

'26.06.22.~26.06.28. 글로벌 탄소산업 주요 동향

□ 중국 ATA, 2025 글로벌 탄소섬유 복합재 시장 보고서 기록적인 수요 발표('26.06.22.)

※ [Composites World] 연례 시장 보고서에 따르면 풍력 터빈 블레이드 적용으로 전 세계 탄소섬유 수요가 전년 대비 43.8% 급증하여 224,510톤에 달했으며, 중국의 생산 능력 점유율이 처음으로 전 세계 공급량의 절반을 넘어섰다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/ata-2025-global-carbon-fiber-composites-market-report-documents-record-demand>
 - <http://www.atamachinery.com/>
 - <https://www.compositesworld.com/cdn/cms/ATA%202025%20Global%20Carbon%20Fiber%20Composites%20Market%20Report.pdf>
 - #중국 #탄소섬유 #복합재료 #시장 보고서
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- ATA CFT Guangzhou Co. Ltd. (중국 광저우)의 린강 총괄매니저는 2025년 한 해 동안의 통계, 동향 및 전망을 담은 연례 글로벌 탄소섬유 복합재 시장 보고서를 발표했다.
 - 보고서에 따르면, 전 세계 탄소섬유 수요는 2025년에 224,510톤에 달해 2024년의 156,100톤 대비 43.8% 증가할 것으로 예상된다.
 - 이러한 성장의 주된 원동력은 풍력 터빈 블레이드용으로, 전체 수요의 44.5%를 차지하며 10만 톤에 육박할 것으로 전망된다. 이는 풍력 부문에서 처음으로 10만 톤을 돌파한 수치이다. 풍력 발전 시장은 이미 2024년에 120% 성장했으며, 보고서는 2025년에 127.3% 추가 성장을 예상하고 있다. 매출 측면에서는 전 세계 탄소섬유 판매액이 2025년에 54억 4천만 달러에 이르러 2024년의 43억 1천만 달러 대비 26.3% 증가할 것으로 예상되며, 평균 가격은 대체로 변동이 없고 판매량 증가가 주요 원인이다.
 - 항공우주 및 방위 산업은 여전히 가장 높은 가치를 지닌 응용 분야로, 물량 기준으로는 수요의 13.4%를 차지하지만 매출 기준으로는 44.1%를 차지한다. 이는 풍력 발전용 에너지의 킬로그램당 12달러에 비해 항공우주 및 방위 산업용 에너지의 시장 가격이 약 80달러에 달함을 반영한다. 이 분야는 무인 항공기(UAV), 상업용 우주 산업, 그리고 상업 항공 산업의 부분적인 회복에 힘입어 2025년에는 전년 대비 13.6%의 수요 증가를 기록했다. 스포츠 및 레저 분야는 수년간의 변동성 이후 꾸준한 성장세로 돌아서며 9.8% 증가한 31,300톤을 기록했다.

- 공급 측면에서 2025년은 글로벌 경쟁 구도에 중대한 변화를 가져왔다. 중국의 탄소섬유 생산능력이 171,080톤에 달해 전 세계 총생산량 326,080톤의 52.5%를 차지하게 되면서, 중국이 전 세계 생산능력의 절반을 넘어선 것은 이번이 처음이다.
- 보고서에 따르면, 전 세계 탄소섬유강화폴리머(CFRP) 복합재 수요는 2025년에 366,800톤에 달할 것으로 예상되며, 이는 2024년의 264,700톤 대비 38.6% 증가한 수치이다. 전 세계 CFRP 매출은 전년도 262억 5천만 달러에서 303억 5천만 달러로 15.6% 증가했다. 풍력 터빈 블레이드 용도가 CFRP 물량의 38.9%를 차지했으며, 항공우주 및 방위 산업이 CFRP 매출의 60.8%를 차지했다.
- 이 보고서는 또한 기존 서구 및 일본 탄소섬유 생산업체들 간의 주목할 만한 전략적 차이점을 기록하고 있다.
 - 2026년 초, **Teijin Ltd.**(일본 도쿄)은 예상보다 더딘 항공우주 수요 회복과 중국 업체와의 경쟁으로 인한 손실을 이유로 미국 사우스캐롤라이나주 그린우드 카운티에 있는 탄소섬유 공장을 일시적으로 폐쇄했다.
 - **Toray Industries**(일본 도쿄)은 탄소섬유 및 중간재 제품의 가격을 2026년 1월부터 10~20% 인상한다고 발표하는 한편, 물량 중심의 경쟁에서 고부가가치 응용 분야로 전환하기 위한 다년간의 전략을 제시했다.
 - **SGL Carbon**(독일 비스바덴)은 탄소섬유 사업부를 재편하여 포르투갈과 미국 시설을 폐쇄하고 PAN 전구체 생산을 중단하는 한편, 스코틀랜드 사업장은 유지하고 산업용 직물, 프리프레그 및 자동차, 의료, 항공우주 분야의 다운스트림 응용 분야에 집중하기로 했다.
 - **Zhongfu Shenying Carbon Fiber Co. Ltd.**(중국 련윈강)는 2026년 3월 행사에서 인장 강도가 8,000MPa을 초과하는 SYT80 T1200급 탄소섬유를 공개했다. 이로써 Zhongfu Shenying은 2023년 말 Toray가 T1200 섬유를 선보인 데 이어 해당 등급의 제품을 양산한 세계 두 번째 업체가 되었다.
- 전년도 보고서와 마찬가지로, 이 보고서는 전 세계 탄소섬유 시장을 다음과 같이 분류한다.
 - 연도, 적용 분야 및 제품 유형
 - 제조업체 및 지역별 글로벌 공급
 - 중국 국내 시장 연도별, 적용 분야별, 지역별, 원산지별 현황
 - 현재 중국의 작전 능력 및 새로운 발전 사항
 - 연도별, 적용 분야별, 지역별, 공정별 및 매트릭스별 전 세계 탄소섬유강화폴리머(CFRP) 수요
 - 항공우주, 풍력 에너지, 스포츠 및 레저, 압력 용기, 자동차 등 최종 시장 전반의 동향 및 전망
 - 탄소섬유 재활용
 - 더 폭넓은 산업 동향에 대한 관찰과 고찰.

- 본 연구의 데이터 및 결론은 중국 탄소섬유 기업들이 자발적으로 제공한 연간 매출 데이터와 다채널 시장 검증 자료, 일본 제조업체의 출하량 데이터 및 SGL Carbon과 Hexcel의 연간 보고서를 포함한 해외 탄소섬유 생산업체의 연간 매출 데이터 및 운영 현황, Boeing과 Airbus 납품 데이터를 비롯한 주요 응용 시장의 현황, 그리고 해외 업계 동종업체의 시장 데이터를 종합하여 도출되었다.

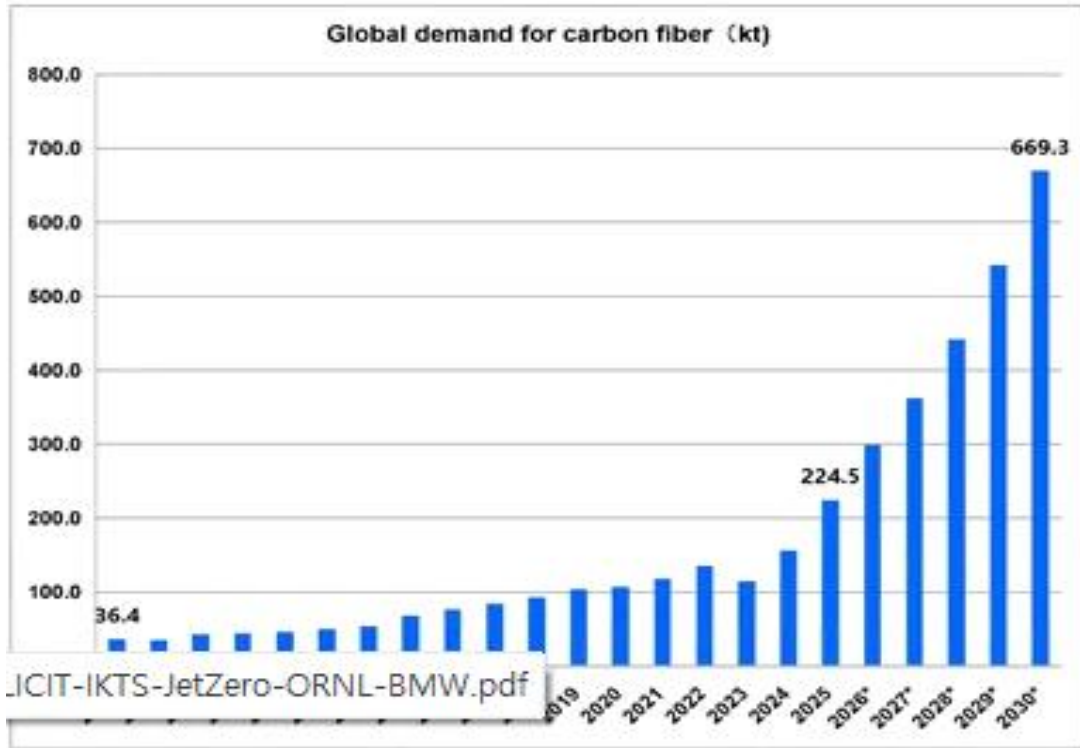


그림 1. 2024년 156,100톤과 비교하여 2025년 전 세계 탄소섬유 수요는 224,510톤에 달해 전년 대비 43.8% 증가할 것으로 예상된다. 출처 | Lin Ganq

□ 대한민국 KAI, 차세대 항공기용 열가소성 복합재 대량 생산 (26.06.22.)

※ [Composites World] ThermoForged가 제작한 스냅샷 영상과 CW 플랫폼에 게재된 관련 콘텐츠는 한국항공우주산업(KAI)이 고속 1차 단일 통로 eVTOL 항공기 기체 공급 업체로 성장해 온 과정을 자세히 보여준다. / Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/video-kai-scales-thermoplastic-composites-for-next-gen-aircraft>
 - <https://www.koreaaero.com/en/>
 - #한국 #항공우주 #복합재료 #열가소성수지
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- 대형 복합재 항공기 주요 구조물 생산 분야에서 전문성을 보유한 한국항공우주산업(KAI, Korea Aerospace Industries; 대한민국 사천)은 미래 항공기에 열가소성 복합재(TPC) 구조물을 사용할 가능성에 대비하고 있다.
- KAI는 자동 섬유 배치(AFP), 오븐 압축 및 용접을 포함한 공정을 사용하여 3×2미터 크기의 동체 부분과 날개 외피 부분 및 비틀림 상자와 같은 대규모 TPC 시연 장치를 개발했다. 이를 통해 낮은 다공성(<1%), 높은 섬유 부피 분율(58~60%) 및 재활용성을 달성하여 기존 오토클레이브 방식보다 생산 주기를 단축할 수 있었다.



그림 2. 출처 | KAI

□ 오스트리아 Carbon Cleanup, 항공기 재활용 부문에서 세계적인 AFRA 상 수상(26.06.22.)

※ [Composites World] Carbon Cleanup의 수상 경력에 빛나는 Carbon Eater 마이크로 공장은 복합재 항공기 폐기물을 물, 열, 화학 물질없이 고성능 탄소섬유 원료로 재활용한다. / News

-
- #오스트리아 #항공우주 #탄소섬유 #복합재료 #재활용 #지속가능성
- 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장

- Carbon Cleanup GmbH(오스트리아 트라운)가 라스베이거스에서 열린 ASA AFRA 연례 컨퍼런스에서 항공기 재료 재활용 상을 수상했다. 이 상은 Carbon Cleanup의 Carbon Eater 기술이 항공 재료 재활용 분야에서 올해 가장 중요한 운영 혁신으로 인정받았음을 의미한다. 미국 워싱턴 D.C.에 있는 항공기 재활용 협회(AFRA)가 수여하는 이 상은 Carbon Cleanup이 항공우주 분야의 핵심 병목 현상을 해결하는 데 성공했음을 입증한다.

- Carbon Eater microfactory는 구식 폐기 방식을 자율적이고 친환경적인 대안으로 대체함으로써 기존 항공기 재활용 인프라를 근본적으로 혁신한다. 이 마이크로팩토리는 복합재 폐기물을 고성능 탄소섬유 원료로 변환하여 사출 성형, 대형 적층 제조(LFAM) 또는 벌크 성형 화합물(BMC)과 같은 기존 제조 기술에 재사용할 수 있도록 한다.

- Carbon Cleanup은 자사 기술의 핵심 요소로 다음과 같은 사항들을 제시한다.
- **탄소 발자국 감소.** Carbon Eater microfactory는 환경에 미치는 영향이 거의 제로에 가깝다. 기존 재활용 방식과는 달리, 물, 열, 외부 화학 물질을 전혀 사용하지 않고 재료를 처리한다.
- **분산형 처리 방식.** 해체 또는 제조 시설에 직접 배치되는 이 이동식 시스템은 부피가 큰 복합재 폐기물을 장거리 운송하는 데 드는 막대한 물류 비용과 높은 배출량을 줄여준다.
- **먼지 없는 안전한 작업 환경.** 완전 밀폐형 폐쇄 루프 구조는 모든 미립자를 발생원에서 포집하여 복합 재료 회수 작업에서 전통적으로 발생하던 호흡기 및 작업장 안전 위험을 완전히 제거한다.
- **순환형 자재 흐름에 대한 검증된 비즈니스 사례.** 다양한 산업 분야에서 검증된 Carbon Eater는 탄소섬유의 경제적 회수 및 고성능 제품으로의 원활한 재통합을 입증한다.

- Carbon Cleanup은 현재 전 세계 주요 항공우주, 자동차 및 풍력 에너지 제조 파트너와 협력하여 시스템 배포를 확대하고 있다. 회사에 대한 자세한 정보는 CW

의 지속가능성 페이지에서 확인할 수 있다.



그림 3. 탄소 흡수 장치. 출처 | Carbon Cleanup GmbH

□ 미국 UC 버클리 연구원, 탄소나노튜브 전자 코를 처음으로 일상생활 사용(26.06.22.)

※ [Chemie] 미래의 스마트 냉장고: 전자코가 닭고기와 견과류 알레르기 유발 물질을 감지하여 경고한다. / News

- <https://www.chemie.de/news/1188984/kohlenstoffnanoroehren-machen-elektronisch-e-nase-erstmals-alltagstauglich.html>
- <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aec7965>
- #미국 #네덜란드 #룩셈부르크 #모빌리티 #CNT #복합재료 #지속가능성

- 대부분의 사람들은 유통기한이 약간 지난 우유나 일주일 된 배달 음식이 먹을 수 있는지 판단하기 위해 냄새를 맡아본 경험이 있을 것이다. 인간의 후각은 매우 예민하지만 모든 것을 감지하는 것은 아니다. 미국에서는 매년 수백만 명이 덜 익히거나 상한 음식에서 증식하는 식중독균으로 인해 질병에 걸린다.
- 다행히도 우리 위장을 위해 미국 UC 버클리에서 개발된 새로운 "전자 코"는 사람의 코보다 훨씬 정확하게 상한 음식 냄새를 감지할 수 있다. 또한 호두나 땅콩과 같은 흔한 식품 알레르겐의 존재도 감지할 수 있는데, 이러한 알레르기가 있는 사람에게는 치명적일 수 있다. 이 전자 코에 대한 자세한 내용은 "Science Advances" 저널에 발표된 새로운 연구에서 확인할 수 있다.
- "스마트폰으로 제어할 수 있는 센서가 장착된 '스마트' 냉장고가 이러한 기술의 훌륭한 활용 사례가 될 거라고 생각해요."라고 이번 연구의 주저자인 UC 버클리 전기공학 및 컴퓨터 과학 박사 과정 학생 칼라 바실은 말했다. "냉장고가 '브로콜리가 곧 상할 테니 먹는 게 좋겠어요'라든가, '닭고기가 유통기한이 지났어요'라고 알려준다면 얼마나 멋질까요?"
- 새로운 인공 코는 16개의 초소형 가스 센서로 구성되어 있으며, 각 센서는 서로 다른 기체 화합물 조합에 반응한다.
- "이 칩은 마치 디지털 미뢰처럼 작동하는데, 각 센서가 노출되는 다양한 가스 분자에 고유한 방식으로 반응한다."라고 바실은 UC 대학원 슬램에서 자신의 연구에 대해 발표하며 설명했다. "이 16개의 센서 각각은 서로 다른 센서 필름으로 코팅되어 있으며, 센서 표면과 가스 분자 사이의 화학 반응을 전기 신호로 변환한다."
- 바실은 머신러닝을 활용하여 딸기, 블루베리, 바나나, 호두, 헤이즐넛, 캐슈넛, 땅콩 등 7가지 식품의 센서 반응 프로파일을 인식하는 모델을 훈련시켰다. 또한, 신선한 상태와 실온에서 24시간 또는 48시간 보관한 후의 생닭고기, 우유, 계란 냄새를 인식하도록 모델을 훈련시켰다.

- 바실은 이 "코"가 분리된 호두 0.05g(껍질을 벗긴 일반 호두 무게의 약 1/100)을 감지할 만큼 민감하다는 것을 발견했다. 그러나 그녀는 호두가 샐러드나 케이크에 들어 있거나, 상한 음식이 다른 음식과 함께 냉장고에 보관된 경우처럼 다른 가스가 존재하는 환경에서 장치의 민감도를 테스트해야 한다.
- 바실은 "핵심 아이디어는 가스 센서의 상대적 선택성과 머신러닝의 패턴 인식 기능을 결합하여 특정 음식과 관련된 가스 특징을 판별하는 것이다."라고 말했다. "그 결과, 인간의 코보다 훨씬 더 민감하고 객관적인 센서 칩이 탄생하게 된다."
- 전자코라는 개념은 1980년대부터 존재해 왔지만, 이 기술을 실제로 구현하는 것은 어려운 일로 여겨져 왔다. 가정용 일산화탄소 감지기에 사용되는 것과 같은 개별 가스 센서는 비교적 제조가 용이하다. 그러나 여러 종류의 센서 필름을 하나의 칩에 통합하는 것은 훨씬 더 어려운 과제이다.
- 바실은 전도성 물질로 금속 산화물 대신 탄소나노튜브(Carbon Nanotube, CNT)를 사용함으로써 이러한 어려움을 상당 부분 극복했다. CNT는 불과 몇 나노미터 두께의 얇은 층을 형성할 수 있는데, 이는 원자 몇 개 또는 사람 머리카락 굵기의 100분의 1에 해당하는 두께이다. 넓은 표면적 덕분에 상온에서 높은 감도를 비롯한 여러 가지 특수한 성질을 지니고 있다.
- 바실은 가열이 필요 없는 상온 작동 방식의 소자 구조를 사용함으로써 고온에서 분해되는 고분자를 포함하여 더 다양한 가스 감지 소재를 선택할 수 있었다. 또한, 복잡한 기술에 의존하지 않고 드롭 캐스팅이라는 간단한 공정을 사용하여 센서 칩을 제작할 수 있었다.
- 바실은 "제 전자 코의 진정한 확장성은 이러한 다양한 유형의 센서 재료를 모두 단일 공정에서 적용할 수 있다는 점이다."라고 말했다.
- 이번 연구에는 포함되지 않았지만, 바실은 이후 아이폰 앱으로 작동 가능한 휴대용 전자 코를 개발했다. 그녀는 더 다양한 환경에서 차세대 장치를 테스트하여 감도와 신뢰성을 더욱 향상시킬 계획이다.

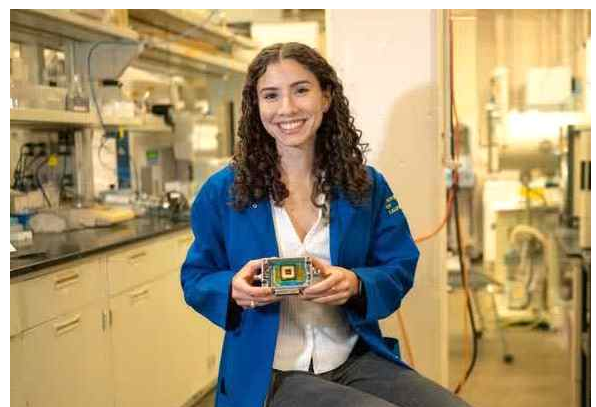


그림 4. 카를라 바실은 UC 버클리 전기공학 및 컴퓨터과학 박사 과정 4년차 학생이며, 자베이 연구 그룹의 일원이다. 출처 | 브랜든 산체스-메히아/UC 버클리

□ 미국 Coosa Composites, 유리섬유 강화 폼 패널은 해양 및 구조물 분야 합판 대체 소재(26.06.23.)

※ [Composites World] Coosa Composites의 폐쇄형 셀 폴리우레탄 폼 패널은 직조 로빙과 연속 섬유 유리로 보강되어 있으며, 내식성과 경량화가 중요한 시장에 사용하도록 설계되었다. / News

• <https://www.compositesworld.com/articles/video-kai-scales-thermoplastic-composites-for-next-gen-aircraft>

• #미국 #해양선박 #유리섬유 #복합재료 #CAMX

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

○ 쿠사 Composites (미국 앨라배마주 펠햄 소재)는 합판 및 기타 전통적인 코어 소재를 대체할 수 있는 구조용 소재로 설계된 유리섬유 강화 복합 패널 제품군을 생산한다. 이 패널은 고밀도 폐쇄형 셀 폴리우레탄 폼에 유리섬유 층을 함침시켜 제작되며, 회사 측은 이러한 조합이 구조용 및 비구조용 용도 모두에서 우수한 강도 대비 무게 성능을 제공한다고 설명한다.

○ 블루워터 시리즈는 쿠사 컴포짓(Coosa Composites)의 최고 밀도 패널 제품군이다. 쿠사 컴포짓에 따르면, 이 패널은 합판보다 최대 40% 가볍다. 샌드위치 구조는 직조 로빙과 연속 섬유 유리섬유를 사용하여 구조적 강성을 제공하므로, 목재나 기타 코어 재료가 전통적으로 사용되어 온 하중 지지 용도에 적합하다.

○ 이 패널은 흡수성이 낮아 해양 환경 및 습하거나 습도가 높은 조건에 적합한 저수분 흡수 특성을 지닌 비흡수성 소재로 설명된다. Coosa Composites는 이러한 환경에서 패널의 성능을 발휘하기 위해 추가적인 습기 처리가 필요하지 않다고 밝혔다. 또한, 폼과 유리섬유로 구성된 구조는 목재 기반 코어에서 발생하는 부패 경로를 차단한다.

○ Coosa Composites는 해양, 운송, 건설, 건축 및 특수 분야를 포함한 다양한 시장에 제품을 공급한다. 이 회사는 해양 분야에서 오랜 역사를 자랑하며, 자사 패널은 선박 건조 및 수리 과정에서 목재 스트링거, 격벽 및 기타 구조 부재를 대체하는 데 사용된다. 또한, 표준 목공 도구와 호환되므로 제작 및 설치에 특수 장비가 필요하지 않다.



그림 5. 출처 | Coosa Composites

○ Coosa Composites는 4' x 8'부터 5' x 12'까지 다양한 크기의 패널을 제공하며, 맞춤형 구성이 필요한 고객을 위해 사전 절단 및 키트화된 부품도 제공한다.

□ 미국 AES, 대형 3D 프린팅 툴링은 복합재 적층, 성형 및 조립에 적합(26.06.23.)

※ [Composites World] 적층 엔지니어링 솔루션에서는 탄소 및 유리섬유 강화 폴리머로 제작되고 ± 0.010 인치 프로파일 공차로 가공된 32피트 CNC 밀링 지그를 LFAM 툴링 사례 중 하나로 소개한다. / News

• <https://www.compositesworld.com/products/large-format-3d-printed-tooling-targets-composite-layup-forming-and-assembly>

• #미국 #금형/공구 #적층제조 #탄소섬유 #유리섬유 #복합재료 #CAMX

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

○ Additive Engineering Solutions(AES, 미국 오하이오주 애크런)는 복합재 툴링 및 대형 프로토타입 제작을 위한 대형 적층 제조(LFAM, large-format additive manufacturing) 서비스를 전문으로 하는 위탁 제조업체이다.

○ 2016년에 설립된 AES는 5대의 LFAM 프린터와 7대의 대형 CNC 기계를 운영하고 있으며, 현재 툴링 포트폴리오에는 32피트 크기의 다중 부품 CNC 밀링 지그가 포함되어 있다. AES는 CAMX 전시회에서 이러한 툴링 포트폴리오와 다양한 툴링 샘플을 선보일 예정이다. 2026년에는 생산 수요 증가에 맞춰 더 큰 규모의 시설로 확장하고 프린터와 CNC 밀링 설비를 증설했다.

○ AES는 ± 0.010 인치의 정밀도로 가공된 LFAM(레이어 적층 제조) 툴을 생산한다. 이 회사는 ABS, PETG, PC, PLA, PEI 등 탄소섬유 또는 유리섬유로 강화된 다양한 섬유 강화 폴리머 소재를 사용하며, 적용 분야의 요구 사항에 따라 소재를 선택한다.

○ AES의 툴링 제품군은 400°F(약 204°C)까지 견딜 수 있는 적층 툴, 공정 툴, 성형 및 조립 툴, 프리캐스트 콘크리트 툴 등을 포함하며, 항공우주, 방위, 일반 항공, 해양 및 우주 산업 분야에 서비스를 제공한다. AES에 따르면 LFAM 기술은 기존 방식에 비해 프로젝트 일정을 최대 50%까지 단축하고 비용을 10~40% 절감할 수 있다.

○ AES는 금형 제작 외에도 대규모 모형, 실물 크기 엔지니어링 모형, 마케팅 디스플레이 및 조립 검증용 제품을 생산한다. 이 회사는 AS9100 품질 경영 시스템 인증을 보유하고 있으며, 규제 대상 분야에서 업무 수행을 위해 ITAR, CUI 및 NIST 사이버 보안 표준을 준수한다.



그림 6. 출처 | AES

□ 스웨덴 Oxeon AB, TeXtreme 컬러 복합재 사업 확장을 위해 Hypetex CAM 인수('26.06.23.)

※ [Composites World] Hypetex CAM 컬러 소재가 TeXtreme 포트폴리오에 추가되면서 시각적 표현, 기능적 성능 및 경량화 가능성을 결합한 탄소, 유리 및 천연 섬유 복합재 보강재에 대한 새로운 가능성이 열렸다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/oxeon-ab-acquires-hypetex-cam-to-expand-textreme-colored-composites>
 - #스웨덴 #첨단소재 #유리섬유 #복합재료
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
- TeXtreme | Oxeon AB(스웨덴 보라스)는 영국에 본사를 둔 컬러 첨단 소재 전문 기업인 Hypetex Coloured Advanced Materials(Hypetex CAM, 영국 런던)를 인수한다고 발표했다. 이번 인수는 고성능 복합재 보강재 개발을 지속하는 Oxeon의 중요한 발걸음이며, 시각적 디자인, 소재 기능성 및 경량 성능을 결합한 컬러 소재를 제공할 수 있는 역량을 확대하는 계기가 될 것이다.
 - Hypetex CAM의 추가는 TeXtreme의 기존 유색 보강재 제품군을 강화하고 확장하며, 구조적 성능만을 제공하는 것이 아닌 그 이상의 기능을 갖춘 복합 재료에 대한 증가하는 수요를 충족한다. 이제 색상은 제조 후 적용되는 이차적인 표면 처리가 아닌, 재료의 통합된 특성으로 취급될 수 있다.
 - 이는 디자인 표현과 기능적 성능 모두에서 새로운 가능성을 열어준다. 디자인 관점에서 볼 때, 유색 보강재를 사용하면 브랜드와 제조업체는 복합소재 자체를 제품의 시각적 정체성의 일부로 활용할 수 있다. 계절별 색상, 브랜드 고유의 색조 및 맞춤형 마감은 보강재 구조를 통해 직접적으로 표현할 수 있다.

컬러 TeXtreme 유리섬유로 제작된 파넬 라켓

- 기능적인 관점에서 볼 때, 색상을 통합하면 특정 용도에서 추가 도장 시스템의 필요성을 줄이거나 없앨 수 있다. 예를 들어 항공우주 및 무인 항공기 구조물에서는 부품에 특정 회색 톤이나 보호색을 칠하는 경우가 많다. 미리 색상이 입혀진 보강재를 사용하면 동일한 시각적 또는 기능적 요구 사항을 충족하면서 마감 공정, 추가 재료 및 전체 무게를 줄일 수 있다. 밝은 색상의 복합재 표면을 사용하여 열 흡수를 관리하는 경우에도 유사한 이점이 있으며, 두꺼운 보호 코팅의 필요성을 줄일 수 있다.
- 이 기술은 유리섬유 복합재에 새로운 가능성을 열어준다. 유리섬유 복합재는 완성된 복합재 부품에서 종종 반투명하게 나타난다. 하지만 유색 유리섬유를 사용하면 최종 제품에서 직조 구조를 드러낼 수 있으며, 탄소섬유와 유사한 외관을 만들거

나 독특한 색상 마감을 구현하는 등 다양한 목표를 달성할 수 있다.

- TeXtreme은 아마 및 기타 천연 섬유 기반 복합재료에도 유사한 기회가 있다고 지적하며, 2차 마감 처리의 필요성을 줄이는 것부터 시각적 매력과 차별화를 달성하는 것까지 가능하다고 설명한다.
- TeXtreme Spread Tow 컬러 원단은 다양한 색상으로 제공되며, 건식 및 프리프레그 형태로 출시된다. 이 소재는 경량성, 최적의 표면 품질, 주름 감소, 효율적인 섬유 배열 등 TeXtreme Spread Tow 박막 기술의 장점을 유지하면서 시각적 맞춤 제작을 위한 새로운 가능성을 제공하도록 설계되었다.
- 사업 운영이 이전되고 있으며, 앞으로 모든 생산은 스웨덴에 있는 옥세온 공장에서 이루어질 예정이다.



그림 7. 출처 | TeXtreme

□ 복합 도체 코어, 기존 송전망 용량 2배 확대로 AI 시대 전력 수요 급증 해결할 핵심 대안으로 부상(26.06.24.)

※ [Composites World] 복합 도체 코어는 도체 용량을 2배로 늘리고 송전 손실을 최대 50%까지 줄일 수 있도록 발전해 왔으며, 이는 기존 인프라를 활용하여 1~3년 내에 달성 가능할 뿐만 아니라 센싱 및 스마트 적응형 전력망 구축도 가능하게 한다. / Article

• <https://www.compositesworld.com/articles/composite-conductor-cores-boost-capacity-cut-cost-to-help-power-grids-meet-ai-demand>

• <https://tsconductor.com/>

• #미국 #풍력/에너지 #압출성형 #탄소섬유 #유리섬유 #복합소재

• 저자 : 진저 가드너, CompositesWorld 편집장

- 인공지능(AI) 데이터 센터 가동, 교통, 난방, 산업 분야의 전력화 증가, 지구 기온 상승에 따른 냉방 수요 증가, 개발도상국 경제 성장 속도에 발맞추기 위해 전 세계적으로 전력 수요가 급증하고 있다.
- 미국에서는 지난 5년간 전기 요금이 40% 상승했으며, 전력 회사들은 소비자가 직접적인 부담을 지지는 않을 것이라고 주장하면서도 향후 두 자릿수 인상 가능성을 경고하고 있다. 지난 3년간 미국의 전력 수요 예측치는 6배나 급증하여 이미 한계에 다다른 송전망에 부담을 주고 있다. 미국 전력망의 절반은 30년 이상 되었고, 유럽의 가공 전선 중 40%는 40년 이상 되었다. 이러한 시스템은 필요한 전력을 송전할 용량과 유연성이 부족하며, 연결, 신규 인프라 및 송전선 건설 적체는 이미 10년 이상 누적되어 있다.
- 한 가지 해결책은 새로운 발전 설비나 송전 설비를 설치할 필요 없이, 기존의 가공 전선(도체)을 개량하는 것이다. 이를 재도체화(reconductoring) 라고 하는데, 100년 이상 되었지만 오늘날에도 여전히 널리 사용되는 강철선을 구조 코어로 사용하는 기존 기술을 탄소섬유 강화 복합재 코어에 유리섬유 복합재 또는 알루미늄을 감싸고 전기 전도성을 위해 알루미늄 전선으로 감싼 첨단 도체로 교체하는 것이다. 이러한 첨단 도체는 전류 수송 용량을 최대 200%까지 증가시키고 송전 손실을 최대 50%까지 줄여 송전망 운영자(TSO)에게 비용 절감 효과를 제공하며, 투자 비용을 24개월 이내에 회수할 수 있다.
- 더욱 가볍고 강성이 뛰어난 이 첨단 도체는 이제 2세대로 발전했으며, 성능, 설치 편의성, 감지 기능 및 계통 연계성을 향상시키는 다양한 설계가 적용되었다. 단일 가닥 복합 코어 설계, 내장형 감지 시스템, 다중 가닥 코어 및 프리텐션 코어 방식 등이 포함되며, 기존 일반 전력선과 동일한 취급 및 설치가 가능하면서도 경제적인 경쟁력을 갖춘 제품들을 제공한다.

- "이러한 제품들은 고전압, 고온 환경뿐 아니라 결빙 조건에서도 처짐이 적어 전력 회사가 더 적은 구조물로 새로운 송전선을 건설할 수 있도록 해준다."라고 TS Conductor(미국 캘리포니아주 헌팅턴 비치)의 공동 창립자 겸 CEO인 제이슨 황은 말한다. "따라서 송전탑 구조물을 훨씬 더 멀리 배치할 수 있다. 또한, 전선 교체 시에도 기존 송전탑을 개조해야 하는 번거로움을 완전히 피할 수 있다. 이는 처짐이 적은 제품을 사용할 때만 필요한 작업이다. 이러한 고온 저처짐(HTLS) 제품은 전력 회사들이 오늘날 증가하는 수요를 매우 낮은 비용과 최단 시간 내에 충족할 수 있도록 해준다."
- 이러한 첨단 도체는 이미 널리 사용되고 있으며 그 사용량은 계속 증가하고 있다. CTC Global(미국 캘리포니아주 어바인)은 전 세계적으로 13만 5천 마일(약 21만 6천 킬로미터) 이상의 자사 제품이 설치되었다고 보고했으며, Epsilon Cable (프랑스 가이양-메독)은 25개국에 8천 킬로미터(약 13만 킬로미터) 이상의 복합 코어 도체가 설치되었다고 밝혔다.
- CTC Global의 최고 정책 및 전력망 전략 책임자인 시어도어 파라다이스는 "전력 회사들은 실제 운영 환경에서 대규모로 검증되었고 수십 년 동안 용량, 효율성 및 신뢰성을 제공하는 전선이 필요하다."라고 말한다.

고급 지휘자의 역사와 종류

- 1908년에 도입된 알루미늄 도체 강철 보강(ACSR) 기술은 강철 심선에 알루미늄 외피를 결합한 방식이다. 당시에는 강철만으로는 충분한 도체 강도를 확보할 수 없었기 때문에 단단한 알루미늄을 전도성 외피로 사용했다. 그러나 단단한 알루미늄은 강철과 마찬가지로 고온에서 연화되고 팽창하여 선로 처짐을 유발하며, 이로 인해 안전 이격 거리 유지 및 전류 용량 확보가 어려워진다.
- 1970년대에는 고강도 강철 코어를 사용하여 외피를 어닐링 처리된 알루미늄으로 제작할 수 있는 알루미늄 도체 강철 지지(ACSS) 기술이 개발되었지만, 이러한 도체는 여전히 고온 환경에서의 작동, 처짐 현상, 그리고 제한된 선로 용량이라는 문제점을 안고 있다.
- 파라다이스는 "무게와 처짐 문제 때문에 이러한 도체를 설치하려면 기존 선로를 완전히 철거하고 더 높고 견고한 철탑을 세워야 하는 경우가 많다."라고 설명한다. "이러한 설계상의 절충점은 신규 선로에도 적용되며, 미터당 가격은 저렴하지만 동일한 에너지를 전송하는 데 드는 전체 비용이 훨씬 더 비싸지는 결과를 초래할 수 있다."
- 1990년대 후반, 여러 기업들이 기존의 강철 심을 탄소섬유 강화 폴리머(CFRP) 또는 기타 복합재로 만든 하나 이상의 가닥으로 대체하는 첨단 도체 개발에 착수했다. CFRP는 기존 강철보다 인장 강도가 두 배 높으면서 밀도는 75% 낮기 때문에

강철보다 훨씬 강하고 가벼운 심을 만들 수 있다. 또한 CFRP의 열팽창 계수(CTE)는 기존 강철보다 10배 낮다. 이는 고온 및 결빙 조건 모두에서 처짐 현상을 최소화하고, 더 많은 전도성 알루미늄을 사용할 수 있게 하여 기존 금속 도체에 비해 무게나 직경을 늘리지 않고도 송전 용량을 크게 향상시킬 수 있다.

- Tokyo Rope International(일본 도쿄)은 2002년 송전 시스템 운영자(TSO)에 의해 최초의 탄소섬유 복합 케이블(CFCC) 도체를 설치했다. 2003년에는 CTC Global이 설립되었고, 2005년에는 ACCC 도체를 상용화했다. ACCC 도체는 탄소섬유 강화 플라스틱(CFRP)을 유리섬유 강화 복합재(GFRP)로 감싸 전기 절연을 제공하고 주변 알루미늄 와이어 층과의 갈바닉 부식을 방지한다. 따라서 복합재 코어 자체는 전류를 흐르지 않지만, 주변의 전류를 전달하는 알루미늄 층을 지지하는 역할을 한다.

- Epsilon Cable의 고전압 복합 강화 도체(HVCRC, ECRC라고도 함)는 2011년에 처음 설치되었다. 이 제품은 단일 가닥 코어에 CFRP/GFRP 혼합 소재 또는 CFRP만을 사용할 수 있으며, 다중 가닥 코어 HVCRC/ECRC는 CFRP만을 사용한다.

- 2016년, De Angeli Prodotti(이탈리아 바놀리 디 소프라)는 알루미늄 복합 단선(ACCS) 제품을 출시했다. 이 제품은 Epsilon 또는 Exel Composites(핀란드 반타)에서 생산된 단일 코어를 특징으로 하며, 갈바닉 부식을 방지하기 위해 보호 테이프로 먼저 감싸져 있다. Epsilon과 De Angeli Prodotti는 이러한 단선 도체에서 복합 코어를 압출 알루미늄 튜브로 감싸 외부 요인으로부터 보호한다.

- 추가적인 개발에는 설치 중 손상을 감지하기 위해 복합 코어 주변에 광섬유를 사용하는 것과 손상 저항성과 유연성을 높이기 위해 단일 복합 가닥 대신 여러 개의 복합 가닥을 사용하는 것이 포함된다.

- 한편, TS Conductor는 2016년에 출시한 알루미늄 캡슐화 탄소 코어(AECC) 도체에서 단일 가닥에 사전 장력을 가하는 다른 방식을 사용한다. 최신 개발에는 실시간 모니터링 및 지능형 전력망을 위한 De Angeli Prodotti의 스마트 도체(2022)와 CTC Global의 GridVista 시스템(2026)이 있다.

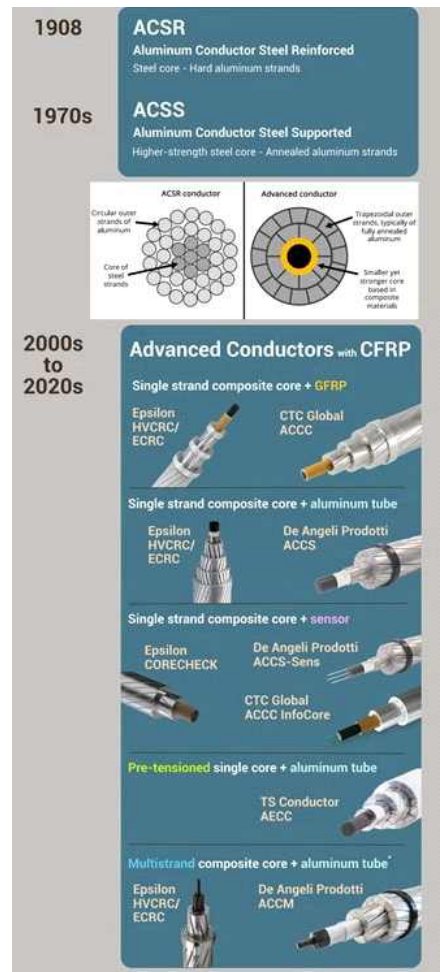


그림 8. *알루미늄 튜브는 De Angeli Prodotti ACCM 제품에 사용된다. 출처 | CW, IEEE Spectrum

복합재 핵심 공정 및 재료

- 복합재 코어를 제조하는 데 가장 일반적으로 사용되는 공정은 압출 성형 (Pultrusion)이다(Epsilon 및 Exel Composites의 비디오 참조). 이 공정에서는 단방향 토우/로빙, 직물 및/또는 매트 포함 섬유 보강재를 가열된 금형으로 뽑아내고, 수지(일반적으로 에폭시)를 함침시킨 후 성형 및 경화시킨다. 완성된 복합재는 절단하거나 스펀에 감다.

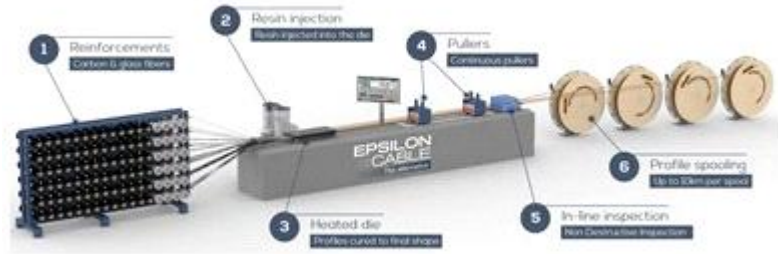


그림 9. Epsilon(사진 참조) 및 Exel Composites과 같은 공급업체는 인발 성형 공법을 사용하여 도체 코어용 스펀형 복합소재 로드를 생산한다. 출처 | Epsilon Cable

- CTC Global은 복합 코어 도체의 초기 개발 단계부터 코어 절연, 내구성 및 장기 성능에 필수적인 유리섬유 솔루션을 제공해 온 전략적 파트너인 Original Composites & Fiberglass (미국 오하이오주 톨레도, 이전 명칭: Owens Corning Glass Reinforcements)와 긴밀히 협력해 왔다. Paradise는 "이러한 협력을 통해 오늘날의 설계에서도 우수한 성능을 유지하는 신뢰할 수 있는 재료 시스템을 구축할 수 있었으며, 여기에는 내구성을 향상시키는 더욱 강력한 수지 배합도 포함된다."라고 말한다.
- Epsilon의 HVCR/ECRC 도체는 오랜 파트너인 Toray Carbon Fibers Europe(프랑스 라크)의 Torayca 탄소섬유를 사용한 복합 코어로 구성된다. Epsilon Composite의 전무이사인 Alexandre Lull은 "일반 복합 코어에는 고강도(HS) 탄소섬유를 사용하고, 결빙 하중이 요구되는 송전선이나 하천 횡단과 같은 매우 긴 경간에 사용되는 초저처짐(ULS) 버전에는 중간 탄성률(IM) 탄소섬유를 사용한다."라고 설명한다. 이 코어는 표준 직경 3~12mm, 최대 10km 길이의 스펀로 제공된다(자세한 내용은 CW 2025년 기사 참조). "이 코어는 파트너사에 공급되어 원형 또는 사다리꼴 알루미늄 와이어를 코어 주위에 감아 최종 도체를 만든다."
- De Angeli Prodotti는 알루미늄 도체 복합 다중 가닥(ACCM) 제품 생산을 위해 Exel Composites과 협력하고 있다. Exel Composites의 도체 코어 제품 관리자인 하이니 클로스터는 "각 코어 가닥은 개별적으로 생산되어 별도의 릴에 감긴 후 De Angeli Prodotti로 보내진다."라고 말한다.
- De Angeli Prodotti의 글로벌 영업 관리자인 비토리아 보틴은 "먼저 기계에 재료를 넣어 다중 가닥 구조를 만든다."라고 설명한다. "그런 다음 고온 아라미드 테이프를 감싸고 그 위에 알루미늄 튜브를 압출한 후, 알루미늄 가닥을 2~5겹 감아 최종 도체를 만든다." 다중 가닥 코어의 직경은 5~20mm이며, 완성된 ACCM 도체의 직경은 20~45mm이다.

- TS Conductor는 파트너사인 Hexcel (미국 코네티컷주 스탬퍼드)로부터 공급받은 Torayca T700 표준 탄성률(SM)과 동등한 특성을 가진 탄소섬유를 사용 하지만, Toray 및 Hyosung (한국 서울)과 같은 회사와도 협력하고 있다고 Huang은 말한다. TS Conductor는 Huntsman (미국 텍사스주 우드랜즈)과 같은 회사에서 에폭시 수지를 공급받다. Huang은 현재 중국의 탄소섬유 제조업체들이 T700과 동등한 탄소섬유를 매우 경쟁력 있는 가격으로 생산할 수 있다고 언급한다. "우리는 안정적인 공급을 중시하고 미국 제조업을 지원하기 때문에 그 섬유를 사용하지는 않지만, 이러한 시장 가격 경쟁은 금속을 복합재로 대체하는 우리와 같은 회사에 도움이 된다. 우리 제품은 금속 도체와 점점 더 경쟁력을 갖추고 있다."

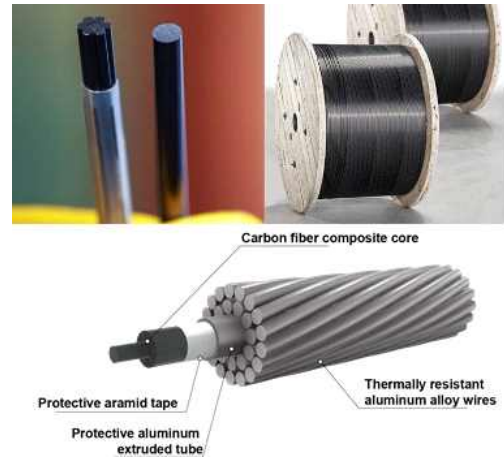


그림 10. Exel Composites의 압출 성형 CFRP 스트랜드(위쪽, 왼쪽은 다중 가닥, 오른쪽은 단일 가닥)는 De Angeli Prodotti와 같은 고객에게 보내져 보호 층과 내열성 전도성 알루미늄 합금 와이 어로 감싸져 여기에 보이는 ACCM(알루미늄 복합 도체 다중 가닥)과 같은 고급 도체를 형성한다. 출처 | Exel Composites, De Angeli Prodotti

센서가 장착된 단일 가닥 도체

- 2020년, CTC Global은 복합 코어 내부에 광섬유를 내장하여 설치 중 손상 가능성을 감지하고 도체 건전성을 검증하는 InfoCore 시스템을 개발했다. 도체 코어의 양 끝단은 절단, 연마 및 세척 과정을 거친 후 송수신 장치를 코어 양쪽 끝에 부착한다. 검사는 태블릿 제어 시스템을 통해 시작할 수 있으며, 촬영된 이미지를 검토하고 평가할 수 있다. 또한, 데이터를 InfoCore 클라우드 소프트웨어에 업로드하여 추가 분석 및 보고를 수행할 수 있다. CTC Global의 최고 기술 책임자(CTO)인 케빈 코발리스는 "InfoCore 시스템은 제조부터 설치, 그리고 전력 회사가 언제든지 회선 건전성을 확인해야 할 때 도체 상태를 확인할 수 있도록 해주면서 시장에서 빠르게 인기를 얻었다."라고 말했다.

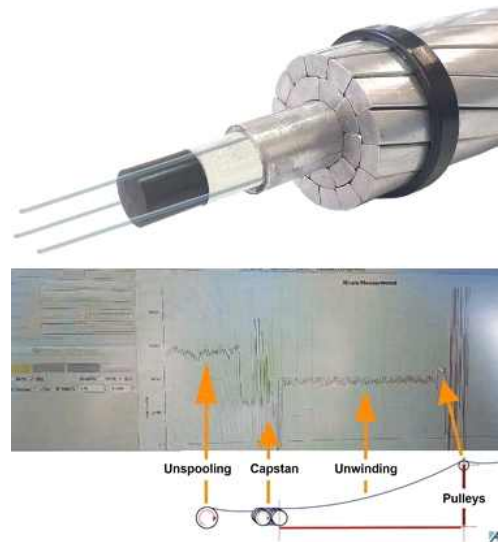


그림 11. De Angeli Prodotti의 ACCS-Sens 도체는 광섬유를 사용하여 변형률을 측정하고, 도체가 스펀에서 나와 캡스톤을 통과하고 풀린 후 타워의 풀리를 통해 당겨지는 동안 손상을 여부를 모니터링한다. 출처 | De Angeli Prodotti 비디오

- De Angeli Prodotti의 ACCS-Sens 제품은 단일 가닥 복합 코어 주위에 3개의 광섬유를 내장하여 "설치 중 취급 부주의나 과도한 굽힘이 없는지 모니터링"한다고 회사 사장이자 소유주인 루카 모라 박사는 설명한다. "1세대 단일 가닥 탄소 코어 도체의 경우, 설치 중 손상이 발생하면 코어가 파손될 수 있다는 것을 알게 되었

다. 작은 균열은 도체 내부에 있기 때문에 눈으로 볼 수 없다. 하지만 일단 설치되면 회선은 지속적으로 진동하고, 그 균열은 점점 커진다. 결국 코어가 파손되면, 코어가 기계적 지지대 역할을 하기 때문에 외부 알루미늄 가닥이 이를 지탱할 만큼 충분히 강하지 못해 전체 구간이 무너질 수 있다."

- ACCS-Sens는 광섬유가 탄소 코어에 직접 연결되는 방식이라고 보틴은 설명하며, 도체에 과도한 힘이 가해지거나 구부러져 파손될 가능성이 있는지 모니터링하는 시스템의 작동 방식을 보여주는 영상을 재생했다. "스폴 측면에 있는 상자가 도체에 연결되어 광섬유에서 실시간으로 데이터를 수집하고 현장 컴퓨터로 전송한다. 광섬유에서 나오는 세 줄의 데이터를 볼 수 있다. 스폴에 감겨 있을 때는 광섬유가 많이 구부러져 있다가 풀리면서 구부러짐이 줄어든다. 설치 과정에서 도체가 타워의 풀리를 통과할 때는 선이 약간 위로 올라간다."
- 2023년에 출시된 Epsilon Cable의 특허받은 CORECHECK 모니터링 시스템은 전기 산업에서 흔히 사용되는 절연 파괴 시험(유전체 파괴 시험)을 활용한다. CORECHECK은 Epsilon의 하이브리드 CFRP/GFRP 코어의 외부 유리섬유층의 유전 특성을 이용하여 전체 HVCRC/ECRC 코어의 건전성을 모니터링한다. 이미 최대 380kV의 송전선로에 적용된 이 시스템은 연선, 설치 및 도체의 수명 주기 전반(예: 폭풍이나 사고 발생 후)을 포함하여 압출 성형 후 어느 시점에서든 복합 코어의 건전성에 대한 데이터를 제공한다.

다중 가닥 도체

- 모라는 "De Angeli Prodotti는 표준 ACSR부터 최고 성능의 첨단 도체에 이르기까지 다양한 제품을 제공한다."라고 말했다. "설치 중 손상 가능성을 줄이기 위해 코어에 일반적으로 5~7가닥의 CFRP를 사용하는 도체를 개발했다. 따라서 단일 가닥 도체보다 견고하고 유연하다. 이 ACCM 도체는 한 가닥에 손상이 발생하더라도 다른 가닥 덕분에 도체의 강도에 영향을 미치지 않기 때문에 우리가 선호하는 기술이다."
- 모라에 따르면, ACCM 제품은 2006년에 특허를 받았지만, 업계에 완전한 안전성을 입증하기까지 13년이라는 시간이 걸렸다. "도체가 고온에서도 열화되지 않는다는 것을 보여주기 위해 노화 테스트를 진행했는데, 여기에는 1년이 걸린 아레니우스 테스트도 포함되었다. 또한 설치 과정에서도 문제없이 견뎌낸다는 것을 입증했고, 그 외에도 수많은 기계적 및 환경적 테스트를 거쳤다. 마침내 몇 킬로미터에 불과한 시범 노선을 구축한 후, 여러 차례의 실증 작업을 거쳐 본격적인 설치를 시작할 수 있었다. 현재는 수천 킬로미터에 달하는 설치 물량이 밀려 있는 상태이다. 따라서 ACCM은 더 이상 틈새시장 제품이 아니라 업계 전반에 널리 보급되는 기술이 되고 있다."
- Excel Composites은 훌륭한 파트너라고 그는 말한다. "우리는 궁극적으로 필요하

게 될 대용량 생산 능력을 제공할 수 있는 고품질 코어 공급업체가 필요했다. 그들은 수년간의 개발 과정 내내 우리를 지원했고, 몇 킬로미터가 아닌 수백, 수천 킬로미터에 달하는 수요를 충족하기 위해 장비를 개조하는 데 투자했다."

사전 인장 복합 코어

- TS Conductor는 다른 접근 방식을 취했다. 황 대표는 업계에서 수년간 경력을 쌓은 후 2018년에 회사를 설립했다. CFRP 코어의 굽힘 파손 가능성 문제를 살펴보면, 그는 이것이 실제로 축 방향 압축 파손이라고 설명한다. "탄소섬유는 압축 강도가 일반적으로 인장 강도의 60~70%에 불과하기 때문에 이 하중을 견디는 것이 가장 어렵다."라고 황 대표는 말한다. "콘크리트와 마찬가지로 압축이 취약한 부분이라면, 구조 코어에 인장력을 가하고 도체를 제작하는 동안 그 인장력을 유지한다. 따라서 도체가 구부러지더라도 하중은 압축으로 이어지기 전에 먼저 사전 인장력을 극복해야 하므로, 현장에서 견고한 복합 코어를 사용할 수 있다."
- 그는 2~3mm 두께의 이음매 없는 알루미늄 층이 CFRP 코어에 단단히 접착되어 있어 초기 장력을 유지할 만큼 충분히 강하다고 지적한다. "이보다 얇은 알루미늄 호일은 휘어져서 초기 장력을 견딜 수 없다. 또한 이음매 없는 차단막은 사용 수명 동안 복합재를 습기, 산소 및 기타 열화로부터 보호하며, 작업자는 설치 중에 CFRP 코어를 손상시키지 않고 도체를 강철 튜브에 삽입하고 압착하여 송전선을 연결할 수 있다."
- CTC Global의 Paradise는 자사의 ACCC 도체가 굽힘을 포함한 표준 설치 방식과 작동 스트레스를 견딜 수 있도록 표준화된 산업 테스트를 통해 설계 및 검증되었다고 언급한다. Epsilon의 Lull도 이에 동의한다. 그는 "복합 코어 도체는 기존의 송전선 건설 장비와 방식을 사용하여 설치할 수 있지만 기본적인 취급 주의 사항도 필요하다."라고 말하며, "모든 고급 도체의 경우 권장 굽힘 반경, 도르래, 그립, 데드 엔드, 접합부, 압축 하드웨어 및 설치 후 검증에 대해 설치 시작 전에 검토하고 합의해야 한다."라고 덧붙였다.

맞춤화, 비용, 지능형 그리드

- 전력 산업은 매우 보수적이지만, 전력 수요의 급증으로 인해 전력 회사들은 이러한 새로운 기술 솔루션을 도입하는 데 박차를 가하고 있다. Exel Composites의 Kloster는 도체 코어 전체를 최종 고객, 국가, 지역 및 용도에 따른 특정 요구 사항에 맞춰 맞춤 제작할 수 있다고 언급한다. 여기에는 동일한 품질과 성능을 유지하면서 다양한 크기를 제공하고, 외부 알루미늄 가닥에 특정 형상과 재료를 사용하는 것이 포함된다. "우리 글로벌 공장은 이를 위해 연선 파트너와 협력하고 있다. 예를 들어, De Angeli Prodotti와의 협력에서는 양측에 전담팀을 두고 이러한 개발 작업을 수행하며 시장의 요구를 예측하려고 노력한다. 우리는 미래에 필요한 신제품을 선제적으로 개발하고 있다."

- De Angeli Prodotti의 보틴은 "도체 코어의 재료를 살펴보는 것뿐만 아니라, 이를 최적화하고 비용을 단일 코어 제품과 거의 비슷하게 낮추는 것도 중요하다. 전력 회사들이 더 견고한 다중 코어 도체 대신 ACCM 도체를 선택하는 주된 이유는 가격이기 때문이다. 그리고 우리는 이미 상당한 진전을 이루었다. 초기에는 가격 차이가 컸지만, 이제 ACCM 제품의 가격이 그렇게 높지 않다."라고 덧붙였다.



그림 12. 복합 코어를 사용한 고급 도체는 표준 장비를 사용하여 설치할 수 있다. 그림은 송전선로 종단 압축 시 금속 피팅을 압착하여 연결 (위) 하거나 종단 지점에 단단히 고정 (아래) 하는 모습을 보여준다. 출처 | CTC Global(위), Epsilon Cable(아래)

- 한편, Epsilon Cable은 특허받은 ECRC LITE 도체를 개발했는데, 이 도체는 ASTM B987 인증을 받아 최대 180°C에서 연속 작동이 가능한 기존 ECRC/HVCRC 코어와 달리 90~120°C의 표준 작동 온도에서 작동하도록 설계되었다. Lull에 따르면, ECRC LITE 도체는 복합 코어의 높은 치수 안정성을 유지하면서 도체 설계를 표준 작동 온도에 맞게 조정함으로써 고온용 복합 코어 도체 대비 최대 50%까지 비용을 절감할 수 있다. 또한 ACSR 도체보다 약 50% 더 비싸지만, 고온 작동이 필요하지 않은 경우 신규 송배전선로 건설이나 재도체 공사에 대한 전체 투자 비용을 크게 줄일 수 있다.
- 이제 첨단 광섬유 내장 도체를 통해 전체 전력망을 최적화하는 궁극적인 솔루션이 등장하고 있다. 이 도체는 실시간으로 고해상도 데이터를 제공하여 용량을 모니터링하고 조정하며, 정전을 예방하고 운영비용을 절감한다. 2026년 2월, CTC Global은 도체 코어 내부에 광섬유를 내장하여 전체 송전선로를 따라 변형률, 온도 및 진동을 측정하는 GridVista 시스템을 선보였다. Corbalis는 "이 시스템은 실시간 데이터를 실행 가능한 정보로 변환한다."라고 말한다. "주변 환경 조건에 따른 동적 송전선로 정격 용량 설정, 결빙 및 풍하중 감지, 정확한 고장 위치 파악을 통한 산불 위험 감소, 그리고 사후 대응식 유지보수에서 예측 기반의 데이터 중심 운영으로의 전환을 가능하게 한다."
- De Angeli Prodotti는 광섬유를 이용한 첨단 도체인 스마트 컨덕터(Smart Conductor)를 개발했다. 보틴은 "도체 코어 바깥쪽의 알루미늄 와이어 하나를 광섬유가 내장된 튜브로 교체했다."라고 설명하며, "이것은 굽힘을 모니터링하는 것이 아니라 도체의 수명 주기 동안 온도, 변형, 진동, 위치 및 고장을 실시간으로 모니터링한다. 우리는 이것이 미래의 도체가 될 것이라고 확신한다. 문제가 발생하면 즉시 위치를 파악할 수 있기 때문에 선로 유지보수 위치를 정확히 찾아낼 수 있을 뿐만 아니라, 전력 회사가 도체에 최대한 많은 전력을 흘려보낼 수 있도록 해준다."라고 덧붙였다.

- 그녀는 각 전력 회사가 송전선을 통해 안전하게 전기를 보내기 위해 지속적으로 계산을 수행한다고 설명한다. "하지만 이를 위해 전력 회사는 송전선에서 실시간으로 무슨 일이 일어나고 있는지 정확히 알 수 없기 때문에 큰 안전 여유를 두어야 한다. 이러한 큰 안전 여유를 유지해야 하므로 실제 용량의 40~50%만 사용할 수도 있다. 스마트 컨덕터 기술을 사용하면 송전 시스템 운영자(TSO)는 이제 실제 상황을 파악하여 얼마나 많은 전기를 보낼 수 있는지 알고 송전선의 최대 용량에 훨씬 더 가깝게 운영을 최적화할 수 있다."

글로벌 성장

- CTC Global은 복합 코어 도체가 더 이상 신기술이 아니라고 주장한다. 미국 30개 주와 70개국 이상에서 300개 이상의 전력 회사가 참여한 1,500개 이상의 프로젝트에서 20년 이상 축적된 ACCC 도체 관련 현장 경험을 근거로 제시한다. 2024년에는 중국, 인도네시아, 파라과이, 미국에 이어 인도 푸네에 다섯 번째 제조 시설을 설립한다고 발표했다. CTC Global은 인도가 세계 3위의 전력 생산 및 소비국이며, 전력 접근성 확대, 전력망 효율성 개선, 재생 에너지 발전량 증대를 위한 야심찬 계획을 추진하고 있다고 강조한다.

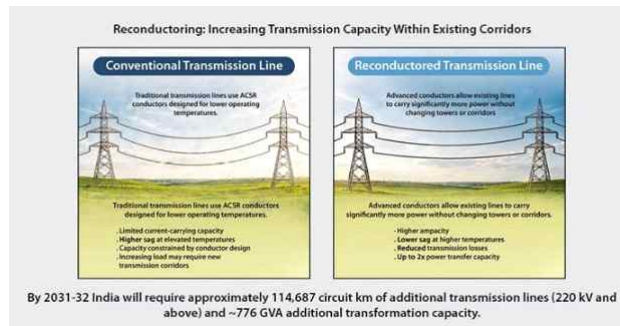


그림 13. "같은 송전탑으로 더 많은 전력: 인도의 전력망 재구성" 출처 | Wire & Cable India,

- Epsilon Cable은 인도 정부가 2030년까지 재생에너지 발전 용량을 500기가와트 (GW)로 늘리고 전력망 인프라에 260억 유로 이상을 투자할 계획이라고 밝혔다. Epsilon Cable은 자회사인 HindEpsilon Composite를 통해 인도 첸나이에서 사업을 확장하고 있다. 최근 Epsilon은 인도 6개 주에서 여러 주요 HVCR/ECRC 재도체 프로젝트에 참여했으며, 인도 내 협력사를 통해 아프리카와 미주 지역으로 수출 프로젝트를 진행했다.
- 유럽에서 주목할 만한 성장 사례로는 전력망 운영업체 TenneT(네덜란드 아르헨)가 2024년 네덜란드 400킬로볼트 고전압 전력망 현대화 프로그램에 두 가지 공급업체 기술을 선정한 것을 들 수 있다. 이 프로그램은 CTC Global의 ACCC 도체와 HVCR/ECRC 도체를 각각 절반씩 도입하는 방식으로 진행되며, De Angeli Prodotti와 케이블 제조업체 Nexans(프랑스 파리)가 파트너로 참여하여 기존의 모든 금속 도체를 Epsilon Composite로 교체할 예정이다. 이 프로젝트는 2030년 완공을 목표로 하고 있다.

- 2026년 5월, TS Conductor는 미국 사우스캐롤라이나주 하디빌에 두 번째 제조 시설을 개설했으며, 증가하는 수요를 충족하기 위해 인도 등 전 세계적으로 사업을 확장하고 있다. TS Conductor의 AECC 도체는 전 세계적으로 수천 마일에 달하는 배전 및 송전선로의 신규 건설 및 재도체 프로젝트에 사용되었다. 주요 설치 사례로는 Basin Electric(미국 노스다코타주)의 175마일(약 282km) 345킬로볼트 송전선로와 테네시 밸리 공사(TVA)의 100마일(약 160km) 이상 구간이 있다.
- TS Conductor는 2025년에 15개 이상의 신규 미국 전력 회사를 고객으로 확보했으며, 이러한 추세가 가속화될 것으로 예상된다. 서베너 항에서 20분 거리에 위치한 새로운 시설은 회사의 글로벌 수출 거점 역할을 할 것이며, 3단계 확장을 계획하고 있다. 관계자는 "1단계 확장은 캘리포니아 시설의 생산 능력을 약 8배로 늘려 연간 15,000~20,000km를 생산할 수 있게 될 것"이라고 설명했다. "2단계와 3단계 확장 공사가 완료되면 연간 약 4만 킬로미터까지 증가하겠지만, 이는 여전히 미국 연간 도체 시장의 극히 일부에 불과하다."
- CTC Global의 파라다이스는 전력 회사들이 급증하는 전력 수요에 대응하기 위해 도체 선택이 용량 증설의 신속성과 비용 효율성을 좌우하는 핵심 요소라고 말한다. "첨단 도체를 사용하면 기존 인프라를 활용하여 송전 용량을 크게 늘릴 수 있어 새로운 부지 확보 및 장기간의 인허가 절차에 대한 필요성을 줄일 수 있다. 고용량, 저치짐 도체로 가공선을 업그레이드함으로써 전력 회사들은 자본 투자 및 시스템 중단을 최소화하면서 증가하는 수요를 더 빠르게 충족할 수 있다."
- TS Conductors의 황 대표는 "전력 수송 능력이 AI와 데이터 센터의 기하급수적 증가를 포함한 급격한 부하 증가를 따라가지 못하면서 비용 압박이 심화되고 있다"고 말한다. "수요가 급증함에 따라 송전선로는 전력 수송을 제한하고 있으며, 이로 인해 수요를 충족하기 위해 더 비싼 발전 설비를 사용해야 하는 상황이다. 하지만 재도체 공사를 통해 동일한 구조를 사용하는 표준 송전선로 대비 허용 전류량을 두 배로 늘릴 수 있으며, 1~3년 내에 시공이 가능하다."
- Energy Innovation.org에 따르면, 기존 전력선을 첨단 도체로 교체하는 것은 용량 및 비용 문제를 즉시 해결할 수 있는 즉시 적용 가능한 기술이다. 보틴은 "이탈리아에서 전력선 교체 기술이 점점 더 많이 도입되고 있다. 새 전력선을 설치하는데 평균 10년이 걸리고, 많은 경우 설치 자체가 불가능하기 때문에 유일한 해결책은 전력선 교체이다. 탄소섬유 복합재 코어 솔루션은 용량 증대뿐만 아니라, 나무나 주택에 너무 가까이 설치된 오래된 전력선을 관련 규정에 맞게 복구하는 데에도 도움이 된다."라고 말한다.
- 2026년 3월, 미국 에너지부 산하 전력국은 전력 수요 증가에 대응하기 위한 전력 인프라 투자 촉진을 위해 약 19억 달러를 투입한다고 발표했다.

- SPARK(가속 재도체 및 기타 주요 첨단 송전 기술 업그레이드를 통한 전력 생산 속도 향상) 프로그램으로 명칭이 변경된 이 사업은 다음과 같은 프로젝트를 우선적으로 추진할 예정이다.
 - 첨단 도체를 이용한 재도체화.
 - 기존 자산의 가용 용량을 실시간으로 증대시킬 수 있는 첨단 전송 기술.



그림 14. 미국전력공사(AEP)는 CTC Global의 ACCC 도체를 설치하여 멕시코만 인근의 120마일(약 193km) 길이의 345킬로볼트 송전선로 두 곳의 용량을 두 배로 늘리고 선로 손실을 30% 줄였다. 출처 | CTC Global

- 한편, 아이다호 국립 연구소가 2026년 2월에 발표한 보고서에 따르면 미국 내 약 119,000마일의 송전선이 복합 코어 도체로 교체하기에 적합한 것으로 나타났다.
- De Angeli Prodotti의 모라는 “앞으로 많은 전력 회사들이 전력망을 대대적으로 업그레이드해야 할 필요성을 느끼고 있다”고 말한다. TS Conductor의 황 역시 이에 동의하며 “복합 코어를 사용하는 첨단 도체를 통해 전력망 안정성이나 송전 혼잡 제약 없이 전기 자동차, 히트 펌프, 산업 공정 및 데이터 센터의 증가하는 전력 수요를 충족할 수 있을 뿐 아니라, 수 기가톤에 달하는 새로운 풍력 및 태양광 재생 에너지를 전 세계 전력망에 연결할 수 있다”고 덧붙였다.
- Exel Composites의 Kloster는 공급망의 생산 능력 투자에 대해 강조하며, “우리는 미국과 인도에 있는 공장을 통해 글로벌 입지를 구축하여 이러한 성장에 대비해 왔으며, 업계가 차세대 전력 공급 방식으로 전환하는 것을 지원할 준비가 되어 있다.”라고 말했다.
- CTC Global의 코르발리스는 “전력망 문제는 더 이상 이론적인 문제가 아니라 시간과의 싸움이다.”라고 말하며, “검증된 첨단 도체는 더 많은 용량을 제공하고 대규모 전력망 용량을 확장하고 강화하는 가장 빠른 방법이다.”라고 덧붙였다.



그림 15. Grid Strategies LLC 에서도 사용함. ACORE에서 발행한 " 기존 송전 회랑에 첨단 도체를 설치하여 저비용 탈탄소화를 가속화 " 보고서에서 발췌. 출처 | Getty Images

□ 미국 Moore Brothers Co., 북미 지역 건조 파트너로 40OF 요트 경주팀 합류(26.06.24.)

※ [Composites World] 로드아일랜드에 위치한 이 회사는 성장하는 국제 개발팀에 합류하여, 자사의 복합소재 전문성을 바탕으로 완전 포일링 방식의 해상 경주용 요트 프로젝트를 발전시키는 데 기여할 것이다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/moore-brothers-co-joins-40of-yacht-racing-team-as-north-american-build-partner>
 - <https://www.moorebro.co/>
 - #미국 #해양선박 #탄소섬유 #복합소재
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- Moore Brothers Co.(미국 로드아일랜드주 브리스톨)은 40OF 팀과 전략적 협력 관계를 구축했다. Moore Brothers Co.는 미국, 캐나다 및 카리브해 지역에서 40OF 경주용 요트 팀을 대표하는 동시에 이 프로젝트의 북미 지역 건조 및 개발 파트너 역할을 수행할 예정이다.
 - Wilson/Marquinez Naval Architecture가 설계한 40OF는 혁신적인 포일링 기술을 접근성과 조작성이 뛰어난 플랫폼을 통해 외양 항해에 도입하기 위해 개발된 풀 포일링 외양 레이스 요트이다.
 - 성공적인 69F 프로젝트를 통해 확립된 설계 DNA를 기반으로 제작된 이 40피트 선박은 성능, 안전성 및 접근성을 결합하여 약 12노트의 풍속부터 배수형, 포일 보조형, 선미 하강 포일링, 풀 플라이트 포일링의 네 가지 항해 모드를 제공한다. 이를 통해 승무원은 외양 포일링의 잠재력을 최대한 활용하는 동시에 기존 항구 및 마리나에서 독립적으로 접안, 계류 및 운항할 수 있다.
 - Moore Brothers Co.는 복합재 산업 분야에서 오랜 역사를 자랑하며, 특히 REGENT 사의 Seaglider 건조에 참여한 것으로 유명하다. 로드아일랜드에 위치한 이 회사는 Symmetrix를 통해 복합재 공구 자산도 인수했다.
 - Moore Brothers Co.는 CW와의 인터뷰에서 40OF급 요트 건조에 프리프레그, 탄소섬유, 노멕스 허니콤 코어 소재가 사용될 것이라고 확인했다.
 - Moore Brothers Co.는 요트 디자인, 엔지니어링 및 제작은 물론 마케팅 및 상업 개발 분야의 전문성을 결합하여 40OF를 시장에 출시하기 위해 성장하는 국제 개발팀에 합류한다.
 - 팀 구성원은 다음과 같다:

- MW 조선 설계 및 요트 디자인 : 나우엘 윌슨과 라우레아노 마르퀴네스
 - 개발, 마케팅 및 판매 : Sailing Architect BV와 Pablo Bottacchi
 - 40OF 개발 및 향후 수업 활동을 위한 물류 파트너 : Pindar
 - 남아프리카, 남미 및 중동 지역의 조선 및 개발 파트너 : Evolution Marine
- 이번 파트너십은 프로젝트가 개발 단계에서 시장 활성화 단계로 나아가는 중요한 이정표가 되며, 미래의 고성능 세일링에 대한 열정을 공유하는 선원, 선주 및 혁신가들을 참여시킬 것이다.



그림 16. 출처 | 40OF

□ 미국 미츠버그대, 용융 금속 촉매는 전기 자동차 배터리에 예상치 못한 원료 제공(26.06.24)

※ [Chemie] 미국 피츠버그의 한 스타트업 기업은 배터리용 흑연을 3,000°C가 아닌 1,000°C 이하에서 생산하고 수소를 부산물로 얻었다. / News

- <https://www.chemie.de/news/1189003/schmelzmetallkatalyse-liefert-unerwarteten-rohstoff-fuer-elektrofahzeug-batterien.html>
- <https://www.chemie.de/news/1168774/alters-raetsel-um-neue-sorten-von-elektronen-geloeset.html>
- #미국 #고분자막 #멤브레인기술 #에너지효율 #나프타
- 미국 피츠버그 대학교 스완슨 공과대학의 괴츠 베저 연구실에서 당시 박사 과정 학생이었던 에임 로랑 트위제리마나는 섭씨 1,000도 이하의 온도에서 용융 금속에 에탄을 주입하던 중 예상치 못한 현상을 발견했다. 표면으로 떠오른 탄소 부산물이 "숨털처럼" 보였던 것이다. 이 부산물은 고품질 흑연으로 밝혀졌다.
- 트위제리마나는 보다 깨끗하고 효율적인 에틸렌 생산 방식을 모색하던 중 첨단 기술 및 자동차 산업에서 '검은 황금'으로 불리는 흑연을 발견했다. 이 흑연은 전기 자동차, 최신 전자 제품 및 친환경 에너지 저장에 필수적인 리튬 이온 배터리의 핵심 구성 요소이다. 그러나 3,000°C의 고온을 필요로 하는 현재의 흑연 생산 방식은 에너지 효율이 매우 낮으며, 현재 흑연의 95%는 중국에서 생산된다.
- 베저 교수와 트위제리마나 교수가 이끄는 피츠버그 대학교 연구팀은 모하마드 마스나디 조교수, 나데르 사우타리 박사 과정 학생과 함께 국내에서 흑연과 수소를 보다 효율적으로 생산해야 할 필요성을 인식하고 예비 특허를 출원하고 스타트업 기업인 Graphonos Materials(미국 피츠버그)를 설립했다. 이 회사는 실험실에서 혁신적인 기술을 시연하여 벤처 투자자들의 관심을 끌었으며, 최근에는 라이스 대학교 사업 계획 경진대회에서 2만 달러의 아람코 혁신상(Aramco Innovator Prize)을 수상했다.

예상치 못한 발견

- 스완슨 공과대학 화학·석유공학과 교수이자 코베스트로 순환 경제 프로그램의 리더인 피터스 교수 펠로우인 베저 교수는 "청정에너지로의 전환을 가로막는 장애물 중 하나는 재생에너지에 찬성하거나 반대하는 이분법적인 태도이다."라고 말했다. "제 연구는 화석 연료 가공을 보다 지속 가능한 미래와 연결하고 이러한 전환을 지원하는 방법을 탐구한다."
- 현재 Graphonos Materials의 최고 지속가능성 책임자(Chief Sustainability Officer)를 맡고 있는 마스나디와 함께, 베저는 펜실베이니아 서부에서 발견되는 천연가스

의 주요 성분인 에탄을 분해하는 새로운 방법을 연구해 왔다. 에탄을 에틸렌으로 분해하려면 열이 필요하고 부반응을 통해 고체 탄소가 생성된다. 가장 일반적인 방법은 반응기 튜브가 막히는 것을 방지하기 위해 반응기에 증기를 주입하는 것이다.

- Graphonos Materials의 최고기술책임자(CTO)이기도 한 베서는 "이 공정은 에너지 소비와 탄소 배출량이 매우 많고, 반응기 내부에 탄소가 축적되어 정기적인 공정 중단과 청소가 필요하다."라고 말하며, "더 깨끗한 대안을 찾던 중, 아직 널리 사용되지는 않지만 거의 한 세기 동안 알려져 온 용융 금속 촉매 기술에 주목하게 되었다."라고 덧붙였다.
- 연구진은 고체 금속 촉매 대신 에탄을 용융 금속에 통과시켜 탈수소화시켰다. 마스나디는 "용융 금속은 놀라운 장점을 가지고 있다."라고 말했다. "액체 금속의 밀도가 매우 높기 때문에 탄소가 위로 떠올라 침전된다."
- 현재 Graphonos Materials의 CEO이자 스완슨 경영대학원의 박사후 연구원인 트위제리마나는 박사 학위 연구의 일환으로 이 과정을 조사했다. 그는 다음과 같이 말했다. "박사 학위 논문을 마무리할 무렵, 우리가 사용하던 일부 금속에서 형성된 탄소가 평소와 다르게, 즉 더 느슨한 형태를 띠고 있다는 것을 발견했다. 그래서 더 자세히 살펴보기로 했다."
- 트위제리마나는 수잔 풀러튼 교수의 나노이오닉스 및 전자 연구실에서 2차원 금속의 독특한 특성을 연구하는 동료 학생인 사우타리에게 연락했다. Graphonos Materials의 최고 제품 책임자인 사우타리는 "제 박사 학위 연구의 일부는 흑연의 한 형태인 그래핀과 관련이 있었다."라고 말하며, "저는 부산물의 특성을 분석했는데, 그것이 엄청나게 가치 있는 것으로 밝혀졌다."라고 덧붙였다.

슈퍼볼 관람 여행

- 트위제리마나는 "에탄을 분해하는 새로운 방법을 연구하던 중, 에탄을 1,000°C 이하의 온도로 가열하면 배터리 등급의 흑연을 생산할 수 있다는 사실을 발견했다."라고 말했다. "우리는 수소를 귀중한 부산물로 얻으면서 더욱 지속 가능하고 경제적으로 경쟁력 있는 공정으로 흑연을 생산하고 있다."
- 현재 대부분의 배터리용 흑연은 중국에서 매우 에너지 집약적인 공정을 통해 생산되고 있다. 니들 코크스라고도 불리는 결정질 석유 코크스를 3,000°C로 가열하는 매우 느린 배치 공정을 거치는데, 한 배치를 생산하는 데 최대 3주가 소요된다. 국내에도 이러한 에너지 집약적인 방식을 사용하는 흑연 생산업체가 있지만, 이들이 생산하는 흑연은 시장을 장악하고 있는 중국산 흑연보다 가격이 더 높다.
- 피츠버그 대학교 연구팀은 스완슨 공과대학의 두 연구실에서 협력하여 청정에너지

미래를 위한 두 가지 핵심 부품을 개발하고 검증했다. 이들은 Graphonos Materials를 설립하는 과정에서 피츠버그 대학교의 빅 아이디어 센터(Big Idea Center)로부터 매우 귀중한 지원을 받았다. 이 센터는 학생 및 교수진 기업가들이 아이디어를 현실로 구현하고 사업 계획을 발표할 수 있도록 돕는다.

- 이러한 지원 덕분에 Graphonos Materials는 피츠버그 대학교의 크리스토퍼 윌머 교수가 "사업 계획 발표 대회 슈퍼볼"이라고 칭한 대회에 참가할 수 있었다. 전 세계에서 550개 이상의 팀이 라이스 비즈니스 플랜 대회에 지원했고, 그중 41개 팀이 선정되었는데, Graphonos Materials도 그중 하나였다.
- 지난 4월 대회에서 그들은 준결승에 진출한 15개 팀 중 하나였으며, 2만 달러의 아람코 혁신상(Aramco Innovator Prize)을 수상한 두 팀 중 하나였다. 아람코 벤처스(Aramco Ventures)에 따르면, 이 상은 "올해 대회에서 가장 혁신적이고 영향력 있는 솔루션을 제시한 기업가들을 기리고, 발견 정신과 기술적 우수성을 구현하는 기업가들에게 수여하는 상"이다.
- 피츠버그 대학교에서 이 팀은 "빅 아이디어 경진대회"에서 2만 5천 달러의 대상도 수상했다. 이러한 수상 경력은 그들의 연구의 우수성과 흑연 및 수소 생산 방식을 근본적으로 바꿀 수 있는 잠재력을 입증했다. 트위제리마나는 "저렴하고 지속 가능한 흑연에 대한 강력한 시장 수요를 파악했다."라며, "지금 바로 그 수요를 충족할 적기이다."라고 말했다.
- 베서 교수는 "우리는 하루에 수 킬로그램을 생산할 수 있는 최초의 완전 통합형 실험실 규모 시스템 개발을 위한 자금을 모금하고 있으며, 이는 파일럿 플랜트 건설을 위한 기술적 기반이 될 것이다."라고 말했다. 이 프로젝트가 성공적으로 진행된다면, 연구팀은 펜실베이니아 서부에서 발생하는 에탄을 피츠버그에서 직접 청정에너지 전환에 필수적인 두 가지 제품으로 전환할 수 있게 될 것이다.



그림 17. (왼쪽부터): Vesper 실험실의 Nader Sawtarie, Götz Vesper, Aime Laurent Twizerimana 및 Mohammad Masnadi. 출처 | 피츠버그 대학교

□ 영국 QMUL 연구팀, 새로운 멤브레인 기술은 에너지 소비를 획기적으로 줄인 원유 정제 혁명(26.06.25)

※ [Chemie] 수백 년 된 공정이 재검토되고 있다. / News

- <https://www.chemie.de/news/1189006/neue-membrantechnologie-koennte-die-raffination-von-rohoel-revolutionieren-indem-sie-den-energieverbrauch-drastisch-senkt.html>
- <https://www.chemie.de/news/1179492/upcyclerte-kunststoffmembranen-helfen-bei-der-abfallbeseitigung.html>
- #영국 #에너지 #고분자막 #멤브레인기술 #에너지효율 #나프타

- 국제 연구팀이 복잡한 탄화수소 혼합물을 빠르고 선택적으로 분리할 수 있는 새로운 종류의 초박형 고분자 멤브레인을 개발했다. 이는 원유 정제 및 정유 공정 처리 방식을 근본적으로 변화시켜 세계에서 가장 에너지 집약적인 산업 공정 중 하나에 필요한 에너지를 크게 줄일 수 있을 것으로 기대된다.
- "탄화수소 분리를 위한 특정 미세다공성을 갖는 초박형 고분자 멤브레인 " 연구는 분자 분리를 위한 고분자 멤브레인 내 분리층 형성에 대한 새로운 접근 방식을 제시한다. 이 연구의 핵심은 멤브레인 제조 과정에서 고분자 필름용 가교제를 첨가하는 방식에 있다. 그 결과, 복잡한 유기 혼합물을 전례 없는 효율로 유용한 성분으로 분리할 수 있는 확장 가능한 멤브레인 기술이 탄생했다. 이 멤브레인은 매우 높은 분자 선택성과 빠른 액체 수송 속도를 결합했는데, 이는 이 분야의 과학자와 엔지니어들이 오랫동안 달성하지 못했던 목표였다.

수백 년 된 공정이 재검토되고 있다.

- 기존의 석유 정제는 열 증류 방식을 기반으로 하며, 이 과정은 막대한 에너지를 소비하고 전 세계 에너지 소비량의 약 1%를 차지한다. 멤브레인 기술은 훨씬 더 에너지 효율적인 대안으로 오랫동안 주목받아 왔지만, 근본적인 재료 공학적 난제들로 인해 산업적 도입이 제한되어 왔다.
- "원칙적으로 막은 증류나 증발과 같은 작업을 훨씬 적은 에너지로 수행할 수 있다."라고 퀸 메리 런던 대학교(QMUL, Queen Mary University of London) 화학공학과 교수 겸 연구혁신 부총장, 그리고 엑삭트머 CEO인 앤드류 리빙스턴은 설명한다. "핵심 과제는 실제 탄화수소 혼합물과 접촉했을 때 빠르고 선택적으로 반응하는 소재를 찾는 것이었다."

나노 규모에서 기공을 "잡그는"

- 본 연구에서 설명하는 획기적인 발전은 고분자 멤브레인을 제조하는 새로운 방법에 있으며, 이 방법은 멤브레인 형성 과정에서 나노 규모로 기공이 "고정"되는 특

징을 갖다.

- 연구진은 본질적으로 미세 다공성을 지닌 고분자, 즉 나노미터 이하의 기공을 가진 스펀지 같은 구조로 알려진 물질에 주목했다. 이러한 기공은 분자를 크기와 종류별로 분리하는 데 이상적이지만, 일반적으로 탄화수소에 노출되면 고분자가 팽창하여 기공이 커지고 선택성이 떨어진다.
- 이를 극복하기 위해 연구팀은 멤브레인 형성 과정에서 고분자 구조를 안정화하는 현장 가교 공정을 개발했다. 이 공정은 기공을 최적의 형태로 고정시켜 연구자들이 '고정된 고유 미세다공성을 가진 고분자(PLIM)'라고 부르는 것을 만들어낸다.
- "핵심은 고분자가 팽창하기 전에 구조를 안정화하는 것이었다."라고 Exactmer의 막 연구 책임자이자 현재 싱가포르 난양공과대학교 조교수인 Zhiwei Jiang 박사는 설명한다. "이렇게 하면 분자 분리를 가능하게 하는 미세한 구멍을 유지하면서도 탄화수소가 매우 빠르게 통과할 수 있다."
- 이러한 결합의 분자적 원인을 조사하기 위해 포글리아 박사가 이끄는 UCL 연구팀은 영국의 국립 펄스 중성자 시설이자 고분자 사슬의 역학을 연구하는 데 있어 타의 추종을 불허하는 도구인 ISIS 중성자 및 뮤온 소스에서 준탄성 중성자 산란을 사용했다.

원유 및 정제유 분야에서 탁월한 성능을 보여준다.

- 합성 원유를 사용한 테스트에서 PLIM 멤브레인은 기존의 최첨단 멤브레인보다 최대 10배 높은 투과율을 보이면서도 높은 선택성을 유지했다. 이 멤브레인은 크기가 약간만 다른 탄화수소 분자들을 효과적으로 구별할 수 있었다.
- 진짜 아랍산 "엑스트라 라이트" 원유를 사용한 테스트에서 멤브레인은 다음과 같은 결과를 보였다.
 - 탄소 원자가 15개 이상인 탄화수소의 99.8% 제거항 함유 화합물을 93% 감소시켰다. 이는 하류 촉매 및 시스템을 보호하는 데 있어 매우 중요한 단계
- 이 멤브레인은 특히 정제 과정에서 발생하는 원유 나프타와 같은 물질에서도 뛰어난 성능을 보였다. 이러한 시험에서, 연료 가공에 적합한 경질 탄화수소(C4~C6)를 플라스틱 및 화학 물질 생산에 사용되는 중질 나프타 성분으로부터 효율적으로 분리했으며, 그 투과율은 상용 해수 담수화 멤브레인과 유사한 수준이었다.

확장성을 고려하여 설계되었다.

- 무엇보다 중요한 것은 연구진이 해당 멤브레인을 대규모로 제조할 수 있음을 입증했다는 점이다. 롤투롤 공정을 사용하여 1미터가 넘는 폭의 시트를 생산하고 이를 산업계에서 흔히 사용되는 표준 나선형 멤브레인 모듈에 통합했다.

- "이러한 멤브레인은 단순히 실험실에서만 존재하는 신기한 물건이 아니다."라고 연구 논문의 제1 저자이자 현재 Exactmer의 멤브레인 부문 부사장인 아담 옥슬리 박사는 말했다. "기존 기술을 사용하여 제조할 수 있으며 기존 산업용 모듈식 설계에 통합할 수 있다. Exactmer에서는 이러한 새로운 기술을 유기 용매에서 고성능 분리 공정에 사용되는 멤브레인에 통합하고 있다."
- 장기 테스트 결과 30일 연속 운전에도 안정적인 성능을 보여 실제 산업 현장에서 활용될 가능성이 매우 높은 것으로 나타났다.

정유소를 위한 보다 지속 가능한 방식

- 전 세계 에너지 시스템이 저탄소 대안으로 전환되는 가운데, 탄화수소에서 파생된 연료, 화학 물질, 용제 및 재료에 대한 수요는 여전히 존재한다. 따라서 전환 단계에서 배출량을 줄이기 위해서는 기존 분리 공정의 효율성을 개선하는 것이 필수적이다.
- PLIM 기술은 빠르고 선택적인 막 기반 분리 공정을 가능하게 함으로써 석유 정제에서 제약 산업에 이르기까지 다양한 산업 분야에 혁신을 가져올 수 있다.
 - 에너지 소비량을 획기적으로 줄인다
 - 이산화탄소 배출량을 줄이기 위해
 - 규모가 더 작고 유연한 처리 공장과 협력하기 위해
 - 선택적 탈황 공정을 정제 공정 초기에 통합하기 위해
 - 연구진은 동일한 기공 잠금 개념이 화학 물질 생산, 용매 회수 및 새로운 바이오 기반 원료를 포함한 다른 액체 분리 문제에도 적용될 수 있다고 지적한다.

시야

- 현재 연구팀은 멤브레인 생산에 더욱 친환경적인 용매를 연구하고 있으며, PLIM 멤브레인이 기존 정유 시설과 함께 특정 하이브리드 공정에 어떻게 활용될 수 있는지, 그리고 유기 용매를 사용하여 고품질 의약품을 생산하는 데 어떻게 사용될 수 있는지를 탐구하고 있다.
- 리빙스톤 교수는 "이번 연구는 유기 액체에서 막 기반 분자 분리가 더 이상 이론적인 가능성에 그치지 않음을 보여준다."라며, "적절한 소재 설계를 통해 빠르고 선택적이며 확장 가능한 분리 방식을 구현하여 산업 현장에 바로 적용할 수 있다."라고 말했다.

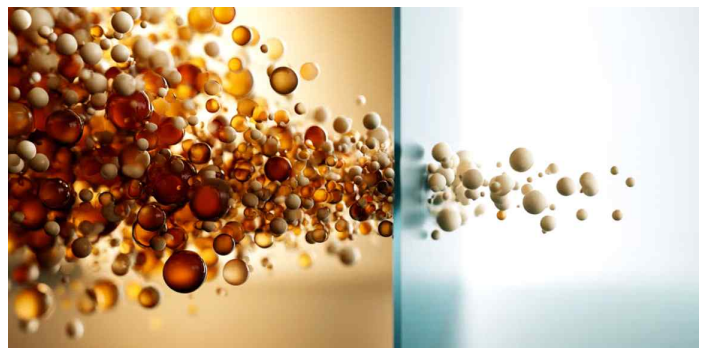


그림 18. 출처 | 생성형AI

□ 프랑스 Nova Carbon과 CMP Composites, 폐쇄형 탄소섬유 재활용을 위한 파트너십 체결(26.06.25.)

※ [Composites World] 프랑스의 한 스타트업은 지역 복합재 제조업체에서 발생하는 생산 부산물을 정기적으로 수거 및 재활용할 예정이며, 재활용 섬유는 이미 소형 해상 풍력 터빈 블레이드에 사용되고 있다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/nova-carbon-cmp-composites-partner-for-closed-loop-carbon-fiber-recycling>
 - <https://www.nova-carbon.com/>
 - #프랑스 #풍력에너지 #탄소섬유 #복합소재 #재활용
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 탄소섬유 재활용을 위한 섬유 기반 접근 방식을 개발하는 스타트업인 Nova Carbon(프랑스 메리냐크)은 지역 복합재 제조업체인 CMP Composites(프랑스 에 이신)와 파트너십을 체결하여 CMP의 생산 과정에서 발생하는 자투리 섬유를 정기적으로 수거 및 재활용한다고 발표했다.
 - 이번 계약은 Nova Carbon의 상업적 발전에 새로운 장을 여는 것이며, 이미 첫 번째 적용 사례를 만들어냈다. 바로 Nova Carbon의 재활용 및 재배열된 장섬유 탄소섬유(rCF)를 사용한 소형 해상 풍력 터빈 블레이드 제조이다.
 - CMP Composites는 지난 5년간 매년 매출이 두 배씩 증가했다. 이번 파트너십은 CMP의 폐기물 발생량을 줄이는 동시에 생산 과정에서 발생하는 폐기물을 매립이나 가치가 낮은 처리 시설로 보내는 대신 재활용함으로써 운영의 환경적 영향을 개선하는 것을 목표로 한다.
 - 풍력 터빈 블레이드 프로젝트는 Nova Carbon 소재가 해당 분야에 적용된 첫 번째 사례이다. 최종 고객은 공개되지 않았지만, Nova Carbon은 이 프로젝트가 개념 설계나 시제품이 아닌 완벽하게 구현된 산업 프로젝트라고 설명한다. CMP Composites의 총괄 이사인 마크 오거스틴은 아래 영상에서 두 회사의 공동 방향에 대해 설명한다.
 - Nova Carbon의 공동 창립자 겸 사장인 휴고 카트론은 “우리 두 회사는 가치 있는 탄소섬유를 지속적으로 재활용하고 수명이 다한 재료를 고성능 제품으로 전환한다는 공통의 목표를 가지고 있다.”라고 말하며, “이번 협력은 첨단 소재 혁신과 복합재 제조 전문 기술이 만났을 때 어떤 결과가 나타나는지를 보여준다.”라고 덧붙였다.
 - Nova Carbon은 자사의 재활용 공정이 일반적으로 섬유 길이를 단축시키고 기계적

특성을 저하시키는 기존의 기계적 재활용 방식과는 다르다고 설명한다. 이 회사의 섬유 기반 방식은 재정렬 및 제어된 재성형 과정을 통해 섬유 다발의 구조와 길이를 보존하고, 고부가가치 용도에 적합한 기능성 섬유로 재구성한다.

- Nova Carbon은 무크림프 직물, 건식 테이프, 원섬유 등 다양한 중간 형태로 소재를 제공하며, 이러한 소재는 인퓨전, 프리프레그, 열성형 공정에 적합하다.



그림 19. 출처 | Nova Carbon/CMP Composites 비디오

□ 독일 Hy2gen, 산업계를 위한 덴마크산 재생 가능 수소('26.06.25)

※ [Chemie] 달 탐사 로켓을 "축소한" 모습: 연구진이 모듈형 나노로봇을 개발했다. / News

- <https://www.chemie.de/news/1189028/erneuerbarer-wasserstoff-aus-daenemark-fuer-die-deutsche-industrie.html>
- <https://www.chemie.de/news/1185561/starkes-umsatz-und-ebit-wachstum-von-thyssenkrupp-nucera-im-ersten-quartal-des-neuen-geschaeftsjahres.html>
- #독일 #나노로봇 #나노소재 #환경기술 #생체분자 #프로젝트

- 세계적인 수소 생산 기업인 Hy2gen AG(독일 비스바덴)의 자회사인 Hy2gen Nordic AS는 자사의 Albatros 프로젝트가 유럽수소은행(EHB)의 현재 경매에서 생산 지원 대상으로 선정되었다고 발표했다.
- 본 프로젝트는 독일 산업을 위한 전략적 공급망 구축을 목표로 설계되었다. 덴마크 카쇠에서 생산된 RFNBO 인증 수소는 계획된 덴마크-독일 수소 공급망을 통해 독일 가스 네트워크에 직접 공급될 예정이다.
- EU 재생에너지 지침 RED III에 따라 재생 가능한 수소 의무 할당량을 충족해야 하는 독일 산업체들은 이를 통해 안정적이고 경쟁력 있는 가격의 공급원을 확보하게 될 것이다.
- 유럽수소은행은 경쟁 입찰 방식으로 생산 기반 프리미엄을 지급하여 재생 가능한 수소 프로젝트를 장려한다. 프로젝트는 경제적 타당성을 확보하는 데 필요한 최소 프리미엄을 킬로그램당 제시해야 한다.
- Albatros는 킬로그램당 0.97유로의 입찰가를 제시하여 이번 입찰 라운드에서 가장 경쟁력 있는 프로젝트 중 하나이다. 이 프리미엄은 최초 10년간 운영에 적용되며, 재생 수소와 화석 연료 수소 간의 가격 격차를 줄여 독일 소비자에게 혜택을 제공한다.
- 카쇠 발전소는 덴마크의 발전 설비를 독일 가스 네트워크와 연결하여 단순한 탈탄소화를 넘어선 재생 에너지 회랑을 구축한다. Albatros 프로젝트는 유럽의 전략적 에너지 독립과 유럽 에너지 공급망의 회복력 강화에 구체적으로 기여하며, 이는 2022년 에너지 가격 충격 이후 유럽 에너지 정책의 핵심 목표였다.
- 본 프로젝트는 유럽 최고의 Power-to-X 산업 클러스터 중 하나인 덴마크 남부 아벤라 시의 카쇠에 위치하고 있으며, 우수한 재생 에너지 발전 인프라, 적극적인 지역 정책(2026년 4월 '아벤라 순환 전략(Aabenraa Circular)' 및 독일로 연결될 예정

인 파이프라인과의 지리적 근접성을 갖추고 있다.

- Hy2gen Nordic AS의 전무이사인 헤게 외클란드는 "Albatros 프로젝트는 독일에서 증가하는 재생 수소 수요를 충족하기에 적합한 프로젝트이다. 현대적인 산업 단지인 카쇠와 유럽수소은행의 지원을 통해 독일의 산업 고객에게 경쟁력 있는 가격으로 재생 수소를 공급하고 EU의 재생 수소 목표 달성을 지원할 수 있다."라고 말했다.
- Hy2gen AG의 CEO인 시릴 뒤포-산소는 "유럽이 산업 탈탄소화와 에너지 회복력 강화를 위해 노력하는 가운데, Albatros 프로젝트와 같은 사업은 점점 더 중요한 역할을 할 것이다.
- 덴마크의 재생 에너지 자원을 유럽 전역의 산업 수요와 연결함으로써, Albatros 프로젝트는 Hy2gen의 포트폴리오를 확장하고 에너지 전환에 필요한 재생 에너지를 공급하겠다는 우리의 약속을 더욱 강화한다."라고 밝혔다.
- Albatros 프로젝트는 건설 단계에서 최대 500개의 일자리를 창출하고, 카쇠 사업장에는 20~40개의 정규직 일자리를 제공할 것으로 예상된다. 건설은 2028년에 시작될 예정이며, 생산은 2031년에 개시될 예정이다.



그림 20. Hy2gen Nordic AS의 Albatros 프로젝트가 유럽 수소 은행 공모전을 통해 생산 자금 지원 대상으로 선정되었다. 계획된 100MW 규모의 전해 시설은 2031년부터 연간 약 14,400톤의 RFNBO 인증 수소를 생산하여 EU 재생 에너지 지침 RED III에 따라 의무적으로 수소를 구매해야 하는 독일 산업 고객에게 공급할 예정이다. 따라서 이 프로젝트는 산업 탈탄소화에 기여할 뿐만 아니라 유럽의 에너지 회복력을 강화하는 구체적인 기반이 될 것이다. 출처 | Hy2gen

□ 독일 Science4Life, 올해 가장 혁신적인 스타트업 팀 선정: 스마트 센서 패치부터 무선 충전까지(26.06.25)

※ [Chemie] Science4Life 벤처컵 1위는 SoreAlert가 차지했으며, Voltalyon은 Science4Life 에너지를 수상했다. /News

• <https://www.chemie.de/news/1189034/vom-intelligenten-sensorpflaster-bis-zum-drahtlosen-laden-science4life-zeichnet-die-innovativsten-gruendungsteams-des-jahres-aus.html>

• #독일 #사업계획 #스타트업 #수상

- 제 28회 Science4Life 스타트업 경진대회에서 생명과학, 화학, 에너지 분야의 최고 사업 계획들이 선정되었다. 이 대회에 출품된 아이디어들은 환자들의 일상생활을 지원하고, 동물 실험을 대체하며, 생산 오류를 실시간으로 감지하고, 물류 분야에서 전기 이동성을 발전시키는 등 혁신적인 솔루션을 제시한다. 무엇보다 이러한 아이디어들은 과학 및 연구 분야에서 지역 스타트업 생태계의 역량을 보여준다.
- 총 83개의 출품작 중 생명과학 및 화학 분야에서 각각 5개 팀이 Science4Life 벤처컵을, 에너지 분야에서는 5개 팀이 Science4Life 에너지를 수상했다. 시상식은 독일 비스바덴의 라인하르트 에른스트 박물관에서 열렸다.
- 독일 헤센 주 경제·에너지·교통·주택·농촌부 차관인 요하네스 로하이드 박사는 수상 팀을 칭찬하며 “창업자들은 혁신적이고 과학적으로 타당한 아이디어, 헌신, 그리고 용기 등 강력한 경제를 구축하는 데 필요한 모든 것을 갖추고 있다. 이러한 아이디어들이 어떻게 사업으로 발전할지 기대된다.”라고 말했다.
- 독일 Sanofi CEO인 하이드룬 이르쉬크-하지에프는 수상 혁신의 즉각적인 부가가치를 강조하며 “창업자팀에서 특히 인상적인 점은 과학과 기술을 환자에게 실질적인 이점으로 전환하는 일관성이다. 치주염 앱, 류머티즘 진단, 더욱 정밀한 상처 치료 등 이러한 솔루션들은 사람들의 일상생활을 훨씬 편리하게 만들어 준다.”라고 덧붙였다.

생명과학과 화학 분야에서 가장 유망한 아이디어들

- Science4Life 벤처컵 1등 우승팀은 SoreAlert(독일 뮌헨)이다. 이 팀은 거동이 불편한 사람들을 위한 욕창 예방용 지능형 센서 패치를 개발하고 있다. Fraunhofer EMFT의 스핀오프 기업인 SoreAlert는 모든 위험 요인이 욕창 발생 위험에 미치는 영향을 기록하는 최초의 기술을 개발하여, 정확한 상처 관리와 자동 기록 기능을 제공한다. 이는 욕창 환자의 삶의 질을 향상시키고 간호 시간을 절약하는 데 도움이 된다.

- 2위는 혁신적인 나노소재 품질 관리 시스템을 개발한 iNSyT Solutions(독일 뮌헨)가 차지했다. 이 기술은 단순히 평균값을 측정하는 대신 수천 개의 개별 나노입자를 실시간으로 분석하여 숨겨진 편차를 찾아낸다. 이를 통해 제조업체는 불량품을 조기에 식별하고, 낭비를 줄이며, 생산 관련 의사 결정을 신속하게 내릴 수 있다. 주요 고객층은 양자점 및 기타 첨단 나노소재 제조업체뿐만 아니라 디스플레이, 에너지, 화학, 코팅, 바이오 기술 분야 기업들이다.
- InnoZell(독일 콘스탄츠)은 동물 실험을 대체할 수 있는 맞춤형 세포를 개발하여 순위에서 3위를 차지했다. InnoZell의 제품인 "CellAlarm"은 인체처럼 외부 물질(예: 박테리아)의 흔적을 매우 빠르고 정확하게 감지하는 세포 기반 조기 경고 시스템이다. 이 생물 검출기는 의약품 및 의료기기의 신속하고 간편하며 비용 효율적인, 그리고 동물 실험을 전혀 거치지 않고 테스트 및 모니터링을 가능하게 한다.
- 4위는 CaRO(독일 바일부르크)가 이 차지했다. 이 팀은 치주염 환자를 위한 최초의 처방 앱을 개발 중이다. 이 앱은 진료 예약 사이 기간 동안 환자의 일상생활에 맞춤형 지침, 알림, 심층 정보 등을 스마트폰으로 제공하여 도움을 준다.
- 5위는 MEDIRION(독일 뒤스부르크)팀이 차지했으며, 센서 시스템과 딥러닝 기술을 활용하여 류마티스 관절염을 조기에 진단하는 기술을 개발하고 있다. 목표는 류마티스 환자의 진료 대기 시간을 현재 9개월에서 10분으로 단축하여 만성 질환으로 진행되기 전에 치료를 시작할 수 있도록 하는 것이다.

Voltalyon, Science4Life 에너지 상 수상

- Science4Life 에너지 어워드는 에너지 분야 최고의 출품작에 수여되는 상으로, Voltalyon(독일 함부르크)이 수상했다. Voltalyon 팀은 독일의 모든 물류 창고에서 흔히 볼 수 있는 문제를 해결하고 있다. 바로 전기차가 충전되지 않은 채 방치되는 상황이다. 충전을 하지 않았거나, 지정된 충전소에 차량이 정확히 주차되지 않았거나, 단순히 충전 케이블이 부족하기 때문이다.
- EU의 의무화 정책에 따라 상용 차량의 전기차 전환이 가속화됨에 따라, 이러한 충전 관련 문제는 물류에서 가장 큰 숨겨진 비용 요소 중 하나로 떠오르고 있으며, 독일에서만 연간 약 3억 5천만 유로에 달하는 것으로 추산된다. Voltalyon은 무선 인프라를 활용하여 주차 즉시 범위 내에 있는 모든 전기차를 충전한다.

2026년 Science4Life 벤처컵 사업 계획 부문 우승자

- 1위는 SoreAlert로, 상금은 25,000 유로.
- 2위는 iNSyT Solutions로, 상금은 10,000 유로
- 3위 InnoZell에게 5,000 유로 상당의 상금
- 4위는 CaRO가 차지했으며, 상금은 3,000유로
- 5위는 MEDIRION로 2,000유로의 상금

2026년 Science4Life 에너지 어워드 사업 계획 부문 우승자

- 5,000유로의 상금이 걸린 Science4Life 에너지상은 Voltalyon에게 수여



그림 21. 사업 계획 단계에서 우승한 팀들. 출처 | Science4Life

□ 독일 Holy Technologies, 단일 무한 로빙 배치로 CFRP 무게를 최대 70%까지 절감하고 폐쇄 루프 섬유 회수 가능(26.06.26.)

※ [Composites World] Holy Technologies의 로봇 기반 무한 섬유 배치 기술은 6축 로봇 공학과 RTM을 사용하여 탄소섬유를 절단되지 않은 하나의 연속적인 섬유 다발로 배치함으로써 전체 길이 섬유 회수를 가능하게 한다. /Article

- <https://www.compositesworld.com/articles/single-endless-roving-placement-saves-up-to-70-cfrp-weight-enables-closed-loop-fiber-recovery>
- <https://www.compositesworld.com/suppliers/holy-technologies>
- #독일 #탄소섬유 #복합재료 #재활용 #RTM #CFRP
- 저자 : 스투어트 미첼, 기고 작가

○ 전 세계 탄소섬유강화폴리머(CFRP) 수요는 2010년 이후 연평균 약 12%씩 증가해 왔으며, 2050년에는 폐기물 발생량이 50만 톤에 달할 것으로 예상된다. 이에 따라 EU의 폐차 지침과 순환 경제 실행 계획은 제조업체들이 단순히 재활용 가능성을 주장하는 데 그치지 않고 구체적인 회수 증거를 제시 하여 재활용을 입증하도록 요구하고 있다. 규제 당국이 요구하는 수준과 업계가 현재 제공하는 수준 사이의 격차는 상당하다.

○ 수명이 다한(EOL, end of Life) 탄소섬유의 대부분은 매립지로 보내진다. 그렇지 않은 경우에도 종종 충전재용 과립으로 분쇄되거나 열처리 과정을 거쳐 원래 구조와는 매우 다른 상태로 만들어진다. 이러한 방식보다 더 나은 재활용 방법을 개발할 수 있는 화학 기술은 이미 수십 년 전부터 존재해 왔다. 따라서 문제는 재활용 기술 자체가 아니라, 일반적으로 회수된 섬유의 상태와 성능에 있다.

○ 가장 일반적인 산업적 접근 방식인 열분해는 CFRP 부품을 300~500°C로 가열하여 수지를 태워 없애고 재활용 섬유를 남긴다. 그러나 이 과정은 섬유 사이징(섬유가 새로운 매트릭스에 얼마나 잘 접착되는지를 결정하는 얇은 화학 코팅)도 손상시킨다. 기계적 분쇄는 더욱 심각한 손상을 초래하여 재료를 일정한 길이가 없고 계면 결합력이 약한 파편으로 만든다. 두 경우 모두, 회수된 탄소섬유는 원래 기계적 특성의 30~60%만 유지하므로 필러 영역에 속한다. 강화 플라스틱 복합재에 사용할 수는 있지만, 섬유가 원래 제공하도록 설계된 구조적 성능에는 훨씬 못 미친다.



그림 22. 완성된 건식 섬유 프리폼은 금형 이송 전에 핀으로 지지된 형상을 유지하며, 절단되지 않은 섬유 다발은 부품 경계까지 연속적으로 연결되고 가장자리 재료가 잘려나가지 않는다.

○ 여러 겹의 탄소섬유강화플라스틱(CFRP) 프리프레그를 절

단하여 만든 부품은 맞춤형 고성능 구조물을 제작할 수 있다. 그러나 이러한 구조물은 수명 종료 시 유사한 성능의 재료를 재활용하도록 설계되지 않았다. 수지를 제거하고 나면, 이러한 적층재의 파편화된 구조로 인해 연속적인 구조를 활용할 수 없는 다양한 길이의 섬유들이 뒤엉킨 덩어리만 남게 되어, 재료를 파쇄하는 것 외에는 다른 방법이 없다.

- Holy Technologies(독일 함부르크)는 이러한 출발점을 바탕으로 무한 섬유 배치 (IFP, Infinite Fiber Placement) 기술을 개발했다. 이 시스템은 디지털 방식으로 최적화된 경로를 따라 하나의 연속적인 탄소섬유 다발을 배치하며, 생산 과정의 어떤 단계에서도 섬유를 절단하지 않다. 섬유 다발은 스폴에서 완제품에 이르기까지 끊어지지 않기 때문에, 제품 수명 종료 시 손상 없이 회수하여 다시 감아 구조용 원료로 재사용할 수 있다.
- "결과와 영향을 이해하려면 이 기술을 개발하기 위해 우리가 내린 결정들을 이해하는 것이 정말 중요하다."라고 Holy Technologies의 첨단 복합재 엔지니어인 다리오 피우마렐라는 말한다. "섬유 직물 대신 연속 섬유를 선택한 것, 우리가 사용하는 독특한 수지 매트릭스, 그리고 부품이 수명 종료 시 풀릴 수 있도록 설계된 방식 모두 결과에 영향을 미친다."

하중 경로를 고려한 설계

- 모든 IFP 구성 요소는 시뮬레이션에서 시작된다. Holy Technologies 소프트웨어는 섬유를 배치하기 전에 부품의 형상과 예상 하중 조건을 분석하는 데 도움을 주며, 이를 통해 구조적 하중이 집중되는 부분을 파악할 수 있다. 또한 재료를 안전하게 생략할 수 있는 부분도 알려주어 재료 효율성을 높이고 결과적으로 부품 무게를 줄이는 데 유용하다. 많은 적층 구조는 수많은 작고 불규칙한 모양의 플라이로 구성되어 큰 플라이를 보강하는 매우 복잡한 형태이다. IFP의 단일 연속 토우는 이러한 플라이 경계와 관계없이 독립적으로 움직인다. 따라서 작은 플라이를 잘라내거나 하중이 적은 영역에 재료를 추가하지 않고도 응력이 높은 영역을 선택적으로 보강할 수 있다.
- 피우마렐라는 "이러한 결과물을 우리는 가변축 복합재라고 부른다."라고 설명한다. "동일한 레이어 내에서도 섬유가 미리 정의된 각도가 아닌 하중 경로를 따라가기 때문에 섬유 방향이 다양하게 나타날 수 있다. 섬유 경로 계획은 Holy Technologies가 자체 개발한 독점 소프트웨어에서 실행된다.
- 이 과정은 Ansys(독일 다름슈타트)에서 시작되는데, 유한 요소 해석과 위상 최적화를 통해 부품의 특정 하중 조건에 맞는 최적의 섬유 방향과 재료 분포를 결정한다. 이



그림 23. 표면에서 가변축 섬유 구조가 보이는 IFP 방식으로 제작된 CFRP 부품으로, 후경화 가공이 필요 없는 폐쇄형 금형 넷트 셰이프에서 생산되었다.

러한 결과를 바탕으로 Holy Technologies의 경로 계획 소프트웨어는 최적화된 섬유 구조를 금형 표면을 가로지르는 정밀한 섬유 다발 경로로 변환한다. 이때 금형이 닫히고 건조된 섬유가 압축됨에 따라 프리폼 형상이 어떻게 변하는지를 고려한다. 맞춤형 스크립팅을 통해 두 환경을 연결하여 경로 계획에서 국부적인 섬유 방향과 부피 분율이 시뮬레이션 예측과 일치하도록 한다.”

- 이 공정은 섬유 가장자리가 금형 경계에 정확히 맞닿아 트리밍이 전혀 필요 없는 네트 셰이프 프리폼을 생산한다. 기존 프리프레그 제조 방식에서는 구매량 대비 사용률(buy-to-fly ratio)이 최대 2:1에 달하며, 일부 자료에 따르면 복잡한 부품 형상의 경우 취급을 위해 적층재를 과도하게 크게 만든 후 적층 후 형상에 맞게 절단해야 하므로 폐기물이 최대 75%까지 발생한다고 한다. IFP는 설계상 1:1의 비율을 달성한다.

파트 준비

- 자체 개발된 소재는 산업용 로봇이나 선형 기계와 같은 모든 구동 장치에 부착할 수 있다. 엔드 이펙터는 6축 로봇인 KUKA(독일 아우크스부르크) 또는 Universal Robot UR10(덴마크 오덴세)에 장착된다. 헤드 구조가 간단하여 대형 상용 로봇에도 수정 없이 장착할 수 있으며, 이러한 특징 덕분에 상당한 자본 투자 없이도 공정을 확장할 수 있다.



그림 24. Holy Technologies의 6축 KUKA 로봇은 IFP 엔드 이펙터를 장착하고 디지털 방식으로 사전 계산된 섬유 경로를 따라 생산 도구 표면을 가로지른다.

- 로봇에 장착된 엔드 이펙터는 스펀에서 섬유를 끌어와 금형 표면에 특정 위치에 설치된 금속 핀 배열 주위에 감다. 이 핀들은 부품 내 섬유 방향을 결정한다. 섬유는 초당 수백 밀리미터의 속도로 감을 수 있으며, 핀은 프리폼이 형성되는 동안 각 패스에 장력을 유지한다.
- 바느질 바늘을 사용하는 맞춤형 섬유 배치(TFP, tailored fiber placement) 방식은 프리폼당 약 5~7밀리미터로 제한되는 반면, IFP 방식은 이러한 제약이 없어 최대 40밀리미터의 벽 두께를 구현할 수 있다. 또한, 구멍이나 인서트를 적층 공정에 직접적이고 정밀하게 통합할 수 있으며, 부품에 최적화된 하중을 가할 수 있다.
- 적층이 완료되면 특허받은 메커니즘이 적층 톨 가장자리에서 섬유 끝을 고정하고 모든 핀을 한 번에 제거한다. 그런 다음 프리폼을 섬유 배열이 그대로 유지된 상태로 밀폐형 수지 이송 성형(RTM, resin transfer molding) 톨링으로 옮기고, 톨링을 닫은 후 Aditya Birla(인도 뭄바이)에서 공급하는 특정 가교 부위에 설계된 절단점을 포함하는 절단 가능한 아민계 경화제인 Recyclamine을 함유한 에폭시를 주입한다. 미리 정의된 조건에서 이러한 연결은 열경화성 에폭시를 열가소성 수지로

변환시켜 보강 섬유와 수지 매트릭스 모두를 회수하고 재사용할 수 있는 실현 가능한 경로를 제공한다.

- 부품은 구멍, 윤곽선 및 인서트가 이미 섬유 경로와 금형 형상에 통합된 상태로 금형에서 나오므로 후경화 가공이 필요하지 않다. 초기 생산 부품의 섬유 부피 분율(FVF, fiber volume fraction)은 일반적으로 50~55% 정도로, 진공 보조 수지 전달 성형(VARTM, vacuum-assisted resin transfer molding)의 표준 범위에 속한다.

섬유 복구

- 리사이클아민은 약산성 환경에서 적당한 온도에서 분해되는 에스테르 결합을 포함하고 있으므로, 회수 과정은 IPF 프리폼 구성품이 수명 종료 후 70~90°C의 수용성 산성 용액에 담그는 것으로 시작된다. 수지는 약 1시간 내에 용해되며, 특허받은 고정 장치가 수지가 용해된 후 섬유가 엉키는 것을 방지한다.
- 그런 다음, 섬유 다발을 한쪽 끝에서 회수하여 세 번의 연속적인 수조를 통과시켜 산과 수지 잔류물을 제거하고 건조시킨 후 다시 감다. 이 단계에서는 섬유가 엉키는 것을 방지하기 위해 적층 구조에 대한 정확한 지식이 필요하다. 회수된 섬유는 물리적으로 연속적이며 처음 금형에 감겼을 때와 동일한 길이이다.

세 가지 수명 주기 전반에 걸친 성능

- Holy Technologies는 독일 함부르크 공과대학교(TUHH)와 협력하여 회수된 섬유의 재활용성을 3단계 전체 수명 주기에 걸쳐 테스트했으며, 그 결과 기존에 발표된 탄소섬유강화플라스틱(CFRP) 재활용 관련 문헌에서 이와 유사한 사례를 찾을 수 없다는 것을 확인했다.
- TUHH 연구에서는 순수 섬유, 1단계 재활용 후 회수한 섬유, 2단계 재활용 후 회수한 섬유로 만든 판재에서 인장 시편을 제작했다.
- 인장 시험은 ASTM D3039/D3039M 규격에 따라 Zwick Roell(독일 울름) Z400 만능 시험기에서 1mm/분의 속도로 수행되었으며, 전체 변형률은 Carl Zeiss GOM Metrology(독일 브라운슈바이크) 4M 디지털 이미지 상관관계(DIC) 시스템을 사용하여 기록했다.
- TUHH 검증 연구를 위해, 인장 강도 6,000 MPa, 탄성 계수 290 GPa의 중간 탄성률 탄소섬유인 Teijin(일본 도쿄) Tenax IMS65 24K 토우를 사용하여 0°/90° 적층 구조로 시험판을 제작했다. 각 시험판 제작에는 약 41미터의 연속된 미절단 토우가 사용되었다. 매트릭스 재료로는 Aditya Birla Group계열사인 CTP Advanced Materials GmbH(독일 헤센 뤼셀스하임)의 CeTePox AM 3315 에폭시를 사용했다.



그림 25. 새것(왼쪽), 재활용(중앙), 그리고 재사용(오른쪽)된 Teijin 테낙스 섬유로 제작된 CFRP 시험판의 단면 현미경 사진은 재활용 단계를 거치면서 섬유 부피 분율(FVF)이 44%에서 35%로 감소하는 섬유 다발의 점진적인 확산을 보여준다.

- 정규화 된 인장 강도는 첫 번째 수명에서 2,319 MPa, 두 번째 수명에서 1,987 MPa, 세 번째 수명에서 2,160 MPa로 나타났다. 영률은 동일한 세 단계에서 각각 157.6 GPa, 148.0 GPa, 148.6 GPa였다. 세 번의 완전한 사이클 동안의 순 변화는 인장 강도에서 7%, 영률에서 약 6% 감소를 보여준다.
- 참고로, 열분해 및 기계적 재활용 방법은 일반적으로 회수된 섬유가 원래 물성의 30~60%를 유지하도록 하므로, 이러한 IFP 수치는 성능 범위에서 상당히 다른 영역에 속한다.
- 2차에서 3차 재활용으로의 강도 회복은 예상치 못한 결과였지만, 두 가지 설명이 가능하다. 첫 번째는 공극 함량이다. 필라멘트가 각 재활용 단계를 거치면서 토우 내부로 퍼져나가는데, 이때 필라멘트는 촘촘하게 밀집된 신재에 존재하는 인접한 평행 토우 사이의 틈을 채우기 시작한다. 이러한 틈은 1차 재활용 적층판에서 국부적인 응력 집중점으로 작용한다. DIC 데이터는 이를 명확하게 보여준다.
- 신재 시편은 50kN의 하중을 가했을 때 90° 토우 경계면에서 최대 25%에 달하는 국부적인 종방향 변형률을 보이는 반면, 3차 재활용 시편은 동일 조건에서 4%에 그친다. 그러나 시편 전체 영역에 걸쳐 평균을 내면, 거시적인 응력-변형률 곡선은 신재와 재활용 재료 간에 거의 동일하다. 두 번째 요인은 수동 회수 과정에서의 선택 편향이다. 시험 당시 엔지니어들은 3차 재활용판에 사용할 회수된 토우를 가장 손상이 적은 것으로 선택할 수 있었다. 회수 과정이 자동화되면 이러한 선택권이 사라지고 2차 및 3차 재활용 결과는 수렴될 가능성이 높다.
- 피우마렐라는 "핵심은 광섬유를 절대 절단하지 않았다는 점이다."라고 말한다. "부품에서 가장 중요한 부분인 광섬유 자체는 전혀 손상되지 않았다."

숫자가 실제로 의미하는 바는 무엇일까?

- Krahn Chemie(독일 함부르크)와 함께 실시한 전 생애 주기 평가(LCA) 결과, IFP(Induced Fiber Processing) 방식으로 생산된 발 보조기는 동일한 프리프레그 기반 제품에 비해 지구 온난화 잠재력이 최대 76% 낮은 것으로 나타났다. 이는

제품 생산부터 폐기까지 전 과정을 고려한 것으로, IFP 시스템의 수명 주기 종료 시 섬유 회수를 통해 발생하는 환경 영향을 기존의 매립이나 재활용 방식보다 줄인 결과이다. 이러한 이점의 일부는 제조 과정에서 발생하는 폐기물을 줄인 데서 비롯된다. 나머지 이점은 약산성 용매 분해 공정의 에너지 효율성에서 기인한다. 순수 탄소 섬유 생산에는 재료 1kg당 약 20~30kWh의 에너지가 소모되는 반면, 전구체로부터 재가공되지 않고 바로 생산에 투입되는 섬유는 이러한 에너지 비용을 완전히 절감할 수 있다.



그림 26. 구조 부품 이미지는 통합된 하중 지지 구멍 주변으로 끊어짐 없이 연속적으로 배선된 IFP 섬유 다발을 보여주며, 부품에서 가장 응력이 높은 위치에서 섬유의 연속성을 유지한다.

- 하지만 규제 목적상, 성능 수치는 LCA 수치보다 더 큰 비중을 차지한다. 세 번의 완전한 수명 주기 후에도 구조적 강도의 93%를 유지하는 섬유는 원래 용도와 동일하거나 유사한 구조적 용도에 사용할 수 있으며, EU의 강화된 재료 회수 요건으로 인해 이러한 차이가 상업적으로 중요한 의미를 갖게 되었다. 단섬유를 사용한 질량 기반 재활용 주장은 이러한 엄격한 검증을 충족하지 못한다.
- Holy Technologies는 또한 2024년 9월부터 독일 뮌헨 공과대학교(TUM)와 2년간의 연구를 진행하고 있다. 이 연구는 회수 과정에서 발생하는 단일 필라멘트의 열화, 산 노출이 섬유 사이징 화학에 미치는 영향, 재제조 공정 전반에 걸쳐 섬유 다발 내 개별 필라멘트의 손상 정도 등 남아 있는 미해결 과제들을 규명하는 데 중점을 두고 있다. 이 연구는 또한 회수된 섬유의 품질 등급 기준을 개발할 예정이며, 이러한 기준은 인증 경로의 전 단계가 될 것이다. 인증 경로는 회수된 스폴이 데이터시트를 첨부하고 지정된 구조 재료로 공급망에 재진입할 수 있도록 하는 것을 의미한다. 이것이 Holy Technologies의 다음 목표이다.



그림 27. Holy Technologies의 IFP 엔드 이펙터는 로봇 적층 과정에서 각 패스를 장력 하에 고정하고 최종 형상의 프리폼 경계를 정의하는 주변 금속 핀 주위에 연속적인 탄소섬유 토우를 감는다. 출처 | Holy Technologies

□ 사우디아라비아 SABIC, 75% PCR 기반 CFRP 화합물 출시 (`26.06.26.)

※ [Composites World] SABIC은 소비자 가전 제품 하우징 및 기타 대형 구조 부품용으로 폴리카보네이트 수지를 사용하여 제조된 PCR 기반 탄소섬유 강화 특수 소재인 LNP Elcrin DC0051RC1 컴파운드를 출시했다. / Product

• <https://www.compositesworld.com/products/sabic-launches-75-pcr-based-cfrp-compound>

• #사우디아라비아 #탄소섬유 #난연성 #순환성 #하우징 #재활용

• 저자 : 한나 메이슨, CompositesWorld 기술 편집자

- Sabic(사우디아라비아 리야드 및 미국 텍사스주 휴스턴)은 75%의 재활용 탄소섬유 (PCR, post-consumer recycled)를 함유한 탄소섬유 강화 복합재인 LNP Elcrin DC0051RC1을 출시했다.

- 폴리카보네이트(PC) 수지를 주성분으로 하는 이 특수 소재는 치수 안정성, 높은 탄성률, 그리고 얇은 벽에도 적용 가능한 UL94 V0 등급의 난연성을 제공하여 가전제품 하우징과 같은 분야에 적합하다.



- 이 소재를 위해 SABIC은 핵심적인 기계적 특성과 난연성을 유지하면서 순환 경제 목표를 지원하도록 설계된 새로운 배합을 개발했다. 재활용 소재를 첨가하면서 난연 성능을 유지하는 것은 배합상의 어려움을 수반할 수 있지만, SABIC 연구팀은 0.8mm 두께에서 UL94 V0 등급을 달성했다고 밝혔다. 얇은 벽 구조를 통한 경량화 외에도, 이 소재는 노트북 하우징 및 기타 대형 구조 부품에 필요한 치수 안정성과 낮은 뒤틀림률을 제공한다고 한다.

- 75%의 PCR 함량을 통해 순환성을 향상시키는 것 외에도, 이 화합물은 염소/브롬을 함유하지 않은 난연제 화학 구조를 특징으로 하여 건강 위험 및 환경에 미치는 부정적인 영향을 줄이는 데 도움을 준다. LNP Elcrin DC0051RC1 화합물은 전 세계적으로 상업적으로 이용 가능하다.

- “SABIC은 순환 경제를 개선하는 새로운 소재를 개발하여 고객을 지원한다.”라고 SABIC 특수 사업부 부사장인 세르지 몬로스는 말한다. “하지만 SABIC은 특수 열가소성 수지에 재활용, 업사이클링 또는 바이오 기반 소재를 첨가하는 것 이상의 노력을 기울인다. 당사의 배합 전문가들은 뛰어난 성능, 심미성 및 가공성을 구현한다. 예를 들어, 당사의 새로운 LNP 엘크린 컴파운드는 높은 재활용 함량과 다양한 우수한 특성을 결합했다. SABIC은 품질 저하 없이 고객이 순환 경제를 개선할 수 있도록 지원하는 데 전념하고 있다.”

□ 영국 Helix와 호주 Zoerkler, EVTOL용 초소형 복합재 지지형 EPU 개발(26.06.26.)

※ [Composites World] 직접 구동 시스템보다 더 작고 가벼운 기어식 전기 추진 장치 (EPU) 아키텍처는 AAM 설계자가 항공 모빌리티의 공간, 무게 및 시스템 효율성을 최적화하는 데 도움이 될 수 있다. /News

- <https://www.compositesworld.com/news/helix-and-zoerkler-develop-ultra-compact-composite-supported-epu-for-evtols>
 - <https://www.ehelix.com/>
 - #영국 #호주 #항공우주 #탄소섬유 #복합재료 #시장
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 고출력 전기 모터 및 인버터 제조업체인 Helix(영국 밀턴 케인즈)는 고성능 변속기 전문업체인 Zoerkler Gears GmbH & Co KG(오스트리아 요이스)와 협력하여 첨단 항공 모빌리티(AAM, advanced aerospace mobility) 애플리케이션용 기어식 전기 추진 장치(EPU, electric propulsion unit)를 개발 및 검증했다.
 - Helix의 전기 파워트레인 전문성은 확장 가능한 핵심 기술(Scalable Core Technology)을 기반으로 구축되었다. 이 기술에는 독자적인 영구 자석 로터, 특허 받은 로터 냉각 시스템, 높은 극 수, 독자적인 권선 구조, 탄소섬유 복합재 자석 케이스, 탄소섬유 복합재 냉각수 슬리브, 고속 방사형 및 축 방향 수냉식 냉각 시스템이 포함된다.
 - Helix의 제품은 모빌리티 분야뿐만 아니라 고성능 세일링 요트 인 매직 카펫 e(Magic Carpet e high-performance sailing yacht)와 같은 해양 분야에도 사용되었으며, 이는 Helix가 엘리트 전기 모터스포츠 분야에서 쌓아온 전문성을 바탕으로 한다.
 - Zoerkler와 공동 개발한 이 EPU는 까다로운 eVTOL 애플리케이션을 지원하도록 설계되었으며, 양력, 순항 및 틸트로터 구성의 프로펠러를 구동하는 데 사용할 수 있다.
 - 기존에는 이러한 고토크 애플리케이션에 "직접 구동" 방식의 EPU가 필요했으며, 이로 인해 더 넓고 무거운 모터가 요구되었다. 하지만 Helix의 모터와 Zoerkler의 경량 변속기(효율 98%)의 완벽한 통합 덕분에, 이 최신 EPU는 동등한 직접 구동 방식 유닛 직경의 50%에 불과한 26cm 크기에서도 높은 토크를 제공할 수 있다고 한다.
 - 첨단 항공 이동용 EPU 제품군의 첫 번째 모델로 기획된 이 초기 협력의 결과물은

32.2kg의 패키지로, 다음과 같은 기능을 제공할 수 있다.

- 리프트 구성으로 사용 시, 최대 1,600뉴턴미터의 토크와 100킬로와트의 출력을 제공
 - 순항 모드로 사용할 경우, 연속 출력은 250킬로와트, 최대 출력은 400킬로와트
- 패키지의 낮은 질량과 더불어 EPU의 더 가볍고 좁은 형태는 eVTOL 애플리케이션에서 나셀 크기와 항력을 줄여 더 큰 탑재량과 비행 거리를 지원할 수 있도록 한다.

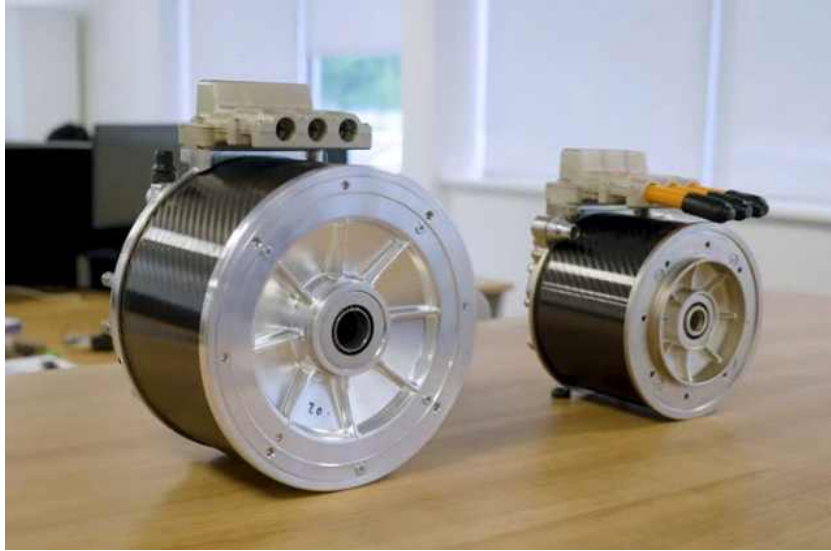


그림 29. 출처 | Helix

□ 미국 Carbitex, 퍼포먼스 슈즈 전문 교육 허브 '더 나은 유연성을 위한 센터' 출범('26.06.26.)

※ [Composites World] 유연 탄소섬유 소재 혁신 기업인 Carbitex의 온라인 자료는 신발 제작에 있어 비교적 간단한 공정이 필요한 특성인 유연성에 대한 이해를 높이고 개선하는 것을 목표로 한다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/carbitex-launches-the-center-for-better-flex-educational-hub-dedicated-to-performance-footwear>
 - <https://www.carbitex.com/>
 - #미국 #소비재 #신발 #탄소섬유 #복합재료
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- 고성능 신발에 사용되는 유연한 탄소섬유 소재의 혁신 기업인 Carbitex(미국 워싱턴주 케네윅)는 신발에서 가장 간과되는 특성 중 하나인 유연성에 대한 교육 허브인 '더 나은 유연성을 위한 센터(Center for Better Flex)'를 설립한다고 발표했다.
 - CenterforBetterFlex.org는 신발 디자이너, 엔지니어, 브랜드, 연구원 및 소비자가 신발의 유연성과 그 중요성에 대해 더 깊이 이해할 수 있도록 돕는 개방형 공유 리소스이다. 생체역학, 재료 과학 및 첨단 신발 기술(AFT) 분야의 연구 결과를 바탕으로, 유연성의 정의, 이점 및 개선 방안을 설명하고 업계 전반에 걸쳐 공통된 용어와 과학적 기반을 구축하는 데 기여한다.
 - 수십 년간 쿠셔닝, 소재, 안정성 분야에서 혁신이 거듭되었음에도 불구하고, Carbitex는 유연성이 신발 성능 측면에서 가장 이해도가 낮고 기능적으로 적용된 부분이 아니라고 지적한다. 인간의 발은 다양한 움직임과 활동에 따라 구부러지고, 적응하고, 반응하는 복잡하고 역동적인 시스템이므로, 더욱 세심하고 연구 중심적인 접근 방식이 필요하다.
 - "업계가 타협점을 찾아낼 수 있을 때 비로소 발전이 이루어지는데, 신발 업계에서 바로 그런 순간이 유연성 분야에서 나타나고 있다."라고 Carbitex의 창립자 겸 사장인 유누스 칸은 말한다. "쿠션, 접지력, 안정성과는 달리 유연성은 복잡하고 역동적인 인체 역학과 상호작용하기 때문에 정의하고 설계하기가 더욱 어려웠다. 하지만 지식과 기술의 발전으로 이러한 상황이 바뀌었고, 유연성을 설계함으로써 엘리트 선수부터 장애가 있는 사람들까지 모든 사람의 움직임을 개선할 수 있게 되었다. '더 나은 유연성을 위한 센터(Center for Better Flex)'는 Carbitex라는 회사를 넘어 더 큰 의미를 지닌 중요한 신발 소재인 유연성에 대한 인식을 높이기 위한 노력의 일환이다."
 - Center for Better Flex가 제공하는 것:

- **유연성에 대한 기본 틀.** 유연성이란 무엇인지, 발이 어떻게 움직이는지, 그리고 신발 디자인이 생체역학적 결과에 어떤 영향을 미치는지에 대한 명확하고 이해하기 쉬운 설명.
 - **공통된 어휘.** 신발 디자이너, 엔지니어 및 브랜드가 유연성 특성과 성능에 대해 더욱 정확하게 소통하는 데 사용할 수 있는 공통 언어 및 정의.
 - **연구 및 자료.** 신발 산업에서 보다 정보에 기반한 제품 개발 결정을 지원하기 위해 생체역학 및 재료 과학에 대한 통찰력을 담은 자료들이 지속적으로 축적되고 있다.
 - **소비자 대상 교육.** 일반 운동선수와 신발 착용자가 신발이 신체 움직임에 어떻게 맞춰지는지, 그리고 그것이 왜 중요한지 이해하는 데 도움이 되는 콘텐츠이다.
 - **업계 전문가들의 목소리.** 신발 업계 전반의 생체역학 전문가, 디자이너, 엔지니어 및 브랜드의 관점을 소개하며 유연성에 대한 논의를 확장한다.
- 이번 출시와 함께 Carbitex는 유머와 문화적 향수를 활용하여 신발에서 필수적이지만 오랫동안 간과되어 온 성능 요소인 플렉스를 재해석하는 공익광고 스타일의 홍보 영상을 공개했다.



그림 30. 출처 | Carbitex Website



그림 31. 출처 | Carbitex

□ 스페인 Mel Composites, ELA Aviation의 차세대 자이로플레인 지원(26.06.26.)

※ [Composites World] 스페인 공급업체는 ELA Aviation의 생산 모델에 폼 코어, 직물, 다축 보강재 및 진공 소모품을 공급함으로써 AAM 시장에서의 입지를 지속적으로 강화하고 있다. / News

- <https://www.compositesworld.com/news/mel-composites-supports-ela-aviations-next-gen-gyroplanes>
 - <https://melcomposites.es/en/>
 - #스페인 #항공우주 #첨단항공 #탄소섬유 #복합재료
 - 저자 : 그레이스 스테빈스, CompositesWorld 및 Products Finishing 수석 편집장
-
- Mel Composites(스페인 바르셀로나)는 자이로플레인 제조업체 ELA Aviation(스페인 코르도바)에 차세대 항공기 플랫폼을 위한 다양한 고성능 복합소재 및 소모품을 지원하고 있다. 이번 협력을 통해 Mel Composites는 첨단 항공우주 모빌리티(AAM, advanced aerospace mobility) 시장에서 입지를 더욱 강화할 수 있게 되었다.
 - Mel Composites는 ELA Aviation에 PVC 폼 코어, 3K 및 6K 직조 탄소섬유 직물, 경량 스티치 다축 탄소섬유 보강재, 그리고 수지 주입 제조 공정에 맞춘 진공 소모품 전체 패키지를 공급한다.
 - 30년 전 설립된 ELA Aviation은 1980년대 실험적인 복합재 항공기 개발에서 시작하여 오늘날의 오토자이로 제조업체로 성장했다. 이 회사는 스페인 코르도바 주 푸엔테 오베후나에 위치한 제조 시설에서 전 세계에 1,000대 이상의 항공기를 공급했다.
 - Mel Composites는 동체, 꼬리 부분, 페어링 및 트림 시스템용 탄소섬유 구조 부품을 포함하여 ELA 항공기 전 제품군에 사용된다. 이러한 복합 구조물은 ELA의 모든 생산 모델에서 전체적인 무게 감소와 비행 성능 향상에 크게 기여한다.
 - 수지 주입 기술 전문 기업인 ELA Aviation은 엄격한 무게 공차를 준수하는 경량 복합 구조물을 생산할 수 있는 매우 일관된 제조 공정을 개발했다. Mel Composites와 긴밀히 협력하여 적층 구조를 더욱 최적화하고 맞춤형 진공 소모품 솔루션을 개발하여 생산 효율성을 높이고 재료 낭비를 줄였다.
 - Mel Composites의 CEO인 에두아르도 갈로프레는 "ELA Aviation과 첨단 경량 복합소재 기술을 활용한 차세대 자이로플레인 플랫폼 개발을 지원하게 되어 자랑스럽다."라고 말하며, "첨단 복합소재 항공우주 분야에 대한 수요가 지속적으로 증가함

에 따라, 맞춤형 코어 소재 키트 옵션을 더욱 다양하게 제공하기 위해 최근 제조 역량을 확장했다.”라고 덧붙였다.



그림 32. 출처 | ELA Aviation

□ 스위스 바젤대, 모듈형 나노로봇 개발: 달 탐사 로켓을 "축소한" 모습(26.06.26.)

※ [Chemie] 나노로봇이 암세포에 특이적으로 도킹하여 현장에서 활성 성분을 생성한다. 산업 및 환경 기술 분야에서도 응용 가능성이 있다. / News

• <https://www.chemie.de/news/1189042/wie-eine-mondrakete-en-miniature-forschende-entwickeln-modularen-nanoroboter.html>

• #독일 #나노로봇 #나노소재 #환경기술 #생체분자

- 스위스 바젤대학교 연구팀이 구동 모듈과 탑재체 모듈을 갖춘 다목적 나노로봇을 개발했다. 재사용 가능한 이 두 모듈은 자동으로 조립되며 의료 또는 산업 분야에서 활용될 수 있다.
- 나노로봇은 마치 공상과학 소설처럼 들린다. 의학, 환경, 산업 등 다양한 분야에 활용될 수 있는 초소형 기계이다. 실제로 나노로봇 연구는 빠르게 발전하고 있다. 특히, 체내 특정 부위에 유효 성분을 정확하게 전달하는 데 유망한 기술로 여겨지고 있다. 기존 로봇과는 달리, 나노로봇은 전자 부품, 컴퓨터 칩, 소프트웨어가 아닌 생체 분자와 나노 입자로 구성되어 있다.
- 바젤대학교의 코르넬리아 팔리반 교수 연구팀은 이 분야의 기존 로봇들보다 훨씬 다재다능한 정교한 나노로봇을 개발했다고 발표했다. 팔리반 교수는 "기존의 나노로봇들은 대개 한 가지 특정 작업만을 위해 설계되었다."라며, "반면, 우리가 개발한 모듈형 시스템은 다양한 분야에 적용될 수 있다."라고 설명했다. 이 나노로봇은 의학 분야뿐만 아니라 산업 및 환경 기술 분야에서도 잠재적인 응용 가능성을 보여준다.

추진 및 탑재체 캡슐

- 연구팀이 학술지 "Advanced Functional Materials"에 발표한 이 나노로봇은 여러 모듈로 구성된 달 탐사 로켓과 유사한 디자인을 가지고 있다. 자기 추진 모듈은 나노로봇을 움직이고, 두 번째 모듈은 탑재체 캡슐 역할을 하여 활성 성분이나 효소를 목적지까지 안전하게 운반한다.
- 이전 연구에서 팔리반 연구팀은 나노미터 크기의 고분자 소포체(효소를 보호하는 거품 모양의 나노 용기)를 개발했다. 분자는 소포체의 기공을 통해 들어가 효소에 의해 처리된 후 생성물이 기공을 통해 방출된다. 나노로봇의 탑재 캡슐에는 이러한 효소 탑재 고분자 소포체가 네 개 포함되어 있어 원하는 기능을 수행할 수 있다. 설계에 따라 탑재 캡슐 내의 소포체를 선택적으로 열어 활성 성분을 방출할 수도 있다.

DNA로 만든 분자 벨크로 잠금장치

- 두 모듈은 DNA 기반의 "벨크로 잠금장치"로 연결되어 있다. 두 모듈의 DNA 가닥이 서로 일치함으로써 추진 모듈과 탑재체 캡슐이 자동으로 프로그래밍 가능한 방식으로 조립되어 안정적으로 결합된 상태를 유지한다.
- 나노로봇이 특정 세포나 물질에 도킹할 수 있도록 탑재 캡슐에는 도킹 보조제 역할을 하는 추가적인 생체 분자가 장착되어 있다. 연구팀은 실험실에서 헬라 세포로 알려진 인간 암세포주를 사용하여 이를 테스트했다. 나노로봇에 형광 분자를 부착하고 현미경으로 관찰한 결과, 로봇이 세포 표면에 축적되는 것을 확인했다.

암세포에 대한 집중 공격 및 기타 응용 분야

- 필요한 효소를 탑재한 나노로봇은 항암제를 생성하여 72시간 이내에 헬라 세포의 생존율을 16%까지 감소시켰다. 이번 연구의 제1저자인 보이치타 미할리 박사는 "나노로봇을 이용해 암세포에 선택적으로 효소 반응 생성물을 전달하면 해당 부위에 효소를 집중시킬 수 있다"고 설명했다.
- 촉매 작용과 같은 의료 분야 외의 응용 분야에서 나노로봇의 또 다른 특성이 특히 유용할 수 있다. 구동 모듈이 자성을 띠기 때문에 나노로봇은 사용 후 회수하여 재사용할 수 있다. 연구진은 또한 두 모듈을 분리하고, 탑재 캡슐을 다시 채운 후 구동 모듈과 재결합하는 데 성공했다.
- 모듈형 시스템은 다양한 응용 분야에 활용 가능한 다목적 도구로 나아가는 중요한 진전이다. 인체 적용은 장기적인 목표이지만, 탑재 캡슐을 간단히 수정하는 것만으로도 다른 응용 분야에 쉽게 적용할 수 있다.
- 본 연구는 NCCR 분자 시스템 공학 및 스위스 나노과학 연구소의 틀 안에서 수행되었다. 바젤 연구팀은 하이델베르크 대학교 연구진과 협력했다.



그림 33. 다재다능한 나노로봇의 일러스트이다. 크기는 사람 머리카락 지름의 150배이다. 출처 | 바젤대학교

□ 독일 KIT, 산업 규모의 수소 연구(26.06.26.)

※ [Chemie] KIT는 에너지 연구소에 통합 수소 기술을 위한 새로운 연구 플랫폼을 개설했다. / News

- <https://www.chemie.de/news/1189047/wasserstoffforschung-im-industriellen-massstab.html>
- <https://www.chemie.de/news/1186621/vom-duengemittel-zur-energiequelle-der-zukunft.html>
- #독일 #수소연구 #수소수송

- 카를스루에 공과대학교(KIT)는 수소 통합 플랫폼(HIP) 출범을 통해 북부 캠퍼스의 수소 기술 연구 인프라를 확장하고 있다. 이 플랫폼은 전기분해 및 액화부터 저장 및 운송, 그리고 최종적으로 에너지 시스템에서의 활용에 이르기까지 수소 가치 사슬 전반에 걸쳐 시설과 실증 장비를 연결한다. 연구진은 현실적인 환경 속에서 수소 기술이 미래의 기후 중립 에너지 시스템에 안정적이고 유연하며 효율적으로 통합될 수 있는 방안을 연구하고 있다.
- 수소 통합 플랫폼(HIP)은 수소 저장, 유통 및 활용을 위한 여러 실증 시설을 결합한 것이다. 2026년 6월 18일, KIT는 에너지 연구소 부지 내 북쪽 캠퍼스에 새로운 연구 인프라를 개관했다.
- "수소 통합 플랫폼을 통해 KIT는 다양한 수소 기술을 결합하여 연구할 수 있는 매우 혁신적인 연구 환경을 조성했다."라고 KIT 연구·교육·학술 담당 부총장인 올리버 크라프트 교수는 말한다. "이를 통해 실험실에서 기후 중립 에너지 시스템을 위한 새로운 솔루션을 개발할 뿐만 아니라 실제 조건에서 테스트할 수도 있다."

미래 수소 시스템을 위한 연구 인프라

- HIP의 핵심은 독일 최대 규모의 비상업용 수소 액화 시스템이다. 이 시설은 하루 50kg의 수소를 액화할 수 있으며, KIT의 연구 프로젝트뿐 아니라 외부 파트너에게도 액화된 수소를 제공한다. 또한 에너지 저장 장치 테스트 환경, 미래 에너지망 통합에 대한 실시간 시뮬레이션, 새로운 전기분해 공정 등을 제공한다.
- 연구진은 현실적인 조건에서 철도 운송용 수소 추진 시스템도 연구할 계획이다. KIT 기술물리연구소(ITEP)의 조반니 데 카르네 교수(차기 HIP 소장)는 "HIP를 통해 통합 인프라 내에서 수소 가치 사슬의 핵심 구성 요소를 테스트할 수 있다."라고 설명하며, "이는 특정 응용 분야에 맞춘 기술 개발과 적용에 대한 새로운 가능성을 열어준다."라고 덧붙였다.
- 또한, HIP 부지에는 액체 수소와 전기 에너지를 동시에 수송할 수 있는 하이브리

드 에너지 파이프라인 시험 트랙이 건설되고 있다. 연구진은 극저온 액체 수소 파이프라인과 이러한 저온에서도 손실 없이 전기 에너지를 전송하는 초전도 전력 케이블을 결합하고 있다. 이 인프라는 풍력 및 태양광 발전소, 항만 터미널에서 산업 시설, 공항, 물류 센터에 이르기까지 장거리로 대량의 에너지를 효율적으로 수송할 수 있다.

- ITEP의 타베아 아른트 교수는 "하이브리드 에너지 파이프라인은 미래 수소 경제를 위한 소형 에너지 고속도로가 될 수 있다."라고 말하며, "수소 파이프라인과 초전도 케이블의 결합은 에너지 공급, 산업, 이동성을 유연하게 연결할 수 있게 해준다."라고 덧붙였다. 대형 차량용 초전도 모터 또한 액체 수소와의 결합을 통해 이점을 얻을 수 있으며, 프로젝트 참여 기관들은 이에 대한 실험적 연구도 진행할 계획이다.

수소 경제 발전을 위한 연구

- 카를스루에 공과대학교(KIT)는 수소 혁신 공원(HIP)을 통해 실제와 유사한 환경에서 복잡한 수소 시스템을 연구하고 개발할 수 있는 플랫폼을 구축하고 있다. 이를 통해 신기술의 조기 시험, 운영 전략 개발, 전력망 및 산업 응용 분야와의 상호 작용 분석이 가능해진다. 향후 이 연구 인프라는 산업 파트너와의 협력을 더욱 강화하고 새로운 수소 기술의 상용화를 가속화하는 데 기여할 것이다.



그림 34. 액화기는 수소 가스를 극저온까지 냉각. 출처 | KIT