

## '26.03.16~26.03.22. 글로벌 탄소산업 주요 동향

### □ 프랑스 Toray Carbon Fibers Europe, 프랑스 남서부에 새로운 탄소섬유 생산 시설 가동 시작(26.03.16.)

※ [Composites World] 장기적인 비전은 2026년 하반기부터 6,000톤 규모의 생산 능력을 확보하여 T300 및 고탄성 섬유를 안정적이고 현지에서 공급함으로써 유럽 시장의 수요를 충족하는 것이다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/toray-carbon-fibers-europe-starts-up-new-southwestern-france-carbon-fiber-production-unit>
- #프랑스 #일본 #고성능 #탄소섬유 #복합소재
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- Toray Carbon Fibers Europe(프랑스 라크)은 프랑스 남서부 아비두스(Abidos) 사업장에 새로운 탄소섬유 생산 설비를 가동하기 시작했다고 발표했다. 이 설비는 T300 및 고탄성 탄소섬유를 생산하며, 이를 통해 사업장의 연간 총 생산 능력은 5,000톤에서 6,000톤으로 증가할 예정이다. 새로운 설비는 2026년 하반기에 완전 가동될 예정이다.
- 이 투자는 원래 모회사인 Toray Industries(일본 도쿄)가 유럽에서 안정적인 현지 공급망을 확보하고 Torayca 탄소섬유의 가용성을 강화하기 위한 장기 투자 전략의 일환으로 2023년에 발표한 것이다.
- 유럽 연합의 중심부에서 산업적 입지를 강화하고 있는 Toray Carbon Fibers Europe은 고객에게 다음과 같은 서비스를 제공한다.
  - 배송 시간 단축
  - 산업 유연성 증대
  - 까다로운 프로그램에 대한 향상된 안정성
  - 국제 공급망과 관련된 위험이 크게 감소했다.
- Toray Carbon Fibers Europe는 유럽 최대 규모의 탄소섬유 생산 능력과 가장 폭넓은 제품군(표준 탄성률부터 고탄성률 섬유, 3K부터 24K까지)을 제공하는 것 외에도 포괄적인 기술 서비스를 통해 고객을 지원한다.
  - 추천 및 제품 선택
  - 프로세스에 대한 조언
  - 자격 심사 지원
  - 산업화를 가속화할 수 있는 기술 전문성.
- 이러한 전문성은 기술 센터 및 사내 연구소와의 긴밀한 협력을 기반으로 한다.

Toray는 고객과 협력하여 고객의 성능 요구 사항 및 공정 제약 조건에 가장 적합한 Torayca 광섬유를 정의한다.



그림 1. 출처 | Toray Carbon Fibers Europe

## □ 호주 Cycle Inspect, 산업용 초음파 비파괴 검사를 적용한 복합소재 자전거 검사 손쉽게 수행(26.03.16.)

※ [Composites World] Cycle Inspect의 ASNT 인증 프로그램은 경제적인 쌍결정 초음파 검사 장비와 표준화된 검사 방법을 사용하여 복합소재 자전거 부품의 손상을 감지한다. / Article

• <https://www.compositesworld.com/articles/industrial-ultrasonic-ndt-adaptation-permits-accessible-composite-bicycle-inspection>

- #호주 #자전거 #탄소섬유 #복합소재 #비파괴 검사
- 저자 : 스투어트 미첼, 기고 작가

- 복합소재 손상의 숨겨진 특성은 자전거 업계에 특별한 어려움을 야기한다.
- 호주 뉴사우스웨일스주 뉴캐슬에 위치한 Cycle Inspect(Cycle Inspect)의 공동 창립자이자 비파괴 검사(NDT) 책임자인 크리스토퍼 하우슨은 "탄소섬유강화플라스틱(CFRP) 프레임은 박리, 매트릭스 균열 또는 층 분리와 같은 심각한 내부 손상을 입더라도 표면에는 손상 흔적이 거의 또는 전혀 나타나지 않을 수 있다."라고 말한다. "손상이 발견되지 않을 경우, 사용 중 치명적인 구조적 파손부터 중고 시장에서의 막대한 금전적 손실에 이르기까지 다양한 결과를 초래할 수 있다. 특히 중고 시장에서는 구매자가 판매자로부터 알려지지 않은 구조적 위험을 떠안게 되는데, 판매자조차도 충격 이력을 인지하지 못할 수 있기 때문이다."
- 복합재 자전거의 비파괴 검사(NDT)에 가장 널리 사용되는 기술은 항공우주 산업에서 유래한 탭 테스트라는 가청 검사법이다. 이 검사는 동전과 같은 금속 물체로 복합재를 두드려 둔탁한 소리를 듣고 구조적 이상을 감지하는 방식이다. 하지만 이 방법은 본질적으로 민감도가 떨어지고 일관성이 부족하며, 검사자에 따라 소리를 듣고 해석하는 방식이 다를 수 있다는 단점이 있다.
- C-스캔 단층촬영은 고급 자전거 업계에서 수년간 사용되어 왔지만, 매우 높은 비용 때문에 활용이 제한적이었다. 그 결과, 자전거 업계는 복합소재가 자전거 제작에 널리 사용되기 시작한 이후로 탭 테스트보다 정교한 검사 방법 없이 운영되어 왔다. 또한 항공우주 및 산업용 복합소재 분야에서 기본으로 여겨지는 표준화된 검사 방법, 인증된 기술자, 그리고 이러한 특정 복합소재 구조에 맞게 설계된 장비조차 부족하다.
- Cycle Inspect는 공동 창업자 마이클 빅스의 아버지가 숨겨진 손상이 있는 중고 자전거 프레임을 구입한 것을 계기로 설립된 스타트업이다. 그는 자전거 업계에 비파괴 검사(NDT)가 부족하다. 는 점을 인식하고 이를 해결하기 위해 두 가지 프로그램, 즉 NDT 기초 과정(온라인, 초급)과 CI 인증 과정(집중 교육 및 인증)을 개발했다. 이

프로그램들은 초음파 검사 기법을 적용하고, 미국 비파괴 검사 협회(ASNT)의 SNT-TC-1A 레벨 2 인증 프로그램을 자전거 분야에 특화하여 개발함으로써, 복합소재 자전거의 보급이 확대되고 있는 상황에서 자격을 갖춘 검사 역량이 부족한 문제를 해결하고자 한다.

### 연구 검증 및 시장 시사점

- Cycle Inspect(호주 멜버른) 첫 번째 과제 중 하나는 호주 시드니 켄싱턴에 위치한 뉴사우스웨일스 대학교와 공동으로 진행한 연구 프로젝트의 일환으로 일반 자전거 이용자 298명을 대상으로 설문조사를 실시한 것이었다.

- 이 설문조사를 통해 시장에서 전문적인 비파괴검사(NDT)의 필요성이 확인되었다. 응답자 298명 중 11.4%는 이전에 인지하지 못했던 자전거 결함으로 인해 사고를 경험했다고 답했으며, 이 중 62.5%는 복합소재 부품과 관련된 사고였다. 흥미롭게도 구조 평가를 위한 비파괴검사 방법을 알고 있는 사람은 절반에도 미치지 못했다. 이러한 지식 부족은 사고 후 점검을 받을 가능성이 낮다는 점과 상관관계가 있었다.



그림 2. 복합소재로 만들어진 자전거 프레임과 기타 부품들이 땅에 놓여 있다. 복합소재로 만들어진 자전거 프레임, 바퀴, 포크 및 핸들바는 오늘날 자전거에서 흔히 볼 수 있는 복합소재 구조의 예이다.

- 또한, 설문조사에 참여한 자전거 이용자 중 25%는 정상적인 사용 중 파손으로 인해 복합소재 부품을 교체했지만, 이 중 비파괴검사 방법이 있다는 사실을 알고 있는 사람은 42%에 불과했다.
- 추가 연구를 통해 디킨 대학교(호주 빅토리아주 멜버른)에서 자전거 시장에 적용 가능한 다양한 비파괴 검사(NDT) 방법을 비교 검증했다. 이 연구에서는 복합소재 튜브에 인위적으로 손상을 가하고 탐지 성능을 평가했다. X선 검사는 효과적인 탐지 방법을 제공했지만, 비용, 접근성 및 교육 요건이 자전거 매장에서의 도입에 큰 걸림돌이 되었다.
- 열화상 검사는 가능성을 보였지만, 상당한 후처리 작업이 필요했고 비용 효율적인 장비 구축에 어려움이 있었다. 탭 테스트 방법은 유효성과 견고성이 떨어지는 것으로 나타났다. 최종적으로 초음파 검사가 탐지 능력, 장비 비용, 휴대성 및 교육 접근성 측면에서 최적의 균형을 이루어 자전거 산업 전반에 걸쳐 적용 가능성이 높은 것으로 판단되었다.
- 하우스는 “중고 자전거 시장은 검사 인증에 대한 상당한 수요를 보여준다.”라고 말한다. “현재 외관과 신뢰에 의존하는 중고 프리미엄 자전거 시장은 객관적인 구조 검증이 부족하다. Cycle Inspect는 두 가지 등급으로 나누어 이러한 상황을 재편하

고자 한다. 인증된 프레임은 검증된 구조적 무결성 덕분에 더 높은 재판매 가격과 빠른 회전율을 보장하는 반면, 인증되지 않은 프레임은 해결되지 않은 위험을 반영하여 더 큰 폭의 가격 할인을 받게 된다. 책임 측면에서 볼 때, 인증을 통해 소매업체는 업계 표준에 부합하는 평가 절차를 입증할 수 있으며, 이는 책임을 완전히 면제하는 것이 아니라 오히려 구속력을 부여하고 판매 후 분쟁을 줄이는 데 도움이 된다.”

### 얇은 벽 복합재료용 초음파 검사

- 자전거 프레임 검사의 주요 과제는 일반적인 산업용 복합재 검사와 크게 다르다. 자전거 프레임의 벽 두께는 항공우주 구조물보다 훨씬 얇으며(일반적으로 0.5~3mm), 테이퍼형 단면, 좁은 곡률 반경, 연속적으로 변화하는 프로파일 등 복잡한 형상을 가지고 있다. 송수신에 하나의 변환기 소자를 사용하는 표준 단결정 초음파 프로브는 표면 근처에 사각지대를 만들어 이러한 얇은 재료의 결함을 확실하게 감지할 수 없다.

- Cycle Inspect의 방법론은 이러한 한계를 극복하기 위해 5~10MHz 대역에서 작동하는 이중 결정 프로브를 사용한다. 이 구성은 송신 소자와 수신 소자를 분리하여 데드존 효과를 줄이고 얇고 감쇠가 심한 복합 적층재에서 더욱 깨끗한 신호 분리를 제공한다.



그림 3. 초음파 검사에 앞서 복합 프레임에 대한 육안 검사가 진행되고 있다. 초음파 검사에 앞서 복합 프레임에 대한 육안 검사가 진행된다.

- 고주파수 선택은 표면 근처 해상도를 향상시켜 표면의 첫 몇 겹에 있는 결함을 감지하는데 매우 중요하지만, 침투 깊이는 다소 감소한다. 최대 두께가 5mm를 거의 넘지 않는 자전거 프레임과 같은 용도에서는 이러한 절충이 오히려 유리하다.
- 복합재 부품의 음향 특성은 복잡하다. 초음파가 균일하게 전파되어 일관된 신호를 반환하는 강철과 같은 등방성 재료와 달리, 복합재의 적층된 이방성 구조는 음파 에너지를 산란시킨다. 직조 및 편조 구조는 섬유들이 다양한 각도로 교차하면서 수많은 계면을 생성하여 음파가 여러 방향으로 반사되도록 함으로써 산란을 증가시키고, 결과적으로 방향 의존성이 강한 잡음이 많은 신호를 발생시킨다. 단방향 및 필라멘트 와인딩 적층재는 뚜렷한 방향성을 나타내며, 섬유 방향을 따라 스캔할 때는 계면 검출이 양호하지만 다른 방향에서는 검출이 어렵다.
- 하우스는 “당사의 검사 방법론은 기준선 정규화를 통해 이러한 재료별 문제를 해결한다.”라고 말한다. “제조업체가 거의 공개하지 않는 가정된 적층 구조에서 얻은 절대 진폭 임계값에 의존하는 대신, 기술자는 검사 대상 프레임의 양호한 부분에서

음향 응답 기준선을 설정할 수 있다. 이 내부 기준선은 해당 프레임 구조에 특정한 감쇠, 후면벽 거동 및 적층 반응을 고려한다. 이후 테스트는 일반적인 설정이 아닌 이 기준선을 기준으로 평가되므로 적층 구조를 알 수 없는 경우에도 결함을 감지할 수 있다.”

### 결함 음향 신호

- 제조 결함과 사용 중 손상을 구분하려면 다양한 결함 유형이 초음파와 어떻게 상호 작용하는지 이해해야 한다. 가공, 공극, 가교 결함과 같은 제조 과정에서 발생하는 특징은 일반적으로 전체 감쇠 및 후방 산란의 분포된 증가를 초래한다.

- 실제로 이는 깊은 계면에서 반사되는 일관성 있는 에너지가 감소된 잡음이 섞인 A-스캔으로 나타나며, 단일하고 날카로운 반사체로 나타나기보다는 넓은 영역에 걸쳐 퍼져 있는 형태로 나타난다. 수지 부족으로 인해 층 사이의 습윤이 불완전해지는 가교 결함은 특히 급격한 곡률 반경이나 접합부와 같은 형상 변화 부위에서 투과 특성의 국부적인 변화로 나타난다.



그림 4. 기술자가 장착된 복합 프레임에 초음파 검사를 실시하고 있다.

- 사용 중 발생한 손상은 확연히 다른 특징을 나타낸다. 박리는 손상 경계면 너머에 특징적인 음영을 동반하는 깨끗하고 평평한 반사를 생성한다. 이는 분리된 층 아래 물질에서 되돌아오는 에너지가 감소했음을 의미한다. 이러한 특징은 분산된 산란이 아닌 명확한 경계면을 나타내기 때문에 재스캔 시 높은 재현성을 보인다. 섬유 파손 및 매트릭스 균열은 국부적인 산란 변화를 발생시키며, 손상 방향으로 인해 스캔 방향에 따라 달라지는 경우도 있다. 이러한 손상은 명확한 경계면을 형성하지 않는 한 깨끗한 반사파가 아닌 변형된 후방 산란으로 나타난다.
- 하우슨은 "얇은 복합재료의 경우, 제한 요소는 장비 성능이 아니라 재료 산란 및 표면 근처 효과인 경우가 많다."라고 말한다. "일반적으로 최소 검출 가능 크기는 프로브 파장의 절반 정도이지만, 침투 깊이를 희생하더라도 더 작은 결함을 검출할 수 있는 더 높은 주파수도 효과적일 수 있으므로 프로브 선택 및 설정 매개변수가 매우 중요하다."
- 검사 프로토콜은 단일 특징에만 의존하지 않는다. 위치, 방향 및 반복 스캔 간의 패턴 일관성이 분류의 기초가 되며, 가능한 경우 육안 관찰을 통해 이를 검증한다. 최소 검출 가능 결함 크기는 적층 구조, 두께, 곡률, 접근성, 접합 품질, 결함 유형 및 깊이에 따라 검출 가능성이 달라지기 때문에 보편적으로 분류할 수 없다.

### 산업 표준 적용

- Cycle Inspect의 인증 프로그램은 원래 산업용 비파괴 검사를 위해 개발된 ASNT SNT-TC-1A 표준을 자전거 관련 요구 사항에 맞게 적용한다. 이 프레임워크는 교육, 시험 및 역량 관리를 위한 자격 체계를 제공하며, 얇은 벽의 한계, 곡선형 형상의 문제점, 소비자 제품에 대한 의사 결정 기반 보고 등의 내용을 추가로 다룬다.

- 본 인증 프로그램은 복합재 구조, 이방성 적층 매체 내부의 파동 거동, 일반적인 결함 유형, 파손 모드 및 방법의 한계 등을 다루는 자기 주도형 온라인 콘텐츠와 호주 뉴캐슬(또는 협의를 통해 해외)에서 진행되는 3일간의 집중적인 현장 실습 교육으로 구성된다. 실습 평가에서는 응시자가 올바른 장비 검증 절차를 시연하고, 미지의 적층 구조에 대한 기준선 설정, 상세한 형상에 대한 반복 가능한 스캔, 비파괴 검사 결과 및 징후의 적절한 분류, 그리고 참조 복합재 샘플과 실제 생산 자전거 프레임 모두에 대한 문서화 및 적합성을 입증해야 한다.



그림 5. 초음파 스캐너가 A-스캔 파형을 표시하는 모습. 초음파 스캐너는 지하 이상 징후를 나타내는 A-스캔 파형을 표시한다.

- 초음파 검사에서 해석의 주관성으로 인해 지속적인 과제로 남아 있는 비파괴 검사(NDT) 작업자 간의 신뢰성은 Cycle Inspect의 프로세스를 통해 관리된다. 이 프로세스는 스캔 대상 부품, 스캔 범위 패턴 및 방법, 장비 및 스캔 설정에 대한 문서화된 검증, 기준선 정규화 절차, 그리고 보고 대상 이상 징후에 대한 반복 스캔 기법을 표준화한다.
- 하우슨은 “초음파 검사 자체는 주관적이지 않는다.”라고 말한다. “재료 내부에서 음파의 거동과 그로 인해 발생하는 신호는 잘 알려진 물리적 원리를 따른다. 변동성은 검사 설정, 검사 범위 또는 판정 규칙이 제대로 정의되지 않았을 때만 발생한다.”
- 하지만 여전히 중대한 한계점이 존재한다. 현재 복합소재 자전거 부품에 대한 합격 기준이 없어 합격/불합격 기준에 대한 업계의 합의가 이루어지지 않고 있다. 공인 기술자는 구조 엔지니어가 아닌 검사관으로서 잠재적인 문제점을 소유자에게 알릴 수는 있지만, 제조업체의 의견 없이는 구조적 적합성을 최종적으로 판단할 수 없다.

### 알고리즘 기반 위험 플랫폼

- Cycle Inspect는 자사의 인증된 비파괴 검사(NDT) 전문가들이 복합소재 자전거 구조 손상을 기록, 모니터링 및 보고할 수 있도록 설계된 웹 기반 플랫폼인 Compass를 개발했다. 이 플랫폼을 통해 기술자는 공간적 맥락 및 손상 이력과 관련된 손상 징후를 기록할 수 있을 뿐만 아니라 손상 데이터에서 더 폭넓은 통찰력을 얻을 수 있다.

- Cycle Inspect는 특정 알고리즘과 특징 가중치가 독점 기술임에도 불구하고, 시스템이 표시 특성, 공간 패턴, 반복성, 하중 경로 및 응력 집중과 관련된 위치 맥락, 그리고 과거 검사 결과를 고려한다고 설명한다. 그런 다음 플랫폼은 보수적인 엔지니어링 논리를 적용하여 제조업체 설계 데이터가 없는 경우 더 엄격한 결정 규칙을 적용함으로써 적절한 안전 여유를 확보한다.

- 이 시스템은 단계별 구조에 따라 권장 사항을 제시하는 데 도움을 줄 수 있다. 평면 분리 또는 점진적 손상 메커니즘과 일치하는 징후가 발견되면 수리 또는 교체를 고려해야 하는 단계로 넘어가고, 신뢰도가 낮거나 결과가 경미한 경우에는 정해진 재검사 간격으로 모니터링을 실시한다. 구조물의 잔존 수명은 수치적으로 예측하지 않는다. 대신, 시스템은 징후의 심각도, 범위, 반복성 및 위치 중요도의 조합을 분석한다. 이 데이터는 기술자가 수리 방안을 제시하는 데 필요한 근거를 제공한다.



그림 6. Cycle Inspect Compass 사용자 인터페이스. 이 인터페이스는 인증 교육 및 초음파 검사 기록에 사용된다.

- Cycle Inspect의 데이터 및 연구 책임자인 앤드류 노박 박사는 “첫 번째 정기 점검 시 사소한 문제가 발견될 수 있지만, 두 번째 점검 시까지 문제가 악화될 수 있다.”라고 설명한다. “시간 경과에 따른 손상 진행 상황을 추적하지 않으면 어떻게 그 진행 상황을 파악할 수 있겠습니까? 이 시스템은 바로 그러한 추적을 가능하게 한다.”

### 실현 가능한 자전거 매장 서비스, 향후 발전 방향

- Cycle Inspect 시스템을 이용한 일반적인 종합 초음파 프레임 검사는 문서 작성 시간을 포함하여 45분에서 120분이 소요되며, 교육 비용을 제외하고 6,000~7,000 호주 달러(약 546~637만 원)의 장비 투자 비용이 필요하다. 이러한 투자를 통해 초음파 검사는 독립 자전거 매장과 출장 정비업체에서도 활용 가능한 서비스가 되며, 기존에는 전문 복합재 수리 시설에만 국한되었던 기술을 대중화할 수 있다.
- 해당 인증 프로그램은 2025년 10월에 공식적으로 시작되었으며, 현재 호주 뉴캐슬에서 실습 교육이 제공되고 있다(해외 교육은 별도 협의). Cycle Inspect는 또한 정식 자격증 취득 없이 핵심 지식을 습득하고자 하는 자전거 이용자와 업계 전문가를 위한 저렴한 입문 프로그램인 NDT 기초 과정도 제공한다.
- 제품의 미래에 대해 말하자면, Cycle Inspect는 머신 러닝을 다음 단계로 삼고 있다.

노박은 "머신 러닝은 분류 일관성을 향상시키고 작업자 간의 편차를 줄일 수 있지만, 이는 검증된 학습 데이터에 달려 있으며, 이를 위해서는 다양한 프레임 구조와 손상 유형에 걸쳐 상당한 양의 데이터를 수집해야 한다."라고 말한다. "이를 통해 사용자는 손상 식별부터 예상되는 수리 요구 사항까지 안내받을 수 있을 것이다."

- Cycle Inspect(Cycle Inspect)가 도입하는 근본적인 변화는 개별 자전거 프레임의 박리 현상을 감지하는 것을 넘어섭니다. 표준화된 검사 방법, 접근 가능한 장비 사양, 그리고 인증된 전문가 네트워크를 통해 Cycle Inspect의 비파괴 검사 기초(온라인, 초급) 및 CI 인증(집중 교육 및 인증) 프로그램은 자전거 업계에 지금까지 부족했던 구조적 안전 검증 인프라를 구축한다. 주요 고장을 예방하고, 중고 거래의 신뢰성을 높이며, 라이더에게 장비 상태에 대한 객관적인 정보를 제공하는 등, 산업용 초음파 검사법을 얇은 복합 구조물에 적용함으로써 매년 수천 명의 자전거 이용자에게 영향을 미치는 안전 문제를 해결할 수 있다.



그림 7. 복합재 프레임 표면의 손상 여부를 확인하기 위해 초음파 탐침을 사용한다. 복합소재 프레임 표면의 손상 여부를 초음파 탐침으로 검사한다. 출처 | Cycle Inspect

## □ 미국 Uavos, 자체 제작한 경화 오븐을 사용한 고품질 복합재 UAV 로터 블레이드 생산(26.03.16.)

※ [Composites World] Uavos의 품질 보증 장비를 통해 최대 3,000시간의 연장된 수명을 달성했으며, 이 장비는 판매용일 뿐만 아니라 Uavos 자체의 항공우주 등급 생산에도 사용된다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/uavos-enables-quality-composite-uav-rotor-blades-using-in-house-manufacturing-curing-ovens>
  - #미국 #항공우주 #첨단 항공 모빌리티 #탄소섬유 #복합소재 #시장
  - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 무인항공시스템(UAS) 및 성층권 기술 분야 기업인 Uavos(미국 델라웨어주 도버)는 무인 헬리콥터용 고성능 복합재 로터 블레이드의 추가 생산에 성공했다고 발표했다.
  - 이번 생산 공정의 핵심 장비는 Uavos가 자체적으로 설계, 제조 및 품질 관리를 모두 담당한 Uavos Oven-500-2000 복합재 경화 오븐이다. Uavos에서 생산한 로터 블레이드는 이미 UAV 업계에서 내구성과 안전성을 입증했으며, 최대 3,000시간의 수명을 제공한다.
  - 이러한 수준의 성능을 구현하기 위해 Uavos 엔지니어들은 Oven-500-2000을 사용하여 정밀하게 경화시킨 다층 탄소섬유 복합재 기술을 적용한다. 블레이드 코어는 승인된 항공 등급 폼으로 가공되어 최적의 강도 대 무게비를 보장하며, NACA 23012 에어포일 프로파일은 높은 공기역학적 효율성을 제공한다. 극한 환경에서의 운용을 위해 헬리콥터 블레이드 앞전에는 선택 사양으로 스테인리스 스틸 인서트가 통합되어 침식 및 충격에 대한 보호 기능을 강화한다.
  - Uavos의 복합재 경화 오븐은 단순히 판매용 제품이 아니라, 회사 자체의 고난도 생산 라인에서 성능이 입증된 장비이다. 프리프레그 복합재 부품 경화부터 고온 금형 후경화에 이르기까지, Uavos의 오븐은 항공우주, 해양, 자동차 및 연구 개발 분야의 복합재 응용 분야에 적합하다.
  - Uavos의 창립자 겸 CEO인 알리악세이 스트라칠라타우는 “우리는 헬리콥터의 비행을 책임지는 핵심 부품들을 경화시키는 데 오븐-500-2000을 사용한다.”라고 말하며, “만약 이 제품이 Uavos의 항공우주 등급 비행 필수 부품 요건을 충족한다면, 고객들도 자사의 중요 복합재 응용 분야에 이 제품을 믿고 사용할 수 있을 것이다.”라고 덧붙였다.
  - Oven-500-2000은 엄격한 규정 준수와 제조 관리로 차별화된다. 이 오븐은 CE 마크

를 획득하여 필수적인 EU 보건, 안전 및 환경 요건을 완벽하게 준수한다.

- Uavos는 모든 제품을 자체적으로 제조하고 품질을 보증한다. 이러한 수직적 통합을 통해 공장에서 출고되는 모든 오븐은 Uavos 무인 항공기 생산에 사용되는 것과 동일한 엄격한 기준을 충족한다.



그림 8. 복합소재 로터 블레이드 4개. 출처 | Uavos Inc.

## □ 일본 IST, 극한 환경에서도 팽창하는 폴리이미드 섬유 플랫폼 개발 (26.03.17.)

※ [Composites World] 이 회사의 Imidetex 섬유 플랫폼의 진화된 형태는 음의 열팽창, 가스 방출 제로, 진동 감쇠 기능을 결합하여 항공우주, 우주 시스템 및 기타 까다로운 환경에서 정밀 구조물을 지원한다./ News

• <https://www.compositesworld.com/products/ist-polyamide-fiber-expands-to-extreme-environments>

• #일본 #항공우주 #탄소섬유

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

- Industrial Summit Technology Corp.(IST, 일본 시가현 및 미국 뉴저지주 팔린 소재)는 2025년에 출시한 폴리이미드 섬유인 Imidetex가 우주, 항공우주 및 첨단 모빌리티와 같은 극한 환경에 맞게 설계된 다기능 소재 플랫폼으로 진화한 과정을 강조하고 있다.
- 정밀한 치수 제어, 음의 열팽창 특성(음의 CTE), 가스 방출 제로 및 최적의 진동 감쇠 특성을 갖춘 Imidetex Composites 플랫폼은 고정밀 복합 구조물을 설계하는 엔지니어에게 최적의 솔루션을 제공한다.
- 이 섬유는 기존 탄소섬유 또는 유리섬유 프리프레그 시스템에 통합될 수 있으며, 줄무늬 패턴으로 배치하거나 열팽창이 제어된 하이브리드 적층 복합재를 만드는 데 사용할 수 있다. 기존의 양의 열팽창 계수(CTE)를 가진 섬유와 정밀하게 결합하면 새로운 차원의 치수 안정성을 제공할 수 있다고 IST는 보고했다.
- 가스 방출이 전혀 없으며, 이는 진공 환경에서 사용되는 재료에 매우 중요한 특성이다. 복합재 가공 과정에서, 다른 섬유 및 수지와 결합되더라도 이 재료는 휘발성 물질을 방출하지 않는다. 따라서 주변 재료가 원래의 특성을 그대로 유지하여 간섭을 받지 않으므로, 다양한 복합재 구성 요소와의 안정적인 동시 가공이 가능하다.
- 마찬가지로 중요한 점은 완성된 복합재료가 수명 기간 동안 가스를 배출하지 않는다는 것이다. 이러한 특징 덕분에 Imidetex는 우주 시스템, 반도체 제조 장비, 정밀 광학 시스템 및 기타 고성능 기술을 포함하여 진공 조건에서 매우 깨끗하고 안정적인 재료 특성이 요구되는 응용 분야에 특히 적합하다.
- 이 특성은 지상 테스트뿐만 아니라 국제 우주 정거장(ISS)에서 진행된 회사 제품인 투명 무보강 폴리이미드 필름 '토르메드'의 우주 노출 테스트를 통해 검증되었다.
- 진동 감쇠. 알루미늄, 순수 CFRP 및 강화 CFRP와 동일한 가진 조건에서 Imidetex 강화 구조는 진동 진폭을 감소시키는 것으로 나타났으며, 이는 동적 안정성이 중요

한 응용 분야에서의 잠재력을 입증한다.

- 추가적인 주요 기능은 다음과 같다.
  - 탄소섬유보다 밀도가 낮다.
  - 유리섬유에 비해 최적의 무선 주파수 투과율을 제공하며, 통신에 민감한 구조물에 이상적이다.
  - 반복적인 스트레스와 충격에 대한 내구성을 향상시키기 위해 높은 충격 저항성을 제공한다.
  - 유연한 통합으로 탄소섬유, 유리섬유 또는 석영섬유와의 다양한 하이브리드화가 가능하다.
  
- IST의 사장 겸 CEO인 사카네 토시코는 "IST의 사명은 불가능을 가능하게 만드는 것이다."라고 말하며, "폴리이미드 화학 분야의 깊이 있는 전문 지식과 응용 중심의 엔지니어링을 결합하여 설계자에게 더 큰 자유, 다기능 성능 및 지구와 우주의 가장 까다로운 환경에서도 신뢰성을 제공하는 소재를 개발한다."라고 덧붙였다.

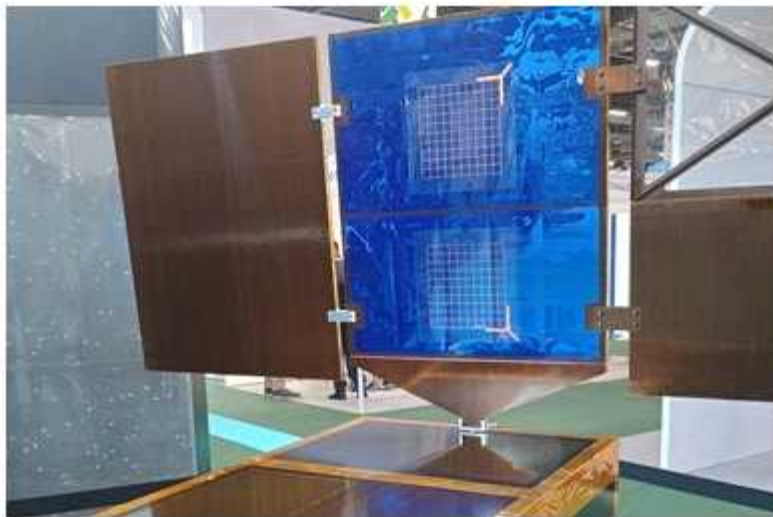


그림 9. IST JEC World 2026 부스에 전시된, 위성에 사용된 Imidetex의 한 예. 출처 | IST Corp.

## □ 안도라 Sport Dynamics Lab, 동적 디지털 트윈 통해 복합재 성능 최적화(26.03.18.)

※ [Composites World] Sport Dynamics Lab는 Flexdynamics 테스트, 디지털 모델 및 AI 도구를 사용하여 설계, 재료 및 시스템을 비교하고, 프로펠러, 드론 및 진동 구조물에 적용 가능한 최적화를 가능하게 한다. / News

• <https://www.compositesworld.com/articles/dialing-in-composites-performance-via-dynamic-digital-twins>

- #안도라 #스포츠 #탄소섬유 #복합소재 #시험 #설계/시뮬레이션 #설계 및 툴링
- 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장

- 복합소재는 스포츠계에서 여전히 중요한 역할을 하고 있다. 새로운 소재 덕분에 더 가볍고, 더 강하고, 더 내구성이 뛰어난 맞춤형 스키, 자전거, 보슬레이, 서핑보드, 야구 방망이, 라켓, 골프채, 패들, 폴, 하키 스틱, 헬멧, 신발 등을 제작할 수 있게 되었다. 한편, 스포츠 분야에서 지속가능성에 대한 요구가 증가하고 있지만, 제조업체는 성능 향상과 균형을 맞춰야 한다. 그리고 그 성능은 단순히 장비 자체에만 달려 있는 것이 아니라, 선수가 장비와 어떻게 상호작용하는지에 따라 달라진다.
- Sport Dynamics Lab(안도라)은 성능 평가에 대한 새로운 접근 방식을 제시한다. 표준화된 정적 테스트를 넘어 장비의 동적 반응을 측정하고, 이를 선수 원격 측정 데이터 및 기타 센서 데이터 세트와 결합하며, 인공지능(AI)을 적용하여 상관관계와 실행 가능한 인사이트를 제공한다. 또한, 이 데이터를 기반으로 보정된 디지털 트윈을 제작하여 장비 성능 예측의 정확성을 검증하고, 프로토타입 개발 및 평가 속도를 향상시킨다.
- Sport Dynamics Lab의 설립자인 알렉스 헝거는 10년 이상 Mavic, Salomon, Niedecker 그룹과 같은 브랜드 및 엘리트 프로팀과 함께 이 기술을 개발하고 발전시켜 왔다.
- 그는 "우리는 동적 테스트, 현장 원격 측정 및 모델링을 결합하여 팀과 제조업체가 증거에 기반한 성능 관련 의사 결정을 내릴 수 있도록 지원한다."라고 설명한다. "제조업체의 경우, 이러한 복잡한 시스템에서 실제로 무슨 일이 일어나고 있는지 이해하고 제품 설계를 개선하고 재료를 최적화하는 데 도움이 되는 객관적인 비교를 가능하게 한다. 특허받은 Flexdynamics 테스트와 '경험적 디지털 트윈 루프' 워크플로를 통해 추측과 '느낌'을 정확한 데이터로 전환하여 성능 측정 및 이해 방식을 혁신하고 있다."
- 그는 또한 이러한 접근 방식을 스포츠를 넘어 드론과 같은 분야, 특히 프로펠러 블레이드와 날개처럼 동적 반응이 성능과 내구성에 중요한 역할을 하는 분야에도 확

장할 수 있는 잠재력이 있다고 본다.

### 3점 굽힘만으로는 불충분

- 스노보드와 스키 업계에서 거의 모든 제조업체는 성능 평가를 주로 정적 강성과 유연성에 기반한다고 헝거는 말한다. "스노보드가 좋은 품질이고 부러지지 않을지 어떻게 알 수 있을까? 3점 굽힘 테스트를 하고, 값이 특정 범위 내에 있으면 괜찮다고 판단한다."라고 그는 설명한다. "하지만 우리는 동일한 강성을 가진 스키를 테스트해 봤다. 슬로프에서 선수들은 '이건 정말 좋지만 저건 별로야'라고 말하죠. 선수들이 '느끼는' 것은 정적인 특성이 아니라 동적인 거동이다. 우리는 강성이 거의 같은 많은 스키들이 비틀림과 굽힘에 대한 감쇠 반응에서 매우 다르게 나타나는 것을 확인했다."
- 감쇠란 시간이 지남에 따라 시스템 내 진동이 감소하는 현상이다. 스포츠 장비의 경우, 이러한 진동은 운동 에너지 입력으로 인해 발생하며 구조 재료의 감쇠 작용으로 소산된다. 하지만 사용 중에는 마찰이나 공기 저항과 같은 다른 요인도 작용할 수 있다. "스키어나 스노보더가 반응성에 대해 이야기할 때, 그것은 실제로 비틀림 감쇠를 의미한다."라고 헝거는 말한다. "우리는 Niedecker 그룹과 함께 진행한 대규모 상관관계 연구에서 이를 명확하게 확인할 수 있었다."
- 그는 또한 자전거 휠 및 림 제조업체인 마빅과 함께 진행한 연구 결과를 언급했다. "동일한 디자인과 치수를 가진 알루미늄 휠과 풀 카본 파이버 복합소재 휠을 비교한 테스트에서, 측면 거동은 강성보다는 감쇠와 더 강한 상관관계를 보였다." 휠의 측면 거동은 성능에 매우 중요하며, 안정성과 핸들링은 물론 라이더의 동력을 자전거로 효율적으로 전달하는 데에도 영향을 미칩니다.
- "스포츠에서는 시스템이 특정한 방식으로 작동한다는 믿음이 있지만, 실제로 그 시스템이 물리적으로 어떻게 작용하는지 측정하는 사람은 거의 없다."라고 헝거는 말한다. "우리는 데이터를 수집하고 분석하여 상관관계를 파악하고 더 나은 결정을 내릴 수 있도록 함으로써 실제로 무슨 일이 일어나고 있는지 밝히려고 노력하고 있다."

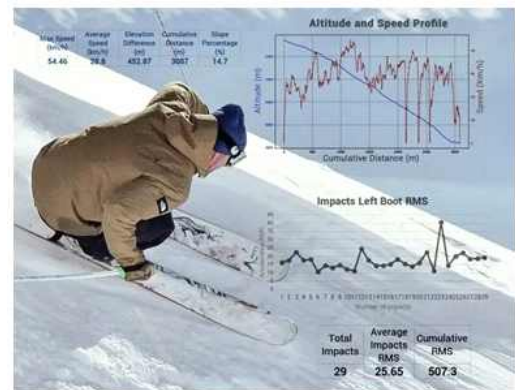


그림 10. Flexdynamics의 실험실 테스트 데이터와 스키어 및 스키에 대한 원격 측정 데이터가 결합된 데이터이다. Sport Dynamics Lab는 실험실 테스트 결과와 정밀 GPS, 가속도계 및 기타 센서에서 얻은 실제 사용 중 원격 측정 데이터를 결합하여 동적 동작을 데이터로 변환한 다음 AI 도구를 사용하여 통찰력을 얻는다.

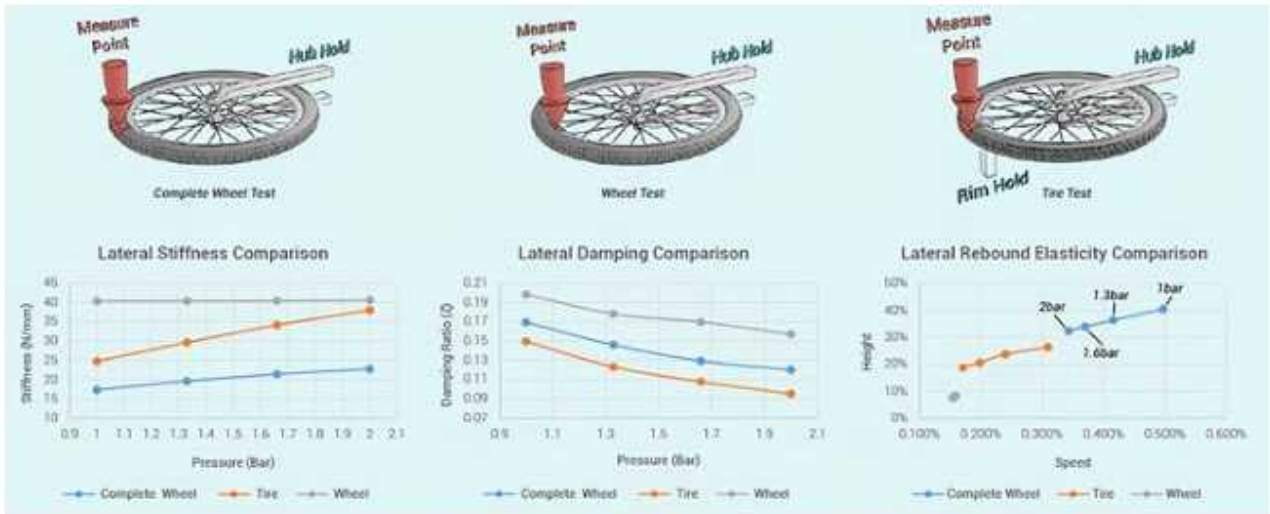


그림 11. 자전거 휠의 림 및 타이어 테스트를 포함한 횡방향 거동 연구

### 해결책 개발

- 헝거는 연구 개발 분야에서 20년의 경력을 가지고 있다. "첫 직장은 산업 디자이너 겸 엔지니어였는데, 롤스로이스와 애스턴 마틴의 인테리어를 개발하고, 의료 산업용 폐활량 측정 장치 개발, 필립스의 조명 개발 등을 담당했다. 그리고 이 모든 일을 하면서 항상 직접 기계를 만들었다. 한 프로젝트에서는 열성형이 필요해서 진공 성형기와 소형 사출 성형기를 직접 제작하기도 했다."
- "서핑보드에 더 지속 가능한 소재를 개발하려고 노력하면서 진동 감쇠의 중요성을 깨닫게 되었다."라고 그는 말을 이었다. "그리고 몇 가지 테스트 방법이 필요하다는 것을 알게 되었다. 그래서 3점 굽힘 시험기와 비슷한 장치를 만들었는데, 팔 부분이 휘어지도록 설계했다. 팔을 빠르게 놓으면 보드가 튕겨 오르면서 진동 감쇠 효과를 확인할 수 있도록 했고, 그 후 소프트웨어를 개발해서 양질의 데이터를 반복 가능한 방식으로 얻을 수 있었다. 그게 2018년이였다."
- 헝거는 Flexdynamics라는 기술을 특허 등록했다. 그는 "이 기술은 실제 사용 중 발생하는 물리적 현상에 대한 데이터를 기반으로 한다."라고 설명하며, "목표는 제품 사용 방식에 최대한 가깝게 접근하되, 정확하게 측정 가능하고 반복 가능한 방식으로 구현하는 것이다."라고 덧붙였다.
- 그다음 가장 어려운 부분은 데이터의 물리적 원리, 특히 수학적인 측면을 이해하는 것이었다. 회사를 발전시키면서 원격 측정 기술도 구축했다. 센티미터 수준의 GNSS(GPS를 포함하는 글로벌 위성 항법 시스템)를 실시간 보정 기능과 함께 사용하고 있으며, 운동선수 훈련에 표준으로 사용되는 장비도 갖추고 있다. 실제 사용에서 얻은 이러한 데이터 또한 중요하다.
- 예를 들어, 스키나 자전거 프레임에 부착된 가속도계는 다양한 지형과 속도에서 발생하는 진동을 포착하는데, 이는 서로 다른 주파수 성분으로 나타난다. 이러한 데이

터를 실험실 테스트 결과와 비교 분석함으로써 더 나은 이해를 얻을 수 있다.

- 헝거는 여전히 전체적인 접근 방식을 조화롭게 만들어 가치를 창출해야 한다는 필요성을 절감했다. "우리는 정확한 데이터를 가지고 있었고, 그 데이터는 물리적 현상을 이해하는 데 도움이 되었지만, 의미를 부여할 수 있는 방식으로 분석하고 시각화해야 했다." Sport Dynamics Lab은 현재 연구 개발, 테스트 및 결과 해석을 포함한 다양한 서비스를 제공한다. "우리는 남아프리카공화국, 프랑스, 스위스에서 아시아에 이르기까지 스포츠 장비 브랜드와 OEM 업체부터 팀 및 개별 선수에 이르기까지 다양한 고객을 보유하고 있다."

### 작동 방식

- 헝거는 스키 평가 방법을 예로 들어 설명한다. "스키가 사용 중일 때 접촉점이 어디인지 파악하고, 그 접촉점이 기계에서 스키를 지지하는 두 개의 베이스가 된다. 이 고정점에서는 스키가 위아래로 움직일 수 없지만, 다른 부분에서는 자유롭게 움직일 수 있다. 그런 다음 로딩 암을 스키 바인딩이 위치할 곳으로 이동한다. 소프트웨어를 사용하여 암이 아래로 2mm에서 30mm까지 이동하도록 설정한다. 이 설정값에 도달하면 1초 미만 동안 멈추고 가해진 힘의 크기를 기록한 다음 놓다. 스키는 이에 반응하여 진동한다."
- 기계에 장착된 센서는 진동이 멈출 때까지 초당 약 240개의 샘플로 진동을 기록한다. "소프트웨어는 초기 변위의 허용 오차인  $\pm 1\text{mm}$  이내에서 10회 반복될 때까지 테스트를 수행한다."라고 그는 설명한다. "그 후, 일반적으로 스키의 앞쪽과 뒤쪽 부분을 테스트한다. 그런 다음 암을 들어 올려 비틀림 테스트를 진행한다. 먼저 접촉점과의 각도와 가해진 비틀림력을 기록한 다음, 비틀림을 가한 상태에서 동일한 감쇠 테스트를 10회 반복한다. 모든 데이터는 기록된 후 AI 도구를 사용하여 데이터를 필터링하고 패턴을 식별하며 객관적인 피드백을 제공하는 방식으로 분석된다. 제 목표는 AI가 데이터를 통해 학습하도록 하는 것이다."
- 왜 비틀림일까? "비틀림은 스키나 스노보드의 감쇠 특성을 변화시키기 때문이다."라고 헝거는 설명한다. "그리고 상관관계 연구에 따르면 이것이 바로 선수들이 느끼는 부분이다. 비틀림을 고려하지 않은 Flexdynamics 테스트는 선수들의 평가와 상관관계가 거의 없었다. 하지만 완벽한 감쇠 및 비틀림 데이터를 통해 두께, 디자인 또는 소재의 변화가 장비 성능에 어떤 영향을 미치는지 파악할 수 있다."

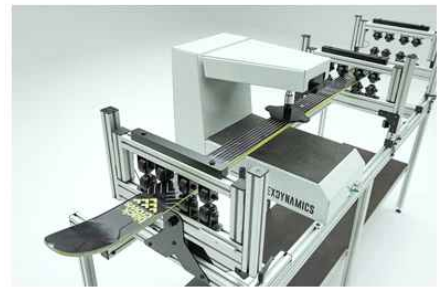


그림 12. Flexdynamics 기계로 스키를 테스트하는 모습. Flexdynamics 장비에서 테스트 중인 스키.

### 초기 반응, 에너지 소산, 복잡계

- Sport Dynamics Lab에서 테스트하는 제품들은 일반적으로 감쇠가 약한 시스템처럼

작동한다. 즉, 외부 충격 후 진동하다가 결국 안정되는 특성을 보인다. "이러한 시스템에서 가장 유용한 정보는 종종 반응의 시작 부분에서 나타난다."라고 헝거는 말한다. "첫 번째 반동 피크는 간단한 반동(오버슈트) 비율을 제공한다. 예를 들어, 스키를 아래로 10mm 변위시킨 후 놓았을 때 위로 5mm 반동하면 반동 비율은 50%이고, 7mm 반동하면 70%이다."

- "첫 번째 봉우리는 구조물이 얼마나 빨리 원래대로 돌아오는지도 보여준다. 두 스키의 정적 강성이 같더라도 하나는 더 빨리 반동할 수 있다. 이러한 '반동' 타이밍은 선수들이 '팝' 또는 반응성이라고 표현하는 것과 밀접한 관련이 있다. 이는 빠른 수직 상승과 회전이 필요한 스노보드 및 스케이트보드 동작에 특히 중요하다."
- "첫 번째 피크 이후에는 진동이 어떻게 감소하는지, 그리고 시스템이 얼마나 많은 에너지를 소산시키는지도 정량화한다."라고 헝거는 말한다. "실제 장비에서 이러한 감소는 종종 '유효' 감소를 의미한다. 즉, 재료 자체의 감소뿐만 아니라 인터페이스, 마찰, 조립체, 그리고 일부 제품의 경우 타이어나 바인딩 시스템에서 발생하는 손실까지 포함한다. 이를 실질적으로 활용하기 위해, 우리는 에너지 흡수 및 제어를 반영하는 지표를 추출하는데, 이는 자전거 핸들과 같은 부품에서 핵심적인 특성이다."
- 핸들바는 여러 개의 튜브와 기타 부품으로 구성된 단순한 시스템이 아니지만, 자전거 바퀴는 훨씬 더 복잡하다. 헝거는 이렇게 설명한다. "스포크 장력, 스포크와 림의 재질 차이, 림 단면, 타이어, 타이어 공기압, 케이싱 두께 등 상호 작용하는 변수가 많다. 각 제조업체는 자사 부품의 문제를 해결하려고 노력하지만, 라이더는 시스템 차원의 동적 반응을 경험하게 된다."

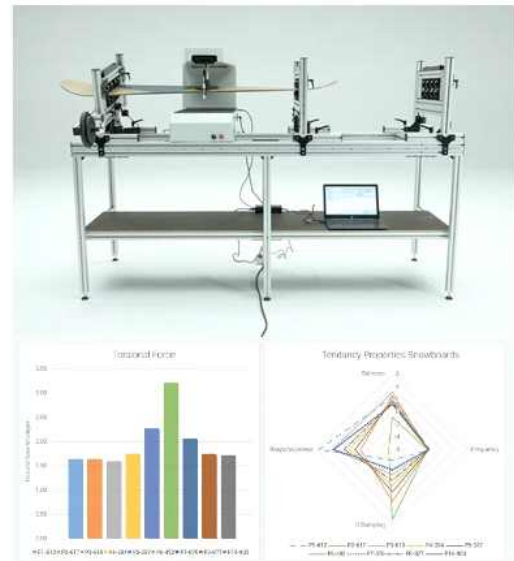


그림 13. (위) Flexdynamics 시스템을 사용하여 스노보드의 비틀림을 테스트한다. (아래) 비틀림 데이터는 서로 다른 스노보드를 비교하는 데 사용된다. 스노보드의 비틀림에 대한 Flexdynamics 테스트 결과와 비틀림 반응(왼쪽) 및 기타 동적 특성(오른쪽)을 비교한 그래프.

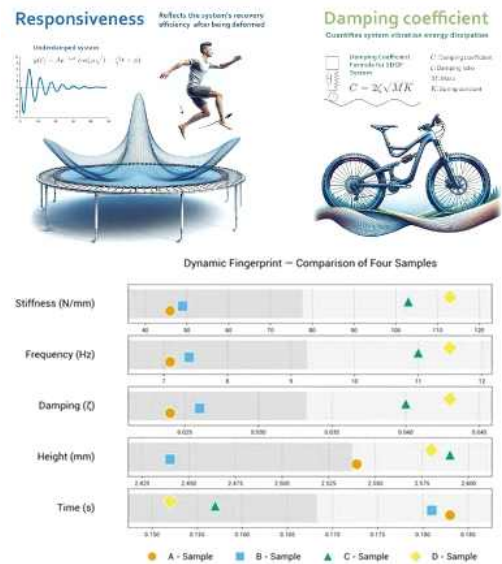


그림 14. 첫 번째 응답 및 감쇠 계수에 대한 설명. Flexdynamics 데이터에서 추출한 동적 지문 Flexdynamics는 3점 굽힘 시험을 넘어 강성뿐만 아니라 최초 응답 및 감쇠 계수를 포함한 완전한 감쇠 및 비틀림 데이터를 제공하여 재료, 설계 및 시스템을 비교하는 데 사용할 수 있는 일종의 동적 지문을 제공한다.

- 그는 이어서 "우리의 접근 방식은 그러한 현실을 염두에 두고 설계되었다. 통제된 실험실 테스트와 장비 및 선수 모두에게 부착된 원격 측정 및 센서를 결합하여 프로필을 생성한다. 즉, 도로 또는 경사면, 그리고 선수로부터 시스템에 전달되는 진동을 분석하여 실제 사용 중에 중요한 역학을 해석할 수 있도록 한다."라고 설명했다.

### 시뮬레이션, 엔드투엔드 솔루션

- 하지만 성능을 예측하고 이해하는 데 있어 핵심적인 부분은 Flexdynamics 테스트에 모델링 및 시뮬레이션을 접목하는 것이다. "우리는 다양한 시뮬레이션 소프트웨어 프로그램을 사용하여 실제와 동일한 하중 조건 및 경계 조건을 재현하기 위해 FEA 시뮬레이션과 테스트를 결합하고 있다. 정적 FEA에서 제어된 정적 사례의 경우  $\pm 3\%$ 의 일치율을 달성했다.
- 이는 모델링과 측정 결과가 매우 유사하다는 것을 의미한다. 제조업체는 세 가지 또는 스무 가지의 서로 다른 구조물을 제공할 수 있으며, 우리는 자동화된 분석 도구를 활용하여 Flexdynamics 테스트와 해당 FEA를 실행함으로써 재료의 특성을 정확하게 파악한다. 이를 통해 소위 '경험적 디지털 트윈 루프'를 구현할 수 있으며, 이 루프에서는 동작을 평가할 뿐만 아니라 변경 사항을 입력하여 새로운 성능을 예측하고 검증할 수 있다."

### 스키 앞부분 동적 성능에 대한 상관 분석

- Sport Dynamics Lab은 이러한 데이터를 선수, 팀, 제조업체가 온라인에서 접근할 수 있는 방식으로 시각화한다.
- 여기에는 속도, 선수 운동 역학, 시스템의 진동 및 감쇠를 보여주는 지도 등이 포함된다. 헝거는 "이를 통해 제품 성능을 이해할 뿐만 아니라 코너링과 같은 성능을 개선하는 방법도 알 수 있다."라고 말한다. "이러한 인사이트는 보정된 가상 트윈과 연동하여 여러 지표를 종합적으로 분석할 수 있다. 또한, 자전거 A와 자전거 B를 비교하고 각 자전거가 다양한 상황에서 어떻게 작동하는지 확인할 수 있기 때문에 비교 분석도 가능하다."

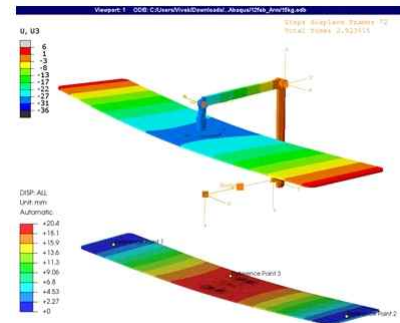


그림 15. Flexdynamics 테스트 중인 스노보드의 FEA 모델. 유한요소해석(FEA)과 시뮬레이션은 성능 예측을 검증하고 프로토타입 개발 및 평가 속도를 높이는 데 사용된다.

- 그는 "따라서 우리는 단순히 측정만 하는 것이 아니라 모델링도 하고, 이 두 가지를 개발 워크플로에 통합하고 있다."라고 덧붙였다. "우리 솔루션은 전 과정에 걸쳐 적용된다. Flexdynamics 테스트 결과만 제시하는 것이 아니라, 통계 모델과 AI 분석에서 얻은 통찰력도 함께 제공하고자 한다."

## 바이오 기반 및 재활용 소재 평가

- 헝거는 말한다. "2017년에 서핑보드 관련 업무를 할 당시 Entropy Resins의 후원을 받았다." 2010년에 설립된 엔트로피는 바이오에폭시 분야의 선구자였다. 2018년에는 West System과 Pro-Set Epoxy를 생산하는 Gougeon Brothers(미국)에 인수되었다. 헝거는 또한 Bcomp 아마섬유 보강재를 사용한 작업도 진행했다.



그림 16. 서핑보드용 바이오 기반 소재. 데이터, 모델링 및 AI 기반 분석을 통해 서핑보드와 같은 응용 분야에서 다양한 재료를 비교할 수 있으며, 이를 통해 성능을 유지하거나 심지어 향상시킬 수 있다. 예를 들어, 새롭고 더욱 지속 가능한 재료와 공정을 활용할 수 있다.

- "많은 기업들이 기존 복합재료에서 보다 친환경적이고 지속 가능한 제품으로 전환하기를 원한다."라고 헝거는 말하며, 5~6년 전만 해도 바이오 기반 에폭시의 도입은 제한적이었다고 지적했다. "이제 상황이 많이 바뀌었고, 이는 매우 긍정적인 변화이지만, 업계가 실제 부품에서 이러한 바이오 복합재료의 성능에 대한 확신을 구축하기 위해서는 여전히 시간과 데이터가 필요하다고 생각한다. 데이터 기반 테스트, 모델링 및 AI 기반 분석은 이러한 학습 주기를 가속화하고 시행착오를 줄이는 데 도움이 될 수 있다."
- 헝거는 브랜드나 제조업체가 지속가능성을 개선하고 싶어 하지만 디자인은 바꾸고 싶어 하지 않는 문제점을 지적한다. "새로운 소재를 많이 사용할 수 있지만, 기존과 같은 유연성을 유지하려면 보드의 두께를 약간 더 두껍게 하거나 얇게 해야 할 수도 있다. 제 접근 방식은 현장에서 시행착오를 거치지 않고 먼저 연구실에서 시작하는 것이다. 이미 생산하고 있는 스키나 하키 스틱을 기준으로 정적 및 동적 특성의 기준선을 설정하는 것이죠. 그런 다음 다양한 소재를 사용하여 프로토타입을 제작한다. 업계에서 시험해 볼 소재를 선별할 때쯤이면, 감쇠 및 비틀림 측면에서 각 소재의 거동이 동일한지 또는 다른지 보여주는 데이터도 확보할 수 있을 것이고, 최종 검증을 통해 이를 확인할 수 있을 것이다. 이러한 접근 방식은 위험을 줄이고 새로운 소재를 시험해 보는 것을 더 경제적으로 만들어 준다."



그림 17. 다양한 디자인과 브랜드의 스노보드 성능 지표 비교. 여기 보이는 스노보드처럼, 다양한 브랜드와 디자인의 제품이라도 성능 지표를 객관적으로 비교할 수 있다.

## 향후 응용 분야

○ Sport Dynamics Lab은 스포츠 분야를 넘어 더 폭넓은 응용 분야를 구상하며 ISO 표준에 부합하는 절차와 인증을 향해 나아가고 있다. 헝거는 "접근 방식은 전통적인 스포츠 접근 방식 보다는 항공우주 분야의 방식에 더 가깝지만, 적은 예산과 짧은 개발 기간에 맞춰 조정했다."라고 말한다. "비용은 저렴하면서도 데이터와 실행 가능한 통찰력을 제공하고, 유연성 또한 확보할 수 있는 방식을 추구한다. 자전거 바퀴처럼 수년간 연구 개발을 반복할 수는 없기 때문이다."

○ "우리는 Flexdynamics 장비를 활용하여 그 어느 때보다 더 광범위한 제품, 소재, 그리고 특성을 측정하고 있다. 이전에는 강성, 반발력, 감쇠 특성 측정에 집중했지만, 이제는 다양한 종류의 지그를 개발하여 타이어를 자유 응답 테스트는 물론 점진적인 하중과 압력 하에서도 측정할 수 있게 되었다. 이를 통해 폼 소재나 다공성 구조를 포함한 다양한 탄성 소재를 측정할 수 있게 되었으며, 다른 종류의 장비와도 연동하여 사용할 수 있게 되었다."

○ "드론 연구가 빠르게 확대되고 있기 때문에 드론 분야에서 일하고 싶다. 프로펠러 블레이드, 날개, 지지대 등이 시스템 내의 모든 동적 하중과 진동을 견뎌낼 때 어떤 일이 발생하는지 알아야 한다."라고 헝거는 말을 이었다. "모터스포츠의 공기역학적 탄성 분야에서도 응용 가능성을 보고 있다. 예를 들어, 직접적인 작동보다는 공기역학적 하중에 반응하여 움직이는 수동 부품들이 있다. 이러한 종류의 동작도 측정할 수 있지만, 우리는 작은 회사이기 때문에 단계적으로 발전해 나가고 있다."

○ "이제 우리는 다양한 제품, 형상, 소재에 대한 경험을 바탕으로 구조와 시스템이 동적으로 어떻게 반응하는지 예측하는 시뮬레이션을 구축할 수 있다. 우리가 제공하는 데이터가 최대한 정확하고 실질적으로 유용하도록 노력하여 기업과 팀이 중요한 결정을 내리는 데 도움을 주고 있다. 이러한 방법론을 사이클링, 스노우스포츠, 복합소재 분야에 적용하여 감각과 추측에 기반한 지식을 측정 가능한 물리적 원리와 객관적인 데이터로 전환하고 있다. 복합소재는 본질적으로 구성요소 시스템이다. 그리고 우리가 최적화하는 장비는 또 다른 차원의 시스템을 나타낸다. 복합소재뿐만 아니라 전체적인 디자인까지 최적화해야 하기 때문이다."



그림 18. 자전거 핸들바의 플렉스다이나믹스 테스트. 라켓에 대한 Flexdynamics 테스트. Flexdynamics 장비는 다양한 제품, 재료 및 특성을 테스트할 수 있도록 개조되었다.



그림 19. eVTOL/드론 및 모터스포츠 분야. 스포츠 역학 연구소의 향후 응용 분야에는 드론 및 모터스포츠에서 높은 진동 하중을 받는 구조물이 포함될 수 있다. 출처 | 게티 이미지

성공하려면 시스템을 조화롭게 조율할 수 있어야 하며, 그러기 위해서는 신뢰할 수 있는 데이터가 필요하다.”



그림 20. 스포츠 역학 연구소에서 복합소재 스노보드 테스트. 출처 | Sport Dynamics Lab

○ 제공된 인사이트의 예시

- 니데커 그룹과의 프로그램처럼 신축 건물의 성과를 추적하여 고객의 스타일을 가장 잘 파악하고 니즈를 충족시키는 방법을 모색한다.
- 매개변수 연구를 통해 중요한 설계 특징을 파악한다. 예를 들어, 스키 앞부분 두께가 0.5mm만 변해도 감쇠에 상당한 영향을 미칩니다(아래 그래프 참조). 또한 샌드위치 구조에서 상단 또는 하단 레이어를 늘리는 효과를 연구한다.
- 점탄성 연구에는 타이어에 사용되는 고무의 이력 현상뿐만 아니라 폼, 다공성 구조 및 신발에 사용되는 새로운 비뉴턴 유체의 측면 반응 및 거동에 대한 연구가 포함된다.

## □ 미국 UkieCarbon, 2021년형 포드 Mustang Shelby GT500 위한 단 하나뿐인 탄소섬유 인테리어 프로젝트 완료('26.03.18.)

※ [Composites World] 4개월에 걸쳐 진행된 이 프로젝트는 Mustang GT500의 실내 전체를 재작업하는 것으로, 부드러운 트림, 가죽, 단조 탄소섬유를 하나의 시스템으로 의도적으로 통합하는 작업을 포함한다. / News

• <https://www.compositesworld.com/news/ukiecarbon-completes-one-off-carbon-fiber-interior-project-for-2021-ford-mustang-shelby-gt500>

• #미국 #자동차 #탄소섬유 #복합소재

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

○ UkieCarbon(미국 펜실베이니아주 헌팅던) 포드 Mustang 모델용 고급 탄소섬유 업그레이드 부품을 설계 및 제조하는 회사로, 최근 2021년형 포드 Mustang Shelby GT500 트랙 팩을 기반으로 한 4개월간의 맞춤형 탄소섬유 인테리어 프로젝트를 완료했다.

○ 기본 차량에는 이미 탄소섬유 세라믹 휠과 대형 탄소섬유 리어 윙과 같은 탄소섬유 소재에 초점을 맞춘 공장 출고 사양의 하드웨어가 포함되어 있어 부분적인 트림 업그레이드가 아닌 전체적인 인테리어 소재 개선 프로그램을 위한 강력한 플랫폼이 되었다고 UkieCarbon은 보도했다.

○ 이번 작업의 범위는 차량 내부를 완전히 분해하고 재조립하는 것이었다. 목표는 간단했다. 공장에서 출고될 때 그대로 노출된 플라스틱 표면의 미완성된 모습을 제거하고, 모든 보이는 부분이 의도적으로 디자인되어 차량 내부 전체와 조화를 이루도록 재구성하는 것이었다.

○ 도어 패널, 필러, 천장 내장재 등 주요 내부 요소들을 탈거하고 고급 알칸타라 소재로 재단장했다. 레카로 버킷 시트는 붉은색 가죽으로 마감하여 어두운 탄소섬유와 알칸타라 소재로 이루어진 실내와 뚜렷한 시각적 대비를 이루도록 했다.

○ 대시보드 트림, 센터 콘솔, 속도계 터널, 스티어링 휠 및 도어 트림 부품을 포함한 모든 외장 부품은 실제 단조 탄소섬유로 재설계되었다. 이 프로젝트에서 단조 탄소섬유는 단순히 작은 장식 요소로 사용된 것이 아닙니다. 완성된 실내가 순정 부품과 애프터마켓 부품이 부분적으로 섞인 듯한 느낌을 주지 않도록 전체 인테리어에 적용되었다.



그림 21. 단조 탄소섬유 스티어링 휠

- UkieCarbon은 스티어링 휠이 실내 디자인에서 중요한 부분을 차지한다고 설명한다. 스티어링 휠은 운전자와 차량 사이의 주요 접점이기 때문에 실내 전체의 분위기를 결정짓는 데 중요한 역할을 한다.
- 이번 프로젝트에서 스티어링 휠은 실내 소재 프로그램의 나머지 부분과 조화를 이루도록 마감되었으며, 탄소섬유 소재 와 더욱 스포티한 느낌을 결합했다. 스티어링 휠은 별도의 애프터마켓 액세서리가 아닌 대시보드, 센터 콘솔, 도어 트림에 사용된 동일한 디자인 언어의 일부로 다뤄졌다. 아래 영상에서 표면 마감, 소재 전환, 그리고 스티어링 휠이 전체적인 실내 디자인 콘셉트에 어떻게 녹아드는지 확인할 수 있다.
- 이 차량의 가장 눈에 띄는 특징 중 하나는 UkieCarbon의 GT3 스타일 액티브 도어 핸들 이다. 이 디자인은 Porsche GT3 인테리어에서 흔히 볼 수 있는 당김 스트랩 스타일에서 영감을 받았는데, 직물 소재의 당김끈이 일반적인 내부 손잡이를 모터 스포츠 지향적인 디자인으로 대체하는 방식이다. 이 GT500 프로젝트에서는 이러한 아이디어를 Mustang 인테리어에 적용하여 카본 파이버 도어 트림에 통합했다. 그 결과, 더욱 강렬한 퍼포먼스 감성과 운전자 중심의 맞춤형 디테일이 더해져 문을 열자마자 시선을 사로잡는다.
- 센터 콘솔은 자세히 살펴보면 더욱 진가를 발휘하는 부분이다. 멀리서 보면 전체 단조 탄소섬유 인테리어 시스템의 일부처럼 보이지만, 가까이서 보면 표면 패턴, 모서리 연결부, 마감 품질 등 디테일이 드러난다. 센터 콘솔은 차량 내부에서 손이 자주 닿는 부분이므로, 일상적인 사용에서 소재가 어떻게 인식되는지에 중요한 역할을 한다. 근접 사진은 마감의 깊이감과 단조 탄소섬유 표면의 섬세한 디자인을 보여준다.

### **꼼꼼한 제조 공정, 의도적인 탄소섬유 사용**

- 이 프로젝트의 핵심은 단조 탄소섬유 표면 제작 방식에 있었다. UkieCarbon은 대량 생산 부품에서 흔히 볼 수 있는, 불규칙한 탄소섬유 조각을 외관상 장식용으로 무작위로 붙이는 저해상도 방식을 사용하지 않는다. 대신, 단조 탄소섬유 패턴은 크기에 맞춰 자른 작고 균일한 직사각형 조각들을 손으로 하나하나 배치하여 만든다.
- 이러한 배치 과정은 시간이 오래 걸리고 세심한 제어가 필요하기 때문에 표면이 의도적으로 디자인된 것처럼 보이며, 각 부품마다 균일하지 않은 느낌을 준다. 실제로 이 작업은 단순한 장식용 층을 덧입히는 것보다는 모자이크를 조립하는 것에 더 가깝다.
- 탄소섬유 표면을 적층 및 마감 처리한 후, 부품에는 UkieCarbon이 자체 개발한 특수 마감 폴리머 시스템이 코팅되었다. 회사 측은 전체 배합 비율이나 공정 세부 사항은 공개할 수 없지만, 이 마감 단계가 최종 결과물에 중요한 영향을 미친다고 밝

했다. 이 단계는 소재의 깊이감, 투명도 및 표면 특성에 영향을 주며, 완성된 부품이 시중의 일반적인 탄소섬유 부품과 차별화되는 이유 중 하나이다.

- 모든 다듬고 마감 처리된 부품들이 완성된 후, 내부를 재조립하고 차량에 장착하여 적합성, 정렬 상태 및 전반적인 일관성을 점검했다. 최종 결과물은 부드러운 트림, 가속 및 단조 탄소섬유가 별도의 시각적 업그레이드가 아닌 하나의 시스템으로 통합된 완전히 새롭게 디자인된 Mustang GT500 실내이다.



그림 22. Ford Mustang Shelby GT500. 출처 | UkieCarbon

## □ 미국 Owens Corning, 유리섬유 강화재의 미래 비전(26.03.20.)

※ [Composites World] 업계 선구자가 글로벌 산업의 다양한 비전, 아시아 시장의 통합 및 성장, 시장 점유율 두 배 증가에 대해 논의하고 순환 섬유를 활용한 복합재 지속가능성 스토리를 들려준다./ Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/what-is-the-future-for-owens-corning-glass-reinforcements>
- #미국 #유리섬유 #복합소재 #재활용 #지속가능성
- 저자 : CW 편집팀

- 1930년대 초, 두 연구원은 우연히 용융된 유리 흐름에 압축 공기를 분사하면 유리 섬유 단열재에 필요한 미세한 유리섬유가 생성된다는 사실을 발견했다. 이후 실험을 통해 연속 유리섬유와 직물을 개발하게 되었다. 연구팀과 그들이 소속된 회사는 빠르게 성장했고, 1938년에는 Owens Corning Fiberglass로 분사했다.
- 이후 수십 년 동안 이 회사는 세계 최초의 원자력 잠수함 상부 구조물부터 일체형 샤워 부스, 내식성 파이프, DC-8 제트 여객기의 수직 꼬리 날개에 이르기까지 모든 분야에서 혁신가들과 협력했다.
- 제2차 세계 대전 중에는 레이더 투과성 레이돔과 안테나 생산을 지원하기 위해 섬유 공장을 설립했고, 1951년에는 최초의 직접 용해로에 투자했지만 이 시설은 단 6개월 만에 가동이 중단되었다. 그러나 이러한 생산 개선 노력은 결국 유리섬유의 가격을 낮추어 수천 가지의 새로운 용도에 유리섬유를 사용할 수 있게 만들었다.
- Owens Corning 유리섬유 강화재 부문 전략 마케팅 및 연구 개발 담당 부사장인 크리스 스키너 박사는 “역사를 살펴보면, 혁신과 위험 감수의 놀라운 여정이었음을 알 수 있다.”라고 말한다. “1940년대와 50년대에 그들이 이룬 업적은 정말 경이롭다. 사실상 산업을 창조해낸 기업이 훨씬 더 큰 기업의 일부가 된 것을 볼 수 있다.”
- 그 기업은 약 90년 동안 소재 발명, 공정 개발 및 산업 규모의 교차점에서 사업을 운영했다. 유리섬유를 폴리머의 핵심 보강재로 만드는 데 기여했으며, 이후 수십 년 동안 형상기억합금(SMC), 압출 성형, 필라멘트 와인딩 및 비크림프 직물을 가능하게 하는 화학적 조성, 형태 및 제조 방법을 개선해 왔다. 오늘날 복합재 산업을 정의하는 많은 공정은 Owens Corning의 유리섬유를 기반으로 구축되었다.

### 두 가지 비전

- 하지만 2021년 Owens Corning은 북미와 유럽에서 주거용 및 상업용 건축 자재 제품에 집중하기로 결정했는데, 이는 Owens Corning 유리섬유 강화재 사업부의 전략과는 정반대되는 전략이다.

- Owens Corning 유리섬유 강화재 사업부 사장인 마르시오 산드리는 “우리는 글로벌 사업을 하고 있으며, 아시아는 복합재 시장에서 가장 빠르게 성장하는 지역이다.”라고 말하며, “건축 및 건설 시장의 중요성을 잘 알고 있지만, 이는 우리 사업 부문 중 하나일 뿐이며 전체 매출의 50% 미만을 차지한다. 또한, 우리는 소비자에게 직접 판매하는 복합재 부품을 생산하는 것이 아니라, 건설 산업에 필요한 원자재를 생산한다. 따라서, 복합재 사업 부문은 더 이상 오웬 코닝의 미래 비전에 전략적으로 부합하지 않는다고 판단했다.”라고 덧붙였다.



그림 23. Owens Corning의 글로벌 사업 영역. Owens Corning 유리섬유 강화 사업부는 12개국에 걸쳐 세계 최고 수준의 글로벌 생산 시설을 구축하여 고품질 제품의 안정적인 공급은 물론 제품, 공정 및 응용 분야 지원을 위한 전 세계 팀을 운영하고 있다.

- 유리섬유 강화재 사업부는 전략적 검토를 마치고 새로운 미래를 향해 나아가고 있다. 작년에 이 사업부를 인도에 본사를 둔 글로벌 산업 지주 그룹이자 소재 및 특수 화학 제품에 주력하는 Praana 그룹(인도 뭄바이)에 매각하는 계약을 발표했다. 그렇다면 유리섬유 강화재 사업부의 미래는 어떻게 될까? 스키너 사장은 "앞으로도 소재 공급에 집중하고 전 세계적으로 복합재 적용 분야의 성장을 창출하는 데 주력할 것"이라고 밝혔다.
- 산드리는 “우리 회사는 이 업계의 초창기부터 함께해 왔다. 우리는 이 업계의 혁신을 주도해 왔으며, 동시에 훌륭한 기업이기도 했다. 세계 최고 수준의 제품, 기술, 그리고 인재를 보유하고 있다. 이제 우리는 복합소재에 대한 신념을 더욱 폭넓고 흥미로운 방식으로 실현하여, 우리 사업뿐 아니라 업계 전체의 성장을 견인할 기회를 얻게 되었다.”라고 덧붙였다.

### 성장을 위한 준비 완료

- 산드리는 복합재 산업이 존재하는 이유는 그 기술이 이미 그 가치를 충분히 입증했기 때문이라고 지적한다. 그는 "우리 소재는 모든 기술적 요구사항과 환경적 난제를 극복하고 달에 다녀왔으며, 심해에서도 성공적으로 제 역할을 다했다."라고 말한다. "우리는 이러한 난제들을 해결했고, 복합재는 전 세계 다양한 시장과 분야에서 매일 사용되고 있다. 또한, 우리 기술은 내구성, 고성능, 경량성 덕분에 혁신적이고 다른

경쟁 소재보다 지속가능성이 뛰어나다. 하지만 우리는 이러한 지속가능성에 대한 이야기를 훨씬 더 효과적으로 전달해야 한다."

*"1950년대에는 알루미늄 시장 점유율이 2%였지만, 지금은 7%로 증가했다. 우리는 복합재료가 전 세계 소재 시장에서 최소 4%까지 두 배로 늘어나기를 바라며, 이는 업계의 다양한 기업들에게 성장을 가져다줄 것이다."*

- "현재 시중에는 복합재료의 활용 분야가 4만 가지에 달한다고 한다."라고 그는 말을 이었다. "하지만 복합재료는 여전히 전 세계 소재 시장의 2%에 불과하다. 여기에는 강철, 알루미늄, 콘크리트, 비강화 플라스틱 및 기타 소재가 포함된다. 1950년대에는 알루미늄의 시장 점유율이 2%였지만, 지금은 7%까지 성장했다." 어떻게 이런 일이 가능했을까? 산드리는 미국과 유럽의 알루미늄 회사 및 부품 제조업체, 그리고 관련 업계 협회들의 수십 년에 걸친 노력을 언급한다. "우리는 복합재료가 전 세계 소재 시장에서 최소 4%의 점유율을 차지하도록 두 배로 늘리기를 바란다. 이는 업계의 다양한 기업에 성장을 가져다줄 것이지만, 투자 또한 필수적이다."

### **바늘을 움직이다**

- "지난 몇 년 동안 자동차 산업에서 강화 열가소성 소재의 등장이나 풍력 터빈의 발전과 같은 소재 혁신의 물결을 목격해 왔다."라고 스키너는 말한다. "이러한 혁신은 복합재의 시장 침투율과 산업 성장을 견인하고 있다. 하지만 건설 분야를 살펴보면 복합재는 여전히 사용되는 재료의 1% 미만을 차지하고 있다. 우리는 이러한 시장 부문에 복합재가 진출할 수 있도록 지원해 왔으며 앞으로도 계속 지원할 것이다. 하지만 다른 기업들도 마찬가지로 노력해야 한다."
- 그게 실제로 무슨 의미일까? 스키너는 "핵심적인 대량 생산 및 대규모 응용 분야에서 복합소재를 사용할 수 있도록 해야 한다는 뜻이다."라고 말한다. "그러려면 생산에 대한 이야기를 들려주고 그러한 응용 분야의 수요를 충족할 수 있어야 할 뿐만 아니라 강철이나 알루미늄과 같은 재료와 진정으로 경쟁력 있는 수명 주기 종료(EOL) 옵션에 대해서도 설명해야 한다. 복합소재 산업은 매우 경쟁이 치열하고 역동적이다. 관건은 복합소재가 어떻게 특수 소재에서 주류 소재로 자리 잡을 수 있는냐는 것이다."
- "또 다른 중요한 과제는 쉽게 구할 수 있고 사양을 정하고 구매할 수 있는 제품을 확보하는 것이다."라고 스키너는 말한다. "저는 이것이 복합재 산업의 상당 부분의 미래라고 생각한다." 그는 미국 복합재 제조업체 협회(ACMA)가 다양한 응용 분야의 복합재에 대한 핵심 표준을 개발하기 위해 수행한 노력을 언급했다. "존 부젤을 비롯한 여러 전문가들이 이러한 표준을 위해 수십 년 동안 노력해 왔으며, 이는 매우 훌륭한 성과이다. 우리 회사 또한 GRP를 더욱 발전시켜, 실질적인 변화를 가져올 대규모 응용 분야에 적합한 표준 제품 사양을 제공함으로써 선택하기 쉬운 옵션으로 자리매김할 수 있도록 노력하고 있다."

## 업계 통합에 따른 협력

- 샌드리는 이러한 대규모 응용 분야에는 보다 폭넓은 지원이 필요하다고 말한다. "업계 차원에서 더욱 긴밀히 협력하여 진출하고자 하는 응용 분야를 선정하고, 그 분야에서 복합재료의 가능성을 입증하고 투자해야 한다. 주요 업체와 협력 관계, 그리고 업계 협회의 지원이 필요하다. 이를 통해 복합재료를 알루미늄, 콘크리트, 철강과 차별화하는 전략적 접근 방식을 구축할 수 있다. 전 세계 소재 시장에서 복합재료의 점유율을 현재 2%에서 4%로 끌어올리기 위해 함께 노력해야 한다."
- 그는 말을 이어가며 "이런 유형의 산업 성장에 투자하는 1달러는 비용 절감이나 가격 인하에 투자하는 1달러보다 장기적으로 훨씬 더 나은 수익을 가져다준다. 실질적인 변화를 위해서는 단순히 가격을 낮추는 것이 아니라 산업에 투자해야 한다."라고 말했다.
- 샌드리는 "우리는 혁신에 투자하고 협회를 지원하며, 복합재료의 사양을 쉽게 정할 수 있도록 하고 장기적인 성공에 필요한 모든 것을 할 수 있도록 수익을 창출해야 한다."라고 말한다. "이는 혼자서는 이루어질 수 없다. 우리 모두가 함께 행동해야 한다. 하지만 현재 유리섬유 산업에서 벌어지고 있는 일들은 이러한 노력을 저해하고 있다."

*"...업계에는 4개의 대형 유리섬유 생산업체가 있는데, 그중 아시아에 있지 않은 곳은 단 한 곳뿐이다. 이는 근본적인 질문을 제기한다..."*

- 샌드리는 협력과 더불어 건전한 경쟁이 이루어져야 한다고 강조한다. "경쟁은 Owens Corning이 거의 90년 동안 성공을 거둔 원동력이다. 우리는 사방에서 경쟁을 통해 영감을 얻고, 미래에 대한 기대감을 키우며, 변화를 인지하게 된다. 그리고 이러한 경쟁은 공정하게 이루어진다면 업계 전체에 이익이 된다."
- "현재 업계에는 4개의 대형 유리섬유 생산업체가 있는데, 그중 아시아에 있지 않은 업체는 단 한 곳뿐이다."라고 스키너는 말한다. "이것이 업계에 좋을 수도 있고 나쁠 수도 있지만, 업계가 이러한 성장 목표를 달성할 수 있는 방식으로 운영될 것인지에 대한 근본적인 질문을 제기한다."
- 샌드리는 "수지 시장에서도 이러한 통합 추세를 목격했다."라고 말하며, "업계가 성숙기에 접어들고 있으며, 우리 사업의 장기적인 미래에 대해서는 걱정하지 않는다. 우리는 이 업계를 잘 알고 있으며, 이 업계에 서비스를 제공할 수 있는 역량과 능력, 그리고 인재를 보유하고 있다. 밝은 미래가 있다고 믿는다."라고 덧붙였다.
- 샌드리는 "이를 위해 크리스와 아시아 전역에 걸쳐 강력한 유리섬유 협회를 설립하기 위한 논의를 진행해 왔다."라고 말하며, "우리 업계에는 큰 기회와 과제를 논의하고 그에 따라 투자할 수 있는 포럼이 필요하다. 아시아 태평양 지역은 복합재 시

장에서 가장 빠르게 성장하는 시장일 뿐만 아니라 공급업체와 생산업체가 가장 많이 집중되어 있는 곳이기도 하다.”라고 덧붙였다.

- 이 협회는 세 가지 목표를 달성하는 것을 목표로 한다. 첫째, 앞서 설명한 주요 응용 분야에서 산업 성장을 지원하는 것이다. 둘째, 유럽과 북미에서 발표되는 것처럼 신뢰할 수 있고 누구나 이용 가능한 고품질 데이터를 생성하는 것이다. 산드리는 “우리 각자는 서로 다른 전략을 가지고 있으며 각기 다른 결정을 내릴 것이다. 하지만 좋은 결정을 내리려면 공개적으로 제공되는 신뢰할 수 있는 데이터가 필요하다. 이는 전체 산업에 도움이 된다.”라고 말한다. 세 번째 목표는 글로벌 산업을 지원하기 위해 유럽 및 북미의 다른 협회들과 협력하는 것이다.
- 산드리는 “우리는 ACMA와 유럽 복합재 산업 협회(EuCIA)를 비롯한 강력한 협회들이 협력하여 전 세계적으로 산업을 보호하고 성장을 도모할 수 있도록 지원하고자 한다. 이는 복합재의 지속가능성에 대한 인식을 개선하고 그 발전을 지속적으로 추진하는 것을 의미한다.”라고 말하며, “우리 회사는 이러한 인식을 개선하고 알리는데 큰 노력을 기울이고 있지만, 업계 전체적으로도 이러한 노력을 지속해야 한다.”라고 덧붙였다.

### 순환성 실천

- 그렇다면 Owens Corning 유리섬유 강화 사업부는 유리섬유 복합재의 지속가능성을 향상시키기 위해 구체적으로 어떤 노력을 기울이고 있을까? 산드리 대표는 “몇 년 전 지속가능성에 대한 회의에서 우리의 비전은 순환 경제라는 결론을 내렸다.”라고 말하며, “우리의 첫 번째 목표는 100% 재활용 소재를 사용하는 용광로를 건설하고, 동시에 탄소 중립을 달성하는 것이었다. 이는 매우 도전적인 목표였다.”라고 덧붙였다.

- “오랫동안 우리와 함께 일해 온 제조 담당자들은 모두 머리를 감싸주며 ‘절대 안 될 거야, 불가능한 일이야’라고 말했다.”라고 스키너는 말한다. “하지만 우리는 복합재료를 이용한 순환 경제를 실현해야 한다고 결심했다. 재활용 복합재료로 새 재료를 생산할 수 있는 역량을 구축하고, 그것이 실제로 이로운 방식으로 이루어져야 했다.”

*“우리는 저탄소 공정을 통해 실제로 순환 경제를 달성할 수 있음을 입증했다.”*



그림 24. Owens Corning은 전 세계 생산 시설에서 유리섬유 강화 제품을 제조한다. 프랑스 라르두아즈 공장의 새로운 순환 생산 라인에서는 고객으로부터 나온 건조 유리섬유 폐기물 (왼쪽 상단, 시계 방향) 이 사용된다. 이는 미국 텍사스주 아마릴로의 어드밴텍스 싱글 엔드 로빙 맞춤형 사이즈 가공부터 벨기에 젤레의 다축 섬유 생산에 이르기까지 유리섬유 제품 발전을 위해 열정적으로 노력하는 글로벌 팀의 사례 중 하나이다.

- 이 여정의 첫걸음은 2025년 말 프랑스 아르두아즈에 있는 유리섬유 강화재 공장에서 시작되었다. 스키너는 "이는 업계에 있어 엄청난 발전이다."라고 말한다. "우리는 무공해 연료인 수소를 사용한 4개월간의 시범 가동을 마무리하고 있다. 여전히 비용 부담은 있지만, 핵심은 저탄소 공정을 통해 순환 경제를 실제로 달성할 수 있음을 입증했다는 것이다. 지속가능성에 대한 논의는 활발히 이루어지고 있지만, 실제로 생산에 투입했다는 점이 매우 자랑스럽다. EuCIA는 현재 200개 이상의 회원사를 보유한 순환 복합재 연합(Circular Composite Alliance)을 통해 이러한 혁신을 지원하는 데 핵심적인 역할을 하고 있다."

- 스키너는 이것이 긴 여정의 한 단계일 뿐이라고 인정한다. "현재 이 용광로는 건조된 섬유 폐기물을 순환 원료로 사용하고 있지만, 우리의 비전은 복합재 부품에서 재활용한 섬유도 사용하는 것이다. 이를 달성하기 위해 복합재 재활용을 위한 파트너십과 프로그램을 구축하고 있다."



그림 25. Gjenkraft 는 수명이 다한 풍력 터빈 블레이드에서 유리섬유를 재활용한다. Gjenkraft는 수명이 다한 풍력 터빈 블레이드에서 유리섬유를 재활용하고 있다. 출처 | Gjenkraft

- 그 중 하나는 Gjenkraft(노르웨이)와의 협력으로, 열분해 기반 공정을 사용하여 폐기물 및 수명이 다한 복합재를 재활용 유리섬유로 전환하고, 이를 다시 새로운 유리섬유 생산에 활용할 수 있도록 하는 것이다.
- 또 다른 협력은 SABIC(사우디아라비아)과의 협력으로, Audi AG(독일)와 OPmobility(프랑스)를 검증 파트너로 하여 자동차 부품의 폐쇄 루프 재활용 기술 역량을 입증하는 것이다. 이 협력은 SABIC의 Stamax 장섬유 유리섬유/PP 소재로 제작된 자동차 부품에서 폴리프로필렌과 유리섬유를 모두 회수하는 기술을 발전시키는 것을 목표로 한다. 현재까지 회수된 소재는 새로운 복합재 트렁크 도어에 적용된 사례가 있다.
- 프랑스 5개 기업(Arkema, Chomarat, Veolia, Composite Recycling, Groupe Beneteau)이 참여한 또 다른 연합은 재활용 원자재를 다시 보트 생산에 사용하는 산업 순환 시스템을 공동 개발했다. 스키너는 "우리는 이러한 순환 경제를 더욱 활성화하고 확대하기 위해 나아가고 있으며, 이는 우리와 전체 산업에 매우 중요할 것이다."라고 말했다.

## 미래 비전

- "하지만 용기를 내어 투자할 준비가 되어 있어야 한다." 스키너는 말을 이었다. "그러려면 사업에서 수익을 내야 하죠. 결국 우리 모두가 업계의 발전과 성장을 위해 각자의 역할을 다해야 한다는 결론으로 이어지는 것이다."

- 산드리는 “우리는 오랜 역사와 전문 지식을 보유한 기업이다.”라고 말하며, “단순히 섬유를 판매하는 데 그치지 않고, 생산자들과 직접 협력하여 응용 분야를 공동 개발하고 새로운 제조 방법을 산업화해 왔다.”라고 덧붙였다.
- “SMC, 폴트루전, 그리고 현재의 폐쇄형 재활용 시스템에 이르기까지, 이 회사가 실제로 발명했거나 수년간 지원해 온 기술의 수가 놀랍도록 많다.”라고 스키너는 말한다.” 그리고 우리는 앞으로도 계속 그렇게 할 것이다. 왜냐하면 그것이 이 산업의 성장을 이끄는 원동력이라는 것을 알고 있기 때문이다.”
- 산드리는 “우리는 해양, 자동차, 풍력 및 인프라 분야에서 장기간에 걸친 인증 주기에 투자해 왔다.”라고 덧붙였다. “우리는 복합소재 기술과 산업의 미래를 믿는다. 물론 어려움도 있지만, 우리는 훌륭한 제품과 기술, 복합소재에 대한 열정을 가진 세계적인 인재들을 보유하고 있으며, 변화를 만들어내고자 하는 열망을 갖고 있다. 저는 우리가 복합소재 산업의 미래 성장에 기여할 것이라고 확신한다.”



그림 26. 1939년 뉴욕 세계 박람회에 전시된 Owens Corning의 유리섬유 제품. 출처 | Owens Corning 유리섬유 강화재



그림 27. Owens Corning의 유리섬유 강화 제품 및 복합재료 분야에서의 응용. Owens Corning의 유리섬유 강화 제품은 광범위한 복합재 응용 분야 및 시장에 사용되며, 이러한 복합재 제품 및 공정의 상당수는 Owens Corning의 유리섬유를 기반으로 개발되었다.

## □ 핀란드 Exel Composites, 복합재의 지속가능성 성과로 ISO 14001 인증, 플래티넘 등급의 EcoVadis 평가 및 배출가스 보고서 획득 (26.03.20.)

※ [Composites World] Gurit, Orion SA, Exel Composites 및 Polestar는 시설 인증, 지속가능성 및 탄소 발자국 보고서 발표, 평가 활동 강화를 통해 환경 성과 및 투명성을 개선하고 있다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/composites-sustainability-wins-iso-14001-certification-platinum-ecovadis-rating-emissions-reports>
- #핀란드 #미국 #복합소재 #지속가능성 #인증
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

### 복합재료 전문가가 ISO 14001 인증 획득

- Exel Composites(핀란드 반타)가 미국 켄터키주 얼랭거 공장에서 ISO 14001 인증을 획득했다. 세계적으로 인정받는 이 표준은 얼랭거 공장이 체계적인 환경 경영 체계 내에서 운영되고 있음을 확인시켜주며, 환경 발자국을 줄이고 장기적인 지속가능성 목표를 달성하려는 Exel의 노력을 더욱 강화했다.

### ISO 14001이란?

- 국제표준화기구(ISO)에서 발행하는 이 인증은 효과적인 환경경영시스템에 필요한 요건을 제시한다. 이 표준은 조직이 환경적 책임을 체계적으로 관리할 수 있도록 지원하며, 환경 성과 개선, 규제 및 법규 준수 의무 이행, 그리고 명확하게 정의된 환경 목표 달성에 중점을 둔다. 또한, 이 표준은 단순한 환경 규제 준수 뿐 아니라 장기적인 지속적 개선에 대한 노력을 인정하여 수여된다.



그림 28. 켄터키주 얼랭거에 위치한 시설. 출처 | Exel Composites

- Exel의 얼랭거 공장은 ISO 14001 인증을 통해 폐기물 관리 및 에너지 효율 개선을 포함한 기존의 지역 차원의 노력을 공식화하고 강화했다. 이러한 노력은 재활용성 및 순환 경제 원칙 증진, 그리고 화학 물질의 책임 있는 사용 및 공급망 관리를 통해 유엔 지속가능발전목표(SDGs) 달성에 기여하는 등 Exel의 광범위한 지속가능성 목표와 직접적으로 연계된다. 이번 인증 획득은 기업 차원뿐 아니라 일상적인 운영 전반에 걸쳐 환경적 책임이 내재되어 있음을 보여준다.
- ISO 14001 인증 획득의 핵심 요소는 계획-실행-점검-개선(PDCA) 접근 방식이며, 이는 Exel의 환경 경영 방식의 근간을 이룬다. Exel Composites의 미국 사업장 관리자인 Tim Mohr는 "PDCA 프레임워크는 공장 현장에서부터 경영진에 이르기까지

Erlanger의 모든 영역에 적용된다. 실제로 공정 및 폐기물 감소에 대한 많은 아이디어는 생산 라인과 가장 가까운 직원들에게서 나온다."라고 말했다. "이는 모든 직급의 협력적인 노력이며, 직책에 관계없이 모든 사람이 아이디어를 제시하도록 장려한다."

- ISO 14001 인증 획득은 Exel이 환경적 책임을 매우 중요하게 생각한다는 것을 고객, 공급업체 및 이해관계자에게 보장하는 역할도 한다.

### Polstar, 폴스타 5의 전체 탄소 발자국 공개

- 스웨덴 예테보리에 본사를 둔 폴스타는 자동차 업계의 기후 투명성 제고를 위해 지속적으로 노력하고 있다고 밝혔다. 폴스타는 2020년부터 모든 모델에 대한 전 생애주기 평가(LCA)를 발표해 왔으며, 현재는 4도어 GT 모델인 폴스타 5를 포함한 모든 차량에 대한 평가 결과를 공개적으로 제공하고 있다.

- 폴스타는 자사 라인업에 있는 모든 차량의 탄소 발자국을 공개하는 최초의 자동차 제조업체(OEM)라고 밝혔으며, 이를 통해 고객에게 자신이 운전하는 차량이 기후에 미치는 영향에 대한 투명성을 높였다. 폴스타 5의 생산부터 출고까지 전 과정에 걸친 탄소 발자국은 23.8톤의 CO<sub>2e</sub>이며, 이는 원자재 추출부터 생산 및 고객에게 인도될 때까지 발생하는 배출량을 모두 포함한다.

- 소재는 배출량 감축의 핵심이다. 알루미늄은 자동차 제조에 있어 탄소 배출량이 가장 많은 원자재 중 하나이므로, 폴스타는 폴스타 5에 사용되는 알루미늄의 조달 방식을 근본적으로 바꾸었다. 사용된 알루미늄의 13%는 재활용 알루미늄이고, 83%는 재생 에너지로 가동되는 제련소에서 생산되어 기존 알루미늄 조달 방식 대비 차량 한 대당 14톤 이상의 CO<sub>2e</sub> 배출량을 줄였다.



그림 29. 폴스타 5.

- 재생 가능한 전기는 생산 과정에서도 중요한 역할을 한다. 폴스타 5를 생산하는 시설 뿐만 아니라 배터리 셀 모듈 및 기타 주요 배터리 소재를 생산하는 시설도 재생 가능한 전기를 사용하여 운영되므로 차량 제조, 부품 제조 및 배터리 제조와 관련된 배출량을 줄일 수 있다.

- 폴스타 5의 실내에 적용된 혁신적인 소재는 천연섬유 복합재와 재활용 소재(예: 에코닐, 재활용 PET 섬유 등)를 사용하여 환경에 미치는 영향을 더욱 줄였다.

### Gurit 2025 보고서, 지속적인 순환 경제 추진력 강조

- Gurit(스위스 취리히)가 최신 지속가능성 보고서를 발표했다. Gurit의 CEO인 토비아

스 튀리히는 “지난 5년간 사업이 발전하고 중요한 전략적 변화를 겪는 와중에도 지속가능성을 향한 우리의 여정은 꾸준히 탄력을 받아왔다.”라고 말하며, “2020년 기준과 비교해 보면 분명하고 고무적인 진전을 확인할 수 있다. 현재 우리는 2030년 목표의 절반을 달성했으며, 이는 전 세계 조직 구성원들의 헌신, 창의성, 협력을 되돌아볼 때 매우 중요한 이정표이다.”라고 덧붙였다.

### Orion SA, 에코바디스 플래티넘 등급 획득

- 글로벌 특수화학 기업이자 카본 블랙 공급업체인 Orion SA(미국 텍사스주 휴스턴)이 EcoVadis로부터 2025년 성과에 대한 플래티넘 등급을 획득했다. 플래티넘 등급은 Orion이 EcoVadis가 평가한 전 세계 기업 중 상위 1%에 속한다는 것을 의미한다.
- Corning의 CEO인 페인터는 “수많은 성과 중에서도 바이오 순환 등급의 카본 블랙을 출시하고, 사업장 전반의 에너지 효율을 개선했으며, 리더십 교육 프로그램을 확대하고, 공장의 안전 성과로 업계 상을 수상했다.”라고 말했다. “EcoVadis는 매년 기준을 높이고 있기 때문에 2026년에 플래티넘 등급을 유지하려면 더욱 강력한 성과를 보여줘야 한다. 하지만 2025년에 플래티넘 등급을 획득하기 위해 열심히 노력했던 전 세계 임직원들이 다시 한번 그 도전을 성공적으로 완수할 것이라고 확신한다.”
- EcoVadis 인증 외에도, Orion은 세계 최고의 기업 환경 영향 측정, 관리 및 공개 시스템을 운영하는 글로벌 비영리 단체인 CDP로부터 높은 B등급을 유지했다. 2025년 12월에 발표된 CDP 등급은 효과적인 배출량 관리를 통해 기후 변화의 영향을 완화하는 데 있어 Orion의 진전을 인정하는 것이다. 특히, 작년 평가에서는 Orion의 거버넌스, 목표, 스코프 3 배출량 및 가치 사슬 참여를 기반으로 CDP의 공급업체 참여 평가에서 A 등급으로 상향 조정되었다.



그림 30. 해돋이 시간에 도로를 달리는 트럭. 출처 | 게티 이미지

## 이 분야에서 자체적인 발전을 이루고 있는 기업 소개

- Syensqo, Daher, Kordsa, Henkel, Armacell, Gurit, Diab 및 Envalior
- Composites One, Aerovac, Dow Chemical, Envalior 및 세계풍력에너지협의회
- 폴트론 컴포지츠, GKN 오토모티브, 송원산업, CTP 어드밴스드 머티리얼즈
- Gurit, Shawmut, Daher, INEOS 그룹

## 2025년 보고서 주요 내용

- 2020년 이후 스코프 1 배출량 24% 감소
- 2020년 이후 기록 대상 산업재해 발생 건수 65% 감소
- 직원 수가 25명 이상인 사업장 중 86%, ISO 14001 인증 획득
- 지역사회 활동 72% 증가
- Gurit의 공급업체 행동 강령을 준수하기로 약속한 100% 선정된 공급업체.

## □ 스웨덴 Candela, 탄소섬유로 만든 전기 비행선 제조업체 유가 급등 속에서도 3천만 유로 조달('26.03.20.)

※ [Composites World] 사상 최대 규모의 투자 유치, 진행 중인 양산, 그리고 확장 가능한 플랫폼 기반 양산을 위한 두 번째 시설은 Candela의 전기 포일링 기술에 대한 지속적인 관심과 가능성을 보여준다. / News

• <https://www.compositesworld.com/news/flying-carbon-fiber-electric-vessel-maker-candela-raises-30-million-amid-soaring-oil-prices>

• #스웨덴 #해양선박 #탄소섬유 #복합소재

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

- 전기 수중익선 회사 Candela(스웨덴 스톡홀름)가 사상 최대 규모의 투자 유치에 성공했다. 세계은행 산하 국제금융공사(IFC)가 기존 투자자들과 함께 참여한 이번 추가 투자금 3천만 유로는 탄소섬유 소재를 집중적으로 사용한 설계의 P-12 수중익선 페리 생산량을 늘리고 증가하는 세계적 수요에 대응하기 위한 두 번째 생산 시설 건설에 사용될 예정이다.
- 이번 투자 유치로 Candela의 누적 투자금은 설립 이후 1억 2,900만 유로에 달하게 되었으며, 이로써 Candela는 "세계에서 가장 많은 투자를 받은 전기 선박 제조업체"로 자리매김했다고 밝혔다. 또한, Candela는 타임지가 선정한 '2025년 가장 중요한 발명품' 중 하나로 선정되기도 했다. Candela의 핵심 기술은 자체 개발한 컴퓨터 제어식 하이드로포일 시스템과 C-POD 모터로, 이를 통해 선박을 수면 위로 들어 올려 기존 선박 대비 에너지 소비를 최대 80%까지 절감하는 동시에 물살을 전혀 일으키지 않는다.
- "물리학적 관점에서 볼 때, 선박은 수백 년 동안 본질적으로 변함이 없었다."라고 창립자 겸 CEO인 구스타프 하셀스코그는 말한다. "우리는 새로운 유형의 선박을 만들어 수상 운송 방식을 재정의하고 있다. 이를 통해 도시와 지방 자치 단체는 화석 연료 비용이라는 함정에서 벗어나 오랫동안 효율적인 수로 활용을 저해해 온 제약에서 벗어나 수로를 최대한 활용할 수 있게 된다."
- 양산이 본격화되고 3월부터 첫 고객 인도가 시작됨에 따라 현재 65척 이상의 선박이 주문된 상태이다. 2026년부터는 뭄바이에 10척의 P-12 선박을 배치하여 나비뭄바이 공항에서 시내 중심까지의 이동 시간을 약 2시간에서 35분으로 단축할 예정이며, 몰디브, 사우디아라비아의 네옴 프로젝트, 태국 및 기타 시장에도 배치될 예정이다.
- Candela는 확장 가능하고 플랫폼 기반의 양산 방식을 첨단 탄소섬유 선박에 적용하여 해양 산업의 전통적인 일회성 건조 방식에서 벗어나고 있다. 폴란드에 설립될

두 번째 공장은 전 세계 신흥 시장에서 무공해 운송을 더욱 쉽게 이용할 수 있도록 할 것이다.

- 하셀스코그는 “소량 생산 방식에서 벗어나(소량 생산은 필연적으로 높은 비용을 초래한다. 다양한 시장에 서비스를 제공할 수 있는 플랫폼을 구축했다.”라고 말한다.

“이를 통해 경쟁력 있는 가격으로 운영 비용을 절감하면서 기술적으로 진보된 탄소 섬유 선박을 제공할 수 있으며, 운영사들이 화석 연료 선박의 비용 함정에서 벗어날 수 있도록 지원한다. 2021년 이후 기후 기술 관련 투자가 약 50% 감소한 시장에서 사상 최대 규모의 투자 유치에 전환이 보조금이나 친환경 프리미엄을 넘어선다는 분명한 신호를 보내는 것이다.”



그림 31. 물 위에 떠 있는 Candela 수중익선. 출처 | Candela

### 지속가능성은 여전히 인기가 높다.

- 이번 투자 유치는 기존 주주인 EQT Ventures, SEB Private Equity, KanDela AB, Ocean Zero LLC 전원과 세계은행 그룹의 민간 부문 투자 기관인 국제금융공사(IFC)가 새롭게 참여하여 800만 유로를 투자함으로써 이루어졌다.
- 이번 자금 조달은 기후 기술 투자 전반의 침체에도 불구하고 이루어졌으며, 최근 스톡홀름, 예테보리, 오슬로, 트론헤임 등지의 대중교통에서 P-12 선박의 성공적인 실제 운용에 이은 것이다. 해당 선박은 기존 디젤 페리에 비해 우수한 기술 성능, 상당한 운영 비용 절감, 이동 시간 단축을 입증했다.