

'26.05.01.~26.05.10. 글로벌 탄소산업 주요 동향

□ 독일 NeMo.bil 프로젝트, Type IV형 기차를 이동 시스템 보관 랙에 통합(26.05.01.)

※ [Composites World] 기능적으로 통합된 스마트 수소 공급 시스템이 설치, 연결 및 검증되어 누출 없는 수소 환경을 제공한다. / News

• <https://www.compositesworld.com/news/bamboo-composite-based-uav-aircraft-completes-maiden-flight-in-tianjin>

• #독일 #철도/기차 #압력용기 #복합소재 #수소

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

○ 독일 연방 경제에너지부(BMWE)의 자금 지원을 받는 NeMo.bil 프로젝트의 다음 단계로, 프로젝트 파트너인 Avanco Composites(독일 헤르포드)에서 공급한 5개의 Type IV형 열가소성 복합재(TPC) 수소 탱크를 완전한 모빌리티 시스템에 통합하는 작업이 완료되었다.

○ 이 시스템에는 프로젝트 파트너인 Poppe + Potthoff GmbH(독일 베르터)와 긴밀한 협력을 통해 개발된 전용 랙 구조의 설계 및 구현이 포함된다.

○ 또한, 전자식 고압 조절 장치(HPRU)와 병렬 충전 장치(PCU)를 포함한 모든 밸브와 구성 요소는 스마트 수소 공급 시스템의 "두뇌" 역할을 하는 중앙 제어 시스템인 랙의 탱크 제어 장치에 직접 설치되었다. 모든 구성 요소는 최고 수준의 누출 방지 기준을 충족하는 인터페이스가 적용된 P+P 고압 수소 라인을 통해 상호 연결된다.

○ 특히, 이 랙은 전체 시스템의 중앙 인터페이스 역할을 하며 다음과 같은 사항을 보장한다.

- 클램핑 시스템을 사용하여 수소 탱크를 안전하게 고정
- 관련 시스템 구성 요소 모두에 대한 장착 지점이 정의
- 배관 및 압력 조절 시스템의 통합
- 시스템 내 개별 탱크 간의 안정적인 연결

○ 시스템의 유효성을 검증하기 위해 기체 매체를 시스템에 주입하여 잠재적인 누출을 감지하는 포괄적인 누출 및 기밀성 테스트를 수행했다. 이는 완전하게 통합되고 안전한 수소 저장 솔루션이라는 프로젝트 목표를 향한 다음 단계이다.

○ NeMo.bil 컨소시엄은 경량의 전기 자율 주행 차량(NeMo.Cab)과 디지털 네트워크로 연결된 차량들이 개별 출발 지점에서 견인 차량(NeMo.Pro)에 연결되어 장거리

를 이동하는 "군집형" 모빌리티 개념을 개발하고 있다. 이는 농촌 지역에서 보다 지속 가능하고 수요에 부응하는 승객 및 화물 운송 옵션을 제공한다.

- 세부 프로젝트 중점 사항 및 기타 세부 정보는 프로젝트 웹사이트에서 확인할 수 있다. <https://nemo-bil.de/projekt/>



그림 1. 출처 | Poppe + Potthoff GmbH

□ 중국 연구팀, 대나무 복합재로 제작된 무인 항공기, 텐진서 첫 비행 성공(26.05.04.)

※ [Composites World] 중국이 기체 구조의 25% 이상에 대나무 기반 복합소재를 사용한 고정익 항공기를 공개하고 시험 비행에 성공했다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/bamboo-composite-based-uav-aircraft-completes-maiden-flight-in-tianjin>
- <https://www.chinadaily.com.cn/>
- <https://www.jeccomposites.com/news/>
- #중국 #항공우주 #천연섬유 #복합소재 #경량화
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 중국 연구진과 업계 협력자들이 대나무 기반 복합소재로 상당 부분 구성된 고정익 무인 항공기(UAV)를 개발하고 비행 시험에 성공했다.
- 중국 일간지 China Daily에 따르면, 기체 구조의 25% 이상이 대나무 기반 복합소재로 제작된 틸트로터(tilt-rotor) 드론이 중국 텐진에서 첫 비행을 성공적으로 마쳤으며, "이러한 규모로 대나무를 사용한 세계 최초의 고정익 무인 항공기"라고 한다. 이 항공기는 날개 길이가 2.5미터가 넘지만 무게는 약 7킬로그램이며, 수직 이착륙(VTOL)이 가능하고 시속 100km 이상으로 순항할 수 있으며 1시간 이상 비행할 수 있다.
- China Daily와 JEC Composites는 모두 대나무 소재의 장점을 강조하고 있다. 대나무를 사용하면 유사한 탄소섬유 항공기보다 20% 이상 가벼워지며, 대나무 복합재의 비용은 표준 탄소섬유 직물의 약 4분의1 수준이라고 한다.
- 이 무인 항공기는 국제 대나무 및 등나무 센터, 북항대학교 ningbo 공업대학, 그리고 룡 대나무 기술 그룹이 공동으로 개발했다.



그림 2. 출처 | China Daily 항공편 비디오

□ 독일 HPCFK 컨소시엄, CFRP를 이용한 단일 플루트 건드릴링 기술 발전(26.05.04.)

※ [Composites World] 복합소재 샤프트 설계가 심공 시추에 내재된 진동을 개선하는 것으로 나타났다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/hpcfk-consortium-advances-single-flute-gun-drilling-with-cfrp>
 - <https://2025.hpcfk.de/>
 - #독일 #가공/드릴링 #탄소섬유 #복합소재 #CFRP #프로젝트
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 독일 연구재단(DFG)의 지원을 받는 dynoSpan 프로젝트의 일환으로, 대학 간 연구 컨소시엄 HPCFK(독일 슈타데)의 일원인 라이프니츠 하노버대학교 소속 생산공학 및 공작기계 연구소(IFW)는 도르트문트 공과대학교(TU Dortmund)기계 가공 기술 연구소(ISF)와 함께 단일 플루트 건드릴링(gundrilling)을 위한 혁신적인 공구 개념을 개발하고 있다.
- 기존 금속 샤프트를 탄소섬유강화플라스틱(CFRP)으로 교체하면 진동을 크게 줄여 홀 품질을 향상시키고 절삭 공구 마모를 줄일 수 있다.
- 고정밀 심공(deep-hole) 드릴링은 여러 산업 분야에서 필수적이지만, 길이 대비 직경 비율이 매우 크기 때문에 진동에 매우 민감하다. CFRP 기반 설계는 맞춤형 감쇠 특성을 활용하여 공정 안정성과 성능을 향상한다.
- 이 콘셉트는 하이브리드 인터페이스, 내부 냉각 채널, 적층 제조 방식의 드릴 헤드 및 최대의 유연성을 위한 모듈식 설계를 특징으로 한다.



그림 3. 출처 | HPCFK 링크드인

□ 프랑스 Airbus, A350F 화물기 복합재 주갑판 화물 도어 제작 완료 (26.05.04.)

※ [Composites World] 수년간의 준비 끝에 Illescas에서 제작한 도어가 프랑스 툴루즈로 배송되어 항공기 동체에 설치될 예정이다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/airbus-completes-a350f-freighter-composite-main-deck-cargo-door>
 - <https://www.airbus.com/en>
 - #프랑스 #항공우주 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- Airbus(프랑스 툴루즈)는 스페인 Illescas 공장에서 A350F 화물기용 복합재 소재 메인 데크 화물 도어의 첫 번째 제작 및 조립을 완료했다. 해당 부품은 툴루즈의 최종 조립 라인(FAL)으로 이송되어 첫 번째 시험 항공기의 동체에 통합된 후 향후 몇 주 동안 시험 비행을 거칠 예정이다. Airbus는 2026년부터 2027년까지 비행 시험을 위해 두 대의 A350F 항공기를 제작하고 있다.
 - A350F의 메인 데크 화물 도어는 업계 최대 규모로 알려져 있다. 4.3미터의 폭과 3.15미터의 높이를 자랑하는 이 도어는 적재 및 하역 작업을 더욱 쉽고 빠르게 안전하게 수행할 수 있도록 설계되었다. 적재 시 최적의 무게중심을 유지하기 위해 동체 후방에 위치한 이 도어는 복합소재로 제작되었으며, 전기식 개폐 시스템을 갖추고 있다.
 - 스페인 Illescas에 위치한 Airbus 공장은 복잡한 복합소재로 외피를 대량 생산하는 회사의 주요 센터 중 하나이다. 이곳에서는 기체 외피를 제조하고 문을 조립한 후 동체에 통합하기 위해 납품한다.
 - 양산 전 단계의 일환으로, 주갑판 화물 도어는 툴루즈에서 설치될 예정이다. 양산이 시작되면, 주갑판 화물 도어는 Illescas에서 독일 함부르크로 운송되어 후방 동체에 통합되고 작동 시스템이 설치된다. 그 후, 해당 동체 부분은 Airbus 생산 공정에 따라 툴루즈의 최종 조립 라인(FAL)으로 옮겨진다.
 - "이번 메인 데크 화물 도어 납품은 수년간의 준비와 광범위한 팀워크의 결과이며, Illescas 공장이 수십 년간 복합소재 분야에서 축적해 온 깊은 전문성과 기술적 성숙도를 보여주는 사례이다."라고 Airbus 스페인 상용 항공기 사업부 사장인 리카르도 로하스는 말했다.
 - A350F 화물기는 전 세계 항공 화물 시장의 변화하는 수요를 충족하도록 설계되었다. 최대 8,700km의 항속 거리와 최대 111톤의 화물 적재 능력을 갖추고 있어 국

제 장거리 노선에 투입할 수 있다. 수평 안정판과 날개 세트를 포함하여 70% 이상이 첨단 소재로 제작된 A350F는 경쟁 기종보다 46톤 더 가볍다.

- Rolls-Royce(영국 런던)의 Trent XWB-97 엔진을 장착한 A350F는 유사한 탑재량 및 항속거리를 가진 이전 세대 항공기 대비 연료 소비량과 탄소 배출량을 최대 20% 까지 절감할 수 있다. 또한 A350F는 국제민간항공기구(ICAO)의 2027년 CO₂ 배출 기준을 완벽하게 충족한다. 모든 Airbus 항공기와 마찬가지로, A350F는 운항 개시 시점에 최대 50%의 지속가능 항공유(SAF)로 운항할 수 있으며, 2030년까지 100% SAF 사용을 목표로 하고 있다.



그림 4. 출처 | Airbus

□ 네덜란드 TPAC, LOCO3 프로젝트로 자동차용 장섬유 탄소섬유/나일론 폐기물 재활용 발전(26.05.05.)

※ [Composites World] TPAC, BaX Composites 및 Spiral RTC는 저전단 압출 기술을 기반으로 자동차 부품에 대한 고속, 비용 효율적인 공정 체인을 시연하고 환경 영향을 평가한다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/loco3-project-advances-recycling-of-long-carbon-fiberylon-waste-for-automotive>
 - <https://www.compositesworld.com/suppliers/thermoplastic-composites-application-center>
 - #네덜란드 #자동차 #탄소섬유 #복합소재 #지속가능성 #재활용
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 열가소성 복합재 응용센터(TPAC, 네덜란드 엔스헤데)는 자동차 산업을 위한 산업용 장섬유 복합재 재활용 기술을 시연하는 저탄소 복합재 부품(LOCO3) 프로젝트(2025-2027)를 주도하고 있다. 저전단 압출 기술 분야의 기존 개발을 바탕으로, 이제는 이러한 개념을 견고하고 확장 가능한 제조 공정으로 전환하는 데 집중하고 있다.
- 본 프로젝트에서는 파트너사인 BaX Composites/BaX Kompozit(터키 이스탄불) 및 Spiral RTC(네덜란드 엔스헤데)와 함께 탄소섬유/나일론 폐기물의 재활용 가능성을 연구할 예정이다.
- 목표는 재활용 열가소성 복합재(TPC)에서 얻은 센티미터 길이의 섬유로 만든 판형 반제품을 자동화 생산 라인의 원료로 사용하여 자동차 부품을 고속 대량 생산하는 제조 공정을 구축하는 것이다.
- TPAC는 이러한 공정 과정을 시연하고 원료 투입, 공정 변수 및 부품 성능 간의 관계를 연구하는 역할을 담당한다. 또한, 본 전략을 통해 생산된 부품의 수명 주기 및 환경 발자국을 평가할 것이다.



그림 5. 출처 | TPAC

□ 슬로바키아 RVmagnetics Defence DemoKit, 방산 복합재료에 실시간 구조 감지 기능 제공('26.05.06.)

※ [Composites World] 초박형 MicroWire 센서를 기반으로 하는 이 키트는 재료 강도 손실 없이 주요 매개변수를 비접촉식으로 모니터링할 수 있으며, 자체적으로 맞춤형 개념 증명 테스트를 제공한다. / Product

- <https://www.compositesworld.com/products/rvmagnetics-defence-demo-kit-equips-defence-composites-with-real-time-structural-sensing>
- <https://www.compositesworld.com/suppliers/rvmagnetics>
- #슬로바키아 #방위방산 #복합소재 #SHM #센서
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

복합 구조물이 파손되기 전에 미리 경고를 해준다면?

- RVmagnetics(슬로바키아 코시체)는 NATO DIANA Accelerator의 지원을 받아 국방 실증 키트(Defence Demonstration Kit)를 개발했다. 이 키트는 실시간 내장 센싱 기능을 고객에게 직접 제공하여 더욱 스마트한 국방 소재를 더 빠르게 테스트, 검증 및 배포할 수 있도록 지원한다.

무엇이 다른가?

- 주기적인 검사나 재료의 무결성을 손상시키는 센서에 의존하는 대신, RVMagnetic의 초박형 MicroWire 센서(사람 머리카락보다 얇음)는 복합재료를 약화시키지 않고 직접 내장된다. MicroWire를 통해 다음과 같은 이점을 누릴 수 있다.
 - 온도, 압력, 진동 및 구조적 건전성을 지속적인 비접촉식 모니터링
 - 미세균열, 박리 및 피로의 조기 감지
 - 극저온 환경부터 500°C 이상까지 극한 환경에서도 안정적인 성능 제공
- Defence DemoKit은 단순한 데모가 아니라, 방산 OEM, 주요 공급업체 및 1차 협력 업체를 위해 설계된 개방형 실험 플랫폼이다.
 - 개념 증명을 자체적으로 구축 및 검증
 - 기존 감지 기술과 비교 불가
 - 탄소섬유, 유리 섬유, 케블라 등 실제 복합 재료에 대한 테스트 진행
 - 완벽한 데이터 수집 시스템과 PC 인터페이스를 통해 실행 가능한 데이터 생성 가능
- 무인 항공기, 미사일, 해군 구조물 및 위성 부품과 같은 현대 방위 시스템은 임무 수명 연장, 고장 위험 감소, 그리고 더욱 스마트하고 가벼우며 탄력적인 플랫폼을 위해 예측 정보를 필요로 한다.

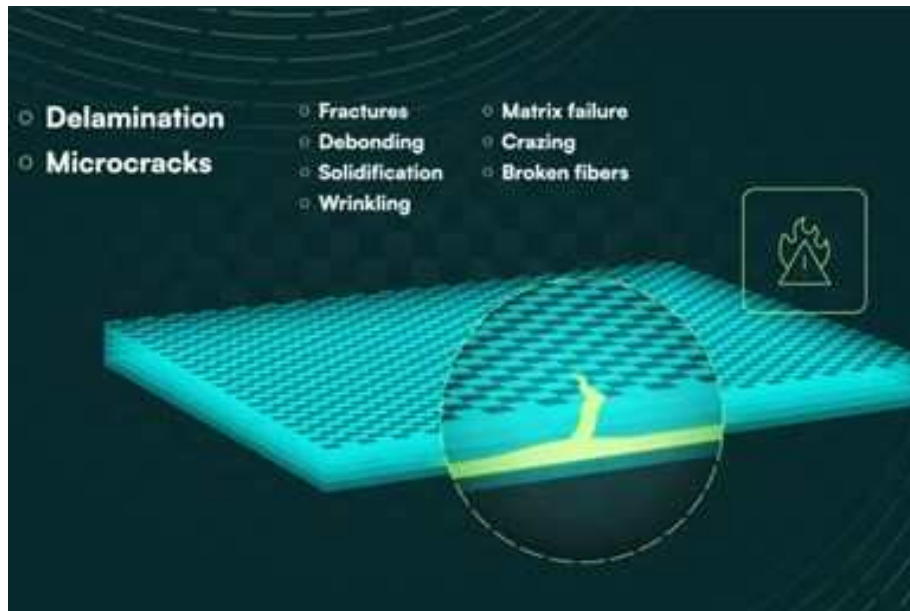


그림 6. 출처 | RVmagnetics

□ 독일 SGL Carbon, 2026년 1분기 실적은 매출 감소에도 불구하고 운영 효율성 개선으로 EBITDA 마진 상승('26.05.07.)

※ [SGL Carbon] 주요 부문의 수요 부진으로 인한 판매 압박으로 SGL Carbon의 1분기 실적에 부담을 주었지만, 이익률 개선과 전략적 비용 절감 덕분에 전망치는 변동 없이 유지되었다. / News

- <https://www.sglcarbon.com/en/newsroom/news/press-report/expected-lower-sales-but-ebitda-margin-improved-forecast-confirmed/>
 - <https://www.compositesworld.com/news/sales-decline-but-operational-efficiency-boosts-ebitda-margin-in-sgl-carbon-q1-2026-results>
 - #독일 #기업 #재무 #시장분석
- 자동차, 항공우주, 반도체 및 화학 공정 산업에 탄소섬유 기반 소재를 공급하던 SGL Carbon(독일 비스바덴 소재)의 2026년 1분기 매출은 1억 8,450만 유로(약 3,250억 원)로, 전년 동기(2025년 1분기: 2억 3,440만 유로) 대비 4,980만 유로(21.3%) 감소했다고 발표했다.
 - 이는 2025년 중반 탄소섬유(CF) 사업부 구조조정의 일환으로 수익성이 낮은 사업 활동(탄소섬유 및 전구체 생산)을 중단한 데 따른 매출 감소의 일부 원인으로 보고 있다. 적자를 내던 탄소섬유 및 전구체 생산이 중단됨에 따라 이제 해당 제품의 판매 활동도 완전히 종료되었다.
 - 2026년 1분기에는 흑연 솔루션 사업부(CS)의 수요 감소와 프로세스 기술(PT) 사업부의 어려운 수주 상황이 매출 실적에 부정적인 영향을 미쳤다. 수익성이 높은 제품의 판매 감소로 인해 조정 EBITDA는 전분기 대비 11.6% 감소한 2,960만 유로(2025년 1분기: 3,350만 유로)를 기록했다. 이 수치에는 반도체 고객과의 기존 공급 계약 조정으로 인한 일회성 보상금 770만 유로가 포함되어 있다.
 - 이러한 매출 감소에도 불구하고, 회사는 조정 EBITDA 마진을 14.3%에서 16.0%로 개선했으며, 2026년 연간 실적 전망치를 재확인했다.
 - "현재 반도체 고객사의 높은 재고 수준이 당사의 특수 흑연 제품 수요에 부담을 주고 있다. 또한 합의된 계약 조건으로 인해 고객사와 장기적인 사업 관계를 구축하는 데 어려움이 있다. 따라서 양측의 이익에 부합하는 미래의 파트너십 기반 협력 방안을 모색하기 위해 논의 중이다."라고 SGL Carbon의 CEO인 안드레아스 클라인은 보상금 수령과 관련하여 설명했다.
 - 감가상각비 및 상각비가 1,220만 유로(2025년 1분기: 1,280만 유로)로 소폭 감소하고, 일회성 및 특별 항목으로 인한 -150만 유로의 감소를 감안하더라도, 2026년 1

분기 영업이익(EBIT)은 1,590만 유로(2025년 1분기: 340만 유로)로 증가했다. 이는 주로 구조조정 완료에 따른 것이다. 2025년에는 높은 구조조정 비용으로 인해 1 분기에 1,660만 유로로 감소하는 영향이 있었다. 결과적으로 2026년 1분기에는 연결 순이익은 590만 유로를 기록했다(2025년 1분기: -610만 유로).

○ 흑연 솔루션(GS) 사업부

- 2026년 1분기 매출은 반도체 계약 조정과 관련된 770만 유로의 보상금 지급액을 포함하여 1억 640만 유로 기록, 전년 동기(2025년 1분기: 1억 1,670만 유로) 대비 8.8% 감소
- 이는 고객사의 재고가 지속적으로 높은 수준을 유지하면서 반도체 시장 부문의 수요가 부진했기 때문
- SGL Carbon은 최근 몇 달 동안 반도체 고객사의 재고 수준을 낮추어 기존 계약 기간 이후의 협력을 위한 발판 마련
- 조정 EBITDA는 고마진 반도체 판매량 감소와 설비 가동률 하락으로 인해 전분기 대비 14.8% 감소한 1,840만 유로(2025년 1분기: 2,160만 유로)
- 조정 EBITDA 마진은 고마진 제품 판매량 감소, 생산능력 활용률 하락에 기인하며, 가격 변동, 원자재 가격 상승 및 환율 영향으로 인해 17.3%로 감소

○ 프로세스 기술(PT) 사업부

- 2026년 1분기 매출은 화학 고객사들이 자본 투자 및 유지 보수 프로젝트를 연기 하면서 전년 동기(2025년 1분기: 3,650만 유로) 대비 30.1% 감소한 2,550만 유로
- 이는 에너지 가격 상승, 높은 인건비, 규제 요건 강화, 그리고 이로 인한 화학 산업의 불확실성 때문에 많은 기업들이 자본 투자뿐 아니라 유지보수 및 교체 투자도 연기했기 때문
- 조정 EBITDA는 판매량 감소와 판매 가격 하락을 반영하여 전년 동기 1,100만 유로에서 410만 유로로 크게 감소
- 조정 EBITDA 마진은 2025년 1분기에 이례적으로 높은 30.1%를 기록한 후 16.1% 감소

○ 섬유 복합재(FC) 사업부

- 기존의 탄소섬유 및 복합재 솔루션 사업부가 합병된 섬유 복합재(FC) 사업부의 2026년 1분기 매출은 4,770만 유로로, 전년 동기 7,660만 유로에 비해 2,890만 유로 감소
- 이러한 감소는 주로 2025년 중반 탄소섬유 사업부 구조조정의 일환으로 수익성이 낮은 탄소섬유 사업을 중단함에 따라 전 분기 대비 매출이 감소한 데 따른 것
- 탄소섬유 사업 구조조정으로 인한 상당한 비용 절감에 힘입어 조정 EBITDA는 2026년 1분기에 750만 유로에서 900만 유로로 증가
- 이번 실적에는 B합작 투자 회사인 브렘보 SGL 카본 세라믹 브레이크(BSCCB)의 400만 유로(2025년 1분기: 160만 유로)의 기여분 포함되어 조정 EBITDA 마진이 2.0%에서 18.9%로 증가

사업 전망

- 중동 지역의 무력 충돌 발발로 전반적인 경제 성장 둔화 위험이 커졌다. SGL은 만약 분쟁이 장기화되어 에너지 및 원자재 공급망에 지속적인 차질이 발생할 경우, 당사의 판매 시장에 부정적인 영향을 미칠 가능성을 배제할 수 없다고 밝혔다.
- 경제 상황과 관계없이 SGL은 향후 몇 달 동안 반도체 고객사들과 지속적인 소통을 통해 미래 협력 방안을 모색해 나갈 것이다.
- 현재 정보를 바탕으로 향후의 상황이 더 악화되지 않는다는 가정 하에, SGL은 당사는 2026년 3월 19일에 발표한 2026 회계연도 매출 및 실적 전망치를 그대로 유지(확정)한다.
- SGL의 2026 회계연도 총매출은 7억 2천만 유로(약 1조 2,600억 원)에서 7억 7천만 유로 사이(약 1조 3,500억 원), 조정 EBITDA로 반영되는 실질적인 이익 규모는 1억 1천만 유로(약 1,930억 원)에서 1억 3천만 유로(약 2,280억 원) 수준으로 기대하고 있다.



그림 7. 출처 | SGL Carbon

□ 미국 Trillium, HS효성첨단소재 주도로 바이오 기반 PAN 시범 생산 시설 가동위한 1,300만 달러 투자 유치(26.05.07.)

※ [Composites World] 프로젝트 팔콘은 기존 방식에 바로 적용 가능한 식물 기반 ACN 기술의 기술적 성능, 산업 규모 실행 가능성, 그리고 상용화 노력에 있어 상당한 진전을 보여준다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/trillium-raises-13-million-to-begin-bio-base-d-acrylonitrile-demo-plant-operations-design-of-commercial-version>
 - <https://www.trilliumchemicals.com/>
 - #미국 #제조생산 #탄소섬유 #지속가능성 #투자
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- Trillium Renewable Chemicals(미국 테네시주 녹스빌)이 HS효성첨단소재(대한민국 서울)의 주도로 1,300만 달러(약 180억원) 규모의 시리즈 B 투자 유치를 완료했으며, 이번 라운드에는 Capricorn Partners(벨기에 루벤)도 참여했다. 이로써 이 회사는 기존의 1,060만 달러 규모 시리즈 A 투자와 미국 에너지부(DOE)로부터 지원받은 비지분성 자금 250만 달러에 더해 추가 성장 동력을 확보하게 되었다.
 - Trillium은 글리세롤-아크릴로니트릴 전환 기술의 유효성을 검증하는 다년간의 성공적인 파일럿 프로그램을 통해 100% 바이오 기반 아크릴로니트릴을 생산하는 첫 번째 실증 공장인 "프로젝트 팔콘(Project Falcon)"을 INEOS Nitriles의 Green Lake 공장에 건설하기로 결정했다.
 - 프로젝트 팔콘의 건설이 완료되어 Trillium 기술의 첫 번째 산업 규모 적용이 이루어졌다. 시운전은 2026년 2분기에 예정되어 있으며, 제품 출하는 그해 하반기에 시작될 예정이다. 조달된 자금은 (1) 팔콘의 설계 및 건설(완료), (2) 팔콘 운영, (3) 파일럿 규모 혁신 지속 및 (4) 상용 공장의 고급 엔지니어링 설계에 사용되었다.
 - 전 세계 아크릴로니트릴 생산량은 연간 600만 톤을 넘으며, 거의 전적으로 화석 연료에서 생산된다. Trillium의 공정은 하류 공급망에 아무런 변화 없이 기존 원료를 대체할 수 있는 식물 기반 아크릴로니트릴을 제공한다. 아크릴로니트릴은 탄소섬유, 플라스틱, 직물, 응집제, 합성 고무 및 기타 고부가가치 소재를 포함한 다양한 소비재 및 산업재 제조에 사용된다. 이러한 파생 제품은 항공우주 및 자동차용 경량화 복합재, 기능성 섬유, 특수 고분자 응용 분야와 같은 고부가가치 시장에 활용된다.
 - "팔콘 프로젝트의 완료는 Trillium의 기술이 산업적 검증을 받을 준비가 되었음을 보여준다."라고 Trillium의 시리즈B 투자사인 HS효성첨단소재의 이영준 수석 부사장은 말했다. "지속 가능한 아크릴로니트릴을 확보하는 것은 업계에 중요한 이정

표이며, 팔콘 프로젝트는 이를 대규모 생산하여 실용적이고 기존 제품에 그대로 적용할 수 있는 지속 가능한 제품을 생산할 수 있음을 입증할 것이다.”

- Capricorn Partners의 CEO인 코리 타이리에 따르면, 회사는 현재 기술적 검증 단계에서 상업적 검증 단계로 넘어가고 있다.
- 팔콘 시운전 이후, Trillium은 첫 번째 상업 규모 생산 공장의 엔지니어링 및 개발을 진행할 예정이다. 현재 회사는 상업적 배포를 준비하기 위해 전략적 파트너 및 고객과 협력하고 있다.



그림 8. Trillium Renewable Chemicals 마일스톤. 출처 | Trillium

□ 미국 GA-EMS, MAITrX 시설을 통해 CMC 산업화('26.05.07.)

※ [Composites World] General Atomics 전반에 사용되는 소재를 개발하는 이 연구소는 원자력 등급 SiC 섬유의 국내 생산을 확대하고, SiC 품을 혁신하며, CMC 생산 및 상용화를 가속화하기 위한 협력을 촉진하고 있다. / Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/ga-ems-industrializing-sicsic-and-other-cmc-via-maitrx-facility>
 - <https://www.ga.com/careers/locations-divisions>
 - #미국 #항공우주 #방위방산 #탄소섬유 #CMC
 - 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장
- 2026년 2월, General Atomics Electromagnetic Systems(GA-EMS, 미국 캘리포니아 주 샌디에이고)는 오크리지 국립 연구소(ORNL, 미국 테네시주 오크리지)와 첨단 세라믹 매트릭스 복합재(CMC)의 산업 제조를 발전시키기 위한 양해각서(MOU)를 체결했다고 발표했다. 이 협약에 따라 GA-EMS는 ORNL에 있는 미국 에너지부(DOE) 산하 제조 시범 시설(MDF)의 자원을 활용하여 세라믹 전구체, 섬유 및 복합재의 첨단 제조 공정을 연구할 예정이다.
 - GA-EMS의 스콧 포니 사장은 이번 사업의 목표는 혁신을 가속화하고, 미국의 핵심 공급망을 강화하며, 국가 안보와 에너지 안보에 필수적인 첨단 소재를 제공하는 것이라고 설명했다. 그는 또한 "이번 사업은 GA-EMS의 성장하는 첨단 소재 및 기술 역량과 MAITrX(Materials Acceleration, Innovation and Transition Exchange) 연구소 출범을 보완하는 역할을 한다."라고 덧붙였다. 70년 이상의 원자력 분야 전문성을 바탕으로 구축된 MAITrX는 CMC를 중심으로 맞춤형 첨단 소재의 상업적 구현을 추진하기 위해 설립되었다.

General Atomics의 첨단 소재 개발 허브

- General Atomics는 네 가지 주요 사업 부문과 여러 계열사로 구성되어 있다. 가장 잘 알려진 계열사는 아마도 General Atomics Aeronautical Systems Inc.(GA-ASI)일 것이다. GA-ASI는 MQ-9A Reaper, MQ-9B SkyGuardian/SeaGuardian, MQ-1C Gray Eagle, 그리고 MQ-20 Avenger 및 Gambit 시리즈를 포함한 무인 항공 시스템(UAS)을 생산한다.
- GA-EMS는 미 해군용 전자기 항공기 발사 시스템(EMALS), 레일건 기술 및 고출력 에너지 레이저, 위성 및 우주 감지 시스템, 초고속 발사체, 그리고 차세대 핵분열 에너지 응용 분야를 지원하는 특수 펄스 전력 및 에너지 변환 시스템을 포함한 첨단 전자기 시스템을 개발 및 제조한다.
- GA-EMS의 핵 기술 및 재료 부문 부사장인 Christina A. Back 박사는 "우리는 핵 기

술에 투자하는 경향이 있지만, 극초음속 분야를 포함하여 General Atomics와 그 계열사 전체를 지원하는 재료에도 투자한다."라고 말한다. "복합재료는 우리 회사의 주요 투자 분야이며, 우리는 이러한 기술을 개발하고 특정 최종 용도 제품에 맞게 특화한다."

CMC 소재 개발 범위

- CW는 이전에 GA-EMS가 개발한 탄화규소(SiC) 복합재로 구성된 고온 핵연료봉용 SiGA 피복재에 대해 보도한 바 있다. 백 박사는 이 소재의 섬유와 기질 모두 결정질 베타상 탄화규소(β -SiC)로 이루어져 있다고 설명하며, 이는 원자로에서 중성자에 의한 취성을 방지하기 위함이라고 덧붙였다. 현재 원자로 환경에서는 Zircaloy 금속 핵연료봉을 5년 이내에 교체해야 한다. 백 박사는 "우리가 개발 중인 첨단 가스냉각로에서는 중성자 손상에 대한 저항성이 탁월한 SiC/SiC 피복 핵연료봉을 헬륨 냉각재 환경에서 30년 동안 사용할 수 있을 것"이라고 말했다.
- "SiC 매트릭스에 탄소섬유를 사용할 수도 있다."라고 그녀는 말을 이었다. "또한, 훨씬 더 높은 온도까지 견딜 수 있는 다른 매트릭스를 가진 지르코늄 카바이드(ZrC, 녹는점 약 3540°C) 섬유에 대해서도 연구하고 있다." 탄소/탄소(탄소섬유 강화 탄소 매트릭스, C/C) 또한 고온 응용 분야에서 많이 사용되지만, "단점은 고온에서 산소가 있는 환경에 노출되면 침식된다는 것이다. 이는 시스템 설계에 영향을 미치고 일부 응용 분야에는 C/C가 부적합하게 만든다."
- 백 교수는 "SiC는 용도에 따라 더 강한 매트릭스 소재인 반면, C/SiC는 SiC 섬유보다 저렴하고 쉽게 구할 수 있는 탄소섬유를 활용하려는 장점을 갖고 있다"고 설명한다. 그녀는 이러한 비산화물 CMC는 일반적으로 섬유와 매트릭스 사이에 섬유가 미끄러지도록 하는 계면층 또는 코팅이 필요하며, "이를 통해 내구성에 필요한 유사 연성 기계적 특성을 얻을 수 있다"고 덧붙인다.
- 이 계면층은 일반적으로 0.1~1.0 마이크로미터 두께의 층으로, 매트릭스 침투 전에 SiC 섬유 위에 증착되는 질화붕소(BN) 또는 열분해 탄소(PyC), SiC 및 다층 복합체를 포함할 수 있다.
- 백 박사는 "이러한 다양한 CMC 제조 공정은 대부분 비슷하지만, 전구체나 침투 재료는 다르다. 우리는 광범위한 기술을 연구하며 솔루션을 위한 일종의 인큐베이터를 제공하고자 노력하고 있다. 최종 용도를 염두에 두고 재료를 선택한 다음, 이를 상용화할 수 있는 기술을 개발한다."라고 말했다.

MAITrX, CMC 가속화를 위한 협력 센터

- MAITrX의 핵심 기둥은 가속화, 혁신 및 교류이다. 백 대표는 "우리는 CMC와 같은 핵심 소재의 상용화를 가속화하는 데 도움이 될 중요한 아이디어, 인물 및 조직을 한데 모으고자 한다."라고 말하며, "기존 방식을 그대로 따라 하는 것이 아니라 협

력을 가능하게 하는 것이 목표이다."라고 덧붙였다.

- SiGA-FN 원자력 등급 SiC 섬유 및 편조를 사용하여 SiGA 클래딩을 제작한다.

- MAITrX 연구소는 GA-EMS Torrey Pines facility(미국 샌디에고 라호야) 내 65,000평방피트 규모의 공간을 사용하고 있다. 백 박사는 "우리는 섬유연구실과 복합재연구실을 포함하여 CMC 공정 전반을 다루고 있다."라고 말한다. "SiC/SiC 부품을 생산하기 때문에 SiC 섬유를 국내에서 생산하고 있다. GE Aviation에서 생산하는 SiC 섬유는 터빈 엔진 부품에 적합하지만, 원자력 분야에는 결정질 β -SiC가 필요한데, 현재 미국에서는 충분한 양이 생산되지 않고 있다."

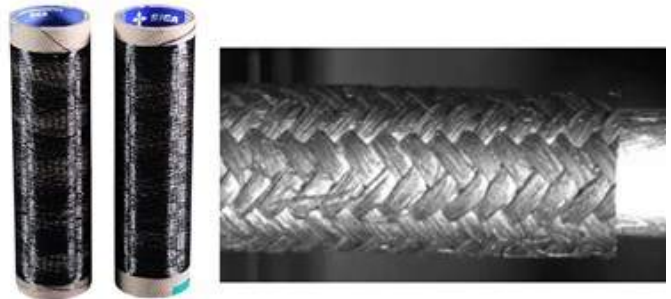


그림 9. GA-EMS는 원자력 등급 SiC 섬유의 미국 공급원을 제공하기 위해 SiGA-FN 섬유를 개발하고 있으며, 핵연료봉용 SiGA 클래딩을 제작하는 데 편조 기술을 사용한다. 출처 | GA-EMS

- "우리는 편조기, 권선기, 압출기뿐만 아니라 고온로와 기타 가공 장비도 보유하고 있다. 제조 방식은 생산하는 제품에 따라 다르다." 예를 들어, 핵연료봉용 SiGA 클래딩은 SiC/SiC 테이프를 편조하여 슬리브를 만든 다음, 고순도 β -SiC를 여러 번 침투시키는 방식으로 제작된다. "우리는 두 가지 방식으로 이 공정을 진행하여 필요한 부품 특성, 강도 및 재료 품질을 확보했다."라고 백 박사는 설명한다. "현재 우리의 목표는 제조 공정을 개선하는 것이다. 현재의 침투 공정은 시간이 너무 많이 소요되기 때문에 개선할 수 있는 방법을 알고 있다."
- 그녀는 "ORNL은 규모 확장에 대한 해답을 찾는 데 도움을 주고 있다."라고 말을 이었다. "우리 MAITrX 연구소의 핵심 목표는 다양한 기술과 전문성을 결합하는 것이다. 따라서 여러 회사와 협력하는 데 아무런 문제가 없다."

ORNL을 선택하는 이유

- 백 박사는 "ORNL 연구소는 GA-EMS가 오랫동안 협력해 온 파트너이다. 다른 국립 연구소보다 첨단 세라믹과 CMC를 우선시해 왔으며, 우리가 공정을 완전히 검증하기 전까지는 투자하지 않을 장비를 보유하고 있다."라고 말했다.
- "MAITrX 연구실은 특정 최종 용도에 집중하고 그에 따라 연구를 진행하는 경향이 있다."라고 그녀는 설명한다. "예를 들어 극초음속 비행체나 핵열 로켓에 필요한 것이 무엇인지 살펴본다. 하지만 국립 연구소처럼 심층적인 탐색을 할 시간은 없다. 국립 연구소는 우리처럼 최종 제품을 생산하는 곳이 아니기 때문이다. MAITrX는 상당한 규모의 연구 시설과 제조 센터를 보유하고 있지만, ORNL은 일부 공정

의 규모 확장에 대한 탐색을 더 많이 진행해 왔다.

- 예를 들어 세라믹 프리프레그 테이프를 감고 푸는 방식, 그리고 공정에서 사용하는 온도 등이 중요하다. 이러한 모든 세부 사항은 산업 규모로 나아가기 위해 중요하며, 바로 이 부분에서 ORNL과 협력하고 있다."

차세대 원자력 발전을 위한 SiC/SiC 기술 발전

- 핵분열 및 핵융합 응용 분야에서 GA-EMS 기술의 발전 사례는 2026년 3월 Journal of Nuclear Engineering에 게재된 논문에 자세히 설명되어 있으며, 이 논문에는 Back 박사와 MAITrX 연구소 소장인 Hesham Khalifa 박사를 비롯한 여러 공동 저자가 참여했다. 이 논문에서는 방사선 안정성을 위해 핵 등급 SiC/SiC는 계면에 PyC를 사용해야 한다고 설명한다. BN은 중성자 흡수제로 간주되기 때문이다. 또한, 필요한 β -SiC 매트릭스를 제조하는 데에는 화학 기상 침투(CVI) 또는 증착(CVD) 방식이 선호된다. 다른 매트릭스 침투 방식, 예를 들어 결정성이 낮은 고분자 침투 열분해(PIP) 방식과 미반응 자유 실리콘이 발생하는 반응성 용융 침투(RMI) 방식은 방사선 환경에 적합하지 않은 SiC 매트릭스를 생성하는 경향이 있다고 알려져 있다.

- CVI(화학 함침법)는 고온 진공로를 사용하여 전구체 가스를 분해하고 SiC섬유 프리폼의 필라멘트 사이에 β -SiC를 증착한다. 이 과정을 반복하여 CMC(화학 복합재료)를 고밀화한다. 그러나 핵연료 피복재 및 핵융합로 부품에 필요한 수미터 길이의 규모에서는 고밀화 균일성을 제어하는 것이 어렵고, CVI를 이용한 원자력 등급 SiC/SiC의 대량 생산은 아직 실증되지 않았다.

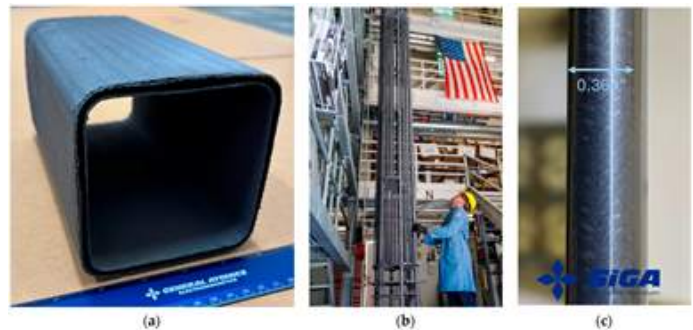


그림 10. GA-EMS SiC/SiC 복합 부품: (a) SiC/SiC 유동 채널 삽입물(FCI) 시제품, (b) GA-EMS 파일럿 규모 CVI/CVD로 옆에 놓인 완전히 치밀화된 12피트 길이의 SiGA 연료 피복재, (c) 표면 평활도를 보여주는 피복재. 출처 | GA-EMS, 2026년 3월 기사

GA-EMS SiC/SiC 복합 부품 및 CVI/CVD 파일럿 규모

- 3월의 본 논문에서는 MAITrX 연구소가 최대 12피트 길이의 고중형비 SiC/SiC 부품을 한 번에 수백 개씩 제작할 수 있다고 설명한다. 이러한 부품은 현재 가동 중인 경수로 및 고온 가스냉각로를 포함한 핵분열 원자로의 개조용 연료봉에 사용되는 SiGA 클래딩을 구성한다. MAITrX는 또한 아래에서 자세히 설명하는 핵융합로용 유동 채널 삽입물(FCI)의 시제품도 개발했다.
- MAITrX는 배치당 최대 300개의 SiGA 연료봉을 생산할 수 있도록 설계된 높이 35 피트(약 10.7미터)의 CVI/CVD 처리로를 설치했다. 이 시설은 생산 규모 확대를 위

한 가능성을 검증하는 데 사용되고 있다. 또한 최종 마감 및 표면 조도 제어를 위한 가공 설비도 갖추고 있다.

- 백 박사는 "우리는 상당한 진전을 이루었고, 이제 발전소들과 함께 샘플 테스트를 시작하고 있다. 우리의 목표는 연료봉의 특성과 성능을 입증하는 것뿐만 아니라 실제 적용 가능성도 살펴보는 것이다."라고 말했다. 그녀는 원자로를 개조할 때 전체 5만 개의 연료봉 중 3분의 1을 한 번에 교체한다고 설명하며, "처음에는 한 자릿수에서 수백 개까지 규모를 키웠고, 이제는 수만 개까지 규모를 확대하고 있다."라고 덧붙였다.
- "하지만 우리는 일부 배합 방식도 검토하고 있다."라고 그녀는 말한다. "프리폼의 CVI를 사용하는 SiC/SiC와 같은 재료에서 극초음속 분야에 더욱 적합한 제조 공정으로 전환하는 것을 고려하고 있다. C/C 복합재료에서 배합 단계부터 생산 및 후처리까지 전 과정에 걸쳐 더욱 효율적인 공정으로 전환하는 것이 매우 중요하다고 생각한다. 따라서 목표는 각 용도에 맞는 더욱 견고하고 내열성이 뛰어난 소재로 부품을 만드는 것뿐만 아니라 생산 시간을 단축하고 생산량을 늘리는 것이다."
- 이러한 제조 기술은 핵융합로 응용 분야 개발에도 활용되고 있으며, SiC/SiC는 효율 향상, 유지보수 비용 절감 및 발전소 수명 연장에 매우 중요하다. 이중 냉각 납-리튬 블랭킷(DCLL) 설계에서 SiC/SiC는 고온, 방사선 및 플라즈마 상호 작용을 견딜 수 있는 부품을 구현하는 동시에 효율적인 삼중수소 생성을 가능하게 한다. 예를 들어, General Atomics 모듈형 블랭킷(GAMBL) 설계는 복사 냉각을 사용할 수 있고 밀폐가 필요 없는 SiC/SiC 구조 지지대를 사용하여 다양한 비용 및 효율성 이점을 제공한다.

SiC 품의 생산 규모 확대

- 단일체 SiC/SiC 외에도, 액체 금속 냉각재의 흐름을 유도하는 데 사용되는 FCI(Fluid Controlled Infusion)와 같은 응용 분야에서는 SiC 품이 낮은 열전도율을 제공한다. 그러나 2026년 3월 기사에서 설명했듯이, SiC 품은 경도가 높아 원하는 형상으로 가공하기 어렵고 비용이 많이 들며, 대형 SiC 품 또한 가격이 높다. 또한, 시판되는 SiC 품은 다공성 옵션이 제한적이어서 핵융합 응용 분야에 필요한 열전도율을 충족하지 못할 수 있다. 이에 GA-EMS는 FCI에 적용 가능한 확장 가능하고 저렴한 SiC 품 기반 제조 기술을 개발했다. 이 공정은 SiC 대신 가공이 더 쉽고 저렴한 탄소 품을 사용한다. 그런 다음 이 탄소 품에 일산화규소(SiO) 가스를 반응시켜 SiC를 생성함으로써 SiC 품으로 변환한다.
- GA-EMS는 Si와 SiO₂를 모두 함유하는 입자를 제조한 후 이를 탄소 품에 침투시켜 SiO₂가스를 생성하는 특허 출원 중인 방법을 개발했다. SiO₂가스 방출 반응은 1200°C 정도의 낮은 온도에서 시작되며, 매우 균일하게 진행되어 방사선 안정성이 뛰어난 고결정성 β-SiC 품을 생성한다. 또한, 변환된 SiC 품은 원래 탄소 품과 동

일한 부피와 형상을 유지하며 수축률은 0.5% 미만이다.

- GA-EMS는 6×6×0.25인치 크기의 SiC 폼 플레이트와 3×3×3인치 크기의 SiC 폼 채널을 성공적으로 제조했다. GA-EMS는 Si/SiO₂ 입자가 탄소 폼에 침투될 수만 있다면 변환 공정에 근본적인 크기 제한이 없다고 언급했다. 대형 탄소 폼 블록은 시중에서 구할 수 있지만, 원하는 기공 크기와 다공성을 얻는 것은 어려운 과제이다.

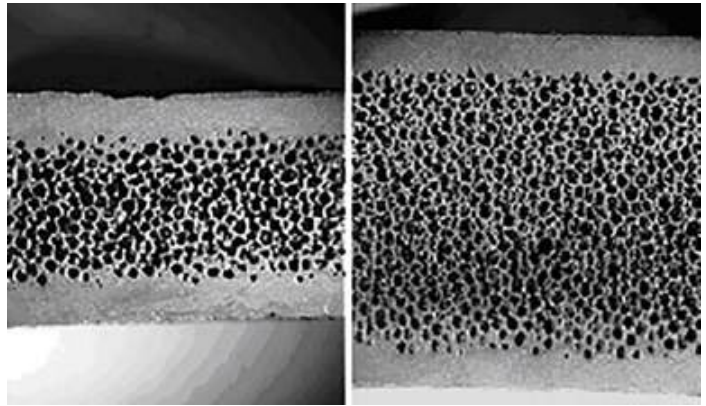


그림 11. SiC 폼 샌드위치 구조는 10년 이상 FCI(섬유 강화 콘크리트) 및 기타 응용 분야에 대한 연구가 진행되어 왔다. Ultramet에서 제작한 이 제품은 SiC 스킨과 코어가 일체로 접합된 구조를 특징으로 한다. 출처 | Ultramet

- 3월 기사에서는 원자력 분야의 요구 사항을 충족하는 탄소 폼 생산 방법을 제시하는 것으로 보이는 연구를 인용했으며, GA-EMS는 이 SiC 폼 기술의 개발 및 대량 생산을 지속하고 있다.

제조업으로 가는 길, 생산 방식의 혁신 필요

- 백 박사는 GA-EMS가 핵연료봉용 SiC/SiC 클래딩 분야에서 이룬 진전과 향후 부품 생산 계획에 대해 설명했다. "우리는 재료 배합 및 시험편 검증에서 원자로 내 튜브 부품 평가에 이르기까지 여러 단계를 거쳤으며, 각 단계마다 다른 전문가가 필요했다." 그녀는 GA-EMS가 제조 부문의 전문가들을 이러한 팀에 투입한다고 언급했다. "개념 증명이 완료되면 비용, 장비, 공장 배치 방식 등을 검토할 수 있다. 그 후 시범 공장을 거쳐 최종적으로 최종 고객사 인근에 위치한 제조 시설 중 한 곳에서 본격적인 생산에 들어간다."

- "CMC의 경우, 생산 방식을 혁신하는 데 집중해야 한다."라고 그녀는 말을 이었다. "핵심은 바로 '동일한 위치'에 있는 사람들이다. 제품 수명 주기의 적절한 시기에 적합한 사람들을 한데 모으는 것이다. 예를 들어 여기에는 프리프레그 테이프 제조법처럼 필요한 재현 가능한 특성을 갖춘 표준화된 제형을 개발하는 혁신가부터 생산 및 구현을 담당하는 엔지니어링 팀까지 모두 포함된다. 우리는 다른 회사들과도 이와 유사한 방식으로 협력한다. 이것이 바로 MAITrX의 정신이다."

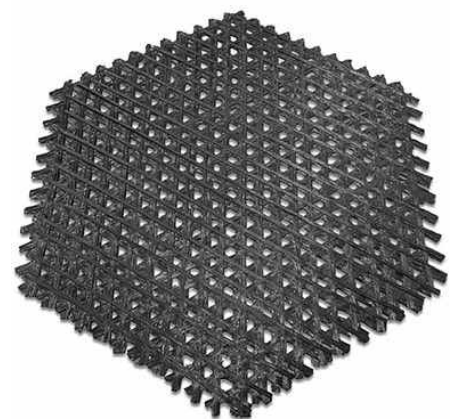


그림 12. GA-EMS는 미국 국립항공연구소(NIAR)와의 협력을 통해 SiGA 프리프레그 테이프의 자동 섬유 배치 기술을 사용하여 SiC 프리폼 개발 출처 | General Atomics

- "또한, 필요한 실증적 작업을 줄이고 개발 및 검증을 더욱 효율적으로 안내하기 위해 물리 기반 모

델링 및 시뮬레이션을 개발하고 있다. 이상적으로는 더 빠른 시일 내에 목표를 달성하고 제조에 적합한 방식으로 기술을 통합하여 요구 사항을 더 신속하게 충족할 수 있기를 바란다."

- 백 박사는 "핵심은 오늘날 변화의 속도에 맞춰 원리 검증에서 생산으로 전환하는 것이다."라고 말한다. "인공지능과 머신러닝은 새로운 개발 주기를 가능하게 한다. 우리는 이러한 역량들을 통합하고, 필요에 따라 협력해야 한다. 그렇지 않으면, 핵무기나 극초음속 기술 발전에 실질적인 도움이 되지 않는, 그저 관찮은 기술들만 따로 떨어져 있게 될 것이다. 필요한 개발 과정은 어렵지만, MAITrX는 바로 이러한 목표를 달성하기 위해 필요한 파트너와 기술을 한데 모으고 있다. 이를 통해 CMC와 기타 첨단 소재의 산업화를 효율적으로 추진하고자 한다."

CMC용 원자력 등급 SiC 섬유의 미국 내 생산

- GA-EMS는 핵분열 및 핵융합 응용 분야에 필요한 SiGA-FN 섬유를 공급하기 위해 개발하고 있다. 2026년 3월 기사에서 GA-EMS 연구진은 UBE Corporation(일본 도쿄)과 NGS Advanced Fibers Co.(일본 도야마) 모두 이러한 섬유를 생산하고 있지만, 개발 규모의 물량 생산 시 비용이 kg당 1만 달러를 초과할 수 있다고 설명했다. 따라서 핵융합 및 핵분열 원자로에는 원자로 노심당 수많은 SiC 섬유와 CMC가 필요하지만, 현재의 공급망은 비용 부담이 크고 공급량 또한 제한적이다.
- 3월 기사에서는 일반적인 생산 과정이 폴리카르보실란과 같은 세라믹 전구체 고분자를 섬유 형태로 방사하는 것으로 시작되며, 이후 열처리 과정에서 구조적 안정성을 유지하기 위해 경화 과정을 거친 후 최종적으로 고온에서 고순도 SiC 섬유로 변환된다고 설명한다. 경화는 핵심적인 차별화 단계이며, 현재 상용 생산 업체들은 열화학적 가교 또는 고에너지 전자빔 가교 방식을 사용하고 있다고 한다.
- UBE사가 Tyranno SA4 섬유 생산에 사용하는 열화학적 방법에서는 산소가 고분자 내 가교 반응을 촉진한다. 반면, NGS Advanced Fibers는 Hi-Nicalon Type S 섬유 생산을 위해 집중된 전자빔을 이용하여 화학적 가교 반응을 유도하지만, 이 방법은 생산 비용이 높다.
- Kureha사(일본 도쿄)와 같은 신규 시장 진입 업체들은 세라믹 전구체 고분자를 기반으로 하는 공정을 개발하여 별도의 가교 공정이 필요 없도록 함으로써 잠재적으로 비용을 절감하고 있다.
- 3월 기사에서 언급된 다른 업체로는 고속 전자빔 가교 반응을 이용하여 Silafil SiC 섬유를 생산하는 BJS Ceramics(독일 게르스트호펜)와 고에너지 전자빔 방식을 연구 중인 DACC Carbon(한국 서울)이 있다. 그러나 GA-EMS는 이러한 방식으로 생산된 섬유가 원자력 등급으로 간주될 수 있는지 여부에 대해서는 명확히 밝히지

않았다.

항공우주 및 원자력 등급 SiC/SiC의 성장

- GA-EMS는 항공우주 등급 SiC/SiC 제조 기반이 원자력 등급 소재 제조 기반보다 훨씬 더 발전되어 있다고 주장한다. 항공우주 분야는 원자력 등급과 같은 높은 순도와 결정성을 요구하지 않기 때문에 10년 이상 산업 규모로 운영되어 온 공정을 활용할 수 있다는 것이다.
- GE Aerospace(미국 오하이오주 신시네티)는 CMC 기술 개발에 10억 달러 이상을 투자한 후, 2014년 노스캐롤라이나주 애슈빌에 부품 공장을, 2018년에는 앨라배마주 헌츠빌에 연속 섬유 및 프리프레그 공장을 설립했다. 2021년에는 SiC 섬유와 프리프레그를 각각 연간 최대 1만 킬로그램과 2만 킬로그램까지 생산하고, LEAP 엔진 1기(CFM)당 18개씩, 총 10만 개 이상의 SiC/SiC 고압 터빈 1단(HPT1) 슈라우드를 제작했다고 발표했다. GE9X 엔진의 경우, HPT1 슈라우드와 노즐, HPT2 노즐, 연소기 내피 및 외피를 생산한다. 2026년 3월 초, GE Aerospace는 미국 내 엔진 공급망에 2년 연속 10억 달러를 투자한다고 발표했으며, 여기에는 헌츠빌 사업장의 SiC 섬유 및 프리프레그 테이프 생산 시설에 대한 5,500만 달러 투자가 포함된다.
- 한편, GA-EMS는 자체 개발 외에도 Ceramic Tubular Products(미국 버지니아주 린치버그)와 Toshiba Energy Systems & Solutions(일본 가나가와현)가 사고 내성 핵 연료봉(ATF) 용도의 SiC/SiC 소재를 생산하고 있다고 밝혔다. 이들 회사는 CVI 공정을 이용하여 최대 3피트 길이의 원자력 등급 부품을 제작했으며, 12피트 길이의 부품 제작도 진행 중이다.

□ 중국 선양 자동화 연구소, 우주궤도 구조물용 탄소섬유/PEEK 3D 프린팅 및 용접 기술 제안(26.05.08.)

※ [Composites World] 축소 프로토타입을 통해 검증된 이 기술은 우주 공간에서의 제조에 따른 물류 및 비용 장벽을 극복하고자 하는 연구의 발전 추세를 보여준다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/shenyang-institute-of-automation-proposes-carbon-fiberpeek-3d-printing-and-welding-for-on-orbit-structures>
 - https://sia.cas.cn/xwzx/kydt/202604/t20260417_8187204.html
 - #중국 #자동화 #적층제조 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스티븐스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 우주 탐사 기술 발전에 있어 소재 혁신은 여전히 중요한 원동력이다. 최근 중국 선양 자동화 연구소(SIA CAS)는 탄소섬유 강화 폴리에테르에테르케톤(PEEK) 복합재료의 궤도상 제조 기술에서 주목할 만한 성과를 발표했다. 이 기술은 대형 복합 우주 구조물의 통합적인 제조 및 접합에 새로운 가능성을 열어줄 것으로 기대된다.
 - SIA CAS의 접근 방식은 탄소섬유 강화 PEEK 복합 튜브 유닛의 압출 성형과 레이저 투과 용접을 결합한 것이다. 이 개발은 태양광 발전소 및 안테나에서부터 달 지지 구성 요소에 이르기까지 대규모 우주 구조물을 무중력 환경에서 직접 자동 조립할 수 있도록 하는 것을 목표로 한다.
 - 또한 우주 궤도 건설에 내재된 두 가지 핵심 과제인 (1)고성능 구조 유닛의 효율적인 제작과 (2)구성 요소 간의 안정적인 연결을 해결한다. 연구팀은 온도와 압출 속도가 기계적 특성에 미치는 영향을 체계적으로 연구하고 최적의 공정 매개변수를 결정하여 높은 비강도, 높은 강성 및 높은 환경 적응성을 결합한 복합 튜브를 제작함으로써 장기간 우주 환경에 매우 적합한 소재를 만들었다.
 - 연결 기술 측면에서 연구팀은 3D 프린팅으로 제작된 고투과율 PEEK 접합부에 레이저 투과 용접을 결합하여 파이프 이음매와 접합부 사이에 고정밀, 고강도 일체형 연결을 구현했다.
 - 이 방법은 비접촉식이며 응력이 균일하게 분산되고 효율성이 높아 기존 접착 방식의 단점인 노화 용이성, 무거운 기계적 연결, 신뢰성 부족 등을 효과적으로 극복한다. 용접 이음매는 안정적이며 공간 구조물의 하중 지지 요구 사항을 충족한다.
 - 연구팀은 프로젝트의 실현 가능성을 검증하기 위해 해당 기술을 기반으로 축소된 포물선형 안테나 트러스 프로토타입을 통합 제조 방식으로 제작했다. 재료 선정,

성형, 연결부터 구조 조립까지 전 과정을 진행하여 제안된 솔루션이 우주 공간에서 자동화된 궤도상 건설에 적합하다는 것을 입증했다.

궤도상 조립

- 접고 발사할 필요가 없고 발사체 크기에 제한받지 않으므로 우주에서 구성 요소를 직접 준비, 연결 및 통합할 수 있어 차세대 항공우주 시스템의 핵심 기술이다.
- 본질적으로 이러한 발전은 더 광범위한 산업 동향을 반영한다.
 - 모듈식 설계와 현지 제조는 지구에서 대형 구조물을 발사하는 데 따르는 어려움을 해결하는 데 핵심적인 요소가 되고 있다.
 - 복합 재료는 강도 대비 무게 비율이 우수하고 극한의 우주 환경을 견딜 수 있는 능력 때문에 점점 더 선호되고 있다.
 - 재료과학, 로봇공학, 항공우주공학 등 다양한 학문 분야의 협력은 우주 제조 비전을 현실로 구현하는 데 필수적이다.



그림 13. 출처 | SAMPE China(SIA CAS)

□ 독일 A+ Composites, 저결정성 UD 테이프를 TPC 사이클 시간 단축(26.05.08.)

※ [Composites World] 매끄러운 표면의 열가소성 테이프는 낮은 결정성 매트릭스, 1% 미만의 기포 함량 및 AFP/ATL 공정에 적합한 표면 품질을 통해 CF-PPS 부품의 생산 주기 시간을 최대 30%까지 단축시켜 준다. / Product

- <https://www.compositesworld.com/products/low-crystallinity-ud-tapes-by-a-composites-cut-tpc-cycle-times>
- <https://aplus-composites.de/>
- #독일 #열가소성 수지 #복합소재
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- A+ Composites(독일 베젤베르크)의 매끄러운 표면을 가진 단방향(UD) 열가소성 복합재(TPC) 테이프는 부품 및 공정에 따라 기존 방식 대비 탄소섬유 강화 PPS의 사이클 타임을 최대 30%까지 단축할 수 있다. 이러한 단축은 고온에서 이루어지는 것이 아니다.
- 대부분의 CF-PPS 생산 라인이 직면한 병목 현상은 온도가 아니라 결정화 문제이다. 이 회사는 자사의 매끄러운 표면을 가진 UD 테이프가 저결정성 PPS 매트릭스를 사용하여 더 빠르고 균일하게 녹고 이후 깨끗하게 접합된다고 설명한다. 여기에 더 얇은 폴리머 필름과 매끄러운 테이프 표면을 결합하면 AFP/ATL 공정의 한계가 드러나게 된다. 즉, 공정 중단 횟수가 줄어들고, 불량률이 1% 미만으로 낮아지며, 부품 성능이 재현 가능해진다.
- A+ Composites의 UD테이프는 60~250 μ m 두께로 제공되며, 2,200~2,800MPa의 인장 강도와 110~160GPa의 탄성 계수를 특징으로 한다. 최대 400GPa의 초고탄성률 탄소섬유 테이프도 제공 가능하다. 고객의 공정 설정에 따라 투우프레그(맞춤형 크기 생산) 또는 슬릿 테이프 형태로 제공된다.
- "이 소재 기술은 항공우주 구조물 및 내부 부품, 전자 제품 및 전기 자동차 배터리 케이스는 물론, 사이클 타임이 TPC가 열경화성 수지 대비 사업성을 확보하는 데 중요한 요소인 모든 분야에 적용 가능하다."라고 A+ Composites의 CEO인 마르쿠스 브제스키는 덧붙였다.



그림 14. 출처 | A+ Composites

□ 미국 Baker Hughes, 네덜란드 Strohm과 TPC 초심해용 하이브리드 연성 파이프 개발 및 검증 예정(26.05.08.)

※ [Composites World] 3,000미터 이상의 깊이에 설치되는 송유관 및 입상관에는 Strohm의 내식성, 저탄소, 무결점 복합 소재 기술이 적용되어 무게가 50% 감소하고 설치가 간편해진다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/baker-hughes-strohm-to-develop-and-qualify-tpc-ultra-deepwater-hybrid-flexible-pipe>
- <https://www.bakerhughes.com/>
- #미국 #네덜란드 # 해양선반 #열가소성 수지 #복합소재 #경량화
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- 에너지 기술 기업인 Baker Hughes(미국 텍사스주 휴스턴 및 영국 런던)와 열가소성 복합 파이프(TCP) 제조업체인 Strohm(네덜란드 이즈무이덴)은 초심해 라이저 및 플로우 라인 용도에 적합한 하이브리드 연성 파이프(HFP)를 개발 및 검증하기 위한 양해각서(MOU)를 체결했다.
- 심해분지가 전 세계 탄화수소 생산에서 차지하는 비중이 점점 커짐에 따라, 운영사들은 위험과 비용을 절감하면서 초심해 자원을 개발할 수 있는 혁신적인 솔루션을 점점 더 많이 모색하고 있다. 공동 개발 중인 HFP는 경량이며 내식성이 뛰어난 솔루션으로, 수심 3,000미터 이상의 해저에서 유동관 및 라이저에 적용할 수 있다.
- HFP 솔루션은 TCP와 기존 연성 파이프의 장점을 결합한 솔루션이다. 이 방식에서는 TCP가 표준 파이프의 골격, 내피 및 압력 보강재를 대체하는 동시에 인장 보강재, 외부 보호 코팅 및 연결 부속품은 그대로 유지한다. 통합 시스템은 기존 연성 파이프의 인장 강도와 TCP의 매끄러운 내경 및 경량성을 제공한다.

"Baker Hughes의 연성 파이프 시스템은 전 세계 고객들이 가장 까다로운 환경에서도 안전하고 효율적으로 해저 자원을 생산할 수 있도록 지원하고 있다." - 다니엘 라이트, Baker Hughes 연성 파이프 시스템 부문 글로벌 사업부 책임자.

- 이 제품은 기존 연성 파이프보다 약 50% 가볍다. 이는 수심 3,000미터가 넘는 심해에서도 기존 파이프에 비해 총 부유 중량이 약 40% 감소한다는 것을 의미한다. 특히 높은 인장력을 견딜 수 있는 신형 설치선이 시장에 충분히 공급되지 않는 상황에서, HFP의 경량화는 설치에 사용할 수 있는 선박의 범위를 넓혀준다. 더욱이, 운영사와 시공사는 기존 설치선을 HFP와 함께 사용할 수 있으므로 비용과 시간이 많이 소요되는 개조 작업을 할 필요가 없다.
- Strohm의 CEO인 마틴 반 오나는 "우리는 최종 사용자의 관점에서 제품 개발에 접

근한다.”라고 말하며, “Baker Hughes와의 오랜 협력 관계를 바탕으로 설치 용이성, 현장 유연성 및 설계 예측 가능성을 강조하여 HFP를 개발했으며, 이를 통해 시장 출시를 신속하게 진행할 수 있는 솔루션을 만들었다.”라고 덧붙였다.

- HFP 솔루션은 현재 개발 중이며, 테스트용 인증 파이프가 제작되고 있다. 통합 솔루션은 2028년부터 상용화될 예정이다.
- Strohm의 TCP 기술은 말레이시아의 프로젝트와 Unitech Offshore, ExxonMobil과 같은 기업들을 지원하고 있다.



그림 15. 열가소성 복합 파이프(TCP)는 릴에 감겨 공급될 수 있다.
출처 | Strohm

□ 대한민국 서울대 연구진, 중규모 탄소섬유 격자 개발을 통해 알루미늄 수준의 성능을 1/100 무게로 달성(26.05.08.)

※ [Composites World] 한국 연구진은 3D 노드 와인딩 방식이 기하학적 형태, 연속성 및 자동화된 제작으로 정의되는 통합 구조로의 전환을 지원한다는 사실을 발견했다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/mesoscale-carbon-fiber-lattice-development-attains-aluminum-level-performance-at-1100-the-weight>
 - <https://www.nature.com/articles/s41467-026-72105-4>
 - #한국 #항공우주 #드론 #탄소섬유 #복합소재 #내하중강도 #경량화
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 서울대학교 연구진이 엔지니어링 소재의 내하중 강도와 폼 소재의 무게를 결합한 새로운 초경량 구조 소재를 개발했다. 3D 노드 와인딩 방식을 사용하여 알루미늄 수준의 강도 대 무게 성능을 달성하면서도 알루미늄 무게의 1/100에 불과한 중간 규모의 탄소섬유 격자를 제작했다.
 - Nature Communications에 발표된 이번 연구 결과는 구조 설계의 주요 병목 현상 중 하나인 복잡한 3D 형태를 개별 부품으로 조립해야 하는 필요성을 해소한다. 대신, 구조물을 연속적인 시스템으로 생성하여 기하학적 복잡성과 기계적 안정성을 동시에 달성할 수 있게 된다.
 - 탄소섬유 복합재는 일반적으로 얇은 층을 쌓거나 여러 구성 요소를 조립하여 제조된다. 이러한 공정은 설계 자유도를 제한하고 층이나 부품이 만나는 부분에 취약한 접합면을 발생시킨다. 3D 프린팅 복합재와 같은 새로운 접근 방식조차도 층별 제작 방식에 의존하기 때문에 하중 전달을 방해하는 내부 경계를 만들어 구조적 복잡성과 기계적 신뢰성 사이의 절충을 강요한다.
 - 이러한 한계를 극복하기 위해 한국 연구팀은 3차원 공간에 탄소섬유를 연속적으로 배치하는 혁신적인 개념을 도입했다. 이 개념은 모든 구성 요소를 완벽한 일체감으로 결합한다. 먼저, 노드 형상을 정의하는 임시 지지대를 설치한다. 그런 다음 긴 탄소섬유를 이 노드들에 감아 공간 격자 네트워크를 형성한다. 형상이 완성되면 수지 함침을 통해 구조를 강화하여 견고한 복합재를 만든다. 섬유가 구조 전체에 걸쳐 연속적으로 이어지기 때문에 힘이 끊김 없이 전달되어 접합부나 계면에서 흔히 발생하는 응력 집중 및 파손 지점을 방지할 수 있다.
 - 이렇게 만들어진 구조물은 약 10~30 MPa의 압축 강도를 나타내는데, 이는 콘크리트와 같은 건축 자재의 압축 강도와 유사하다. 비록 고강도 금속의 절대 강도에는 미치지 못하지만, 무게 대비 성능을 고려했을 때 알루미늄 수준의 효율을 달성하

면서도 질량을 획기적으로 줄인 높은 성능을 보여준다.

- 동일한 무게에서, 이러한 격자 구조는 기존 격자 구조보다 최대 10배 더 강할 수 있다. 이러한 강도 향상은 연속적인 하중 전달 경로 덕분에 가능하며, 이를 통해 힘이 더욱 효율적으로 분산되고 구조 내 비활성 재료가 줄어든다.

연구적 함의

- 이 연구는 재료 성능을 넘어 하중 지지 시스템의 설계 및 제조 방식을 재정립한다. 특히, 이러한 접근 방식은 복잡한 섬유 궤적을 디지털 설계에서 직접 생성하고 실행할 수 있는 로봇 기반의 톨패스 처리 방식 제조 시스템과 자연스럽게 연계된다. 이러한 시스템이 발전함에 따라 수작업으로는 제작하기 비현실적인 구조화된 복합재료의 대규모 생산이 가능해질 것으로 기대된다.

3D 노드 와인딩은 2D 적층을 넘어 연속적인 섬유 구조를 가능하게 하여 진정한 3D 공간 설계의 길을 열어준다.

- "연속 섬유 구조의 공간적 복잡성으로 인해 기존 제조 방식에서는 대량 생산에 한계가 있었다."라고 최준영 박사와 안성훈 교수는 말한다. "로봇 및 AI 기반 제조 기술의 발전으로 이제 이러한 구조를 대규모로 생산할 수 있게 되었으며, 이번 연구는 이러한 구조의 실용화를 위한 로드맵을 제시한다."
- 이러한 접근 방식은 무게와 효율성이 중요한 여러 산업 분야에 영향을 미친다. 항공우주 및 모빌리티 시스템에서는 구조물의 질량을 줄이면 항속 거리, 탑재량 및 에너지 효율이 향상된다. 로봇 공학에서는 가볍지만 견고한 구조를 통해 더 빠른 작동과 정밀도 향상이 가능하다. 건설 분야에서는 구조적 무결성을 유지하면서 자재 사용량을 줄이는 효율적인 하중 지지 구조를 개발할 수 있는 길이 열린다.

드론 비행 시연

- 실제 시스템에서 이 접근 방식을 검증하기 위해 연구진은 드론 프레임에 해당 구조를 적용했다. 재설계된 프레임은 기존 설계에 비해 구조적 무게를 약 79% 감소시켰다. 이러한 무게 감소는 동일한 작동 조건에서 비행 시간을 33% 증가시키는 결과를 가져왔다. 이 결과는 구조적 무게 감소가 시스템 성능 향상으로 직결되며, 특히 질량이 주요 제약 조건인 응용 분야에서 더욱 효과적임을 입증한다.



그림 16. 서울대학교 기계공학과 안성훈 교수와 최준영 박사가 본 연구에서 개발한, 총 약 150kg의 하중을 지탱할 수 있는 300g 무게의 복합 빔 위에 서 있다(왼쪽). 오른쪽에는 연구팀이 개발한 시제품 구조물(드론, 로봇 팔)이 있다. 출처 | 서울대학교

□ 스웨덴 TeXtreme, 맞춤형 색상으로 마감된 Lynk & Co GT 콘셉트 차량 적용('26.05.08.)

※ [Composites World] 테이프 기반의 불연속 섬유 복합재는 Lynk & Co의 "Time to Shine" 자동차의 일부 내부 디테일에 사용되어 경량 성능과 새로운 차원의 시각적 디자인 유연성을 결합한다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/textreme-360-is-featured-in-lynk-co-gt-concept-vehicle-with-custom-colored-finish>
 - <https://textreme.com/>
 - #스웨덴 #자동차 #열가소성 수지 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- TeXtreme(스웨덴 예테보리)의 TeXtreme 360° 불연속 섬유 복합재(DFC)가 Lynk & Co.(중국 항저우)의 첫 번째 GT 콘셉트카인 "Time to Shine"에 적용되었다. 이 콘셉트카는 2026 베이징 모터쇼에서 공개되었으며, 차량 내부 곳곳에 맞춤형 파란색 패턴 마감의 TeXtreme 360°를 사용하여 첨단 복합 소재가 경량화 성능뿐만 아니라 차량 내부의 시각적 표현과 고급스러움에도 기여할 수 있음을 보여준다.
 - TeXtreme 360°는 무작위 방향으로 배열된 초박형 TeXtreme 스프레드 토크 테이프 로 생산되는 테이프 기반 DFC(디지털 섬유 강화 플라스틱)이다. 경량화, 가공 효율성 및 구조적 안정성이 필수적인 응용 분야를 위해 개발된 이 소재는 복잡한 형상을 포함한 효율적인 부품 성형을 가능하게 하며, 여러 방향에서 예측 가능한 기계적 성능을 위한 평면 내 등방성을 제공한다.
 - Lynk & Co GT 콘셉트는 컬러 디자인 요소를 적용한 TeXtreme 360° 소재를 최초로 사용하여 성능과 미학을 동시에 구현하는 복합 소재 표면의 새로운 가능성을 열었다. 맞춤형 파란색 패턴은 소재 고유의 탄소섬유 특성을 강조하는 동시에 디자이너들이 눈에 보이는 복합 소재 부품에 색상, 깊이감, 디테일을 직접 통합할 수 있도록 한다.
 - Lynk & Co에 따르면, "Time to Shine" 콘셉트카는 스칸디나비아 디자인의 뿌리와 유럽 및 중국 공동 개발을 결합하여 브랜드의 고성능 지향성을 과감하게 표현한 결과물이다. 차량 내부는 따뜻한 분위기와 스포티한 성능을 강조하는 기술적 디테일이 조화를 이루고 있으며, 특히 시트 뒤쪽에는 수작업으로 제작된 TeXtreme 360° 탄소섬유가 적용되었다.
 - TeXtreme 360°는 건식 및 부분 함침 형태로 제공되며 표준 프리프레그 소재와 호환되어 다중 소재 어셈블리 및 고정밀 복합 부품에 통합할 수 있다. 성형성, 초박형 구조 및 견고한 기계적 성능의 조합으로 자동차 분야에 매우 적합하다.



그림 17. 출처 | Lynk & Co