

## '26.01.12~26.01.18. 글로벌 탄소산업 주요 동향

□ 탄소국경조정제도 CBAM, 2026년 1월 1일 성공적으로 본격 시행  
(`26.01.14.)

※ [EU-조세 및 관세동맹 총국] 유럽 연합의 탄소국경조정제도(CBAM)가 전환 기간을 마치고 2026년 1월 1일부터 본격적인 시행 단계(Definitive Period) 진입으로 EU의 기후 목표 달성과 글로벌 탄소 배출 감소를 위한 역사적인 이정표 수립/News

- [https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/cbam-successfully-entered-force-1-january-2026-2026-01-14\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/news/cbam-successfully-entered-force-1-january-2026-2026-01-14_en)
- CBAM에 대한 자세한 정보 :  
[https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism\\_en](https://taxation-customs.ec.europa.eu/carbon-border-adjustment-mechanism_en)
- #유럽 #규제 #CBAM

- 탄소 국경 조정 메커니즘(Carbon Border Adjustment Mechanism, CBAM)은 모든 EU 회원국에 걸쳐 동시 시행된 후 2026년 1월 1일 성공적으로 발효되었으며, CBAM 등록 시스템이 각국 관세 수입 시스템, TARI 및 EU 관세 단일 창구와 원활하게 통합되었다. 이러한 원활한 상호 연결을 통해 실시간 데이터 교환, 효율적인 신고자 검증, 그리고 EU 외부 국경에서의 중단 없는 수입 절차가 보장되었다.
- 2026년 1월 1일부터 시행되는 CBAM 규정에 따라, CBAM 상품에 대한 CBAM 승인 유효성 검증은 자유 유통 전에 세관에서 시행되며, 50톤 기준치 모니터링도 포함된다. 또한, 종합 패키지에 맞춰 CBAM 상품을 수입하는 중소기업을 지원한다.
- 최종 CBAM 등록 시스템의 성공적인 구축과 새로운 UCC MS 관세 수입 운영과의 통합은 규제 체계의 견고성, 유럽 위원회 서비스, 국가 관할 당국(NCA) 및 국가 관세 당국, 그리고 경제 운영자들의 준비 태세, 그리고 통합된 디지털 및 관세 솔루션의 효율성을 입증한다.
- CBAM이 2026년 1월 1일에 성공적으로 시행됨으로써 EU는 무역을 저해하지 않으면서 복잡한 기후 정책 수단을 활용할 수 있는 역량을 갖추게 되었으며, 동시에 글로벌 공급망 전반에 걸쳐 투명성, 공정성 및 기후 목표를 강화할 수 있게 되었다.
- 각국 당국은 표준화된 디지털 워크플로우 덕분에 처리 시간이 안정적이라고 보고했다.

### 주요 운영 성과

- 이 섹션에서는 CBAM 체적 측정에 대한 개요를 제공한다.
  - 2026년 1월 7일까지 12,000개 이상의 경제 사업자가 CBAM 승인 신청서를 제출

했다.

- 2026년 1월 1일 이전과 직후에 EU 전역에서 4,100개 이상의 CBAM 경제 사업자가 CBAM 공인 신고자 자격을 성공적으로 획득했다.
- 2026년 1월 1일부터 1월 7일까지 총 10,483건의 CBAM 상품 관련 수입 통관 신고서가 통합 세관 시스템을 통해 자동으로 실시간 검증되었다.

### 대상 거래량

- CBAM이 첫 번째 보고 기간(2026년 1월 1일부터 6일까지) 동안 신고한 수입품은 총 1,655,613 톤이며, 부문별 내역은 다음과 같다.
  - 철강 : CBAM 적용 대상 총 물량의 98%
  - 알루미늄 : 0.3%
  - 비료 : 1.2%
  - 시멘트 : 0.5%
  - 전력 및 수소 : 0% (참고: 이 데이터는 예비 현황이다. 전력 및 수소 수입량은 데이터 전송이 완료되는 대로 표시된다.)

### CBAM 상품 수출 상위 제3국

- CBAM 적용 대상 수입품의 주요 원산지 국가는 다음과 같다.
  - 터키, 중국, 인도, 캐나다, 대만, 베트남

### 주요 수입 회원국

- CBAM 신고 건수가 가장 많았던 지역은 다음과 같다.
  - 벨기에, 스페인, 루마니아, 네덜란드, 프랑스, 독일

### 향후 계획

- EU는 향후 몇 년 내에 유기화학물질, 플라스틱 등 다른 품목으로 적용 대상을 확대 여부를 검토할 예정이다. 타 국가들의 탄소 가격제 도입을 장려하며, 기후 클럽(Climate Club) 등 국제협력을 통해 국제적인 탄소 가격 책정 기준 마련을 선도할 계획이다.

### 경제 주체 여러분께 드리는 요청

- 지금 바로 CBAM 승인 신청서를 제출하세요. 아직 CBAM 승인 신청서를 제출하지 않은 경제 사업자는 CBAM 등록 시스템을 통해 가능한 한 빨리 신청서를 제출하는 것이 좋다. 조기 제출은 규정 준수를 원활하게 유지하고, 자동화된 검증 시스템을 이용하며, 세관 통관 절차와 완벽하게 통합하는 데 도움이 된다.
- 더 자세한 정보는 CBAM 국가 관할 당국 에 문의하시기 바랍니다. 또는 CBAM 등록 안내 자료를 참조하십시오.
- 유럽 연합의 탄소국경조정제도(CBAM)가 전환 기간을 마치고 2026년 1월 1일부터

본격적인 시행 단계(Definitive Period)에 들어갔다. 이는 EU의 기후 목표 달성과 글로벌 탄소 배출 감소를 위한 역사적인 이정표이다.



그림 1. 출처 | 유럽 연합 집행위원회(European Commission)

## □ 2024년 EU 전력 생산의 약 50%가 재생 에너지(26.01.14.)

※ [EU-Eurostat] 2024년, 재생 에너지원은 EU 총 전력 소비량의 47.5%를 차지로, 2023년 대비 2.1%포인트 증가한 수치이며, 통계 집계가 시작된 2004년(15.9%) 이후 거의 3배 가까이 성장한 수치/News

- <https://ec.europa.eu/eurostat/en/web/products-eurostat-news/w/ddn-20260114-1>
- #유럽 #에너지 #전력 시장
- 2024년 EU의 총 전력 소비량에서 재생 에너지원이 차지하는 비중은 47.5%로, 2023년 대비 2.1% 포인트 증가했다. 2004년 데이터 수집이 시작된 이후로는 거의 세 배(30pp) 가까이 증가했다. 2004년 15.9%였던 재생 에너지 비중은 2014년 28.6%로, 그리고 2024년에는 47.5%로 급증했다.
- 풍력(총량의 38.0%)과 수력(26.4%)은 재생에너지로 생산된 전체 전력의 거의 3분의 2를 차지했다. 태양광 발전이 23.4%로 그 뒤를 이었고, 고체 바이오연료와 기타 재생에너지는 각각 5.8%와 6.4%를 차지했다.
- 태양광 발전은 가장 빠르게 성장하는 에너지원으로, 2008년 7.4 테라와트시(TWh)에서 2024년 304 TWh로 급격히 증가할 것으로 예상된다.

### 오스트리아와 스웨덴에서는 재생에너지로 생산된 전기가 대부분 차지

- 데이터에 따르면 2024년 오스트리아(90.1%, 주로 수력), 스웨덴(88.1%, 주로 수력 및 풍력), 덴마크(79.7%, 주로 풍력)에서는 소비된 전력의 75% 이상이 재생 에너지원에서 생산되었다.
- 포르투갈(65.8%), 스페인(59.7%), 크로아티아(58.0%), 라트비아(55.5%), 핀란드(54.3%), 독일(54.1%), 그리스(51.2%), 네덜란드(50.5%)에서도 50% 이상의 재생 에너지 비중이 기록되었다.
- 반면, 몰타(10.7%), 체코(17.9%), 룩셈부르크(20.5%), 헝가리와 키프로스(모두 24.1%), 슬로바키아(24.9%)에서는 재생에너지 비중이 25% 미만이었다.
- 유럽의 에너지 전환이 가속화되면서 2024년은 EU 전력 생산의 절반 가까이가 친환경 에너지로 전환된 역사적인 해가 되었다.
- 특히 태양광의 폭발적인 성장과 풍력의 안정적인 기여가 돋보이며, 오스트리아와 스웨덴 같은 국가는 거의 대부분의 전력을 재생 에너지로 생산하는 단계에 도달했다.

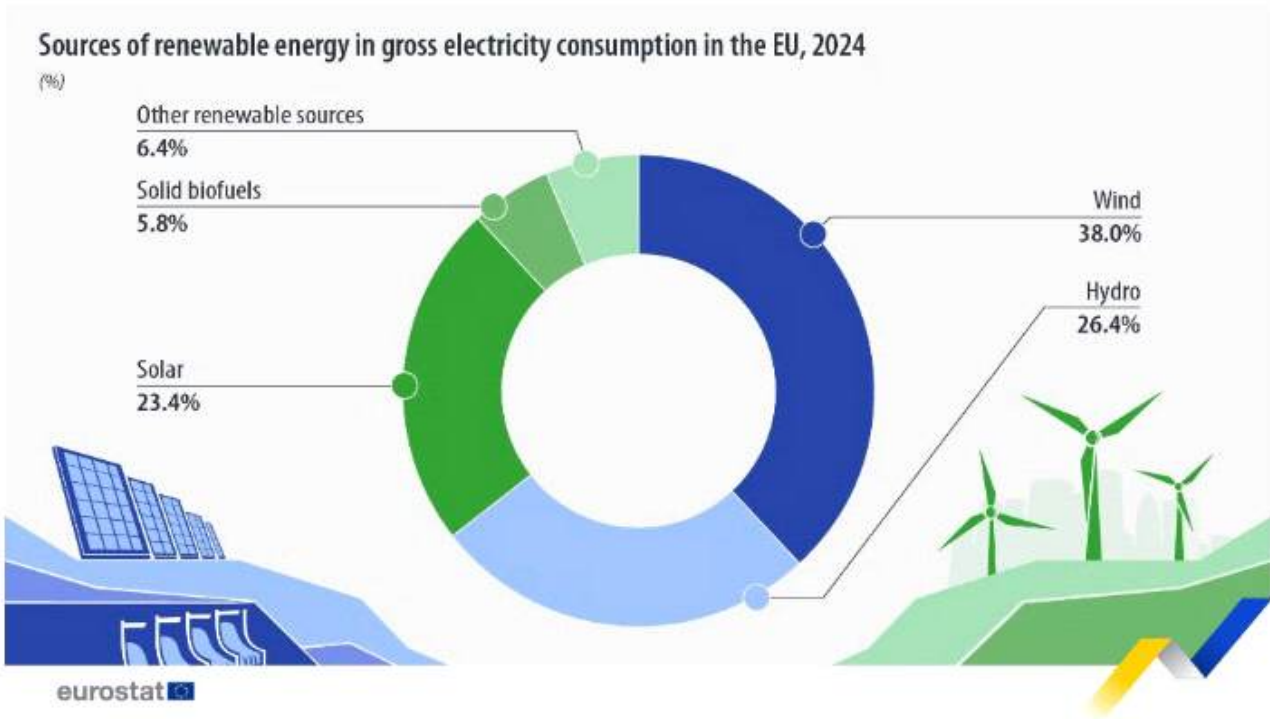


그림 2. EU 총 전력 소비량에서 재생 에너지원이 차지하는 비중, 2024년 (%). 출처 | 원본 데이터 세트: nrq\_ind\_ured

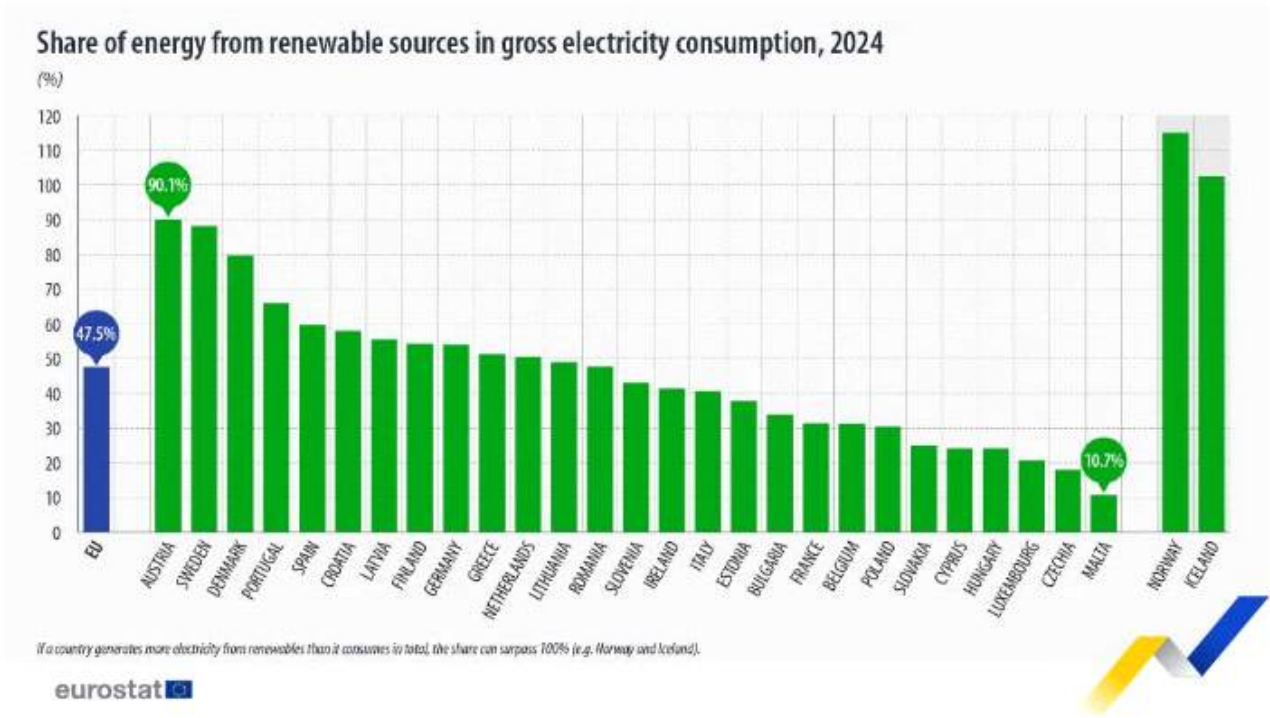


그림 3. EU 총 전력 소비량에서 재생 에너지원이 차지하는 비중, 2024년 (%). 출처 | 원본 데이터 세트: nrq\_ind\_ren

## □ 열가소성 복합소재 및 가공 상호작용(26.01.12.)

※ [Composites World] 제품 소재 형식의 선택과 다양한 공정 방식과의 상호 작용은 최종 TPC 부품의 특성 및 제조 옵션에 큰 영향/Articles

- <https://www.compositesworld.com/articles/thermoplastic-composite-materials-and-processing-interactions>
- #탄소섬유 #주입 #프로세스 #수지 #분쟁 조정자 #복합소재 #ATL/AFP #열가소성 수지 #압축 성형
- 저자 : 복합소재 솔루션의 대표인 데이비드 리치

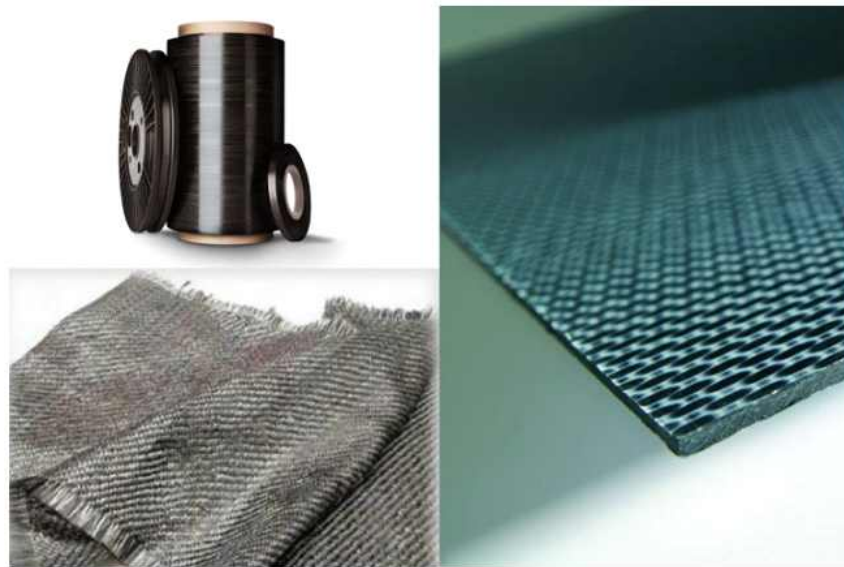


그림 4. 탄소섬유 강화 열가소성(CFRTP) 단방향(UD) 테이프(다양한 폭), 드레이핑 가능한 혼합 CFRTP 직물, CFRTP 라미네이트 등 복합재 제조업체에서 사용할 수 있는 다양한 재료 유형 및 형태. 출처(시계 방향) | 테이진 카본, 토레이 어드밴스드 컴포지츠, 콘코디아 파이버스

- 이 시리즈의 앞선 두 편의 글에서는 열가소성 복합재(TPC) 스탬프 성형 과 부품 제작 중 열처리 관리에 대해 살펴보았다. 이번 글에서는 재료의 형태와 공정 방식이 어떻게 상호작용하는지 알아보도록 한다.

### 제품 형태

- TPC는 다양한 함침도로 단방향(UD), 직물형 및 랜덤 매트형 보강재를 사용하여 제작할 수 있다. 완전 함침형은 최종 부품으로 빠르게 가공할 수 있지만 뽀뽀하고 판형인 반면, 부분 함침형은 상온에서 유연하고 복잡한 형태로 성형할 수 있지만 고점도 폴리머가 흐르고 보강재를 적시는 데 더 오랜 공정 시간이 필요하다.
- UD 테이프는 열경화성 프리프레그에 사용되는 종이와 같은 횡방향 지지층이 없기 때문에 완전히 함침되어야 한다. 대부분의 UD 테이프는 305mm 너비로 공급되며, 최대 610mm 너비의 제품도 일부 제공된다. 또한 자동 광섬유 배치(AFP) 및 테이

프 적층(ATL) 애플리케이션을 위해 3.2mm까지 더 좁은 너비의 제품도 제공된다 (그림 4).

- 직물 및 매트 소재는 완전 함침 형태를 비롯하여 폴리머와 보강재가 물리적으로 혼합되지만 폴리머가 보강재를 완전히 적시지 않는 다양한 부분 함침 형태를 포함하여 매우 다양한 형태로 제공된다. 예를 들어 분말 코팅, 폴리머와 보강 섬유의 혼합, 보강재에 폴리머 필름을 접착하는 방식 등이 있다.
- 부분 함침 형태의 큰 장점은 그림 1에서와 같이 상온에서 부품 형상에 맞춰 드레이핑할 수 있다는 것이다. 또한 직조 또는 매트 구조가 용융 성형 중 섬유의 변형을 제어한다는 이점도 있다. 소재의 폭은 일반적으로 직물 또는 매트의 종류에 따라 결정되며 최대 1.5미터까지 가능하다.
- 부분 함침형 수지는 공정 시간이 더 오래 걸릴 뿐만 아니라 부피 밀도가 높아 압축 성형과 같이 재료를 금형에 맞춰 압축해야 하는 일부 제조 방법에서 중요한 요소가 될 수 있다. 또한 부분 함침형 재료를 사용할 경우 섬유-매트릭스 계면은 제조 과정에서 생성된다는 점도 고려해야 한다. 이러한 형태의 열가소성 수지는 높은 점도로 인해 섬유 표면을 쉽게 적시지 못하여 계면 특성이 저하될 수 있다.
- 테이프, 직물 및 매트를 결합하여 라미네이트를 만들 수 있으며, 이 라미네이트는 신속하게 가공할 수 있다(그림 4). 이러한 라미네이트는 재료를 분류하고 결합하는 과정을 생략할 수 있도록 해주는 중간 제품 형태로, 가공업체는 제작 및 조립에 집중할 수 있다. 여러 공급업체에서 최대 3.7 × 1.2미터 크기의 라미네이트를 생산하고 있다.
- AFP에서 스탬프 성형에 이르는 신속 가공 방법은 짧은 용융 주기 동안 충분한 함침 시간을 확보할 수 없으므로 완전 함침된 재료를 필요로 한다. 압축 성형, 오토 클레이브 및 진공 백 성형(VBO)과 같은 제조 방법은 완전 및 부분 함침된 형태로 모두 수행할 수 있다. 일반적으로 재료 형태는 성능 요구 사항에 따라 선택되지만, TPC의 경우 재료 형태와 제조 방법을 함께 선택해야 한다.

### 제품 형태, 공정 상호작용

- 앞서 살펴본 바와 같이, 다양한 TPC 제품 형태를 사용할 수 있으며, 부품 제작에 사용할 수 있는 다양한 가공 방법이 있다. 일부 형태는 이미 반제품 상태로 제공되어 최종 부품으로 직접 가공되는 반면, 다른 형태는 성형 전 또는 가공 과정 중에 적층재를 모으고 압축해야 할 수도 있다.
- 주요 형태와 완제품에 이르는 잠재적인 가공 경로는 그림 5에 나와 있다. 이러한 재료는 크게 세 가지 형태로 분류된다.
- 라미네이트 또는 유기 시트는 일반적으로 직물 보강재가 포함된 형태로 제공된다.

- UD 테이프는 완전히 함침되어야 한다.
  - 일반적으로 부분적으로 함침된 직물 및 매트 보강 단층 재료.
- 적층재는 완전히 함침 및 경화되어 있기 때문에 스탬프 성형과 같은 신속 가공 방법에 직접 사용할 수 있다. 적층재는 재료 공급업체, 중간 가공업체 또는 최종 부품 제조업체에서 제조할 수 있다.

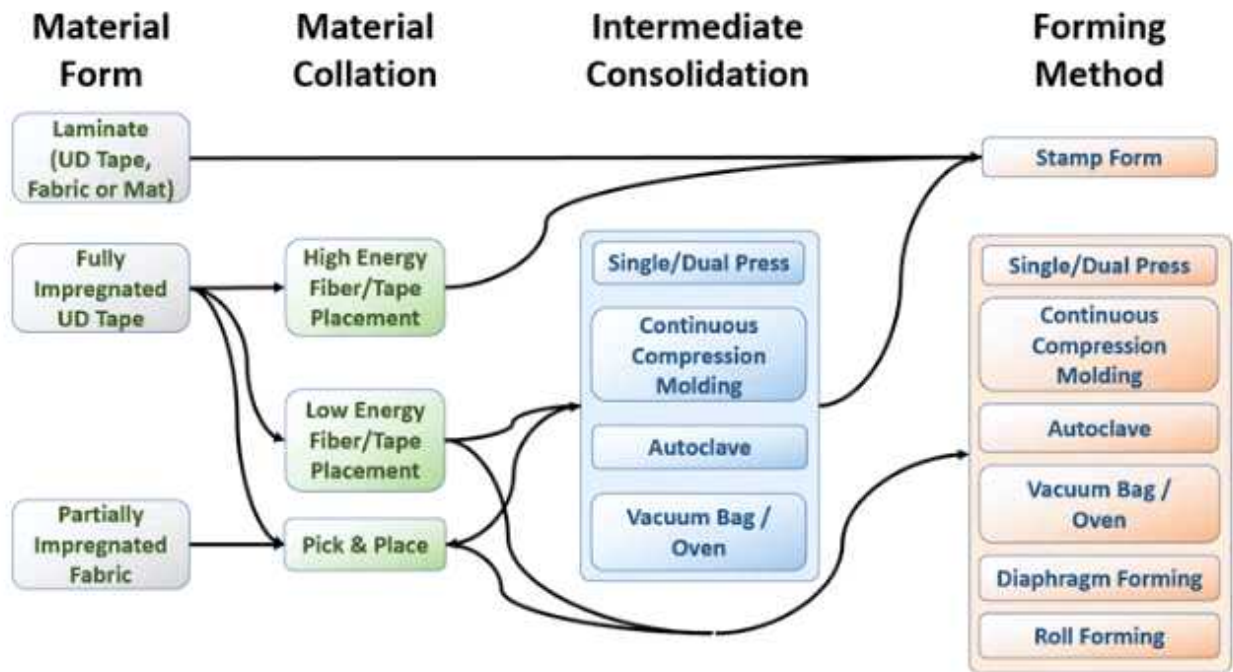


그림 5. 열가소성 제품 형태와 제조 방법의 상호 작용. 여러 가지 방법을 사용하여 적층재를 제조한 후 이를 최종 부품으로 성형하거나, 최종 부품을 직접 성형할 수 있다. 출처 | 데이비드 리치

- 테이프와 직물은 적절한 방향과 적층 구조로 조립되어야 하며, 이는 여러 가지 방법으로 구현할 수 있다. 예를 들어, 단방향(UD) 테이프는 저에너지를 사용하여 층들을 서로 접착시키는 섬유 또는 테이프 배치 방법을 사용하거나, 고에너지를 사용하여 높은 수준의 압축을 달성함으로써 적층재 또는 잘 압축된 프리폼을 만들 수 있다.
- 테이프와 직물 층은 자동 또는 수동 방식을 이용한 픽앤플레이스(pick and place) 방식으로 조립할 수 있으며, 열가소성 재료는 고유의 점착성이 없기 때문에 국부적인 열 또는 초음파 접착을 통해 층들을 서로 접착시킨다. 같은 이유로, 단방향 테이프의 가장자리는 일반적으로 용접하여 층을 제자리에 고정하고 인접한 층 사이의 겹침이나 틈을 방지한다. 따라서 열가소성 재료의 균일성은 매우 중요하다. 예를 들어, 층이 평평하게 놓이지 않거나 가장자리가 말리거나 휘어지면 층을 균일하게 조립할 수 없다.
- 연속 압축 성형(CCM)은 특수한 경우로, 적층된 합판들이 적절한 방향(0°, 90°, +45°, -45° 등)으로 연속적인 롤 형태로 배열되어 성형 다이의 고온 및 저온 영역

을 연속적으로 통과한다. 따라서 CCM은 한 번의 공정으로 적층과 성형이 동시에 이루어진다. 완전 함침 또는 부분 함침 형태의 단방향 테이프, 직물 및 매트 모두 사용할 수 있다. 다이 구성에 따라 후성형용 라미네이트 또는 완제품 프로파일을 제조할 수 있다. CCM은 대량의 라미네이트 또는 프로파일 생산에 매우 비용 효율적이다.

- 부품의 무게와 성능을 최적화하기 위해 두께 변화를 주는 것은 흔한 일이며, 부품 전체에 걸쳐 적층판을 추가하거나 제거해야 하는 경우 적층판 조립부터 중간 성형품을 거쳐 최종 부품에 이르기까지 제조 공정 전반에 걸쳐 정확한 "적층판 가장자리" 위치를 유지하는 것이 매우 중요하다. 특히 정밀 금형 성형을 사용하는 경우, 성형 및 접합이 요구 사항을 충족하도록 두께 변화 위치를 금형에 매우 정확하게 지정해야 하므로 이는 더욱 중요하다.
- 첫 번째 기사의 그림 7에 나타난 가변 두께 동체 프레임을 다시 참조하면, 적층 구조는 Z형 프레임의 웨브를 가로질러 쌓아 올려진다. 아래 그림 6에서 보여주는 것처럼 모든 단계에서 적층 구조가 정확한 위치에 유지되도록 하는 것이 매우 중요하다.
- 적층된 여러 겹의 재료는 다양한 방법을 사용하여 라미네이트로 통합하거나 최종 가공 공정에 직접 투입할 수 있다. 블랭크는 라미네이트에서 절단하여 스탬프 성형과 같은 고속 성형 공정에 사용할 수 있다. 과거에는 고속 성형 방법으로는 블랭크를 최종 부품으로 재성형하는 것밖에 할 수 없고, 추가적인 함침이나 통합을 위한 시간이 부족했기 때문에 블랭크의 품질이 완제품과 동일해야 한다고 여겨졌다. 그러나 최근에는 100% 통합되지 않더라도 잘 통합된 블랭크를 고압 고속 성형을 통해 고품질 부품으로 만들 수 있다는 것이 입증되었다. 이는 고에너지 섬유 배치(HEF) 단독 또는 VBO(진공 보간)를 이용한 적층 통합과 같은 저비용 블랭크 준비 방법을 사용할 수 있는 가능성을 열어주었다.
- 또는, 적층된 층들은 정적 또는 연속 성형 프레스와 같은 정합 금형 성형을 비롯한 다양한 공정을 사용하여 최종 부품으로 제작될 수 있으며, VBO, 오토클레이브, 단면 툴링 및 유연한 표면을 사용하는 다이어프램 성형과 같은 정수압 방식도 사용될 수 있다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 동일한 방법들을 사용하여 중간 적층판을 강화하거나 최종 부품을 제작할 수 있다. 물론, 각 방법은 사이클 시간, 툴링 및 장비 비용, 소모성 재료 측면에서 서로 다른 장단점을 가지고 있다. 따라서 선택되는 제작 방법은 부품의 크기와 복잡성, 수량, 생산 속도, 가용 장비 등 여러



그림 6. 열가소성 단방향(UD) 테이프로 제작된 Z형 동체 프레임의 웨브를 가로지르는 플라이 수의 감소. 웨브를 가로지르는 플라이 수가 50% 감소하므로 플라이 수의 감소 위치와 툴링 상의 블랭크 위치를 매우 정확하게 조정해야 한다. 출처 | Spirit AeroSystems/ATC Manufacturing

요인에 따라 달라지며, 이러한 모든 요인은 부품 품질과 반복적 및 비반복적 부품 비용에 영향을 미칩니다.

### 재료 형식의 효과

- 제품 형태 범위 내에서도 특히 고분자 섬유 분포, 고분자 등급 및 계면 특성 측면에서 미묘한 차이가 존재한다.

#### (1) 열가소성 UD 테이프 프리프레그

- 소재 공급업체들은 고점도 및 고온 용융 열가소성 폴리머를 보강 섬유와 결합하는 다양한 방법을 보유하고 있다. 여러 단방향 테이프 공급업체가 있으며, 동일한 폴리머와 동일한 유형의 보강 섬유를 함유하더라도 테이프의 형태가 매우 다를 수 있으므로 특성, 취급 및 성형 특성도 다를 수 있다.

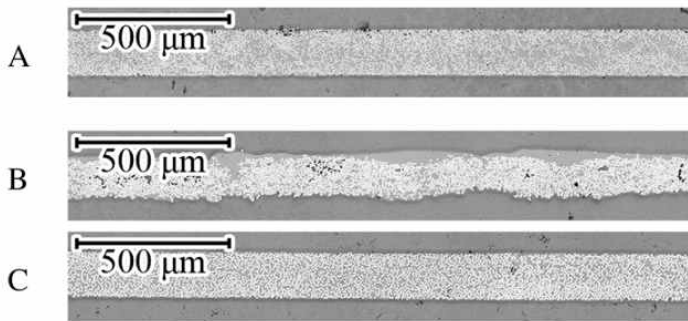


그림 7. 여러 공급업체의 PEEK/탄소섬유 UD 테이프를 통한 현미경 사진. 출처 | Slange 외, ESAFORM20 학회

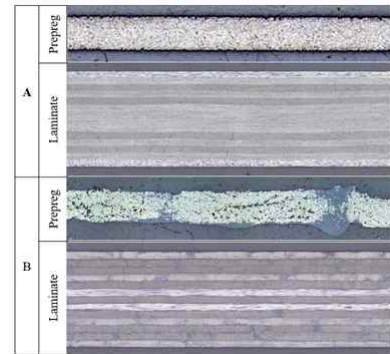


그림 8. PEKK/탄소섬유 프리프레그 및 이 프리프레그로 제조된 8겹 적층판. 출처 | ATC Manufacturing

- 그림 7는 Slange 등이 ESAFORM20 학회에서 발표한 논문에서 평가한 PEEK 매트릭스와 약 60%의 탄소섬유(부피 기준)를 함유하고 동일한 공칭 플라이 두께를 갖는 "원래 상태"의 UD 테이프의 현미경 사진을 보여준다. 재료 설명과 물리적 특성 데이터시트는 거의 동일해 보이지만, 프리프레그는 매우 다른 특성을 나타낸다.
- 국부적인 두께, 표면 거칠기, 고분자-섬유 분포 및 함침 정도에 상당한 차이가 있다. 프리프레그 A와 C는 섬유/매트릭스 분포가 비교적 균일하고 두께가 일정하며 기포가 없다. 그림에도 불구하고 프리프레그 A는 프리프레그 표면(이 현미경 사진의 위쪽과 아래쪽)에 섬유가 더 많고 프리프레그 중앙에 고분자가 더 많다. 프리프레그 B는 두께가 일정하지 않고 표면 질감이 거칠며 고분자-섬유 분포가 불균일하고 프리프레그 표면에 매트릭스가 풍부한 영역이 있으며 섬유가 조밀하게 밀집된 부분에 작은 기포가 많다. 이러한 국부적인 형태는 가공에 영향을 미치고 최종 부품의 품질에도 영향을 준다.
- 그림 8는 CCM을 사용하여 제조한 두 가지 UD 프리프레그와 이 프리프레그로 만

은 8겹 준등방성 라미네이트의 현미경 사진을 보여준다. 현미경 사진에서 라미네이트의 각 층은 연마 방향에 대한 섬유 배향으로 인해 서로 다른 질감을 나타낸다. 프리프레그 샘플 B의 이러한 변화는 용융 및 고압 성형 공정을 거쳤음에도 불구하고 최종 제품에도 분명하게 반영된다.

- 놀랍게도, 그림 7B와 8B의 재료는 스탬프 성형과 같은 고속 고압 공정에서 훨씬 더 우수한 성형성을 보이는 것으로 나타났다. 이는 프리프레그의 폴리머 함량이 높은 표면이 층 사이에 미끄러짐면을 제공하기 때문일 수 있다. 또는 표면 거칠기가 층들이 서로 미끄러지도록 하거나 다른 요인이 작용할 수도 있다. 층 간 미끄러짐을 허용하는 것 외에도, 표면의 폴리머 함량이 높으면 섬유 및 테이프 배치, 용접과 같은 여러 공정에서 층과 부품의 빠른 열 접촉을 촉진할 수 있어 수지 함량이 높은 표면이 유리할 수 있다.
- 다른 공정에서는 프리프레그의 균일성이 높을수록 가공성과 완제품 품질이 향상된다. 예를 들어, 섬유 배치(AFP) 및 VBO 압축 공정을 사용할 경우, AFP 공정 시간이 매우 짧고 VBO 공정 압력이 낮기 때문에 보다 일관되고 함침이 잘 된 재료가 바람직하다. 그림 6에서 볼 수 있듯이, 이러한 방법을 통해 가공된 일부 재료는 오토클레이브 압축 적층판과 동등한 특성을 가진 고품질 적층판을 생산할 수 있는 것으로 나타났다.

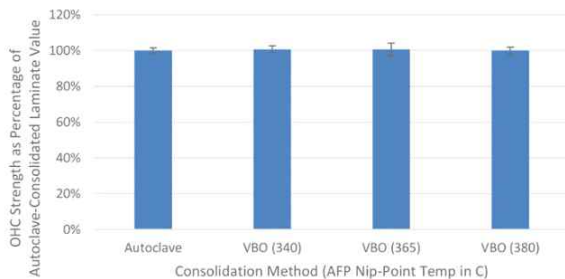


그림 9. 오토클레이브 압축 방식과 비교하여 VBO 압축을 적용한 자동 섬유 배치(AFP) 방식으로 제작된 적층재의 개구부 압축 강도. 출처 | Toray Advanced Composites SAMPE 2024 컨퍼런스

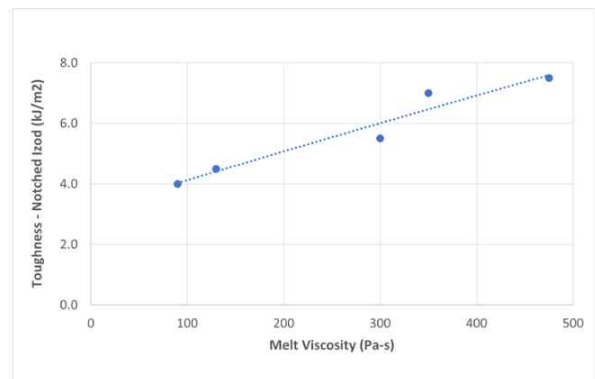


그림 10. 빅트렉스 PEEK의 점도에 따른 인성. 출처 | 빅트렉스/데이비드 리치

## (2) 고분자 효과

- TPC에 사용되는 고분자는 이전 기사 에서 간략하게 설명했지만, 동일한 고분자 화학 내에서도 상당한 차이가 존재할 수 있다. 열가소성 고분자는 다양한 분야에 사용되지만, 고강도 강화 복합소재는 전체 시장에서 차지하는 비중이 작다. 따라서 복합소재에 사용되는 고분자는 일반적으로 기존의 상용 등급 중에서 선택된다.
- 일부 TPC 공급업체는 폴리머를 제조하고 복합재 용도에 맞게 변형할 수 있다. 주요 요인 중 하나는 폴리머의 "등급"인데, 이는 점도와 관련이 있으며, 근본적으로는 분자량 및 분자량 분포와도 연관된다. 폴리머는 다양한 가공 방법과 용도에 따

라 서로 다른 분자량 범위로 제조된다. 예를 들어, 복잡한 부품의 사출 성형에는 "고유동성" 또는 저점도 등급이, 열가소성 섬유 및 필름의 압출에는 "저유동성" 등급이 일반적으로 사용된다.

- 분자량은 점도에 큰 영향을 미치는데, 이는 함침 및 부품 제작뿐만 아니라 폴리머의 인성에도 영향을 미칩니다. 고강화 복합소재의 경우 저점도 폴리머가 바람직하지만, 이러한 폴리머는 일반적으로 인성이 낮아진다. 그림 10은 Victrex PEEK 폴리머에 대한 정보를 보여주는데, 점도가 5배 증가하는 반면 인성은 2배 미만으로 증가한다. 저점도가 바람직하지만, 폴리머 사슬 얽힘이 크게 감소하고 인성이 급격히 떨어지는 임계 분자량이 존재한다.
- 복합소재의 특성에 영향을 미칠 수 있는 다른 고분자적 특성으로는 선형성, 분지도, 말단기, 그리고 특정한 고분자 구조가 있다. 예를 들어, PEKK 고분자의 "파라/메타" 비율은 중합 과정에서 조절할 수 있으며, 이는 용융 온도, 결정화 속도 및 결정화도에 영향을 미친다. 따라서 고분자 구조는 제조 방법에 맞춰 선택해야 한다.
- 모든 열가소성 폴리머의 특징 중 하나는 유효 점도가 전단 속도에 매우 의존적이라는 것이다. 이는 폴리머 산업에서 잘 알려진 사실이며, 관련 정보는 가공 지침서에 나와 있다.
- 그림 11은 비교적 저점도 등급의 Victrex PEEK에 대한 전단 속도에 따른 점도 변화를 보여준다(로그-로그 스케일). 가공 속도가 증가함에 따라 점도는 10배 이상 감소한다. 고에너지 섬유 배치 및 용접은 매우 낮은 전단 속도 공정인 반면, 스탬프 성형은 매우 높은 전단 속도 공정이므로 최적의 공정 조건을 설정할 때 유효 점도를 고려해야 한다. 특히 높은 전단 속도에서 공정 온도는 전단 속도에 비해 점도에 미치는 영향이 훨씬 적으며, 360°C에서 400°C로 온도가 상승함에 따라 변화가 미미하다는 점에 주목할 필요가 있다.

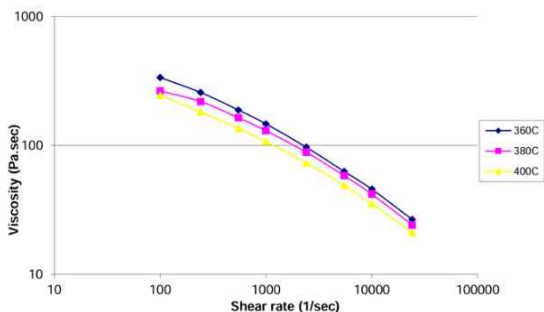


그림 11. Victrex PEEK 150G의 점도 대 전단 속도 및 온도 그래프. 출처 | Victrex

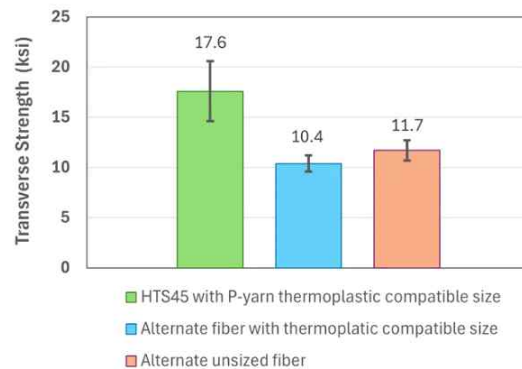


그림 12. 섬유 사이징 처리 유무에 따른 PEEK/탄소섬유 UD 테이프의 횡방향 강도. 프로파일은 CCM 공정을 사용하여 제조되었다. 출처 | Teijin Carbon SAMPE 2014 컨퍼런스

### (3) 섬유-매트릭스 계면 특성

- 섬유와 매트릭스 사이의 계면은 TPC의 가공성과 물성에 영향을 미칠 수 있다. 완전 함침 재료의 경우, 이 계면은 재료 공급업체에서 형성되지만, 부분 함침 재료의 경우 중간재 또는 최종 부품 가공 과정에서 제조업체에 의해 형성된다. 앞서 논의했듯이, 열가소성 폴리머는 접도가 높아 가는 섬유 표면을 쉽게 적시지 못하며, 접도는 전단 속도에 매우 민감하다. 따라서 섬유 다발 내부로 잘 침투하고 섬유 표면을 적시기 위해서는 폴리머를 보강재에 "전단"하거나 "가공"하는 것이 종종 바람직하다. 긴밀한 접촉이 이루어지더라도 계면 결합 강도에 영향을 미칠 수 있는 여러 요인이 존재한다.
- 거의 모든 경우에 섬유와 매트릭스 사이의 하중을 전달하기 위해서는 강력한 섬유-매트릭스 결합이 필요하다. 탄도 응용 분야는 예외일 수 있다. 일반적으로 탄소섬유에는 섬유 간 마찰로 인한 손상을 줄이기 위해 사이징 처리가 적용된다.
- 대부분의 사이징 처리제는 비교적 낮은 경화 온도(예: 177°C)를 갖는 열경화성 수지용으로 개발되었으며, 에폭시, 페놀, 비스말레이미드와 같은 매트릭스 폴리머와의 호환성을 고려하여 설계되었다. 이러한 사이징 처리제는 열가소성 폴리머의 훨씬 높은 가공 온도에서 분해되어 계면 특성을 저하시킨다.
- 오랫동안 열가소성 고분자와 최상의 계면을 제공하는 것으로 여겨져 온 무처리 탄소섬유는 선호되었지만, 함침 및 가공 과정에서 섬유 손상과 마모가 발생할 수 있다는 문제점이 있었다. 최근에는 열가소성 수지와 호환되는 사이징제가 개발되어 섬유 손상을 방지하고 횡방향 굽힘 강도(그림 12)로 측정되는 계면 강도를 향상시키는 것으로 보고되었다. 본 연구에서는 호환 가능한 열가소성 사이징제를 사용한 파단면에서 섬유-매트릭스 접착력이 우수함을 보여준다.

### 재료 및 제조 공정 선택

- TPC 소재의 형태와 가공 방법은 매우 다양하여 선택이 어려울 수 있다. 적층재에서 절단한 블랭크를 스탬프 성형하는 방식처럼 생산 현장에서 이미 널리 사용되는 방법도 있고, 개발 및 제한적인 생산 단계에서 검증되었지만 대규모 생산에 적용하기에는 아직 미흡한 방법도 있다. 소재 형태와 가공 방법을 적절히 조합하여 선택하는 것은 제품의 특성과 제조 방식에 큰 영향을 미친다.
- 특정 부품의 경우, 최종 선택은 생산해야 할 부품의 수량과 필요한 생산 속도에 따라 크게 좌우된다. 주요 선택 기준 외에도 섬유-매트릭스 분포, 소재의 균일성, 섬유-매트릭스 계면 특성, 사용된 폴리머 등급 등 여러 요인이 미묘한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 최종 사용자, 설계자, 소재 공급업체, 그리고 가공업체가 협력하여 특정 용도에 가장 적합한 소재와 가공 방식 조합을 선택하는 것이 중요하다.

## □ 터키 파트너들, LFAM 센터 사업 벤처 설립(26.01.12.)

※ [Composites World] 바사란 테크놀로지, Otostech, 옴니폼의 결합된 적층 제조 및 복합재 전문 기술은 국방, 해양 및 건축 산업에 서비스를 제공 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/turkish-partners-form-lfam-center-business-venture>
- #터키 #프로세스 #적층 제조
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
  
- 터키에 본사를 둔 세 회사, 즉 Basaran Technology(이스탄불), Otostech(차이로바/코자엘), Omniform Innovative Technologies(차이로바/코자엘)는 이스탄불에서 20km 떨어진 차이로바 게브제에 LFAM 센터를 설립하여 대형 적층 제조(LFAM, large-format additive manufacturing) 분야의 새로운 사업을 시작했다.
  
- 이 시설에는 초기에는 Caracol(이탈리아 밀라노)에서 공급하는 LFAM 로봇 시스템 3대가 설치될 예정이다. 이 기술은 재활용 PET를 비롯한 모든 종류의 고분자 화합물(과립)과 유리 또는 탄소섬유로 보강된 PC, PP, ABS를 사용할 수 있다. 목표는 각 참여 기업의 역량과 자원을 한곳에 모아 국방, 해양 및 건축 산업에 모델, 플러그, 금형 및 최종 제품 생산 서비스를 제공하는 것이다.
  
- LFAM 센터의 창립 파트너인 Basaran Technology는 20년 이상의 적층 제조(AM) 경험을 바탕으로 산업 규모의 솔루션을 제공한다. 이 회사는 멀티젯 퓨전(MJF), 카라콜 LFAM, 융합 적층 모델링(FDM), 스테레오리소그래피(SLA), 진공 주조, 적층 주조 및 금속 소결 등 다양한 분야에서 첨단 제조 및 컨설팅 서비스를 제공하며, 설계부터 생산 단계까지 고객을 지원한다.
  
- HP 3D 프린팅 시스템, 카라콜 및 임팩트 이노베이션의 산업용 3D 프린팅 시스템, 그리고 AM 소재의 유통업체로서 바사란 테크놀로지는 국방, 항공우주, 자동차, 소비자재 및 산업 시장을 위한 확장 가능하고 고성능의 애플리케이션을 구현한다.
  
- 창립 파트너인 Otostech는 해양, 항공우주 및 자동차 산업을 위한 종합적인 복합재 솔루션을 제공하는 통합 엔지니어링 및 제조 센터이다. 이 회사는 최대 26 × 6미터 크기의 5축 CNC 기술, 수지 이송 성형(RTM) 및 진공 주입 방식을 사용하여 모델, 금형 및 복합재 부품을 한 곳에서 생산한다. 금형과 최종 부품을 모두 자체 제작함으로써 최적화된 설계, 높은 정밀도 및 진정한 엔드 투 엔드 생산을 보장한다.
  
- Omniform은 LFAM 분야에서 LFAM 센터의 세 회원사 중 가장 최근에 합류했지만, 복합재 산업에서 27년간 쌓아온 경험을 바탕으로 다양한 고객 포트폴리오를 통해 여러 프로젝트에 크게 기여할 것이다.

- 복합재 원자재 유통을 담당하는 자매 회사인 Plasto Plastic과 Omnis Composite 또한 LFAM 프로젝트에서 Omniform의 성장을 지원할 것이다.



그림 13. 출처 | LFAM 센터

## □ 프랑스 Carbon Axis XCell 플랫폼, AFP와 필라멘트 와인딩 공정 통합(26.01.12.)

※ [Composites World] 이 소형의 사용자 친화적인 복합재 제조 장비는 산업 사용자, 연구 개발 및 기술 개발 환경을 위해 두 가지 상호 보완적인 공정을 하나의 플랫폼에 통합/ Products

- <https://www.compositesworld.com/products/carbon-axis-xcell-platform-now-combines-afp-and-filament-winding-processes>
  - #프랑스 #탄소섬유 #프로세스 #필라멘트 와인딩 #ATL/AFP
  - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 
- 프랑스 라로셀에 위치한 Carbon Axis는 XCell의 다기능 버전을 출시하여 복합재 제조 포트폴리오를 확장하고 있다. 이 버전은 이제 동일한 소형 장비 내에서 자동 섬유 배치(AFP) 및 필라멘트 와인딩 작업을 모두 수행할 수 있다.
  - 원래 소형 AFP 솔루션으로 개발된 XCell은 이제 교체 가능한 공정별 엔드 이펙터를 통해 필라멘트 와인딩 기능을 통합하면서도 소형화, 간편한 작동 및 손쉬운 유지보수라는 핵심 장점을 유지한다.
  - 여기에는 최대 40N의 섬유 장력 제어가 가능한 단일 토크 엔드 이펙터가 포함되어 일관되고 반복 가능한 섬유 증착을 지원한다. 단일 플랫폼에서 AFP와 필라멘트 와인딩을 결합함으로써 생산 설비의 복잡성을 증가시키지 않으면서 부품 설계 최적화 및 새로운 복합재 응용 분야 탐색에 더 큰 유연성을 제공한다.
  - XCell은 1m 미만의 복합재 부품 제작에 적합하도록 설계되었으며, 정밀한 섬유 배치와 하이브리드 적층 전략이 요구되는 응용 분야에 적합하다. AFP(아날로그-플라이핑)와 필라멘트 와인딩 간의 전환이 간편하여 개발, 프로토타입 제작 및 소량 생산에 매우 적합하다. 더 큰 부품의 경우, 동일한 AFP 및 필라멘트 와인딩 조합을 XCell-M에서도 사용할 수 있어 대형 부품 제작에도 적용 가능하다.
  - Carbon Axis는 2026년 하반기 출시를 목표로 필라멘트 와인딩 전용 소프트웨어를 개발 중이다. 오픈 소스 솔루션으로 설계된 이 소프트웨어는 XCell 플랫폼을 지원하는 동시에 다른 제조업체의 필라멘트 와인딩 기계와도 호환된다.
  - 다음은 Carbon Axis 시스템 작동 모습의 영상이다. [https://youtu.be/E0CbU6Z2\\_LI](https://youtu.be/E0CbU6Z2_LI)

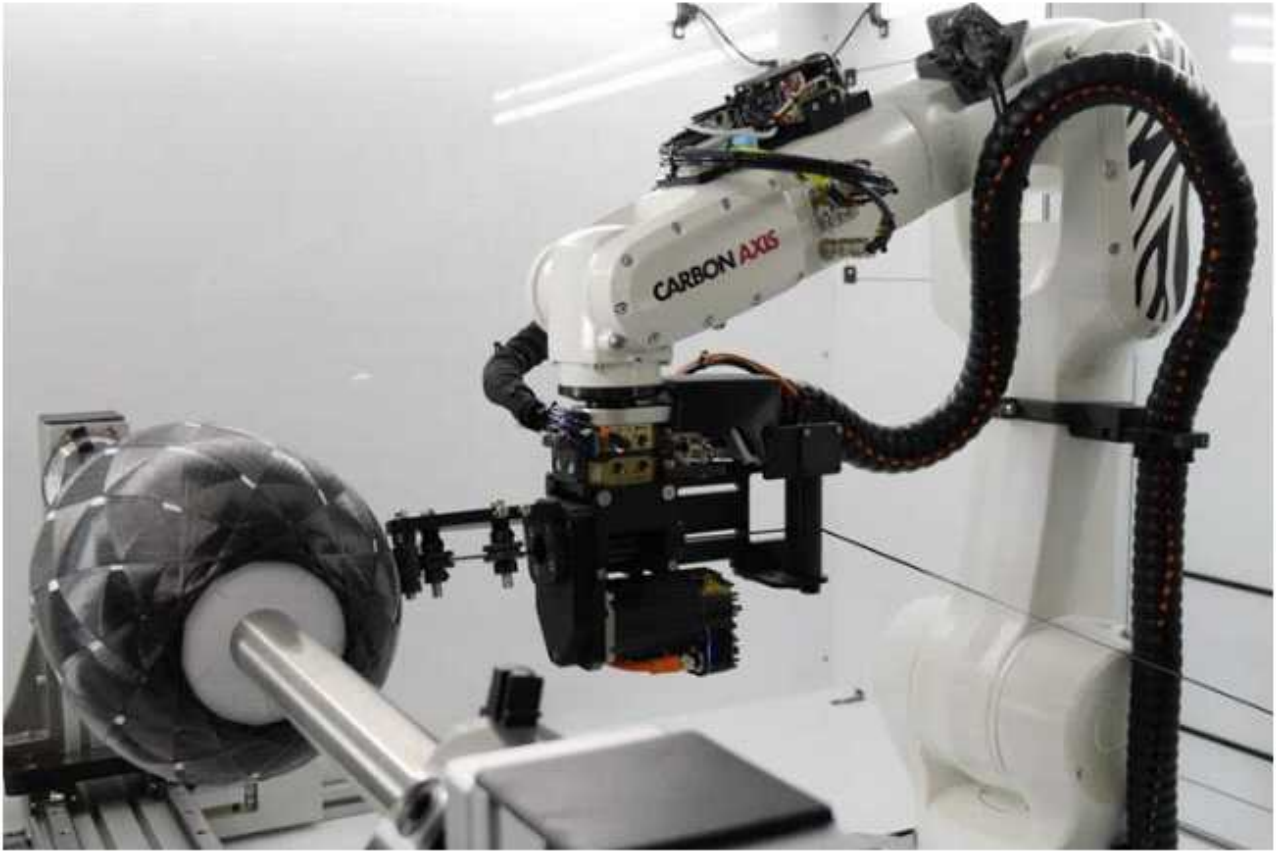


그림 14. 다중 프로세스 X-Cell 시스템. 출처 | Carbon Axis

## □ JEC World 2026, 스타트업 부스터 최종 후보 발표(26.01.12.)

※ [Composites World] 2026년 JEC Composites Startup Booster는 전 세계 160여 개 지원 기업 중에서 선정된 20개 기업이 3월 10일 JEC World에서 직접 혁신적인 아이디어를 발표하는 자리 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/meet-the-jec-group-startup-booster-finalists-for-2026>
- #JEC
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 160개 이상의 기업가, 스타트업 및 대학 스핀오프 기업이 지원서를 제출했으며, JEC 그룹 (프랑스 파리)은 2026년 JEC Composites Startup Booster 상을 놓고 경쟁할 20개 최종 후보를 발표했다.
- 결선 진출자들은 JEC World 2026에서 전문가 심사위원단 앞에서 프로젝트를 발표할 기회를 갖게 된다. 10개의 발표로 구성된 두 번의 피칭 세션이 아고라 무대(6번 홀)에서 진행된다. 첫 번째 세션은 3월 10일 화요일 오전 10시에 결선 진출자 1~10명을 대상으로, 두 번째 세션은 3월 10일 화요일 오후 4시 30분에 결선 진출자 10~20명을 대상으로 진행된다. 심사위원단은 대상, 준우승, 지속가능성 부문 수상자를 각각 1명씩 선정한다. 시상식은 3월 11일 수요일 오후 5시 30분, 아고라 6에서 개최된다.
- 배심위원단은 다음과 같다.
  - Airbus 복합재 제조 기술 부문 책임자인 Jelle Bloemhof
  - Emerald Technology Ventures의 수석 투자 매니저인 Aline Rotzetter
  - ExxonMobil Proxima 시장 개발 담당 매니저 Mike Salciccioli,
  - Owens Corning 전략 마케팅 및 연구 개발 담당 부사장 Chris Skinner
  - IACMI(첨단 복합재 제조 혁신을 위한 복합재 연구소, The Composites Institute for Advanced Composites Manufacturing Innovation) 최고기술책임자(CTO) Uday Vaiday
- 2026년 대회는 Airbus, Proxima(엑손모빌 계열사), Owens Corning의 후원으로 개최된다.

### Startup Booster 결선 진출자

#### Acus(이탈리아)

- Acus는 복합재 제조를 위한 재사용 가능한 적응형 금형을 개발한다. 이 시스템은 일회용 툴링을 재구성 가능하고 반복 가능한 금형으로 대체하여 폐기물, 리드 타임 및 비용을 획기적으로 줄인다. 이러한 접근 방식을 통해 복합재 부품의 효율적

인 생산이 가능해지는 동시에 지속 가능성, 유연성 및 산업적 확장성을 향상시킬 수 있다.

### **Akhet Solutions(프랑스)**

- Akhet Solutions는 액체 복합재 성형 공정 설계, 시뮬레이션 및 모니터링을 가속화하기 위해 AI와 물리 엔진을 결합한 하이브리드 소프트웨어를 개발한다. 물리 법칙과 AI를 결합한 이 솔루션은 개발 시간, 비용 및 재료 낭비를 줄이는 동시에 산업 공정 제어를 향상시킨다.

### **ATA Mute(네덜란드)**

- ATA Mute는 다양한 분야 및 산업에 걸쳐 효율적이고 확장 가능하며 용도에 특화된 소음 저감 기술을 개발 및 제공한다. 여기에는 시뮬레이션, 실험실 테스트 및 실험적 검증을 통해 고성능 소음기, 소음 차단 장치 및 음향 소재를 설계하고 엔지니어링하는 것이 포함된다.

### **Biofibix(벨기에)**

- Biofibix는 비용과 성능 요구 사항을 충족하도록 설계된 아마섬유 보강재를 공급한다. 자체 개발한 섬유 처리 기술은 과도한 수지 흡수를 방지하고 아마 섬유 본연의 성능을 향상시킨다. 탄탄한 주주 기반을 바탕으로 Biofibix는 재배부터 보강재 생산까지 공급망을 직접 관리하여 일관된 품질과 가격 안정성을 보장한다고 밝혔다. 이 회사의 주력 제품인 하이퍼매트는 기존 아마 섬유와 거의 동일한 성능을 절반의 비용으로 제공한다.

### **Blencel(프랑스)**

- Blencel은 식물성 섬유 폐기물을 완전 생분해성 및 무첨가 대체 소재로 전환한다. 이 지속 가능하고 비용 효율적인 기술은 산업용 및 소비 후 섬유 혼합물에서 면을 추출하여 폴리우레탄 폼 및 에폭시 수지와 같은 석유 기반 제품을 대체할 수 있는 순환형 재활용 소재로 업사이클링한다.

### **CGreen(프랑스)**

- CGreen은 탄소섬유 산업에 고성능, 경쟁력 있는 바이오 기반 대안을 제공한다. 10년간의 연구 개발 끝에 탄생한 이 회사의 기술은 화석 연료 전구체(PAN)를 셀룰로오스로 대체하여 탄소 발자국을 3분의 1로 줄이면서도 표준 등급과 동등한 기계적 특성을 보장한다. 2026년 중반에 가동될 CGreen의 파일럿 생산 라인은 2027년까지 산업 파트너들과 함께 공정 검증을 진행할 예정이다.

### **Fibionic(오스트리아)**

- Fibionic의 자연에서 영감을 받은 섬유 배치(FFP) 기술은 세계에서 가장 빠른 섬유 배치 공정이라고 주장한다. 이 기술은 필요한 곳에만 섬유를 사용하고 폐기물을 전혀 발생시키지 않으며, 강하고 가벼우면서도 비용 효율적인 복합 소재를 구현하

여 지속 가능하고 대량 생산에 적합한 확장성을 제공한다.

### **Fyous(영국)**

- Fyous는 수천 개의 디지털 제어 핀으로 구성된 재구성 가능한 성형 시스템인 폴리 모픽 몰딩(PolyMorphic Moulding)을 개발했다. 이 시스템을 통해 복합재 적층, 압축 성형, 작업 고정, 열성형 등에 사용할 수 있는 다양한 형상을 단 몇 분 만에 제작할 수 있다. 또한, 금형 정보를 디지털 방식으로 저장하여 단일 도구로 모든 금형에 접근할 수 있다.

### **Mach Electric(미국)**

- Mach Electric은 폐가스인 CO<sub>2</sub>를 원료로 구조용 탄소섬유를 생산한다. PAN 공정을 사용하지 않음으로써 탄소섬유 생산 비용을 크게 절감하고 확장성을 향상시킬 수 있다. Mach Electric의 공정은 에너지 소비를 약 5배 줄이고 원료 비용을 약 30% 절감하는 동시에 탄소 네거티브를 실현한다. 최근 콜로라도 대학교에서 분사한 Mach Electric은 특허받은 모듈형 생산 시스템을 통해 탄소섬유 제품을 공급하고 있다.

### **Mars Materials(미국)**

- 텍사스주 휴스턴에 위치한 벤처 기업이자 Breakthrough Energy Fellows의 지원을 받는 스타트업인 Mars Materials는 탄소를 탄소 네거티브 및 시안화수소 무첨가 아크릴로니트릴인 Hoigen-C로 전환한다. Hoigen-C는 1,500개 이상의 제품에서 석유화학 기반 아크릴로니트릴을 대체할 수 있어 제조업체가 공급망의 탄소 배출량을 최대 85%까지 줄이고 유독성 부산물을 제거할 수 있도록 지원한다. 또한 탄소섬유 복합재, 수용성 고분자 및 기타 고성능 소재와 같이 성장세가 가속화되고 공급이 제한적인 시장의 주요 전구체로 사용된다.

### **Nebumind(독일)**

- Nebumind는 복잡한 생산 데이터를 실행 가능한 인사이트로 변환하여 완벽한 데이터 기반 생산을 지원한다. Nebumind의 이상 징후 대시보드는 기계 및 센서 데이터를 공간 디지털 트윈으로 통합하여 실시간 품질 모니터링 및 신속한 근본 원인 분석을 가능하게 한다. 이를 통해 수동 검사를 줄이고 공정 투명성을 높이며 기계 최적화를 가속화할 수 있다.

### **Novium(터키)**

- Novium은 조직의 혁신 방식을 재정의하는 생성형 AI 플랫폼이다. 파편화된 지식을 구조화된 인텔리전스로 변환하여, 실제 실행에 앞서 가능성을 탐색하고 결과를 예측하며 확신 있는 연구 개발 결정을 내릴 수 있도록 지원한다. Novium은 혁신을 시행착오에서 통찰력 기반의 발견으로 전환시켜, 발전을 가속화하고 불확실성을 줄이며 대규모 데이터 기반 혁신을 위한 새로운 기준을 제시한다.

### **P2M(이탈리아)**

- P2M은 복합재 제품의 디지털 DNA인 GENE.SYS를 개발했다. 이 플랫폼은 내장 칩을 통해 제품의 전체 수명 주기를 추적한다. 기술, 생산 및 유지 보수 데이터는 시간이 지남에 따라 서로 연결되어 디지털 제품 여권(DPP)을 구현하고, 제품 수명 주기 종료 관리, 재료 회수 및 순환 경제 프로세스를 지원한다.

### **Plastalyst by AC Biode(룩셈부르크)**

- Plastalyst는 저온에서 재활용하기 어려운 폐기물까지 재활용할 수 있다고 밝혔다. 더 구체적으로는 저온 및 저압 조건에서 고분자 매트릭스만 분해하는 기술이다. 이 회사는 이미 35개 이상의 기업과 시범 사업을 완료했다. 재활용 의무화 규정으로 인해 자동차 산업에서 높은 수요를 보이고 있으며, 고객사로는 보쉬, 다이코 니시카와, 도요타+토요펫 등이 있다.

### **ReForm Composites(미국)**

- ReForm은 인성, 재활용성 및 재성형성을 향상시킨 연속 섬유 강화 열가소성 수지(CFRTP)를 개발한다. 심도 있는 엔지니어링 및 연구 전문 지식과 연속 성형 기술을 결합하여 산업 규모로 구조용 CFRTP 프로파일을 생산하고 최종 용도 구조 제품을 개발한다. 이러한 프로파일은 제조된 그대로 사용하거나 재성형 및 재가공하여 후속 공정에 사용할 수 있으므로 건설, 인프라 및 산업 시장 전반에 걸쳐 실용적으로 적용될 수 있다.

### **Reochronos(프랑스)**

- Reochronos는 실시간 복합소재 및 레진 경화에 비용 효율적인 장비를 제공한다. Reochronos의 솔루션은 생산성을 최적화하고, 사이클 시간과 재료 낭비를 줄이며, 품질을 보장하여 빠른 투자 수익(ROI)과 경쟁 우위를 제공한다.

### **Sinteg Systems(네덜란드)**

- Sinteg Systems는 복합 구조물용 초음파 유도파 비파괴 검사(NDT) 기술을 개발한다. 이 기술은 강성을 정량화하고 현장에서 결함을 감지하여 항공우주, 방위 및 산업용 복합소재에 대한 신속한 의사 결정, 효율적인 품질 관리 및 건전성 평가를 가능하게 한다.

### **Soarce(미국)**

- Soarce는 섬유 강화 복합소재용 고성능 나노섬유 첨가제를 개발하는 첨단 소재 기업이다. 이 바이오 기반 기술은 섬유-매트릭스 계면을 강화하여 접착력, 내구성 및 하중 전달력을 향상시키고, 복합소재의 무게를 줄이며 제조 비용을 절감한다. 기존 규격 라인에 맞춰 설계된 Soarce는 탄소섬유, 유리 섬유, 재활용 복합소재 및 기타 소재 제조업체가 더 높은 성능, 향상된 소재 효율성 및 지속 가능한 복합소재 시스템을 구현할 수 있도록 지원한다.

### Trimer Technologies(미국)

- Trimer Technologies는 고성능 섬유 강화 복합재를 신속하게 제조할 수 있는 저비용 수지를 개발했다. 트리머의 열경화성 수지는 기존 소재에 비해 최적의 기계적, 열적 성능과 화재, 연기 및 독성(FST) 성능을 제공하면서 제조 시간을 크게 단축한다. 확장성과 비용 효율성을 고려하여 설계된 트리머의 기술은 제조업체에 기존 복합 수지 시스템에 대한 고부가가치 대안을 제공하여 생산 속도 향상, 부품 성능 개선 및 까다로운 응용 분야 전반에 걸친 폭넓은 적용을 지원한다.

### Zetamotion(영국)

- Zetamotion은 복합재 AI 검사의 난제를 해결하고 자동화된 품질 관리의 잠재력을 연구 프로젝트 영역에서 벗어나 신뢰할 수 있는 산업 응용 분야로 끌어올리는 데 전념하고 있다. 이를 위해 Zetamotion은 "다른 솔루션이 실패하는 환경에서도 탁월한 성능을 발휘하는" 자체 개발 합성 데이터 기술을 활용한다. Zetamotion은 불균일성, 무한한 변형, 낮은 생산량, 드문 결함 등 까다로운 시나리오에서 자사 솔루션이 탁월한 성능을 발휘한다고 강조한다.
- 2017년에 시작된 Startup Booster는 유럽, 미국, 아시아의 세 지역에서 운영되어 왔으며, 60개국 이상에서 1,300개 이상의 혁신적인 프로젝트, 158개의 결선 진출작, 그리고 FibreCoat, Continuous Composites, CompPair, Fortify, Composite Recycling, Vartega를 포함한 34개의 수상작을 배출했다.



그림 15. 출처 | JEC 그룹

## □ PMC에서 샌드위치 복합소재까지: 시험 방법 표준화의 여정 (26.01.14.)

※ [Composites World] 수십 년에 걸쳐 PMC 및 샌드위치 복합재 시험 방법 개발 및 표준화는 복합재 산업의 요구 사항에 따라 발전 / Articles

- <https://www.compositesworld.com/articles/from-pmcs-to-sandwich-composites-tracing-the-path-of-test-method-standardization>
  - #보고서 #설계 및 테스트 #복합소재
  - 저자 : 댄 애덤스, 와리오밍 테스트 픽스처스 주식회사 사장
- 
- 지난 몇 년간 이 칼럼에서 반복적으로 다뤄진 주제 중 하나는 샌드위치 복합소재에 대한 새로운 시험 방법 개발이었다. 이는 주로 제가 이러한 시험 방법의 개발 및 ASTM 표준화 과정에 참여할 기회를 가졌기 때문이며, 이 CW 칼럼은 더 넓은 복합소재 분야에 최신 정보를 제공하는 데 매우 유용한 장이 되어주었다.
  - 최근 샌드위치 복합소재에 대한 새로운 표준화 시험법이 꾸준히 발표되어 온 반면, 기존 고분자 매트릭스 복합소재(PMC)에 대한 새로운 표준화 시험법의 발표 속도는 상당히 둔화되었다.
  - 이러한 표준화의 차이는 주로 두 종류의 복합소재가 시험법 개발의 자연스러운 진행 과정에서 현재 어느 단계에 있는지를 반영한다. 이러한 복합소재의 응용 분야가 성숙해짐에 따라 추가적인 재료 특성에 대한 필요성이 대두되고, 이러한 요구를 충족하기 위해 해당 시험법이 개발 및 표준화된다. PMC는 이러한 개발 과정을 대부분 완료한 반면, 샌드위치 복합소재는 아직 그 과정의 중간 단계에 있다.
  - 다음 논의에서는 샌드위치 복합소재의 시험 방법 표준화 진행 상황에 초점을 맞춥니다. 기존의 폴리메탈 복합소재(PMC)와 비교하여 샌드위치 복합소재의 시험 방법 표준화 진행 과정에서 나타나는 유사점과 차이점을 살펴보고, 각 재료에 대한 시험 방법 개발이 수십 년에 걸쳐 어떻게 달라졌는지 분석한다.
  - 1950년대 E-유리, 1960년대 탄소섬유의 등장으로 폴리프로필렌 복합재(PMC) 개발이 촉진되었다. ASTM의 시험 방법 표준화 작업은 1960년대에 시작되었다.
  - 초기 시험 방법 개발은 인장, 압축 및 전단 하중 하에서의 강성 및 강도 특성 측정에 중점을 두었다. 그러나 1960년대 탄소섬유의 강성 및 강도 향상은 시험에 상당한 어려움을 야기했으며, 이는 1970년대 PMC용 신규 시험 방법 개발의 원동력이 되었다. 1980년대에는 탄소섬유/에폭시 복합재가 성숙 단계에 접어들면서 안정화되었고, 강화 에폭시 및 열가소성 수지, 고온 비스말레이미드 및 폴리이미드 수지 등 새롭게 도입된 소재에 대한 시험 방법 개발이 활발해졌다.

- 이러한 소재들의 손상 허용도를 평가하기 위한 새로운 시험 방법이 필요해지면서 가공 인장 및 압축 시험법이 개발되었고, 이후 충격 후 압축 시험법이 개발되었다. 2000년대 중반에 이르러 PMC에 대한 ASTM 표준 시험 방법은 성숙 단계에 접어들었다. PMC 시험 방법 개발의 연혁은 표 1의 왼쪽 열에 요약되어 있다.

Primary PMC Test Methods	Primary Sandwich Composite Test Methods
<b>1950s</b>	
	C273 - Core Shear (1951)
	C297 - Flatwise Tension (1952)
	C364 - Edgewise Compression (1955)
<b>1960s</b>	
D2344 - Short Beam Strength (1967)	C393 - Beam Flexure (1960)
<b>1970s</b>	
D3410 - Compression (1975)	
D3039 - Tension (1976)	
D3518 - $\pm 45^\circ$ In-Plane Shear (1976)	
<b>1980s</b>	
<b>1990s</b>	
D5379 - V-Notched (Iosipescu) Shear (1993)	
D5528 - Mode I Fracture Toughness (1994)	
D5961 - Bearing Response (1996)	
D6484 - Open-Hole Compression (1999)	
<b>2000s</b>	
D6641 - Combined-Loading Compression (2001)	D7249 - Long Beam Flexure (2006)
D7137 - Compression After Impact (2005)	D7766 - Damage Resistance (2011)
D7291 - Through Thickness Tension (2007)	
<b>2010s</b>	
	D8067 - Picture Frame Shear (2019)
<b>2020s</b>	
	D8287 - Compression After Impact (2022)
	D8388 - Flexure After Impact (2022)
	D8453 - Open-Hole Flexure (2022)
	D8454 - Open-Hole Compression (2022)
	D8637 - Mode I Fracture Toughness (2025)

<표 1> ASTM 시험 방법 표준화 일정 비교: PMC 시험 방법과 샌드위치 복합재 시험 방법.

- 샌드위치 복합소재에 대한 표준화된 시험 방법의 개발은 비슷한 경로를 따랐지만, 1950년대 초부터 현재까지의 긴 기간에 걸쳐 진행되었다. 표 1의 오른쪽 열에 요

약된 바와 같이, 샌드위치 복합소재에 대한 최초의 표준화된 시험은 벌집형 코어와 얇은 표면 시트 구조가 항공우주 분야에 처음 사용된 1950년대 초중반에 등장했다.

- 초기에 개발된 코어 전단 시험(ASTM C273 1), 평면 인장 시험(ASTM C297 2), 그리고 모서리 압축 시험(ASTM C364 3)은 당시 비교적 제한적인 재료 물성 요구 사항을 충족하기 위해 사용되었다. 그러나 샌드위치 복합재가 항공우주 및 해양 분야와 같이 더욱 까다로운 응용 분야로 확장됨에 따라 새로운 재료 물성 요구 사항이 대두되었다. 이러한 요구 사항으로 인해 표면층과 코어 사이의 접착 강도 (ASTM C363 4) 및 빔 굽힘을 이용한 코어 전단 강도(ASTM C393 5)를 측정하기 위한 추가적인 시험 방법이 개발되었다.
- 2000년대 초반에 성숙기에 접어든 PMC(폴리머 복합재) 시험 방법 개발과는 달리, 샌드위치 복합재 시험 방법 개발은 비슷한 시기에 두 번째 활동기에 접어들었다. 2000년에서 2020년 사이에 샌드위치 복합재 판의 2차원 굽힘 시험(ASTM D6416 6), 강도(ASTM D7249 7) 및 강성(ASTM D7250 8) 측정을 위한 장빔 굽힘 시험, 그리고 액자형 전단 시험(ASTM D8067 9-10)을 포함하여 총 7개의 새로운 시험 방법이 도입되었다. 이러한 시험 방법들은 기존의 코어 중심 시험을 넘어 재료 특성 범위를 확장했으며, 샌드위치 구조에 요구되는 구조적 강도의 증가를 반영했다.
- 2020년 이후 ASTM에서 5가지 추가 샌드위치 복합재 시험 방법이 표준화되었으며, 이 모든 방법은 제 CW 칼럼에서 다루졌다. 2022년에는 4가지 새로운 샌드위치 복합재 시험 방법이 표준화되었다. 이 중 2가지는 손상 허용 오차에 관한 것으로, 충격 후 압축 시험 (ASTM D8287 10)과 충격 후 굽힘 시험 (ASTM D8388 11)이며, 나머지 2가지는 노치 민감도에 관한 것으로, 개구부 굽힘 시험 (ASTM D8453 12)과 개구부 압축 시험 (ASTM D8454 13)이다.
- 2025년에는 샌드위치 복합재에 대한 최초의 파괴 역학 시험 방법인 모드 I 단일 캔틸레버 빔 시험(ASTM D8637 14)이 표준화되었는데, 이는 제 2020년 5월 CW 칼럼 과 가장 최근인 2025년 11월 CW 칼럼 의 주제였다.
- 요약하자면, 폴리머멀 컴파운드(PMC)와 샌드위치 복합소재 모두에 대한 시험 방법 개발 및 표준화의 역사는 응용 분야의 성숙도에 따라 자연스러운 발전 과정을 거쳐왔음을 보여준다. PMC는 이러한 발전 과정을 더 일찍 거쳐 2000년대 초반에 안정적이고 거의 완벽한 표준 세트를 구축했다. 반면 샌드위치 복합소재는 새로운 응용 분야의 등장으로 추가적인 시험 방법이 개발되면서 여전히 발전하고 있다.

## 참고 자료

- 1 ASTM C273/C273M-20, "샌드위치 코어 재료의 전단 특성에 대한 표준 시험 방법", ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2020 (최초 발행: 1951년).
- 2 ASTM C297/C297M-16 (2024), "샌드위치 구조의 평면 인장 강도에 대한 표준 시험 방법," ASTM

- International (W. Conshohocken, PA, US), 2024 (1952년 최초 발행).
- 3 ASTM C364/C364M-16 (2024), "샌드위치 구조의 측면 압축 강도에 대한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2024 (1955년 최초 발행).
  - 4 ASTM C363/C363M-24, "벌집형 코어 재료의 노드 인장 강도에 대한 표준 시험 방법," ASTM International(미국 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄), 2024(최초 발행: 1955년).
  - 5 ASTM C393/C393M-20, "보 굽힘을 이용한 샌드위치 구조의 코어 전단 특성에 대한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2020 (최초 발행: 1960년).
  - 6 ASTM D6416/D6416M-16 (2024), "분포 하중을 받는 단순 지지 샌드위치 복합판의 2차원 굽힘 특성에 대한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2024 (최초 발행: 2001).
  - 7 ASTM D7249/D7249M-20, "장축 굴곡을 이용한 샌드위치 구조의 표면 시트 특성에 대한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2020 (최초 발행 2006년).
  - 8 ASTM D7250/D7250M-20, "샌드위치 빔의 굽힘 및 전단 강성 결정을 위한 표준 관행," ASTM International(미국 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄), 2020(최초 발행 2006년).
  - 9 ASTM D8067/ASTM D8067M-17 (2025), "액자형 고정 장치를 사용한 샌드위치 패널의 평면 전단 특성에 대한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2025 (2017년 최초 발행).
  - 10 ASTM D8287/ASTM D8287M-22, "손상된 샌드위치 복합 패널의 압축 잔류 강도 특성에 대한 표준 시험 방법," ASTM International(미국 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄), 2022.
  - 11 ASTM D8388/ASTM D8388M-22, "손상된 샌드위치 구조의 굽힘 잔류 강도 시험에 대한 표준 관행", ASTM International(미국 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄), 2022.
  - 12 ASTM D8453/ASTM D8453M-22, "샌드위치 구조의 개구부 굴곡 강도에 대한 표준 관행", ASTM International(미국 펜실베이니아주 웨스트 콘쇼호켄), 2022.
  - 13 ASTM D8454/D8454M-22, "샌드위치 구조의 개구부 압축 강도에 대한 표준 시험 방법", ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2022.
  - 14 ASTM D8637/D8637M-25, "샌드위치 구조의 모드 I 지배적 표면 시트-코어 파괴 인성 측정을 위한 표준 시험 방법," ASTM International (W. Conshohocken, PA, US), 2025.

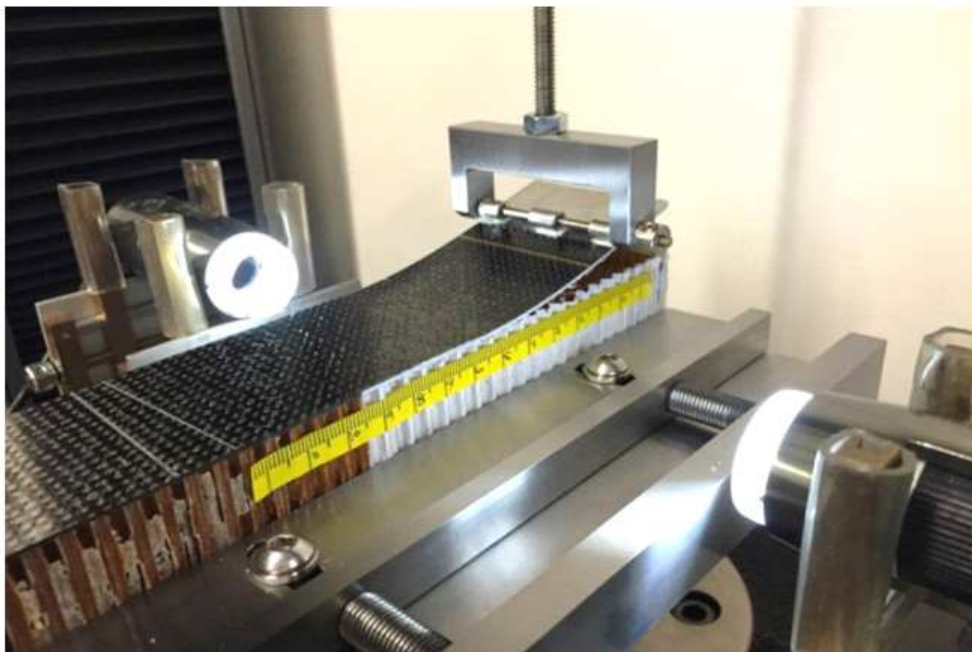


그림 17. 샌드위치 복합소재에 대한 가장 최근의 ASTM 표준 시험 방법인 ASTM D8637 단일 캔틸레버 빔 시험 방법은 2025년 12월에 표준화되었다. 출처 | Dan Adams

## □ JEC World 2026, 복합재 혁신상 최종 수상자 11인 발표(26.01.14.)

※ [Composites World] 수상작들은 재활용, 재생 에너지, 항공우주, 자동차 및 해양 분야를 아우르는 복합재 혁신의 폭넓은 사례 제시 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/top-11-winners-of-jec-composites-innovation-awards-2026>
  - #JEC World 2026
  - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 지난 28년간 매년 JEC 복합재 혁신상은 복합소재의 잠재력을 보여주는 협력적이고 혁신적이며 야심찬 프로젝트를 선정하여 시상해 왔다. 1월 12일 생중계된 시상식에서 JEC 월드 프리미어 공동 진행자 피터 홉우드는 "이 상은 복합재 업계의 오스카상과 같은 위상을 갖게 되었다."라고 말했다. "시작 이후 2,200개 이상의 기업이 이 대회에 참가했으며, 그중 269개 기업과 811개 파트너사가 협력의 우수성과 혁신성을 인정받아 수상의 영예를 안았다."
- 이번 공모전에는 총 154건의 지원서가 접수되었으며, 그중 33명의 최종 후보가 선정되었다. 심사위원단은 복합소재 가치 사슬 전반을 대표하는 국제 전문가들로 구성되어 있으며, 각 부문별 수상자를 선정했다.

## JEC 혁신상 2025 수상자

### 항공우주 - 부품

#### 승자: 푸짐한 TP 윙립

- 미래 항공기 프로그램에 사용될 고하중 열가소성 복합재(TPC) 날개 리브. 다헤르와 파트너사는 특허받은 혁신 공정을 통해 기존 알루미늄 솔루션 대비 탄소 배출 감소 및 경쟁력 강화라는 과제를 해결할 수 있는 혁신적인 설계를 개발했다.
- 회사: Daher(프랑스), Luxembourg Institute of Science and Technology(룩셈부르크), Victrex Plc(영국), Cetim(프랑스), AniForm Engineering BV(네덜란드)



그림 18. 출처 | Daher

## 항공우주 - 프로세스

### 수상: SAUBER4.0 - 스마트하고 지속 가능한 RTM 4.0

- SAUBER4.0은 복잡하고 큰 부품을 위한 전체론적 네트워크 제조 기술 접근 방식으로, 환경적 기준과 경제적 기준을 동등하게 고려한다. 핵심 요소는 디지털화 가능성, 혁신적인 사전 성형 및 금형 기술을 갖춘 RTM 기술의 활용이다.
- 참여 기업: CTC GmbH - Airbus 계열사(독일), Operations GmbH(독일), 브레멘 연구소(독일), DLR(독일), 프라운호퍼 IFAM 및 IWU(독일), Frimo Innovative Technologies GmbH(독일), 헬무트 슈미트 대학교/함부르크 연방군 대학교(독일), KraussMaffei(독일), NAEXT Engineering GmbH(독일), Netzsch Process Intelligence GmbH(독일), Testia GmbH(독일), Siemens(독일), Stadler + Schaaf(독일), Teijin Carbon Europe GmbH(독일)



그림 19. 출처 | CTC GmbH - Airbus 계열사

## 자동차 및 도로 운송 - 부품

### 수상: BMW M 천연 섬유 복합재

- BMW 그룹은 재생 가능한 아마 기반 원료로 만든 양산형 천연 섬유 복합 소재를 선보인다. 다양한 산업 분야와의 협력을 통해 개발된 이 새로운 수지 및 프리프레그 시스템은 습기에 대한 민감성을 극복하여 내구성, 외관 품질 및 가공성을 향상시킨다.
- 참여 기업: BMW 그룹, M GMBH(독일), Bcomp Ltd.(스위스), SGL Technologies GmbH(독일), Cobra Advanced Composites Co. Ltd.(태국), PPG Wörwag Coatings GmbH & Co. KG(독일)



그림 20. 출처 | BMW 그룹

## 자동차 및 도로 운송 - 프로세스

### 수상작: 대량 생산용 플라스틱 전기차 배터리 하우징

- 유리섬유 강화 열가소성 복합재 소재로 제작된 트랙션 배터리 하우징이 개발되었다. 시중에서 구할 수 있는 장섬유 및 연속섬유 반제품을 사용하고 반제품 종류를 줄임으로써 자동화된 대규모 압축 성형이 가능하다. 수명 주기 동안 발생하는 탄소 배출량은 알루미늄 다이캐스팅 방식보다 약 25% 낮다.
- 회사: University of Technology Chemnitz(독일), Mahle Filtersysteme GmbH(독일),

Formenbau GF GmbH(독일), In2p GmbH(독일), Gerlinger Industries GmbH(독일), Wickert Maschinenbau GmbH(독일), Fraunhofer ICT(독일)

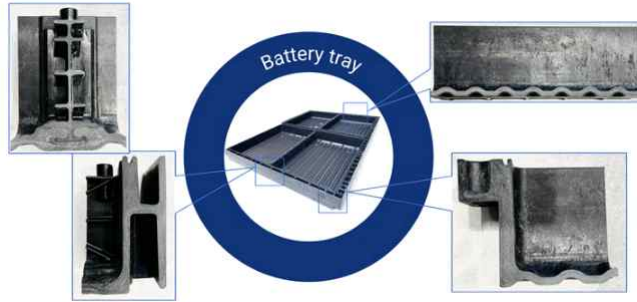


그림 21. 출처 | 캄니츠 공과대학교

### 순환 경제 및 재활용

**수상작: A380의 보조 구조물을 재활용하여 A320 Neo에 적용**

- Airbus, 다헤르, 토레이, 그리고 타맥 에어로세이브는 수명이 다한 A380 항공기의 파일런 커버(세텍스 TC1100 소재)를 재활용하여 새로운 구조 부품으로 만드는 시연을 위해 협력하고 있다. 이 프로젝트는 항공기 부품의 재료를 재사용함으로써 지속가능성을 증진하는 데 기여한다.
- 참여 기업: Toray Advanced Composites(네덜란드), Airbus(프랑스), Daher(프랑스), Tarmac Aerosave(프랑스)



그림 22. 출처 | Toray Advanced Composites

### 디지털, AI 및 데이터

**수상: 항공우주 및 방위산업 분야의 디지털 스레드 혁신**

- 복합재 항공우주 구조물의 수리(및 제조) 과정을 가속화하고 개선하기 위한 완벽한 엔드투엔드 디지털 스레드를 제공한다. 검사부터 설계, 제조, 스카핑, 패치 적용, 그리고 최종적으로 운용 재개 전 품질 검사에 이르기까지 모든 단계에서 데이터를 지속적으로 연결한다.
- 참여 기업: 서던 퀸즐랜드 대학교(호주), Memko(호주), Dassault Systèmes(프랑스), Boeing Australia(호주)

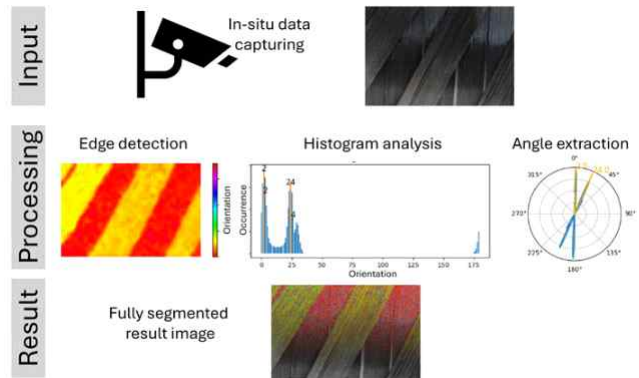


그림 23. 출처 | UniSQ

### 해상 운송 및 조선업

**수상: Co-Propel - 연료 소비를 최소화하는 방법**

- CoPropel의 주요 혁신은 낮은 계산 비용으로 여러 조건에서 피치를 최적화하기 위한 유체역학적 및 기계적 결합, 회전 부품에 SHM 시스템 내장, 그리고 앞전과 뒷전에 충격 보호 기능을 갖춘 네트 형상 RTM 구성 요소 제작과 관련이 있다.
- 참여 기업: Loiretech Ingénierie(프랑스), 이오안니나 대학교(그리스), Danaos Systems(키프로스), Bureau Veritas Marine & Offshore(프랑스), MECA(프랑스), BHSC(불가리아), Glafcos Marine(그리스), TWI(영국), 브루넬 대학교 런던(영국)



그림 24. 출처 | Loiretec Ingénierie

### 파이프, 탱크 및 수소

#### 수상자: LeiWaCo – 액체 수소용 경량 탱크

- 맞춤형 열가소성 매트릭스 라미네이트, 설계 솔루션 및 제조 공정의 시너지 효과를 통해 극저온 미세 균열을 제거하는 복합 LH<sub>2</sub> 탱크 솔루션이다. 기능적 소형 실증기를 통해 검증되었다.
- 회사: CTC GmbH – An Airbus Company(독일), AFPT GmbH(독일), Argo-Anleg GmbH(독일), CompriseTec GmbH(독일), The German Aerospace Center(DLR)(독일), E-Cap Marine GmbH(독일), Faserinstitut Bremen eV(독일), IDVA GmbH(독일), Fachhochschule Nordwestschweiz 고분자 공학 연구소(스위스), Schunk Kohlenstofftechnik GmbH(독일), Suprem SA(스위스), Teijin Carbon Europe GmbH(독일)



그림 25. 출처 | CTC GmbH – Airbus 계열사

### 철도 차량 및 인프라

#### 수상작: 복합재 이중 트렉 캔틸레버

- Composite Braiding Ltd.(CBL)에서 설계 및 제작한 시제품 복합재 이중 궤도 캔틸레버(CTTC)는 대량 생산되는 철도 인프라 구축에 지속 가능한 복합 재료를 사용하는 것이 가능하다는 것을 입증할 뿐만 아니라 명확한 환경적, 경제적 이점을 보여준다.



그림 26. 출처 | Composite Braiding Ltd

- 참여 기업: Composite Braiding Ltd(영국), Amey UK Ltd.(영국), Connected Places Catapult(영국), BCIMO(영국)

## 재생에너지

### 수상작: 차량용 복합 태양광 모듈

- 경량, 고투명, 내충격성 복합 PV 모듈은 유리섬유 강화 폴리머(GFRP) 전면 시트와 탄소섬유 강화 폴리머(CFRP) 샌드위치 후면 시트를 결합하여 50% 이상의 무게 감소, 최적의 광 투과율 및 곡면 차량 표면 통합을 위한 유연성을 제공한다.
- 참여 기업: Metyx(터키), Itech Solar(터키), 중동공과대학교 태양에너지 연구 및 응용센터(터키)

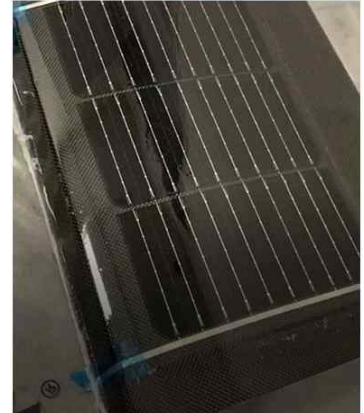


그림 27. 출처 | Metyx

## 스포츠, 레저 및 레크리에이션

### 수상작: 라이프사이클: 수리 가능한 로드바이크

- 이 혁신적인 자전거 프레임은 열가소성 탄소 섬유강화폴리머(CFRP) 프로파일과 티타늄 러그로 제작되었다. 추가적인 접착제나 고정장치 없이 유도 접합 방식으로 결합되며, 가역적인 공정 덕분에 결함이 있는 부품을 제거하고 교체하여 프레임의 수명을 극대화할 수 있다.



그림 28. 출처 | Fenix composites

- 참여 기업: Fenix composites(독일), Alformet GmbH(독일), herone GmbH(독일), hyJOIN GmbH(독일)



그림 29. 출처 | JEC 그룹

## □ 미국 Mars Materials와 NC State, CO<sub>2</sub> 유래 탄소섬유 전구체의 유효성 검증('26.01.14.)

※ [Composites World] 시안화수소가 없고 탄소 배출량이 마이너스인 탄소섬유 대체재는 석유 및 석탄 기반 탄소섬유와 화학적으로 동일한 것 / News

- <https://www.compositesworld.com/news/mars-materials-nc-state-validate-co2-derived-carbon-fiber-precursor>
- #미국 #탄소섬유 #복합소재 #증원군 #지속가능성
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 공익법인인 Mars Materials Inc. PBC,(미국 텍사스주 휴스턴 소재)는 포집된 CO<sub>2</sub>를 일상용품에 저장하는 사업을 하고 있으며, 2026년 JEC 스타트업 부스터 결선 진출 기업이다.
- 이 회사는 노스캐롤라이나 섬유 혁신 엔진(The Textile Innovation Engine of North Carolina)과 노스캐롤라이나 주립대학교(NC State) 의 섬유 전문가들 과 협력하여 CO<sub>2</sub> 에서 추출한 제품을 고품질 탄소섬유 원료로 성공적으로 전환했다.
- 이번 공동 연구를 통해 Mars Materials의 탄소 네거티브 제품이 석유와 석탄으로 만든 기존 화학 물질과 똑같이 작동한다는 사실이 입증되었다. 첫 번째 테스트에서 이 제품은 항공기, 송전선, 자동차 등에 사용되는 고성능 탄소섬유에 필요한 엄격한 기준을 충족했다.
- Mars Materials의 CEO이자 공동 창립자인 아론 피츠제럴드는 "이번 결과는 투자자와 업계에 했던 약속을 지킨 것이다."라고 말했다. "우리는 품질 저하 없이 공기 중에서 탄소섬유를 만들 수 있다는 것을 입증했다. 수용성 고분자의 경우처럼, 첫 시도에 성공함으로써 개발 속도를 높일 수 있었다. 이제 생산량을 늘려 이 중요한 소재의 제조를 미국으로 다시 가져오는 데 집중할 수 있게 되었다."
- 이번 실험은 노스캐롤라이나 주립대학교 윌슨 섬유대학의 자누카 부다토키-우프레티 박사 연구팀이 진행했다. 연구팀은 Mars Materials의 호이겐-C라는 제품을 탄소섬유의 전구체인 폴리아크릴로니트릴(PAN)로 전환했다. 그리고 이를 분석한 결과, 석유와 석탄으로 만든 탄소섬유와 화학적으로 동일하다는 것을 확인했다.
- "화학 구조와 분자량은 시판되는 PAN과 유사하다."라고 노스캐롤라이나 주립대학교의 에리카 포드 부교수는 설명한다. "원하는 공단량체를 무엇이든 첨가할 수 있기 때문에 확실히 기존 소재에 바로 적용할 수 있다. 탄소 발자국을 줄이고자 하는 탄소섬유 제조업체에게 이는 실현 가능한 방안을 제시하는 것이다."

- 이번 인증으로 미군과 같은 주요 탄소섬유 구매업체에 중요한 국내 공급망이 확보되었다. 기존의 오염 유발 방식인 탄소섬유 제조는 불안정한 글로벌 공급망에 의존하고 유독성 폐기물을 발생시킨다. Mars Materials의 PAN 방식은 포집된 CO<sub>2</sub>를 사용하고 시안화수소를 사용하지 않으며 안정적인 복미 공급망을 보장한다.
- 화학적 문제가 해결되었으므로 이제 섬유 방사 및 대량 생산 계획 수립에 집중할 것이다. 관심 있는 상업 파트너 및 투자자는 Mars Materials에 연락하여 협력 방안을 논의하기 바란다.



그림 30. Mars Materials의 창립자인 크리스티안 굽쉬(CTO), 아론 피츠제럴드(CEO), 트레이 세리던(수석 엔지니어)이 호이겐-C를 들고 있는 모습. 출처 | Mars Materials



그림 31. PAN은 노스캐롤라이나 주립대학교와 협력하여 개발되었다.