF 재료를 압축하여 금형 캐비티로 흘러 들어가게 한다(3). 성형이 완료되면 금형을 열고 MLE가 함께 성형된 완전히 성형된 베인을 꺼낸다(4).

- 위 이미지는 MLE를 금형에 넣는 과정을 보여준다. 콜러는 "재료를 넣고 가열한 다음 압력을 가해 DLF가 흐르도록 한다."라고 설명한다. "그런 다음 모든 것을 냉각시켜 일체형 부품을 만든다. 금형을 열면 플래시만 제거하면 되는 거의 최종 형상의 TPC 가이드 베인을 얻을 수 있다."

3D 프린팅 MLE

- 마지막으로 해결해야 할 과제는 콜드퓨전 공정과 PEEK DLF 소재에 적합한 MLE(모델 레벨 엔지니어링)를 개발하는 것이었다. 콜러는 "MLE는 금형 내에서 정확한 형상과 위치를 가져야 했다."라고 말하며, "판금으로 시작하면 이러한 접근 방식을 위한 생산 툴링 비용이 엄청나게 많이 들고, 본질적으로 연구 개발 프로그램이었던 저희에게는 적합하지 않았다. 3D 프린팅을 사용함으로써 최소한의 툴링 비용으로 정확한 형상의 부품을 제작할 수 있었다."라고 덧붙였다.
- 그는 "우리는 다양한 형상을 반복적으로 검토하면서, 예를 들어 MLE가 앞쪽 가장자리에서 시작하여 현 방향으로 얼마나 길어야 하는지 등을 살펴보았다."라고 말을 이었다. "더 넓은 형상도 검토해 봤지만, 결과가 좋지 않았다. 그러다가 프린팅 방식을 활용하여 기계적 맞물림이 가능한 마름모꼴 형상을 만들었다. 이렇게 하면 MLE와 TPC 소재 사이의 열팽창 계수(CTE) 불일치를 줄이는 데도 도움이 된다. 서로 충돌하는 소재의 길이가 더 짧아지기 때문이다."

- "저희는 무게를 최소화하면서 165m/s의 우박 충격 요구 사항을 충족할 수 있는 최적의 솔루션을 찾을 때까지 다양한 방식을 시도해 봤다."라고 콜러는 말한다. "당연히 금속을 많이 넣을 수록 날개는 무거워진다. 그리고 콜드퓨전 공정 전반



그림 21. 3D 프린팅으로 제작된 MLE 설계는 DLF 라미네이트와의 결합을 용이하게 하기 위해 시험되었다. 다양한 3D 프린팅 MLE 디자인을 시험해 보았는데, 여기에는 DLF 라미네이트와의 결합을 용이하게 하는 다이아몬드형 특징도 포함되었다.

에 걸쳐 MLE 인서트가 제자리에 고정되도록 최상의 공동 성형 결과를 얻어야 했다. 그래서 그 방향으로도 개발을 진행했고, 이제는 파손이 발생하더라도 앞전 전체가 부러지거나 날개가 두 동강 나더라도 앞전이 복합재 내부에서 분리되거나 움직이지 않도록 만들었다. 기본적으로 제자리에 고정된 채로 함께 부러지는 것이다."

OGV 상용화, 미래의 회전 날개

- 이러한 개발은 오랜 기간에 걸쳐 진행되었지만, 미즈는 이것이 진정한 성공 사례라고 말한다. "우리는 또 다른 고객과 협력하여 2026년 차세대 엔진 개발 테스트를 지원할 부품을 개발하고 있을 뿐만 아니라, 이러한 기술 개발 접근 방식을 새로운 고객 애플리케이션에도 적용했다."
- 소형 정적 및 출구 안내 날개(OGV) 적용 분야에서 이러한 성과를 거둔 후, 다음 단계는 더 큰 구조적 날개를 개발하는 것일까요? "가능성이 있다고 생각하며 회전 날개에 대해서도 연구해 왔지만, 현재로서는 첫 번째 제품을 성공적으로 출시하고 최소한 몇 가지 다른 분야에 적용하는 것이 우선이다."라고 미즈는 덧붙였다. "그 다음 단계는 더 크고, 더 까다롭고, 더 구조적인 적용 분야가 될 것이며, 대형 상용 엔진의 요구 사항을 충족하기 위해 우리가 진행해 온 하이브리드 개발 성과를 활용할 수도 있을 것이다."
- 하지만 콜러는 대형 엔진의 경우 OGV와 같은 고정식 날개조차도 더 높은 구조적 요구 사항을 충족해야 한다고 경고한다. "이러한 요구 사항을 충족하려면 연속 섬유를 사용한 하이브리드 복합재 방식이 필요할 것이다. 이는 기본적으로 소형 날개에서 극복해야 했던 우박 충격 요구 사항뿐만 아니라 강도와 관련된 하중 조건에 대한 요구 사항이다. 반대로 회전식 날개의 경우, 알루미늄과 DLF의 비강도를 비교해 보면 별도의 설계 없이도 비교적 바로 사용할 수 있을 것으로 예상되지만, 날개가 회전하기 때문에 다른 요구 사항이 적용될 것이다."
- 그는 "이러한 회전식 날개는 하이브리드 소재를 필요로 하지 않을 수도 있지만, 현재 상용화된 고정식 날개에 비해 인증 및 비행 과정이 훨씬 더 복잡할 것이다. 하지만 이는 분명히 미래에 우리가 개발할 수 있는 두 가지 방향이다. 지금은 고정식 OGV를 비행시키는 데 집중하고, 그 후 DLF 소재와 TPC 부품 역량이 항공 엔진 및 항공 탈탄소화에 도움이 될 수 있는 다른 응용 분야에서 어떤 기회를 열어 줄지 살펴볼 것이다."라고 덧붙였다.



그림 22. DLR 소재로 제작된 엔진 가이드 베인(앞쪽 팬 블레이드 뒤쪽의 흰색 구조물)은 이전에는 충격 시험을 통과하기 위해 금속 코팅이 필요했다. Greene Tweed는 연속 섬유 소재와의 하이브리드 방식을 연구한 끝에, 적층 제조(AM) 기술을 적용하여 결합력을 강화한 금속 리딩 엣지를 공동 성형함으로써 코팅이 필요 없는 DLF 베인을 개발하는 데 성공했다. 출처 | Greene Tweed

□ 스위스 IEC, 복합재 도체 코어 표준화에 관한 IEC TS 62818-1 발표 (26.01.21.)

※ [Composites World] 노후화된 전력망이 대대적인 업그레이드에 직면함에 따라, Exel Composites가 기여한 새로운 IEC 규격은 복합 도체 코어에 대한 필수적인 지침을 제공하여 송전 시스템 운영자(TSO)가 장기적인 성능을 보장하고 손쉽게 비교 분석할 수 있도록 한다./ News

- <https://www.compositesworld.com/news/iec-publishes-iec-ts-62818-1-composite-conductor-core-standardization>
 - #스위스 #풍력/에너지 #탄소섬유 #복합소재 #표준화
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 2025년, 국제전기기술위원회(International Electrotechnical Commission; IEC, 스위스 제네바)는 ASTM B987을 따라 복합 도체 코어 표준화를 위한 새로운 기술 규격인 IEC TS 62818-1을 발표했다.
 - ASTM B987은 유리 표면을 가진 단선 탄소섬유 코어(즉, 하이브리드 코어)만을 다루고 있다. IEC의 규격은 품질 지침을 제공하고 송전 시스템 운영자(TSO)가 시판되는 다양한 복합 도체 코어를 비교할 수 있도록 적절한 시험 방법을 정의한다.
 - IEC TS 62818-1을 제작한 위원회의 일원이자 복합재 도체 코어 제조업체인 Exel Composites(핀란드 반타)의 제품 관리 이사인 안티 하신넨에 따르면, 새로운 기술을 도입하는 것은 불확실성을 야기할 수도 있다.
 - "특히 인프라의 경우, 가치 있는 업그레이드를 위해서는 수백만 달러, 심지어 수십억 달러의 투자가 필요할 수 있다."라고 하신넨은 말한다. "따라서 송전망 운영자(TSO)와 같은 인프라 소유주는 자신들이 선택한 솔루션이 장기간에 걸쳐 효과를 발휘할 것이라는 확신을 가져야 한다."
 - 기존 알루미늄 도체 강철 보강(ACSR) 코어는 노후화되고 한계가 있다. 유럽 전력망의 약 40%가 40년 이상 되었고, 북미에서는 50% 이상이 30년을 넘었다. 전력망 운영자들이 운송, 산업 활동, 난방의 전력화 및 재생 에너지원의 전력망 통합으로 인한 급증하는 전력 수요에 대처해야 하는 상황에서, 새로운 송전 인프라 시대가 이미 시작되었다.
 - IEC TS 62818-1은 이러한 현대화 노력을 기울이는 송전 시스템 운영자(TSO)에게 안심을 제공하는 데 중요한 역할을 한다. 하신넨은 "이것은 설계, 재료 또는 표면 처리와 관계없이 복합 도체 코어에 대한 통합 테스트 및 인증 프레임워크를 제공하는 최초의 국제 규격이다."라고 말한다. "예를 들어, 아레니우스 방법은 장기적인

열 안정성을 평가하는데, 이는 온도에 따른 열화와 기계적 특성 간의 상관관계를 통해 시간에 따른 재료 성능을 예측한다. 이러한 맥락에서, 우리는 고온과 축 방향 인장 강도 사이의 관계를 시간에 따라 모니터링하여 제품의 작동 수명 전반에 걸쳐 적합성을 예측할 수 있다."

- 그녀는 "가치 사슬을 따라 위치한 제조업체들에게 표준화된 용어, 승인 기준 및 테스트 방법론은 중복되거나 상충되는 국가 표준 없이 제품 성능을 명확하게 입증할 수 있는 방법을 제공한다."라고 덧붙였다. "송전 시스템 운영자(TSO)의 경우, 표준의 통일은 서로 다른 기준으로 평가되는 다양한 솔루션을 비교할 때 발생하는 불확실성을 없애준다."
- Exel Composites의 공헌은 폴트루전 분야에 대한 깊은 전문 지식이었다. 국제자동차태스크포스(IATF) 16949 품질경영 표준을 달성하기 위해 수년간 노력해 온 경험은 제조 및 생산 과정에서 얻은 통찰력을 직접적으로 제공했다. 실제로 Exel Composites 팀은 IEC TS 62818-1이 발표되기 수년 전부터 해당 지침 및 시험 표준을 적용해 왔다.
- "이처럼 공통 관심사를 공유하는 단체 및 협회에 적극적으로 참여함으로써 미래 비전을 가진 기업들은 파트너들과 협력하여 업계 발전을 위해 노력할 수 있다."라고 하신넨은 덧붙였다. "IEC TS 62818-1은 좋은 예이다. 이 표준은 향후 IEC 산업 표준으로 채택되어 열팽창 허용 오차 및 기타 재료 특성에 대한 필수 요건, 표준화된 시험 절차, 장기 신뢰성 등을 규정할 것이다."
- 관련 내용은 "Exel Composites 백서, HTLS 도체 코어를 활용한 전력망 현대화 촉구" 를 참조.

<https://www.compositesworld.com/news/exel-composites-white-paper-calls-for-grid-modernization-using-htls-conductor-cores>



그림 23. 송전선로. 출처 | Exel Composites

□ 스페인 GENEX 프로젝트, 디지털 트윈, 스마트 제조 및 복합재 수리 분야의 연구 결과 발표('26.01.21.)

※ [Composites World] 2026년 2월 17일부터 18일까지 스페인에서 개최될 예정인 대면 행사에는 다채로운 프로그램, 대화를 촉진하는 원탁 회의, 그리고 테루엘 공항 기술 방문 포함/ News

• <https://www.compositesworld.com/news/genex-project-final-event-presents-findings-in-digital-twins-smart-manufacturing-and-composites-repair>

- #스페인 #항공우주 #탄소섬유 #센서 #복합소재 4.0 #수리 #SHM #LCA
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

○ Horizon Europe 기금으로 지원되는 GENEX 프로젝트가 42개월간의 임무를 마무리하는 중요한 행사를 2026년 2월 17일부터 18일까지 스페인 자로자에 위치한 아라곤 기술 연구소(ITA, Instituto Tecnológico de Aragón)에서 개최된다.

○ 이번 행사에는 연구원, 업계 전문가 및 항공 업계 관계자들이 한자리에 모여, 테루엘 공항 기술 견학도 포함된다. 참가자들은 차세대 항공기 구조를 위한 디지털 전환, 친환경 복합재 제조 및 지능형 수리 기술 분야에서 GENEX가 이룩한 성과를 살펴볼 수 있다.

○ 마지막 행사에서는 지속 가능한 제조, 항공기 구조물 모니터링 및 디지털화된 수리에 대한 주제별 세션이 진행될 예정이다. 테루엘 공항 방문을 통해 GENEX 솔루션의 실제 적용 사례와 항공 운영 환경에서의 적합성을 확인할 수 있다.

○ ITA의 주도 하에 GENEX 파트너들은 2022년에 설계, 제조, 구조 건전성 모니터링 (SHM), 수리 및 수명 주기 관리를 아우르는 엔드투엔드 디지털 프레임워크 구축에 착수했다. 이 통합된 다분야 디지털 트윈은 실제 항공기 구조물을 실시간 가상 모델과 동기화하여 예측 정비, 향상된 성능 평가 및 항공기 수명 주기 전반에 걸친 보다 지속 가능한 운영 전략을 지원한다.

○ 이 프로젝트는 세 가지 기술적 핵심 분야에서 획기적인 혁신을 가져왔다.

(1) 친환경적이고 스마트한 복합소재 제조

○ GENEX 파트너사들은 디지털화되고 에너지 효율적인 복합재 제조의 기준을 한 단계 높이는 여러 솔루션 제시

- 열경화성 수지의 내구성과 열가소성 수지와 유사한 재활용성을 결합한 3R 수지를 사용하는 새로운 오토클레이브 외부(OOA) 탄소섬유 강화 복합재 제조 공정
- 제조 및 서비스 중 실시간 모니터링을 가능하게 하는 내장형 광섬유 센서(FOS)
- AI 기반 다중물리 시뮬레이션을 통해 AFP를 최적화하고 경화 거동 및 재료 결정성

을 향상

- 경화 진행 상황 및 복합재 품질에 대한 지속적인 정보를 제공하는 인라인 테라헤르츠 분광 시스템

- 이러한 발전은 재활용 가능한 복합 구조물의 보다 효율적인 생산과 향상된 공정 지능화를 지원한다.

- GENEX 최종 행사, 1일차: 이본 아란베리(Cidetec), 마시밀리아노 루셀로(Aimen), 휴버트 로만 와식(Aernnova), 매튜 프로스트(Teijin Carbon Europe GmbH)가 참여하는 "항공 분야에서 새로운 재활용 소재 및 제조 기술 도입의 과제"에 대한 원탁 토론회가 진행된다.

(2) 항공기 구조물의 통합적인 건강 및 사용 모니터링

- GENEX는 데이터 기반 물리 분석 기술을 활용한 차세대 건강 및 사용량 모니터링 및 관리(HUM&M) 시스템을 개발했다.

- 초음파 유도파(UGW)에 최적화된 고성능 유한 요소법(FEM) 기반 다중물리 해석 솔버
- 박리 손상을 높은 정확도로 감지하고 특성을 파악할 수 있는 딥러닝 모델
- 복잡한 복합 형상에 맞게 설계된 가상 센서 네트워크 및 프로토타입 센서 노드
- 열가소성 수지와 GENEX의 새로운 적층 시스템 모두에서 균열 전파 평가 및 고정밀 손상 모델링을 위한 고급 방법

- 이러한 혁신은 복합 구조물의 초기 손상 감지, 신뢰성 및 장기 관리를 크게 향상시키는 동시에 검사 시간과 유지 보수 비용을 절감한다.

- GENEX 최종 행사, 1일차: 루카시 암브로진스키(AGH), 페데리코 마르틴 데 라 에스칼레라(아에르노바), 크시슈토프 드라간(바르샤바 공군 기술 연구소), 안드레아스 크렌츠(IFAM-프라운호퍼)가 참여하는 "항공 분야 건강 모니터링 시스템의 미래" 원탁 토론회가 개최된다.

(3) 고품질 복합재 유지보수를 위한 디지털 지원 수리 도구

- GENEX는 복합재 수리 기술을 현대화하기 위한 통합 디지털 도구 제품군을 제공했다.

- 시각 보조 스카핑(VAS) 시스템은 기술자가 실시간 기하 투영을 통해 정밀한 스카핑 수리를 수행
- 오염물질 감지 및 표적 레이저 세척을 위한 이중 모드 레이저 유도 파괴 분광법(LIBS) 모듈
- 실시간 가상 열 지도 및 향상된 온도 제어 기능을 제공하는 고급 열 손상 수리 계획 애플리케이션
- 광섬유 변형률 추적 및 저온 작동 가능 감지 소재를 포함한 혁신적인 균열 감지 및

균열 방지 솔루션

- 이러한 기술은 미래의 MRO(유지보수, 수리 및 운영) 요구사항에 맞춰 더욱 빠르고 안전하며 추적 가능한 수리 작업을 지원한다.

수명주기 평가, 유지보수 및 수리(MRO) 로드맵 수립 및 인증 준비

- GENEX는 전 생애 주기 평가(LCA) 및 전 생애 주기 비용(LCC) 연구를 통해 포괄적인 환경 및 경제성 평가를 수행했으며, 여기에는 탄소섬유/3R 및 탄소섬유/PEKK 라미네이트에 대한 벤치마킹이 포함되었다. 수정된 MRO 평가에서는 기존 공정과 디지털 기술이 적용된 GENEX 워크플로우를 비교하여 효율성 향상 및 잠재적인 인증 경로를 파악했다.
- 규제 준수를 위해 유럽항공안전청(EASA), 루프트한자 기술 교육, 타르맥 에어로세이브와의 협력 및 CACRC 참여를 통해 지원을 제공해 왔다. 이러한 상호 작용을 통해 GENEX의 혁신 기술이 향후 인증을 획득하고 업계 전반에 걸쳐 널리 채택될 수 있도록 기반을 마련할 수 있다.
- GENEX 최종 행사, 1일차: "항공 분야 디지털화의 영향: 지속가능성, 유지보수, 인증"에 대한 원탁 토론 (참석자: George Kanterakis(GMI Aero), Andreas Meyer(LTT), Naresh Solipur(Ziegler), Miguel Angel Paz(Tarmac), Francisco Ansedes(Boeing)).
- GENEX 최종 행사에 대해 자세히 알아보기.
<https://genex-project.eu/events/genex-final-event>



그림 24. 출처 | GENEX

□ 독일 Envalior, EcoPaXX CFRTP UD 테이프 H2 탱크가 고압 하중 지지(26.01.21.)

※ [Composites World] UD 연속 섬유 테이프는 폴리아미드 라이너를 감싸 견고한 수소 저장을 가능하게 하고, 2.2 GPa 인장 강도 및 20% 비용 절감 효과를 제공하며, 경화나 유해 화학 물질 없이 더욱 간편하게 가공 가능 / Products

- <https://www.compositesworld.com/products/envalior-ecopaxx-cfrtp-ud-tape-enables-h2-tanks-to-withstand-high-pressure-loads>
 - #독일 #제조생산 #탄소섬유 #복합소재 #압력 용기 #열가소성 수지 #시장
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- Envalior(독일 뒤셀도르프)는 고압, 전섬유 강화 열가소성 H₂ 압력 용기용 고성능 단방향(UD) 연속 섬유 열가소성 테이프인 UDea EcoPaXX Q20HTC60을 출시했다.
 - UDea EcoPaXX Q20HTC60은 폴리아미드 라이너를 감싸고 기계적으로 보강하는데 사용할 수 있어 탱크 시스템이 탱크 충전 및 저장 중에 발생하는 고압 하중을 견딜 수 있도록 한다.
 - UDea EcoPaXX 등급은 부분적으로 생분해성 폴리아미드 4.10(PA4.10)을 기반으로 하며, 60중량%(60wt%)의 단방향 연속 탄소섬유로 보강되었다. 이러한 대체 탄소 섬유는 강도가 낮은 탄소섬유로 보강된 동일 소재에 비해 섬유 방향 인장 강도를 15% 이상 향상시켜 약 2.2GPa에 이르게 한다. 따라서 이 테이프는 탱크 포장의 높은 강도와 강성을 보장하고 탱크 전체의 구조적 안정성을 높여준다.
 - CFRTP 테이프를 적용하는 한 가지 방법은 레이저 보조 테이프 배치이다. 이 방법은 시작-정지 원리를 이용하여 고압을 견뎌야 하는 필수적인 부분에만 라이너를 보강할 수 있다. 하중을 지지하지 않는 탄소섬유는 복합 구조에서 제거할 수 있는데, 이는 습식 권취 열경화성 공정으로는 불가능한 부분이다.
 - Envalior에 따르면, 이러한 방식으로 무게와 비용을 최대 20%까지 절감할 수 있다.
 - 더욱 지속 가능한 재활용 방식 외에도, 라이너를 포장하는 과정은 특별한 산업 안전 조치 및 청소 프로토콜이 필요한 열경화성 화학 물질의 경화 또는 취급이 필요하지 않다.
 - "이 테이프는 당사의 Durethan 및 Akulon 브랜드의 충격 방지 PA6 컴파운드를 포함하여 H₂ 압력 용기 제조를 위한 광범위한 열가소성 소재 포트폴리오를 완성한다."라고 Envalior의 첨단 엔지니어링 관리자인 Bert Keestra는 말한다.

- 예를 들어 PA4.10 기반 테이프를 PA6 컴파운드로 만든 라이너에 적용하면 레이저로 생성된 두 폴리아미드의 용융물이 계면에서 용융 접착을 형성하여 강력한 재료 결합을 가진 일체형 구조를 만든다.
- UDea 영업 및 사업 개발 관리자인 Giacomo Perfetti는 "라이너는 기계적 또는 열적 하중에 노출될 때 복합 구조와 독립적으로 변형될 수 없으므로 좌굴 위험이 줄어들 뿐만 아니라 압력 용기의 수명 동안 청소 및 유지 관리가 용이해진다."라고 설명한다.

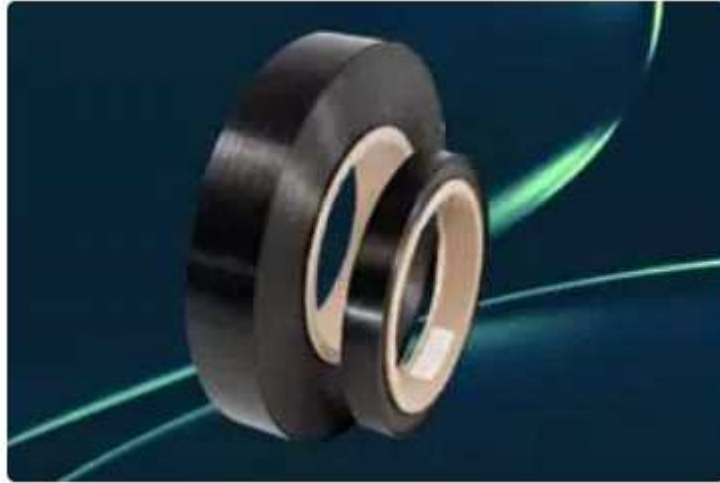


그림 25. CFRTP UD 테이프

□ 미국 노스캐롤라이나 주립대학교 및 휴스턴 대학교, 손상을 1,000 배까지 복구할 수 있는 자가 치유 복합소재 개발(26.01.21.)

※ [Composites World] 3D 프린팅 첨가제와 내장형 히터를 포함하는 FRP는 박리 현상을 성공적으로 자가 복구하여 복합재 부품이 수세기 동안 지속될 수 있는 잠재력 제공 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/nc-state-houston-university-develops-self-healing-composite-that-repairs-damage-1000-times>
- <https://www.pnas.org/doi/10.1073/pnas.2523447123>
- #미국 #제조생산 #탄소섬유 #복합소재 #3D 프린팅 #자가 치유 기술 #발열
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 미국 노스캐롤라이나 주립대학교(NC State, 미국 롤리)와 미국 텍사스 주 휴스턴 대학교의 연구진은 항공기 날개, 터빈 블레이드 및 유사 분야에 현재 사용되는 재료보다 우수한 성능을 보이면서 1,000회 이상 자가 복구 능력을 유지하는 자가 치유 복합소재를 개발했다.
- "이는 손상된 복합재 부품 교체와 관련된 비용과 노동력을 크게 줄이고, 수작업으로 검사, 수리 또는 폐기해야 할 파손 부품이 줄어들기 때문에 많은 산업 분야에서 에너지 소비량과 폐기물 발생량을 감소시킬 것이다."라고 NC State의 토목, 건설 및 환경 공학 부교수이자 해당 논문의 교신 저자인 제이슨 패트릭은 말한다.
- NC State 연구진이 개발한 자가 치유 기술은 복합재 내부에 균열이 발생하여 섬유층이 기질에서 분리되는 현상인 층간 박리를 목표로 한다.
- 패트릭은 "1930년대부터 FRP 복합소재의 골칫거리였던 박리 현상을 해결하기 위해 우리가 개발한 자가 치유 기술을 개발했다. 이 기술은 박리 문제를 장기적으로 해결하여 부품 수명을 수백 년으로 연장할 수 있을 것으로 기대한다. 이는 일반적인 FRP 복합소재의 수명인 15~40년을 훨씬 뛰어넘는 수치이다."라고 설명한다.
- 이 자가 치유 소재는 기존의 FRP 복합재와 유사하지만 추가적인 특징을 가지고 있다. 연구진은 먼저 열가소성 자가 치유제를 섬유 보강재 위에 3D 프린팅하여 고분자 패턴의 중간층을 형성함으로써 적층재의 박리 저항성을 2~4배 향상시켰다.
- 다음으로, 연구팀은 전류가 흐르면 가열되는 얇은 탄소 기반 발열층을 소재에 삽입했다. 이 열은 자가 치유제를 녹여 균열과 미세 균열 속으로 흘러 들어가 박리된 접합면을 다시 접착시켜 구조적 성능을 복원한다.
- 장기적인 자가 치유 성능을 평가하기 위해 연구팀은 FRP 복합재에 반복적으로 인

장력을 가하여 50mm 길이의 박리를 발생시킨 후 열적 복구를 유도하는 자동화된 테스트 시스템을 구축했다. 실험 장치는 40일 동안 1,000회의 파괴 및 치유 사이클을 연속적으로 실행하면서 각 복구 후 박리 저항성을 측정했다.

- "저희는 자가 치유 소재의 파괴 저항성이 기존 복합소재보다 훨씬 높다는 것을 발견했다."라고 논문의 주저자이자 노스캐롤라이나 주립대 대학원생인 잭 투리첵은 말한다. "우리가 개발한 복합소재는 기존 복합소재보다 훨씬 더 강인하기 때문에, 최소 500회 이상의 반복적인 치유 과정에서도 현재 시판되는 적층 복합소재보다 균열에 대한 저항력이 뛰어나다. 또한, 층간 인성은 반복적인 치유 후 감소하지만, 그 감소 속도는 매우 느리다."
- 실제 상황에서는 우박, 조류 충돌 또는 기타 사고로 소재가 손상되거나 정기적인 유지 보수 중에만 자가 치유가 시작된다. 연구진은 분기별로 자가 치유가 이루어질 경우 소재의 수명이 125년, 연간으로 이루어질 경우 500년에 달할 것으로 추정한다.
- 패트릭은 "이는 항공기나 풍력 터빈과 같은 대규모의 고가 기술에 분명한 가치를 제공한다."라고 덧붙였다. "하지만 우주선과 같이 접근하기 어려운 환경에서 작동하는 기술에는 특히 중요할 수 있다. 이러한 환경에서는 기존 방식으로는 현장에서 수리하기가 어렵거나 불가능하기 때문이다."
- 패트릭은 자신이 설립한 스타트업 회사인 Structeryx Inc.를 통해 해당 기술에 대한 특허를 취득하고 라이선스를 부여했다.
- "장기적인 자가 치유: 현장 자동화를 통해 구조 복합소재의 100년 규모 균열 복구 구현"이라는 제목의 논문이 미국 국립과학원회보(Proceedings of the National Academy of Sciences)에 게재되었다. 이 논문의 제1저자는 Turicek이며, 노스캐롤라이나 주립대학교 박사 과정 학생인 Zach Phillips와 휴스턴 대학교 토목환경공학과 칼 F. 가우스 석좌교수인 Kalyana Nakshatrala가 공동 저자로 참여했다.
- 본 연구는 전략적 환경 연구 개발 프로그램(SERDP)의 W912HQ21C0044 보조금과 미국 국립과학재단의 2137100 보조금 지원을 받아 수행되었다.

* **PNAS (2026) Vol. 123, No. 2. "Self-healing for the long haul: In situ automation delivers century-scale fracture recovery in structural composites"**

- (주요 요점) 박리 손상은 섬유 강화 폴리머 복합재의 안전성과 수명을 오랫동안 저해해 온 문제이다. 이러한 파손 모드는 경량성이라는 기계적 이점을 약화시킬 뿐만 아니라, 수리/재활용이 본질적으로 어려운 이러한 재료의 비용과 환경적 영향을 가중시킨다. 본 연구에서는 현장 열 복구 자동화를 통해 1,000회의 박리 자가 치유 사이클을 달성하는 혁신적인 자가 치유 기술을 개발했다. 이는 기존 연구보

다 10배 이상 높은 수치이다. 수명 연장은 계면 화학 반응 감소와 섬유 파편 축적이 파괴 회복의 점진적이고 점근적인 감소에 기여하며, 이러한 감소가 Weibull 분포를 따른다는 새로운 과학적 사실을 밝혀냈다. 본 연구 결과는 층간 파괴에 대한 이러한 자가 치유 전략이 일반적인 복합재 설계 수명을 훨씬 뛰어넘는 규모로 반복 가능함을 보여주며, 박리 손상을 구조적 문제로 인식하는 것을 방지한다.

- (요약) 뼈와 나무와 같은 자연의 구조적 복합소재는 계층적 다중재료 설계를 통해 우수한 기계적 성능을 구현한다. 하지만 이러한 재료의 진정한 장점은 손상 후 반복적으로 스스로 복구되는 탁월한 능력에 있다. 합성 섬유 강화 폴리머(FRP) 복합소재 또한 폴리머 매트릭스 내에 섬유 보강재를 캡슐화하여 재료 계층 구조를 활용함으로써 강성과 강도를 극대화한다. 그러나 적층된 FRP 복합소재의 층상 구조는 층간 박리(섬유와 매트릭스의 분리)에 취약하여 구조적 무결성을 크게 저하시킨다. 최근 연구팀은 현장 가열을 통한 자가 치유 전략을 도입하여, 부드러우면서도 강인한 열가소성 개재물이 폴리머 사슬의 재얽힘, 즉 열적 복구를 통해 층간 균열 복구를 달성하도록 했다. 본 연구에서는 현장 열기계 실험을 자동화함으로써 자가 치유 반복성을 1,000회라는 전례 없는 수준으로 향상시켰다. 자가 치유는 비자가 치유 복합재의 모드-I 파괴 저항의 175%에서 시작하여 서서히 60%까지 감소하는데, 이는 이러한 거동을 지배하는 독특한 화학-물리적 메커니즘을 보여준다. 용융된 폴리(에틸렌-코-메타크릴산)(EMAA) 자가 치유제 내 섬유 파편 축적과 EMAA와 에폭시 매트릭스 사이의 계면 화학 반응 감소가 모두 이러한 현상에 기여한다. 이러한 복잡한 파괴 회복 과정을 설명하는 Weibull 분포는 40% 이상의 점근적 자가 치유 한계를 예측하며, 이는 지속적인 복구가 가능함을 시사한다. 이러한 새로운 열 복구 결과를 실제에 적용하면, 분기별 자가 치유 일정을 적절히 유지함으로써 FRP 복합재의 층간 파괴 복구를 125년 이상 유지할 수 있으며, 이는 항공기 및 풍력 터빈을 포함한 많은 현대 구조물의 일반적인 설계 수명을 훨씬 뛰어넘는 기간이다. 따라서 이 최신 자가 치유 패러다임은 박리를 파괴 모드에서 효과적으로 제거한다.

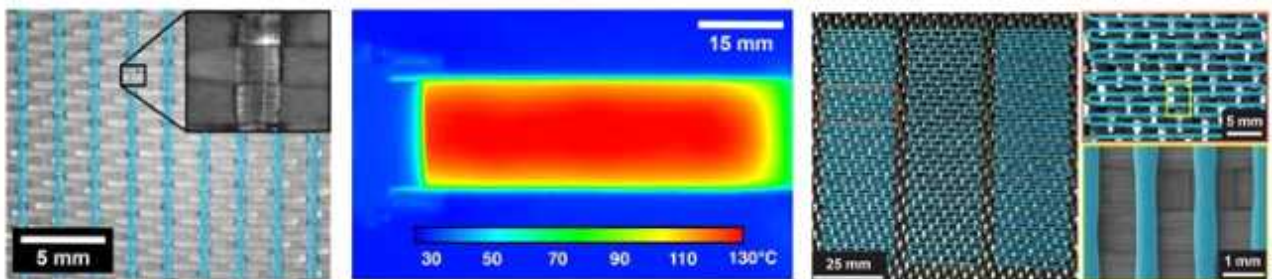


그림 26. 유리섬유 보강재 위에 3D 프린팅된 열가소성 자가 치유제(파란색 오버레이)(왼쪽); 파손된 섬유 복합재의 자가 치유 과정 중 적외선 열화상 이미지(가운데); 탄소섬유 보강재 위에 3D 프린팅된 자가 치유제(파란색)(오른쪽). 출처 | 제이슨 패트릭, 노스캐롤라이나 주립대학교.

□ 2026년 산업계에서 주목받고 있는 복합소재 트렌드(26.01.23.)

※ [Composites World] 지난 한 해 동안 스타트업과 투자자들이 다른 주제들을 살펴보면, 이 산업은 순환 경제, AI, TPC(기술 중심 생산), 고속 생산과 같은 거시적 트렌드의 수혜를 받으며 빠르게 성숙해지고 있으며, 이러한 모든 요소는 투자자들에게 잠재적인 이익으로 작용하고 있음 시사 / Articles

- [https://www.compositesworld.com/articles/composite-trends-gaining-industrial-tracti
on-for-2026](https://www.compositesworld.com/articles/composite-trends-gaining-industrial-traction-for-2026)
 - #트렌드 #탄소섬유 #복합소재 #열가소성 수지 #스타트업 및 투자자 #지속가능성 #JEC World 2026
 - 저자 : 야닉 빌레민, 카탈리시움 사장
- 2026년이 펼쳐지면서 복합재 산업은 자체적인 규모보다 훨씬 더 큰 힘에 의해 성장하고 있다. 지속가능성 규제, 소재 주권, 지정학적 재무장, 그리고 인공지능 기반 엔지니어링의 부상은 시장을 적극적으로 재편하고 있다.
 - 스타트업과 투자자에게 있어 이러한 융합은 결정적인 순간을 의미한다. 복합소재 기술이 성숙해가는 시점에, 전 세계적인 거시적 트렌드는 경량화, 수리 용이성, 순환 경제성, 자동화된 소재 시스템의 전략적 중요성을 더욱 강조하고 있다. JEC World 와 두 번째로 개최되는 JEC Investor Day가 다가오는 지금, 2026년의 시작을 알리는 이 세 가지 주요 이슈를 살펴보는 것은 시의적절하다.
 - JEC의 행사 프로그램 책임자인 벤자민 데부세르는 "2025년에는 복합재 제조 분야의 자동화 및 로봇 기술이 분명한 전환점을 맞이할 것이다."라고 말한다. "한때 실험적인 단계로 여겨졌던 기술들이 생산성 향상, 인력 부족 문제 해결, 품질 일관성 확보를 위해 본격적으로 도입되고 있다. 또한 지속가능성을 중시하는 혁신 기술들이 산업적으로 실현 가능한 솔루션을 통해 공정 효율성을 높이고 환경 영향을 줄이는 실질적인 비즈니스 논의로 발전하고 있다."

순환 경제가 비즈니스 모델로 자리 잡고 있다

- 복합재 순환 분야에서 이미 수익성 있는 사업을 운영하는 기업들이 있지만, 여전히 많은 스타트업과 중소기업들이 기술과 사업 모델을 발전시키기 위해 외부 자원에 의존하고 있다.
- 지난해에는 EuCIA가 JEC와 협력하여 추진하는 유럽 순환 복합재 연합 (ECCA) 이 출범했다. EuCIA의 전무이사인 라파엘 플레네는 "복합재 산업은 이미 지속 가능한 성장과 탈탄소화에 기여하고 있지만, 이제 순환 경제 체계 내에서도 이러한 이점을 제공할 수 있음을 입증해야 한다."라고 설명하며, "하지만 이를 위해서는 정책적 장벽, 표준화된 재활용 재료의 부족, 그리고 순환 경제 솔루션에 대한 아직 미약한 시장 수요를 극복해야 한다."라고 덧붙였다.

- ECCA는 유럽의 주도로 시작되었지만, 이러한 진단은 전 세계적으로 적용되며, 복합 소재 커뮤니티 내의 글로벌 네트워크를 통해 ECCA 및 기타 기관에서 제안하는 해결책이 전파되고 있다.
- 스타트업과 투자자들에게 특히 흥미로운 점은 ECCA와 같은 이니셔티브가 단순히 폐기물 문제만 해결하는 것이 아니라, 업계가 미래의 소재를 재고하도록 유도하고, 이를 통해 차세대 열경화성 소재의 발전을 가속화하고 있다는 것이다.

산업계에서 재활용 열경화성 수지에 주목

- 기존 수지에 재활용 기능을 덧붙이는 대신, 처음부터 순환 경제를 고려하여 설계된 새로운 종류의 열경화성 수지가 개발되고 있다. 이러한 "순환형 열경화성 수지"는 다음과 같은 특징을 가지고 있다.
 - 선택적 용해 또는 탈중합에 적합한 매트릭스
 - 가역적이거나 저에너지 경화 사이클
 - 재처리를 가능하게 하는 화학 물질
 - 국가 안보 및 지역 조달 전략과의 더 나은 연계.
- 이러한 기준을 더욱 확장해 보면, 비트리머는 특히 유망한 하위 부류로, 재생형, 용접 및 수리가 가능한 동적 공유 결합 네트워크를 가지고 있다. 연구 프로젝트에서 실제 산업 시연 단계로 나아가면서, 비트리머는 열경화성 수지의 성능을 유지하면서 열가소성 수지와 유사한 원형 구조를 도입했다.
- 이는 국방 및 모빌리티 분야에서 점점 더 중요해지고 있는 물질 주권에 대한 지정학적 논의와 직접적으로 연결된다. 이러한 분야에서는 첨단 소재에 대한 안정적인 접근이 전략적으로 매우 중요하게 여겨지고 있다. Procotex의 영업 이사인 브루노 두쉬는 재활용 탄소섬유(rCF)를 핵심적인 사례로 강조한다.
- "2025년에는 여러 요인이 복합적으로 작용하여 재활용 탄소섬유(rCF) 시장이 이전과는 근본적으로 달라졌다."라고 Douchy는 말한다. "자동차, 전자 및 산업 장비 분야의 OEM 업체들이 신규 탄소섬유에 대한 구체적인 비용 및 공급망 압박에 직면하면서 수요는 '관심'에서 실제 구매 약정으로 전환되었다. 규제는 생산자 책임 확대(EPR) 제도, 매립 금지 및 재활용 함량 목표 설정 등을 통해 복합소재의 매립을 줄이도록 명확한 유인을 제공하며, 실질적인 시행으로 이어졌다.
- 동시에 고객의 사고방식도 성숙해졌다. 이제 고객들은 rCF의 실현 가능성을 묻는 것이 아니라, 얼마나 빠르게 검증하고 규모를 확장할 수 있는지를 묻게 되었다. 4,000톤 규모의 최첨단 플루에이 공장이 그 증거이다. 작년은 경제성, 규제 및 기대치가 모두 맞아떨어진 해였으며, 탄소섬유 재활용은 유망한 개념에서 수익성 있고 확장 가능한 사업으로 전환되었다."

* 투자자들에게 중요한 이유

- 순환 경제는 여러 상호 연관된 요인에 의해 빠르게 수익 창출 수단으로 자리 잡고 있다. 에너지 소비와 폐기율을 줄이고, 부품의 수리 용이성과 수명을 향상시키며, 규제 준수 및 관련 입지를 강화하고, 안전하고 순환적인 자재 흐름을 점점 더 중시하는 국가 조달 채널을 확보하는 데 도움이 된다.
- 마지막으로 언급할 점은 현재 세계 정세의 재편과 관련하여 특히 중요하다. 예를 들어 유럽은 생산량보다 소비량이 더 많아 전략적으로 원치 않는 지역에 의존하고 있다. 생산 후 폐기물이나 수명이 다한 폐기물을 자국의 제조 기반을 위한 원료로 활용한다면 유럽의 재료 주권을 크게 강화할 수 있을 것이다.

"동시에 탄소섬유 수요가 신규 공급보다 빠르게 증가하면서 재활용 제품에 대한 고성장 시장이 형성되고 있다." 올라브 아가르드, 인피니티 리사이클링

- 투자자의 관점에서 볼 때, 이는 더 이상 이론적인 이야기가 아닙니다. 인피니티 리사이클링의 기술 이사인 올라브 아가르드는 다음과 같이 말한다. "인피니티 리사이클링은 재활용이 어려운 폐기물을 가치 있는 제품으로 바꾸는 스타트업에 투자한다. 약 18개월 전부터 복합재 재활용에 관심을 갖기 시작했고, 그 영향력과 수익 잠재력을 빠르게 확인했다. 탄소섬유 복합재는 특히 매력적이다.
- 재활용 제품을 사용하면 상당한 CO₂ 배출량 감소 효과를 얻을 수 있고, 품질은 고성능의 지속 가능한 제품에 대한 시장 요구를 충족하며, 많은 경우 재활용 탄소섬유는 친환경 프리미엄 없이도 신소재와 경쟁할 수 있다. 또한 재활용은 핵심 소재의 공급망 주권을 강화한다. 이것이 바로 우리가 페어맷에 투자한 이유이다."
- 그런 의미에서 복합소재의 순환성은 단순히 "영향력"에 관한 주제가 아니라, 회복력 있고 주권적인 산업 역량을 통해 평화와 사회 안정을 유지한다는 더 넓은 목표 아래 영향력과 국방 투자 사이의 교차점에 위치한다.

TPC와 고속 생산은 앞으로도 지속적 성장 예상

- 열가소성 수지는 이미 거대한 소재군을 형성하고 있지만, 섬유 강화 폴리머(FRP) 시장에서 차지하는 비중은 섬유 강화 열경화성 수지(FRT)에 비해 여전히 미미하다. 그러나 열가소성 복합재 (TPC)는 복합재 시장에서 꾸준히 그리고 확실하게 입지를 확대하고 있다. 이러한 성장세는 단순히 기술 발전 때문만은 아닙니다. 거시적인 요인들이 강하게 작용하고 있다. 재무장 노력, 무인 항공기(UAV) 프로그램의 급증, 생산 속도 요구 증가, 그리고 현장 수리 용이성에 대한 기대 증대 등이 모두 맞물려 열가소성 수지를 현재와 미래에 특히 매력적인 소재로 만들고 있다.

"비용과 지속가능성 문제가 논쟁을 종식시킨다. 열가소성 수지와 금속 부품을 결합한 하이브리드 기술은 OEM 업체들이 더 이상 무시할 수 없는 장점들을 제공한다. 바로

고속 생산, 고성능 구조, 그리고 저렴한 비용으로 재활용이 가능하다는 점이다. 일단 수치가 이사회에 제시되면, 연구는 멈추고 경쟁이 시작된다.” 안 크롤만, 하이조인 창립 수석 엔지니어

- TPC는 현재 드론, 탄약 하우징, 센서 구조물, 경량 이동 플랫폼, 항공우주 분야 및 고성능 스포츠 장비 등 점점 더 많은 프로그램에서 핵심 소재로 사용되고 있다. TPC가 전략적으로 주목받는 이유는 기존 열경화성 수지가 대규모 생산에서 제공하기 어려운 다음과 같은 장점을 제공하기 때문이다. 모듈식 설계를 가능하게 하는 진정한 용접성, 교체가 아닌 현장 수리 가능성, 대량 생산 자동화와의 완벽한 호환성, 강화되는 규제 요건을 충족하는 데 도움이 되는 입증된 재활용성, 그리고 산업 생산 속도에 부합하는 짧고 예측 가능한 사이클 타임 등이 그것이다.

* 투자자들에게 중요한 이유

- 투자자 관점에서 이러한 변화는 중요한 의미를 지닙니다. 고속 열가소성 수지 제조 기술이 확장 가능한 기술 분야로 확실히 성숙했기 때문이다. 한편으로는 자동차, 스포츠, 산업 장비 등 OEM 업체들이 더 빠른 생산과 향상된 지속가능성을 추구하는 상업 시장에 이 기술을 제공하고 있다. 다른 한편으로는 각국 정부가 장기 프로그램과 예산을 통해 핵심 구조물, 드론, 경량 시스템 등의 국내 생산 능력을 지원하고자 하는 국방 정책과도 완벽하게 부합하다.
- 가장 매력적인 투자 기회는 소재 자체에 국한되지 않다. 오히려 점점 더 관련 기술 분야에 집중되고 있다. 예를 들어, 용접 구조를 대규모로 구현할 수 있도록 하는 접합 기술(HyJoin), 사이클 시간과 인건비를 절감하는 자동화 및 로봇 기술, 기존 생산 라인에 통합되는 용접 및 유도 시스템, 그리고 엔지니어가 열가소성 수지의 잠재력을 최대한 활용할 수 있도록 하는 설계 및 시뮬레이션 방법론 등이 있다. 이러한 분야에서 노하우를 지적 재산으로 등록하고, 공정을 표준화하며, 비즈니스 모델을 여러 프로그램과 산업 분야에 걸쳐 확장하여 투자자들이 원하는 경쟁력과 시장 지배력을 확보할 수 있다.

AI는 복합소재를 진정한 주류로 만드는 데 필요한 핵심 요소

- 금속에 비해 복합소재가 틈새시장 소재로 남아 있는 이유 중 하나는 그 복잡성 때문이다. 복합소재의 이방성, 설계, 공정 및 성능 간의 긴밀한 연관성, 그리고 수많은 변수들 때문에 견고하고 반복 가능한 방식으로 산업화하기가 어렵다. 바로 이 지점에서 인공지능(AI)이 상황을 바꿀 수 있다. 단순히 유행어가 아니라, 복합소재를 대규모로 "계산 가능하게" 만들어주는 도구로서 말이다.
- 다른 분야인 금속 적층 제조에서 유용한 비교를 찾아볼 수 있다(참고로, 복합재 제조는 항상 적층 제조의 한 형태였다). Divergent와 같은 기업들은 AI 기반 구조 설계, 산업 규모의 적층 제조, 그리고 범용 로봇 조립을 하나의 통합 시스템으로 결합했을 때 어떤 결과가 나타나는지 보여주고 있다. 그 결과, 기존 설계 및 제조 방

식보다 개발 속도가 빠르고, 성능이 뛰어나며, 비용이 저렴한 구조물을 만들 수 있다.

- 복합소재 분야에서도 이와 유사한 패러다임이 등장하지 못할 근본적인 이유는 없다. 이미 몇 가지 구성 요소들이 나타나고 있다. 생성형 적층 및 토폴로지 도구, AI 기반 공정 시뮬레이션, 머신 비전 기반 품질 관리, 그리고 로봇을 이용한 핸들링 및 적층 기술의 발전 등이 그 예이다. 이러한 요소들을 통합적으로 활용한다면, 다이버전트 프로젝트가 금속 분야에 도입하고 있는 것과 같은 디지털 활용 능력을 바탕으로 복합소재 구조물을 설계, 최적화, 생산할 수 있을 것이다.
- "마치 80년대 유한 요소 해석(FEA)과 같다. 처음에는 모두가 회의적이었지만, 지금은 아무도 의문을 제기하지 않는다."라고 ResComp의 CEO이자 공동 창립자인 마리노 과레시민은 설명한다. "저는 기업과 학생들에게 FEA는 강력한 계산기이지만, 운전대는 엔지니어의 손에 있어야 한다고 항상 말한다. 훌륭한 엔지니어는 이미 어떤 결과가 나올지 예상할 수 있고, 결과의 질을 판단할 수 있다."
- 그는 이어서 "인공지능(AI)도 마찬가지이다. 통제만 잘 된다면 매우 강력한 도구이며, 물리 기반 모델 및 데이터와 결합될 때 진정한 가치를 발휘한다. 이를 우리는 물리 기반 머신러닝이라고 부릅니다. AI의 데이터 분석 능력과 시스템 또는 문제에 대한 기존 지식을 결합하는 것이죠. 보수적인 조직이라 할지라도 엔지니어링 분야에서 AI를 활용하는 올바른 방법은 바로 이런 것이다."라고 말했다.
- 인공지능(AI)의 영향은 워크플로우에만 국한되지 않고 소재 개발에도 혁신을 가져올 것이다. 제약 및 의료 연구 분야에서 입증되었듯이, AI는 실제 성능 제약 조건에 맞춰 방대한 배합 공간을 탐색하는 강력한 도구로 자리매김하고 있다. 섬유, 매트릭스, 첨가제 및 계면이 복잡하게 조합되는 복합소재 분야에서 이러한 AI의 역량은 특히 중요하다. 이처럼 고차원적인 설계 공간을 탐색하고 최적화하는 능력은 새로운 수지, 섬유 구조, 중간층 및 다기능 소재 개발 방식을 근본적으로 변화시켜 특정 현장 요구 사항에 맞춘 소재를 개발하고, 복잡한 조합에서도 처음부터 수리, 재사용 및 재활용이 가능하도록 설계할 수 있게 해 줄 것이다.
- 인공지능이 복합재 시장에 영향을 미치는 두 번째 방식은 간접적이지만 그에 못지 않게 강력한 영향을 미칩니다. 바로 인공지능 자체를 유지하는 데 필요한 인프라를 통해서이다. 전 세계적인 규모로 인공지능 모델을 학습시키고 운영하는 데는 막대한 에너지가 필요하며, 하드웨어의 물리적 한계까지 몰아붙인다. 이러한 이유로 새로운 칩과 냉각 솔루션은 물론, 발전, 저장 및 유통 설비에 대한 투자가 활발히 이루어지고 있다.
- Boston Materials와 같은 기업들은 고성능 열 관리 및 차세대 전자 장치를 핵심 시장으로 명확히 인식하고 있으며, 이러한 기업들은 결코 뒤지지 않는다. 복합소재는

이미 고출력 전자 장치의 첨단 냉각 및 전자기파 관리 분야에서 중요한 역할을 하고 있다. 동시에, 세라믹 매트릭스 복합소재(CMC)를 사용하는 소형 모듈형 원자로(SMR)부터 더 높은 에너지 밀도와 우수한 전도성을 추구하는 배터리 및 연료 전지, 그리고 점점 더 크고 효율적인 풍력 터빈에 이르기까지, 인공지능(AI)에 필요한 에너지 시스템 또한 복합소재가 필수적인 영역이다.

- "복합소재 분야 AI에서 가장 강력한 데이터 해자는 항공우주와 에너지 분야에서 형성될 것이다."라고 Sumandra의 설립자 Praveen S.는 말한다. "항공우주 분야는 엄격한 규제, 매우 긴 제품 수명 주기, 그리고 극도로 민감한 성능 데이터를 다룹니다. 에너지 분야, 특히 풍력과 석유 및 가스 분야는 거대한 구조물, 높은 고장 비용, 그리고 독점적인 공정 데이터를 다룹니다. 이러한 데이터 세트를 구조화하고, 학습하고, 보호하는 데 성공하는 기업이 진정한 전략적 우위를 확보하게 될 것이다."

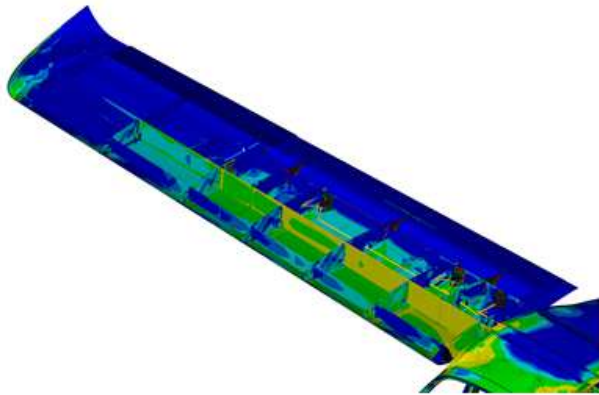


그림 27. AI 기반 설계, 시뮬레이션 및 제조는 개념 설계와 인증된 부품 생산 사이의 연결 고리를 강화한다. 출처 | Structural Design and Analysis Inc. (Structures.Aero)



그림 28. JEC 스타트업 부스터 단계. JEC World 2026에서는 Startup Booster와 Investor Day를 통해 순환 경제, 열가소성 수지, AI가 단순한 트렌드 논의를 넘어 구체적인 거래로 이어진다. 출처 | JEC

*** 투자자들에게 중요한 이유**

- 투자자들에게 있어 AI는 복합재 분야에서 두 가지 측면에서 동시에 레버리지를 제공한다. 첫째, AI는 복합재의 복잡성을 기회로 전환한다. AI 기반 설계, 공정 최적화 및 소재 탐색을 위한 소프트웨어 플랫폼은 지속적인 수익을 창출하고, 강력한 데이터 기반을 구축하며, OEM 및 1차 협력업체가 더 적은 위험으로 더 빠르게 움직일 수 있도록 하는 핵심 인프라가 될 수 있다. 둘째, AI는 열 관리, 전력 전자, 첨단 원자로, 에너지 저장 및 신재생 에너지 분야에서 사용되는 복합재 집약적 솔루션에 대한 수요를 가속화하는 거시적 동력이기도 한다.
- 이는 투자자들이 단순히 소재 스타트업의 또 다른 물결에 투자하는 것이 아니라, 소프트웨어, 하드웨어, 에너지가 긴밀하게 연결된 새로운 생태계에 주목하고 있음을 의미한다. 가장 흥미로운 투자 대상은 이러한 연결 고리에 있는 기업들일 가능

성이 높다. 예를 들어 복합재 분야의 전문 지식과 강력한 AI 역량을 결합한 기업, 또는 복합재 기술을 국방, 데이터 센터, 그리고 더 나아가 에너지 전환 분야에서 AI 성장을 위한 기반 시설로 활용하는 기업들이 그렇다. 이러한 관점에서 AI는 복합재 산업을 위한 단순한 도구가 아닙니다. 오히려 AI는 복합재 산업에 자본이 유입되는 주요 원인 중 하나가 될 수 있다.

2025년 변곡점에서 2026년 가속까지

- 2025년은 복합재 산업에 있어 중요한 전환점이 될 가능성이 높다. 순환 경제가 실현 가능한 비즈니스 모델에 한 걸음 더 다가섰고, 열가소성 수지는 고속 생산의 핵심 소재로 자리 잡았으며, 인공지능(AI)은 복합재의 복잡성을 계산, 최적화 및 확장 가능한 형태로 변환하기 시작했다. 이러한 변화들이 복합재를 틈새시장의 위치에서 벗어나 모빌리티, 에너지 및 방위 산업 인프라의 핵심으로 더욱 가까이 끌어올리고 있다.
- 2026년의 관건은 이러한 모멘텀을 얼마나 빨리 실행으로 옮길 수 있느냐 하는 것이다. JEC World는 다시 한번 핵심적인 촉매제가 될 것이다. 제9회 JEC Startup Booster에서는 이러한 주제들이 교차하는 지점에서 활동하는 창업가들을 집중 조명하고, 제2회 JEC Investor Day에서는 재무 및 전략적 투자자 앞에서 스타트업 창업가들이 주목받을 수 있는 무대를 제공할 것이다.
- 이러한 주요 행사들을 중심으로 다양한 부대 행사, 엄선된 미팅, 비공식적인 교류를 통해 스타트업, 기존 기업, 그리고 자본 간의 연결고리가 더욱 강화될 것이다.

“2026년에는 강력한 혁신과 인증, 생산 제약, 확장성 등 산업 현실에 대한 명확한 이해를 겸비한 스타트업을 찾고 있다. 투자자 측면에서 우리는 복합재 혁신이 기술적 깊이, 산업적 검증, 그리고 인내심 있는 자본을 필요로 하는 장기적인 과정임을 이해하는 기업을 점점 더 높이 평가한다. 기술적 야망과 실현 가능한 상용화 방안이 만날 때 가장 성공적인 대화가 이루어진다.” 벤자민 드부셰르, JEC 행사 프로그램 책임자

- Startups & Investors 독자들에게 2026년은 새로운 유행어를 파악하는 것보다 어디에 투자할지 선택하는 해가 될 것이다. 어떤 순환 경제 관련 사업에 투자할지, 어떤 열가소성 수지 및 자동화 관련 사업을 지원할지, 어떤 AI 기반 기술 스택과 에너지 애플리케이션 개발을 도울지 고민해야 한다.
- 2026년에 어떤 변화가 있었는지 이해하고, 미래를 만들어갈 사람들을 만나고 싶다면, JEC World가 최고의 출발점이다. JEC World의 Startup Booster, Investor Day, 그리고 창업가와 투자자들로 이루어진 탄탄한 생태계를 경험해보고. JEC World에서 만납시다!



그림 29. 탄소섬유 폐기물. 2025년에는 순환 경제가 시범 프로젝트 단계를 벗어나 수익성 있는 장기적인 사업으로 발전하기 시작했다.
출처 | Getty Images

□ 중국 Sinopec Capital은 Forvia 수소 솔루션 중국에 투자(26.01.23.)

※ [Composites World] Sinopec은 4천만 유로를 투자하여 Forvia 자회사에 합류하고, 저장 탱크, 탄소섬유 및 수지를 포함한 최적화된 공급망을 통해 성장과 가치 창출을 가속화할 예정이다. 이는 중국이 2030년까지 수소 자동차 50만 대 보급을 목표로 하는데 발맞춘 조치이다. / News

• <https://www.compositesworld.com/news/sinopec-capital-invests-in-forvia-hydrogen-solutions-china>

• #독일 #탄소섬유 #압력 용기 #시장 #수소 저장 #자동차 #풍력/에너지

• 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 수석 기술 편집자

○ Forvia(프랑스 낭테르)는 중국의 선도적인 에너지 및 화학 기업이자 수소 가치 사슬의 주요 업체인 Sinopec Capital(중국 베이징)이 자사의 중국 수소 전문 자회사인 Forvia 수소 솔루션 차이나(FHS 차이나, 상하이)에 3억 유로(약 4천만 유로)를 투자하고, 자회사인 차오양 수소 신에너지 벤처 캐피탈 펀드를 통해 산업 파트너로 참여할 것이라고 발표했다.

○ FHS China는 Sinopec Capital과의 이번 파트너십을 통해 탄소섬유, 수지 등을 포함한 최적화된 공급망을 구축하여 가속화된 성장과 가치 창출을 위한 명확한 로드맵을 제시한다.

“이번 파트너십을 통해 FHS China는 공공 및 민간 시장 진출을 가속화하고, 비용 경쟁력을 향상시켜 전 세계 수소 솔루션 분야의 선두주자가 될 것이며, 중국 에너지 전환의 핵심 주체로서 Forvia의 입지를 더욱 공고히 할 것이다.” 마찬가지로, Forvia 경영위원회 위원 겸 부사장, 포레시아 중국 사장

○ 이번 거래는 정부 정책의 강력한 지원을 받는 급성장하는 중국 수소 시장에서 포비아의 입지를 강화하려는 의지를 더욱 공고히 한다. 중국 수소 가치 사슬의 선두주자로 알려진 Sinopec 캐피탈의 이번 인수를 통해 FHS 차이나의 입지가 강화되고, 주요 정부 계약 수주 및 산업 시너지 효과를 창출할 수 있는 기회가 열린다.

○ 중국에서는 수소 에너지 부문이 국가적 우선순위로 부상하여 휘발유 및 천연가스와 함께 국가 에너지 관리 시스템에 통합되었다. 2024년 중국은 3,650만 톤의 수소를 생산했는데, 이는 2023년 대비 3.5% 증가한 수치이며, 주로 화학 분야에 사용되고 있으며 운송 및 철강 분야에서도 사용량이 증가하고 있다. 중국은 수소 연료 전지 자동차의 세계 최대 시장으로, 3만 대 이상이 판매되었고 559개의 수소 충전소가 건설되었다.

○ 중국은 보조금, 통행료 면제, 수소 가격 인하 등을 통해 2030년까지 수소 자동차 50만 대, 2035년까지 100만 대 이상을 보급하는 것을 목표로 하는 2025년 로드맵

을 발표했다. 이러한 정책적 이점은 FHS 중국과 Forvia에게 성장 및 혁신 기회를 제공한다.

“Sinopec은 ‘중국 최고의 수소 기업’이 되기 위해 노력하고 있다. Sinopec 캐피탈과 수소 신에너지 벤처 캐피탈 펀드는 이러한 목표를 달성하기 위해 선도적인 수소 기업들과 지분 투자 파트너십을 추진할 것이다. FHS 차이나에 대한 투자를 통해 양 그룹 간의 사업 협력을 더욱 강화하고, 다양한 분야에서 상호 이익을 창출하며, 글로벌 수소 산업 발전에 기여하고자 한다.” 마밍 Sinopec 캐피탈 회장



그림 30. FORVIA 수소 솔루션 중국과 Sinopec Capital이 H2 사업을 위해 파트너십을 맺었다. 출처 | 상하이 자딩구 Forvia 수소 공원

□ 영국 JLR, 하이브리드 복합소재 대시보드 빔의 이산화탄소 배출량 5만 톤 감축 및 차량 안전에 대한 새로운 기준 제시(26.01.23.)

※ [Composites World] Jaguar Land Rover는 향후 차량에 기존의 마그네슘/금속 크로스 빔을 FRP와 강철 하이브리드 소재로 교체하여 더 가볍고 탄소 배출량이 적으면서도 안전성은 그대로 유지할 예정 / News

• <https://www.compositesworld.com/news/jlr-hybrid-composite-dashboard-beam-cuts-50000-tons-of-co2-rethinks-vehicle-safety>

• #영국 #자동차 #트렌드 #탄소섬유 #복합소재

• 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 고급 자동차 제조업체인 Jaguar Land Rover(JLR, 영국 가디온)는 차량 시스템에서 구조적으로 가장 중요하면서도 탄소 배출량이 많은 부품 중 하나인 계기판 가로대를 복합소재를 사용하여 재설계했다.
- 대시보드 뒤쪽 차량 폭을 가로지르는 크로스빔은 차량 조종석의 핵심 구조 요소로, 탑승자 안전에 중요한 역할을 하며 에어백을 장착하고 소음과 진동을 줄여 실내를 정숙하고 쾌적하게 유지한다.
- 전통적으로 마그네슘이나 강철로 제작되던 크로스빔 구조는 JLR에서는 섬유 강화 복합재와 강철을 혼합하여 사용하는 하이브리드 방식으로 제작된다.
- 탄소 배출량이 많은 마그네슘을 횡방향 빔에서 제거함으로써, 이 혁신 기술은 연간 5만 톤 이상의 CO₂ 배출량을 감축할 것으로 예상된다(마그네슘 횡방향 빔과 비교하여 향후 연간 27만 개의 횡방향 빔이 생산될 것으로 추정했을 때 기준). 이는 영국 가정 약 1만 7천 가구의 연평균 에너지 사용량에 해당한다.
- JLR의 수석 연구 엔지니어인 매튜 앳킨슨은 "이처럼 구조 부품을 재설계하는 것은 단순히 재료를 교체하는 것만이 아니라 복잡한 엔지니어링 과제이다."라고 말한다. "협력업체와 함께 새로운 하이브리드 소재가 안전성, 정교함, 내구성에 대한 엄격한 기준을 충족하는 동시에 상당한 CO₂ 배출량 감소를 달성하도록 해야 했다. 이는 연구와 협력을 통해 타협 없이 의미 있는 지속가능성 개선을 이끌어낼 수 있음을 분명히 보여주는 사례이다."
- Celanese(미국 텍사스주 델러스), CCP Gransden(영국 뉴타운아즈), Petford Group(영국 더들리) 등 공급업체와 함께 진행된 연구 프로젝트로 시작된 이 소재는 엄격한 테스트를 거쳐 복합소재의 경량성과 강철의 강성 및 강도를 결합한 하이브리드 구조임을 입증했다. 또한 복합소재는 충격 시 에너지를 효과적으로 흡수하도록 설계할 수 있으며, 강철과 결합될 경우 계기판의 구조적 무결성을 유지하는 데

도움이 된다.



그림 31. 출처 | JLR

□ 영국 Base Materials, 탄소 제품 투명성 강화위한 LCA 도구 개발 (26.01.23.)

※ [Composites World] Base Materials는 MyCarbon과 협력하여 검증된 탄소 발자국 데이터를 제공하는 혁신적인 도구를 개발함으로써 산업계가 정보에 기반한 친환경 소재 선택을 할 수 있도록 지원 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/base-materials-develops-lca-tool-to-strengthen-product-carbon-transparency>

- #영국 #제조생산 #탄소섬유 #LCA

- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- Base Materials(영국 레스터)는 자사 제품 포트폴리오 전체의 탄소 발자국을 계산하는 전 생애주기 평가(LCA) 도구를 개발했다. 이 도구는 고객이 지속가능성 및 공급망 보고의 일환으로 활용할 수 있는 견고하고 투명한 환경 데이터를 제공한다. 제3자 탄소 회계 전문업체인 MyCarbon(영국 런던)의 의뢰로 개발된 이 맞춤형 동적 도구를 통해 Base Materials는 다양한 소재 제품군에 걸쳐 정확한 제품별 탄소 발자국 데이터를 생성할 수 있다.
- Base Materials의 제품 포트폴리오에 맞춰 특별히 설계된 이 도구는 툴링 보드, 보조 제품 및 부력 재료 전반에 걸쳐 탄소 발자국을 계산하는 간편하고 효율적인 방법을 제공하여 전체 제품군에 걸쳐 일관성과 비교 가능성을 보장한다. 이 도구 자체는 고객에게 직접 제공되거나 상업적으로 판매되지는 않지만, 도구의 출력 결과를 통해 Base Materials는 검증된 환경 데이터를 고객과 공유하여 보다 정보에 기반한 재료 선택을 지원하고 정확한 공급망 탄소 발자국 계산을 가능하게 한다.
- "이번 LCA(전과정 평가) 역량 개발은 우리 제품이 환경에 미치는 영향을 이해하고 전달하는 방식을 강화하는 데 있어 중요한 진전이다."라고 Base Materials의 전무이사인 존 밀러는 말한다. "단순히 일반적인 계산기를 제공하는 것이 아니라, 운영 방식에 환경에 대한 통찰력을 접목하는 것이다."
- "LCA 도구를 통해 우리는 혁신에 대한 접근 방식에서 미래지향적인 자세를 유지할 수 있다."
- 이 도구는 원자재 추출부터 최종 제품의 가공 및 포장에 이르기까지 전 과정에 걸친 영향을 평가한다. 이를 통해 100년 동안의 지구 온난화 잠재력(GWP100)으로 표현되는 내재 탄소량을 명확하고 일관성 있으며 신뢰할 수 있는 방식으로 평가할 수 있으며, 이는 이산화탄소 환산량(kg CO_{2e})으로 측정된다.
- 본 도구는 MyCarbon의 완벽한 검증을 거쳤으며, ISO 14067 및 GHG 프로토콜 제품 수명주기 회계 및 보고 표준을 준수하고, ISO 14044에 따라 환경 영향 평가를

수행했다. 수명주기 영향 계산은 IPCC GWP100 방법론을 기반으로 하여 국제적으로 인정받고 비교 가능한 결과를 보장한다.



그림 32. 지속가능성 관련 일반적인 스톡 이미지. 출처 | Base Materials

□ 체코 CompoTech, 필라멘트 와인딩 탄소섬유 마스트 개발 자금 확보 ('26.01.23.)

※ [Composites World] 본 프로젝트는 대형 범선에 사용되는 탄소섬유 요트 돛대의 설계, 시뮬레이션 및 테스트에 중점을 두고 있으며, 기존의 반구형 알루미늄 및 복합재 돛대를 대체하는 것 목표/ News

• <https://www.compositesworld.com/news/compotech-secures-funding-for-filament-wound-carbon-fiber-mast-development>

• #체코 #해양선박 #탄소섬유 #필라멘트 와인딩 #복합소재 #프로젝트

• 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 2025년, CompoTech(체코 수시체)는 체코 산업통상부의 혁신 바우처 프로그램 (Innovation Vouchers – Call IV)에 선정되어 해양 산업 연구 개발 프로젝트를 지원받았다.
- 이 프로젝트는 필라멘트 와인딩 방식으로 조립된 탄소섬유 마스트(연결 부품, 스프레더, 붐, 프리텐션 리깅 포함)의 유한 요소 해석(FEA) 모델을 개발하여 구조적 강도, 안정성 및 주요 연결 지점의 거동을 정확하게 예측하는 것을 목표로 한다.
- 이와 동시에 CompoTech는 모델 예측을 확인하기 위해 마스트 단면 및 접합부의 압축 및 인장 시험을 수행할 예정이다. 여기에는 안정성을 검증하고 필요한 설계 개선 사항을 파악하기 위해 모의 리깅 힘을 이용한 마스트 단면 하중 시험이 포함된다.
- 본 프로젝트는 프라하 체코공과대학교 기계공학과, 특히 제조기계학과 및 역학·생체 역학·메카트로닉스학과와의 협력을 통해 진행될 예정이다. 이들 학과는 복합소재 모델링, 유한요소 시뮬레이션 및 실험 테스트 분야에서 폭넓은 전문성을 보유하고 있다.
- 새로운 마스트 설계가 완료되면 CompoTech는 필라멘트 와인딩 방식으로 제작된 고성능 복합재 솔루션을 대형 요트에 제공할 수 있게 된다. 검증된 설계 및 모델링 프로세스는 레이더 또는 계측 장비용 텔레스코픽 마스트와 같은 다른 케이블 보강 복합재 구조물의 향후 개발도 가속화할 것이다.
- 시제품 돛대는 2026년 봄에 추가 시험 및 검증을 위해 설치될 예정이다. 돛대 하단에는 기계적 변형률을 측정하기 위한 스트레인 게이지가 설치되고, 실험 목적으로 기계적 변형률을 비교 측정하기 위해 두 개의 탄소섬유 센서가 설치될 것이다. 시험 및 항해 중 실시간 측정 데이터는 유한 요소 모델을 개선하는 데 도움이 될 수 있다.

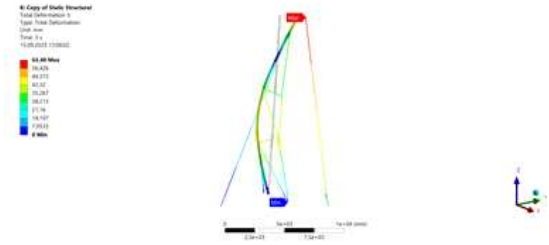


그림 33. 필라멘트 와인딩 마스트를 테스트 중. 출처 | CompoTech

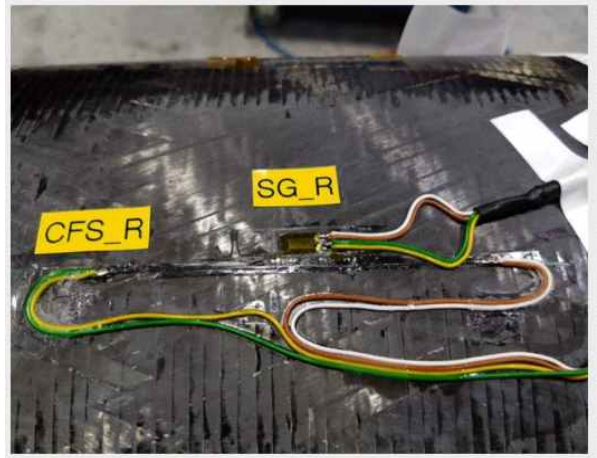


그림 35. 프로토타입 테스트 및 검증. 출처 | CompoTech

□ 프랑스 SMM Composite, 전체를 CFRP으로 제작한 길이 약 38미터 Nomad 7 세일링 쌍동선 2026년에 진수 예정 (‘26.01.23.)

※ [Composites World] 스냅샷: SMM Composites, Multiplast 및 Avel Robotics는 프랑스 FC Cube 조선소에서 건조 중인 선박의 거대한 탄소섬유 복합 구조물 제작에 협력/News

- <https://www.compositesworld.com/news/all-cfrp-125-foot-long-nomad-7-sailing-cat-amaran-to-be-launched-in-2026>
 - #프랑스 #해양선박 #탄소섬유 #복합소재 #가공/드릴링 #ATL/AFP #CFRP
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 수석 기술 편집자
-
- CW는 이 새로운 콘텐츠 형식을 통해 알고리즘의 한계를 뛰어넘고자 한다. "스냅샷"은 업계 관계자들이 공유하는 주요 복합재 개발 사항에 대한 간결하고 핵심적인 정보를 제공하여, 관련성과 명확성을 유지하면서도 독자들이 빠르게 정보를 얻을 수 있도록 설계되었다.
 - 몇 주 전, SMM Composites(프랑스 라네스터)는 길이 125피트(약 38미터)에 달하는 "세계 최대 탄소섬유 복합재 쌍동선"인 Nomad 7 호의 건조 과정을 공개했다.
 - Multiplast(프랑스 반느)에서 제작하고 SMM Composites에서 배관 작업을 담당한 요트의 탄소섬유 강화 폴리머(CFRP) 격벽 설치 과정을 보여준 후, 여기서 중점적으로 다루는 부분은 프랑스 로리앙의 아벨 로보틱스(Avel Robotics) 에서 제작한 거의 9미터 길이의 CFRP 대거보드이다.
 - 세계에서 가장 큰 쌍동선용 대거보드 중 하나인 이 대거보드는 자동 섬유 배치 (AFP) 공법을 사용하여 제작되었으며, 보트의 성능과 안정성을 최적화하도록 설계되었다.
 - 탈형 후 SMM Composites는 정밀 가공을 진행했으며, 이 과정에서 높은 품질을 달성하기 위해 정밀도와 제어가 핵심적인 역할을 했다.
 - SMM Composite는 대형 복합재 금형 제조업체이기도 하며, 대중교통용 전기 수중익선 페리인 Candela P-12를 위해 세 가지 새로운 시리즈 금형을 납품했다.



그림 36. CFRP 쌍동선 Nomad 7. 출처 | SMM Composites



그림 37. Nomad 7 쌍동선용 CFRP 구조 격벽. 출처 | SMM Composites



그림 38. Candela 복합재 집약형 P-12 셔틀. Avel Robotics는 AFP를 사용하여 CFRP 하이드로포일을 제작한다. 출처 | Candela(위), Avel Robotics(아래)

□ 노르웨이 Umoe Advanced Composites, 리투아니아의 친환경 버스 프로젝트에 Type 4 H₂ 저장 장치 공급 (‘26.01.23.)

※ [Composites World] Umoe는 MT 그룹과 협력하여 빌뉴스 수소 시설에 20피트 H₂ 컨테이너 4개를 공급함으로써 버스 16대에 연료를 공급하고 연간 1,414톤의 CO₂ 배출량을 감축 가능/ News

- <https://www.compositesworld.com/news/umoe-advanced-composites-supplies-type-4-h2-storage-for-lithuanias-eco-bus-project>
- <https://www.compositesworld.com/kc/composites-carbon-fiber-hydrogen-storage-report>
- #노르웨이 #자동차 #리투아니아 #유리섬유 #복합소재 #압력 용기 #수소 저장
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

○ 대형 Type 4형 유리섬유 압력 용기 및 압축 천연가스(CNG), 바이오가스, 수소(H₂) 운송 모듈의 글로벌 공급업체인 Umoe Advanced Composite(UAC, 노르웨이 크리스티안산드)가 EPC 계약 업체인 MT 그룹(리투아니아 빌뉴스)로부터 리투아니아 빌뉴스에 있는 수소 생산 시설에 사용할 20피트 수소 저장 컨테이너 4개를 공급하는 업체로 선정 되었다.

○ 미에스토 기요스(구 빌뉴스 히트 네트워크)가 개발하고 MT 그룹이 건설한 이 수소 생산 시설은 16대의 대중교통 버스에 연료를 공급하여 디젤 차량을 대체하고 연간 약 1,414톤의 CO₂ 배출량을 감축함으로써 리투아니아 수도 빌뉴스의 지속 가능한 도시 교통을 향한 중요한 발걸음을 내딛게 될 것이다.

○ MT 그룹의 CEO인 민다우가스 자카라스는 “빌뉴스 프로젝트는 전략적 계획과 정치적 의지가 어떻게 지속가능성 목표를 기능적이고 영향력 있는 인프라로 전환할 수 있는지를 보여준다.”라고 말하며, “Umoe Advanced Composite은 경쟁력 있는 가격으로 우리의 모든 요구 사항을 충족했으며, 안전하고 견고하며 기술적으로 진보된 수소 저장 솔루션을 제공할 것이다.” 라고 덧붙였다.

○ 수소 연료 보급소는 2026년 하반기에 가동될 것으로 예상된다.

○ UAC의 4형 저장 용기는 성능, 내구성 및 비용 효율성의 균형을 잘 맞추고 있다. 2021년, UAC는 중국 기업과 합작 투자를 통해 대규모 생산 시설을 건설했다.



그림 39. 크리스티안산드에 위치한 Umoe Advanced Composite 사업장에 설치된 20 피트 H₂ 저장 컨테이너. 출처 | UAC

□ 체코 Mejlík Propellers, 접이식 CFRP 프로펠러용 내구성이 뛰어난 허브 개발 (26.01.23.)

※ [Composites World] 허브는 CFRP 설계 및 제조 기술 덕분에 장기간의 횡류 하중에서도 안정적인 상태를 유지하며, 장시간 전진 비행 중에도 예측 가능한 성능 제시 / News

• <https://www.compositesworld.com/news/mejzlik-propellers-develops-degradation-resistant-hub-for-foldable-cfrp-propeller>

- #체코 #항공우주 #탄소섬유 #프로세스 #압축 성형 #복합소재 #프리프레그
- 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 수석 기술 편집자

○ CW는 이 새로운 콘텐츠 형식을 통해 알고리즘의 한계를 뛰어넘고자 한다. "스냅샷"은 업계 관계자들이 공유하는 주요 복합재 개발 사항에 대한 간결하고 핵심적인 정보를 제공하여, 관련성과 명확성을 유지하면서도 독자들이 빠르게 정보를 얻을 수 있도록 설계되었다.

○ Mejlík Propellers(체코 브르노)는 탄소섬유 강화 폴리머(CFRP) 소재의 무인 항공기(UAV) 프로펠러를 전문으로 생산한다. 접이식 프로펠러는 비행으로 인해 마모되기 전까지는 UAV에 매우 적합한 옵션이다.

○ 접이식 프로펠러 허브가 호버링에는 잘 작동하지만 지속적인 전진 비행에는 적합하지 않고 예상보다 훨씬 빨리 성능이 저하된다는 사실을 알게 된 후, 회사는 실제 공기 흐름을 이용한 전용 횡류 테스트 장비를 사용하여 새로운 22인치 직경의 접이식 프로펠러 개발에 착수했다.

○ Mejlík의 2세대 허브 아키텍처는 의미 있는 성능 저하 없이 수백 시간 동안 작동했다. 무엇이 차이를 만들어냈을까?

- 블레이드-허브 접합면에서 최적화된 소재 조합
- 정교한 형상 및 하중 분산
- 정밀하게 제어되는 클램핑력.
- 스트레스 집중 현상 제거
- 프리프레그, 열압착 블레이드 제조 공정을 통해 강성 향상을 통해

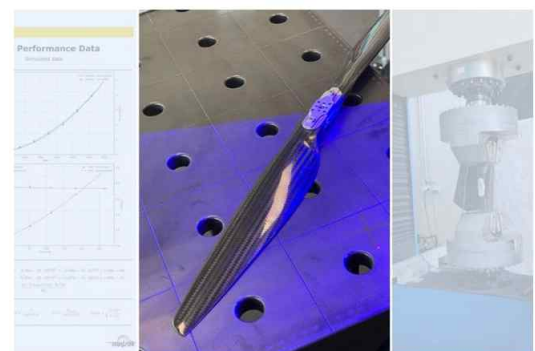


그림 40. Mejlík의 접이식 22인치 직경 CFRP 프로펠러는 허브 디자인이 개선되었다. 출처 | Mejlík Propellers

○ 그 결과, 장기간의 횡류 하중에서도 안정성을 유지하고 장시간 전진 비행 작동 중에도 예측 가능한 성능을 보이는 접이식 프로펠러가 탄생했다.