

KEIT ISSUE PICK

2024.12.

이달의 주제 **산업혁명 핵심 소재 -
산업용 섬유 및 나노소재 기술**

나노섬유 소재 응용 기술 동향

최경호, 문준연, 박찬희

피치계 탄소소재 기술 동향

최경호, 전영표

극한환경 대응 아라미드 섬유 기술 동향 및 전망

윤석한, 엄영호

지속 가능한 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향

윤석한, 양병진

(특집) Science Fiction - 블루오아시스

전윤호



KEIT ISSUE PICK

2024.12.

이달의 주제 **산업혁명 핵심 소재 -
산업용 섬유 및 나노소재 기술**

나노섬유 소재 응용 기술 동향

최경호, 문준연, 박찬희

피치계 탄소소재 기술 동향

최경호, 전영표

극한환경 대응 아라미드 섬유 기술 동향 및 전망

윤석한, 엄영호

지속 가능한 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향

윤석한, 양병진

(특집) Science Fiction – 블루오아시스

전윤호

CONTENTS

KEIT

기관장 인사말	5
(특집) Science Fiction – 블루오아시스	6
산업기술 뉴스	17
산업/기술 동향	27
1 나노소재 응용 기술 동향	29
2 피치계 탄소소재 기술 동향	46
3 극한환경 대응 아라미드 섬유 기술 동향 및 전망	66
4 지속 가능한 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향	83
*KEIT NEWS – PD’s Talk	98

ISSUE PICK



美 보잉 여객기 'B787 드림라이너'는 보잉 항공기 중 최초로 기체 대부분에 탄소복합 재료인 CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastic)를 적용한 항공기입니다. 기존 알루미늄 동체보다 25%이상 가벼워 평균 운항거리가 1만 6000km까지 증가했습니다. 탄소복합재의 독점 공급은 일본의 도레이(Toray)사가 맡았으며, 미쓰비시·후지 등 일본의 주요 중공업 기업들이 보잉787 동체 제작에 함께 참여하는 계기가 되었습니다.

탄소·섬유 시장은 일본의 빅3(도레이, 토호테낙스, 미쓰비시케미컬)가 전세계의 약 50%를 차지하고 있습니다. 도레이의 경우, 1960년대 한국과 대만 등 경쟁국의 화섬 산업 성장에 위기감을 느끼고 1971년 탄소 섬유 개발에 착수했습니다. 지속적인 연구개발 투자와 장기적인 기술 개발 전략을 통해, 시장 개화 시점에 초격차 기술을 보유하게 되었습니다. 국가의 미래 경쟁력 강화에 선제적·지속적 기술 투자가 얼마나 중요한지를 보여줍니다.

이번 KEIT 이슈픽 12월호에서는 자동차, 항공·우주, 에너지 등 다양한 산업분야에서 나날이 중요해지고 있는 탄소나노와 섬유산업의 최신 기술동향을 살펴봅니다. ①나노섬유 제조 기법과 응용 기술 동향, ②항공·우주, 자동차 등 소재의 경량화와 고성능화가 중요한 산업분야에서 주목받고 있는 피치(pitch)계 탄소소재 기술동향, ③우주 개발, 해저 탐사 등 극한 조건에서 견딜 수 있는 아라미드 섬유 기술동향, ④미래모빌리티의 섬유기반 주행효율 향상 및 친환경 소재 활용 기술을 다룹니다.

국내에서도 경량성과 안전성이 요구되는 전기차, 항공우주 분야에 각광받는 파라아미드 섬유 등 신소재 섬유 개발과 생산을 확대하고 있습니다만, 여전히 글로벌 선도기업들과의 격차를 좁히기는 쉽지 않습니다. 선도 기업들은 시장이 열리지 않았더라도 장기적 시각으로 꾸준히 기술개발을 해왔다는 것을 유념하며, 우리도 단기성과에 연연하지 않고 기술 완성도를 높여 미래 시장을 선점하기 위한 전략을 준비해야 할 것입니다.

산업의 미래는 준비된 자에게만 열립니다. KEIT 이슈픽은 2025년에도 독자 여러분이 변화의 흐름을 읽고, 새로운 기회를 발견할 수 있도록 지원하고자 합니다. 2024년 한 해동안 KEIT 이슈픽에 보내주신 성원에 감사드리며, 내년에도 독자 여러분의 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

[특집]

블루

오아시스

전윤희

작가 소개

ETRI, KIST에서 AI와 로봇을 연구했고 테크 스타트업과 글로벌 기업에서 소프트웨어를 개발했다. SK텔레콤을 거쳐 SK 플레닛에서 CTO를 역임했으며, 알티캐스트에서 AI 신규사업을 리드했다. 2020년부터 하드SF작가로서 장편소설 『모두 고양이를 봤다』와 「경계 너머로, 지맥」을 출간했고, ChatGPT를 활용한 SF앤솔로지 「매니페스토」에 참여하였다. 서울대학교에서 제어계측공학/석사, 전기컴퓨터공학 박사 학위를 취득했다.

SF 장편소설 『모두 고양이를 봤다』 (2020)

SF 장편소설 『경계 너머로, 지맥』 (2022)

SF 단편소설 「노인과 지맥」 (단편집 『페트로글리프』 수록, 2020)

SF 단편소설 「오로라」 (단편집 『매니페스토: ChatGPT와의 협업으로 완성한 SF 앤솔로지』 수록, 2023)

눈을 떠보니 그새 짙어진 잿빛 황사가 뿌연 안개처럼 도시를 뒤덮고 있었다. 목적지까지 몇 킬로미터 남지 않았는데도 익숙한 모습은 아직 안 보였다. 네오텍 엔지니어링의 김민수 대표는 자율주행을 종료하고 다시 운전대를 잡았다. 지난 밤에 잠을 제대로 못 잔 탓에 잠시 자율주행을 켜고 눈을 붙이기는 했으나, 여기서부터 매번 비효율적인 경로를 선택하는 차량에 운전을 맡겨 놓을 수 없었다.

보기만 해도 숨이 막힐 것 같은 외부와는 달리 차량의 실내는 더할 나위 없이 쾌적했다. 곳곳에 설치된 센서와 실내 기후 모델을 활용한 AI 알고리즘이 3차원 공간을 격자로 나눠 온도를 제어했다. 공조 시스템의 나노섬유 필터¹⁾가 미세먼지와 황사를 걸러냈으며 피치계 황성탄소섬유²⁾가 유해가스와 냄새를 제거했다. 다층 구조의 스마트 글래스는 도시의 소음을 차단하고 해가 비치는 쪽을 어둡게 조절하고 있었다.

김민수 대표가 ‘블루오아시스’라는 아이디어를 떠올린 것은 몇 년 전, 그가 개발에 참여한 차량을 테스트할 때였다. 차량의 공조 시스템은 빠르게 발전하는데 비해, 훨씬 더 비싸고 하루 중 더 많은 시간을 보내는 주거 공간은 수십 년 전과 별로 다르지 않았다. 에어컨을 켜면 찬 바람에 피부가 시렸고 끄면 금세 후끈거렸으며 개개인에게 맞게 온도를 맞춰 줄 수도 없었다. 창문은 황사가 닥치거나 비가 들이칠 때 알아서 닫히지 않았고, 먼지를 닦아주는 와이퍼도 없었다.

하긴 이제는 일 년 중 창문을 열어 놓을 수 있는 날도 얼마 되지 않았다. 기후 변화가 예상보다 빨리 진행되면서 무덥고 습한 날이 많아졌고 태풍도 잦아졌다. 건조할 때면 넓어져만 가는 몽골과 중국의 사막에서 황사가 불어왔다. 그는 인류가 최첨단 기술을 갖고도 짜증나는 기후를 참아야 하는 현실이 답답했다. 엔지니어로서 문제를 개선할 기술이 있는데도 그대로 두는 것을 참을 수 없었다. 실내뿐만 아니라 집 밖에서 산책할 때도 일년 내내 맑고 쾌적한 기후가 보장되는 공간을 원했다. 그는 장래가 보장된 직장을 때려치우고 네오텍 엔지니어링을 창업했다. 블루오아시스는 그렇게 시작되었다.

1) 1. 나노섬유 소재 응용 기술 동향 참조(p.30).

2) 2. 피치계 탄소소재 기술 동향 참조(p.48).

목적지에 가까워지자 마침내 돔이 그 웅장한 모습을 드러냈다. 이 거리에서 돔은 마치 유리 그릇을 얹어놓은 듯이 보일 뿐이었지만, 김 대표에게는 돔의 표면을 이루는 수만 개의 패널과 이들을 고정하는 프레임의 설계도면이 생생하게 보이는 듯했다. 나노섬유로 강화된 투명 폴리머층 사이에 전도성 나노섬유층과 플라즈모닉 나노입자³⁾ 기반의 전기변색⁴⁾층이 삽입된 삼각형 스마트 패널은 전기 신호로 빛의 투과율과 반사율을 제어할 수 있었다. 피치계 탄소섬유⁵⁾ 재질의 프레임은 가벼우면서도 강한 강성으로 돔의 입체적인 구조를 지지했다. 돔의 표면은 위치와 각도, 날씨에 따라 다른 색을 띠고 있어, 마치 거대한 카멜레온이 웅크리고 있는 모습을 연상시켰다. 시선을 위로 향하자 완만하게 굴곡진 돔의 상부 너머로 하늘높이 솟아오른 초고층 아파트의 실루엣이 보였다.

그가 상상한 모습을 조감도로 그려 보여줬을 때, 벤처 캐피탈과 건설사 관계자들은 반구형 생일 케이크 위에 양초가 꽂혀있는 것 같이라며 웃었다. 하지만 그의 머리속에는 눈앞에 있는 이 거대한 구조물 내부에서 일년 내내 상쾌하게 생활하는 사람들의 밝은 표정이 선명했다. 그는 설계를 완성하고 주요 장치의 프로토타입까지 만들었지만, 다른 사람들은 그의 비전을 공감하지 못했다.

“아직 젊고 경험이 부족해서서, 실제로 구현하려면 얼마나 많은 문제가 발생할지 감이 없으실 겁니다.”

“조금만 참고 살면 되는데, 그만한 돈을 누가 내겠어요?”

“산책하다 사진 찍어 인터넷에 올리면 사람들이 ‘화성으로 이주했냐?’고 할 것 같네요.”

다행히 낮 시간이어서 줄 서 있는 차량이 많지는 않았다. 차례가 되자 에어락이 스르륵 열렸다. 차량을 몰고 격실로 들어갔다. UV-C 자외선⁶⁾과 강력한 에어샤워가 가동되었다. 곧이어 귀가 먹먹해졌다. 그는 반사적으로 턱을 벌려 귓속의

3) Plasmonic nanoparticle. 빛과 상호작용할 때 표면 플라즈몬 공명(surface plasmon resonance)을 일으키는 금이나 은과 같은 금속으로 만든 나노크기의 입자. 특정 파장의 빛을 강하게 흡수하고 산란시키는 특성이 있음.

4) Electrochromism. 전압을 가했을 때 물질의 광학적 성질이 가역적으로 변화하여 색상이 변하는 현상.

5) 2. 피치계 탄소소재 기술 동향 참조(p.48).

6) 100~280nm 파장의 자외선으로서 바이러스나 박테리아를 살균하는데 효과적임.

압력을 단지 내부의 기압에 맞췄다. 한때는 더 철저한 방역을 원하던 주민들이 지금은 빨리 통과할 수 있도록 출입 절차를 간소화해달라고 요구하고 있었다.



블루오아시스

모든 것이 팬데믹 때문이었다. 변종 조류독감 H5N1-2035는 인간에게 전염될 뿐더러 코로나19 바이러스보다 훨씬 오래, 멀리까지 공기 중에 떠다니다 전파되는 공기감염 바이러스였다. 게다가 이 바이러스는 변이속도가 빨라서 mRNA 백신으로도 대응하기 힘들었다. 과학자들은 이번 팬데믹이 코로나 때보다 더 심각하고 더 오래 갈 것이라는 암울한 전망을 내놨다.

그러자 블루오아시스를 기억한 건설사들이 김 대표를 찾아왔다. 고급 아파트 단지에 블루오아시스를 최대한 빨리 구축해달라고 간청했다.

“김 대표님, 지난번에 제가 한 말은 잊어주세요. 그 단지 주민들 평균 자산이 얼마인지 아세요? 단지 전체가 안전해질 수만 있다면 비용은 얼마가 들어도 괜찮으니, 빨리만 해주세요.”

그때부터 김 대표는 직원들과 함께 밤낮없이 설계를 수정하고, 프로토타입을 만들고, 시험하기를 반복했다. 미세먼지 농도를 낮추는 것이 목표였던 시스템으로는 크기가 작은 공기매개 바이러스를 완벽하게 차단할 수 없었다. 공조

시스템에 전기방사 나노섬유 필터와 자외선 살균장치를 추가했고, 모든 출입구에는 에어락을 설치했다. 혹시 완벽한 기밀(氣密)이 유지되지 않더라도 외부 공기가 유입되지 않도록 양압⁷⁾ 시스템을 도입했다. 하늘이 뿌옇게 보인다는 불만이 있었던 ETFE⁸⁾ 패널을 투명 폴리머 소재로 바꾸고, 이에 따라 늘어난 하중을 버틸 수 있도록 탄소섬유 프레임을 보강했다. 기존 아파트 단지를 레트로핏하려니 많은 문제가 있었다. 원래 설계는 건물 전체를 돔으로 덮는 것이었지만, 초고층 아파트를 덮을 만큼 높은 돔은 비현실적이었다. 대안으로 건물의 10층까지만 돔이 덮도록 하고 돔 위로 노출되는 부분을 위해 건물 자체에 기밀 기능과 업그레이드된 공조 시스템을 설치하기로 했다. 각 건물이 돔의 중간 지지대로서 역할하도록 했는데, 돔의 하중은 크게 문제 되지 않았으나 강력한 태풍 또는 지진이 발생했을 때의 진동과 횡력이 문제였다. 이 문제는 돔과 각 건물을 인장강도와 탄성률이 높은 아라미드 섬유⁹⁾ 기반의 실링으로 연결하여 해결했다.

건설 중인 돔이 모습을 갖춰가자, 블루오아시스는 전 세계의 주목을 받았다. 네오텍은 쇠도하는 주문을 감당할 수 없었고, 김 대표는 연이어 유명 미디어의 인터뷰 요청을 받았다. 그는 부자들뿐만 아니라 모두가 안전하고 기후가 완벽하게 조절되는 공간에서 살 수 있게 하겠다고 자랑스레 말했다. 하지만 주요 자재의 공급이 턱없이 부족했다. 특히 돔의 곡면에 따라 그 모양이 제각각 다를 뿐더러 전력 및 통신 케이블을 내장할 수 있도록 특수 제작되는 피치 기반 탄소섬유 소재의 프레임이 문제였다. 이러한 프레임을 생산할 수 있는 제조사는 규모가 작아서, 팬데믹 상황에서 공급이 불안정한 데다 그의 꿈을 이루기에는 단가도 너무 높았다. 그는 과감한 결정을 내렸다. 팬데믹은 인류에게 재앙이지만, 동시에 세상을 바꿀 수 있는 절호의 기회이기도 했다. 탄소섬유를 PEEK¹⁰⁾ 수지와 함께 열압성형¹¹⁾하여, 컴퓨터가 설계한 정확한 형태의 프레임을 일괄 생산

7) 陽壓. 실내의 공기압력을 대기압(실외기압) 보다 높게하여 오염된 외부공기가 실내로 유입되지 않게 하는 것.

8) Ethylene Tetra Fluoro Ethylene. 플로로카본 기반의 중합체로서 내구성이 높고 투명하며 가벼워서 건물의 채광창 등에 사용되는 소재.

9) 3. 극한환경 대응 아라미드 섬유 기술동향 및 전망 참고(p.70).

10) 고성능 열가소성 플라스틱으로, 내열성과 기계적 강도가 우수하여 의료용 임플란트나 항공우주 부품에 사용되는 고급 플라스틱 소재

할 수 있는 최첨단 장비를 대거 발주했다. 로봇 전문업체와 함께 돔의 유지보수를 자동화할 로봇의 개발에도 착수했다.

하지만 대량생산 체제를 갖춘 네오텍의 공장이 가동되기 직전, 예상치 못한 상황이 발생했다. 획기적인 범용 항바이러스제¹²⁾가 개발된 것이다. 약물 재창출¹³⁾ 연구 과정에서 바이러스의 세포 침투를 원천적으로 차단하는 화합물이 우연히 발견되었다. 경구투여가 가능하고 예방효과도 있어 백신과 치료제 역할을 동시에 수행했다. 팬데믹이 조기 종식될 전망이라는 헤드라인이 모든 미디어를 뒤덮었다. 전 세계에 희망을 안겨준 뉴스였지만 과감한 투자를 감행했던 네오텍 엔지니어링에는 치명적이었다. 후속 계약들은 줄줄이 취소되었다.

주차하고 지상으로 나와 산책로를 걸었다. 땀을 부드럽게 어루만지는 미풍에는 숲 향기가 은은하게 배어 있었고 도시의 배경소음이 차단되어 마치 고요한 숲에 온 것 같았다. 유모차를 미는 젊은 커플이 그를 알아보고 반갑게 인사하며 지나갔다. 구름이 거의 없는 하늘은 태양 쪽 패널들이 어두워져 있고 전체적으로는 황사에 의해 회색빛을 띠고 있어, 마치 개기일식 때처럼 묘한 느낌이었다. 그는 패널의 투과율을 파장별로 조절하거나 내부로부터 조명을 비춰서라도 파란 하늘을 보여주고 싶었다. 하지만 시설이 지나치게 복잡하고 비싸지며 구름이 부자연스럽게 보일 거라는 예측 때문에 일단 포기해야 했다. 무덤고 칙칙한 대도시 한복판에서 맑고 파란 하늘을 제공한다는 블루오아시스의 비전은 다음 사이트에서 재검토하기로 했으나, 이제는 영영 이루지 못할 꿈이 되었다.

오늘은 돔 유지보수 로봇 HMR-6, 일명 ‘스파이더봇’을 최종 테스트하는 날이었다. 래빗로보틱스의 이지은 박사는 먼저 도착해 있었다. 그녀는 30년 넘는 경력의 베테랑 엔지니어로서, 머리가 희끗해진 나이에도 여전히 현장을 직접 챙기고 있었다. 지금은 콘솔 앞에서 스파이더봇의 상태를 점검하느라 그가

11) thermoforming/thermal compression molding. 열가소성 플라스틱을 가열하여 부드럽게 만든 후 압력을 가해 원하는 형태로 성형하는 제조 공정.

12) 범용 항바이러스제(broad-spectrum antiviral)는 여러 종류의 바이러스에 대해 효과가 있는 항바이러스 약물로서, 바이러스의 공통된 특성을 표적으로 하여 신종 바이러스나 변이 바이러스에도 대응할 수 있음.

13) Drug repurposing / drug repositioning. 이미 승인되어 사용 중인 기존 약물의 새로운 치료 효과를 발견하여 다른 질병 치료에 활용하는 신약 개발 방식.

다가오는 것도 눈치채지 못했다.

“안녕하세요, 이 박사님. 자주 뵙네요.”

이 박사가 고개를 들었다. 표정은 미소를 짓고 있었으나 긴장감이 역력했다.

“안녕하세요, 김 대표님. 오늘로 마무리되고 자주 뵙지 않아야 할 텐데요.”

스파이더봇은 돔의 유지보수를 위해 래빗로보틱스와 공동 개발한 로봇이었다. 후속 계약이 취소되는 바람에 두 회사 모두 상당한 손실을 감수해야 할 상황이었고, 로봇의 업그레이드 계획도 중단되어야 했다.

이 박사가 콘솔을 조작하자 돔이 지면과 만나는 곳에 대기하고 있던 스파이더봇 세 대가 일제히 움직이기 시작했다. 로봇은 여섯 개의 다리를 쉴 새 없이 움직여 돔의 프레임에 일정한 간격으로 솟아있는 금속 돌기를 마그네틱 그리퍼로 붙잡으며 돔을 기어올랐다. 지난 번 래빗 로보틱스 연구소에서 봤을 때보다 움직임이 민첩해졌다. 김 대표의 뒤로는 어느새 주민들이 몰려와 세 로봇이 협동하여 고장난 패널을 교체하는 모습을 탄성을 지르며 구경했다.

몇 시간 후, 마침내 모든 테스트가 완료되었다. 잠시 성공의 뿌듯함에 가슴이 벅찼으나 바로 아쉬움이 밀려왔다. 꿈을 이루기 위해 그토록 노력했는데 이곳이 시작이자 끝이었다. 함께 고생한 동료들, 래빗로보틱스를 비롯한 여러 협력사, 그를 믿었던 투자자들에게 할 말이 없었다. 지난 몇 주 간 매일같이 밤잠을 설친 이유였다. 이제 뭘해야 할지 막막했다. 멍하니 서있다가 그제서야 이 박사가 자신을 쳐다보고 있다는 걸 깨달았다.

“박사님, 축하합니다. 말씀하신대로 이제 자주 못 뵙겠네요. 피곤하실 텐데 들어가 좀 쉬세요.”

“축하는 함께 받아야죠. 그건 그렇고, 아까 그 외국사람이 했던 얘기 들었어요?” 테스트를 구경하던 주민들은 김 대표에게 이것저것 궁금한 점을 물어봤다. 중동계로 보이는 외국인 부부가 영어로 질문하기도 했는데, 말이 빠르고 악센트가 심해서 잘 알아들을 수 없었다. 그때 보스턴 인근의 세계 최고의 로봇회사에서 일했던 이 박사가 유창한 영어로 대신 답변했었다. 그가 머뭇거리자 그녀가 말했다.

“팬데믹은 끝났지만, 늘어만 가는 사막 지역에 이런 돔을 지어 식물을 재배할 수 있겠냐고 묻더군요.”

김 대표는 그 말을 듣자마자 고개를 저었다.

“비용 때문에 안 돼요.”

“저는 가능할 수도 있다고 대답했는데요?”

“이번 프로젝트의 원가가 얼마인지 모르세요? 이런 고급 아파트라면 몰라도
사막에서 농사지어 얼마나 번다고...”

“이제 대량생산 설비도 갖췄잖아요. 그 외에도 최적화할 부분이 많을 거예요.”

“제가 그걸 모르겠어요? 아무리 그래도...”

그는 흠칫 말을 멈췄다. 자신을 뵈히 쳐다보는 이 박사의 눈빛에는 경험과 지혜
에서 우러나오는 권위가 담겨 있었다.

“대표님은 항상 혼자서 완벽한 답을 얻으려 하시죠. 하지만 조금 기대를 낮추
고 주위에 도움을 구해보면 답이 나올지도 몰라요. 사무실로 가시죠. 아이
디어가 있어요.”

두 사람은 네오텍 엔지니어링 사무실로 갔다. 바로 회의실로 가서 대형 스크린에
구조역학 및 동역학 시뮬레이터와 비용 스프레드시트를 띄웠다. 블루오아시스
를 제어환경농업¹⁴⁾에 적용할 때 비용을 얼마나 낮출 수 있을지가 관건이었다.
김 대표가 말했다.

“먼저 건설비부터 따져보죠. 이번 프로젝트에서 평방 미터당 비용은...”

“패널을 ETFE로 바꾸죠.”

이 박사가 제어와 AI에만 전문가인 줄 알았더니 그렇지 않은 모양이었다. 하긴
스파이더봇의 재질을 선택한 걸 보고 의외이긴 했는데, 그저 예전 직장에서 사
용해 본 소재를 선택한 거라고 짐작했었다. 그는 고개를 끄덕였다.

“처음에 고려했던 소재입니다. 가볍고 식물 생장에 필요한 자외선도 잘 투과
시키죠. 하지만 전체 비용이 크게 줄지는 않을 겁니다. 왜냐면 비용의 가장
큰 부분은 탄소섬유 프레임인데, 아무리 돔의 무게가 줄어도 프레임을 얇게
만들 수는 없어요. 강풍에 견뎌야 하는데, 풍압은 무게와 관계 없으니까요.”

이 박사가 스크린에 자료를 띄웠다. 나선 형태로 길게 꼬인 섬유 다발의 현미경

14) Controlled-environment agriculture. 실내에서 온도, 습도, 빛, 이산화탄소 농도 등 환경을 인공적으로 제어하여 작물을 재배하는 농업 방식.

사진이 나타났다.

“최근 개발된 전기활성 고분자¹⁵⁾ 섬유예요. 스파이더봇에 서보모터 대신 인공근육을 쓸 수 있을지 검토하면서 찾아봤던 소재인데요, 우리 로봇에는 안 맞았지만 여러모로 장점이 많았어요. 이걸 ETFE층 사이에 격자 형태로 넣어서...”

김 대표가 소리쳤다.

“능동 구조¹⁶⁾ 말씀이시군요!”

이 박사의 제안은 신축성이 좋은 ETFE층 사이에 전기가 가해졌을 때 수축하는 섬유를 격자 형태로 삽입해, 각 패널을 2축 액추에이터로 활용하자는 것이었다. 예상되는 가장 강한 태풍까지도 프레임의 강성으로 버티는 대신, 변형을 실시간으로 감지하고 패널의 장력을 조절해 특정 부위의 응력을 돔 전체로 분산시키고 진동을 감쇄시키면 더 가벼운 구조물로도 강한 외력을 견딜 수 있다.

그녀가 고개를 끄덕였다.

“맞아요. 네오텍의 구조 엔지니어와 우리 회사 제어 엔지니어가 협력하면 개발할 수 있을 거예요.”

이 박사의 아이디어에 지지 기둥과 능동 제어 케이블까지 더해 시뮬레이션을 해보니 건설비가 많이 낮아졌다. 하지만 냉방이 여전히 문제였다. ETFE 층 사이에 공기를 주입해 에어 쿠션 형태로 만들면 단열 성능을 높일 수 있지만, 그 경우 패널을 액추에이터로 활용하기 어렵다.

김 대표는 바이러스 필터 생산을 위해 도입했던 전기방사 장비의 제조사에 도움을 구했다. 그들은 장비를 개조해 뛰어난 단열 성능을 가진 3차원 다공성 나노구조의 박막을 만들 수 있도록 했다. 이 박막을 ETFE 층 사이에 삽입했더니 에어로젤¹⁷⁾ 못지 않은 단열 효과를 보였다. 또한 나노코팅 전문기업에 의뢰해 가시광선 반사율과 방사냉각¹⁸⁾ 효과를 극대화하는 다층 코팅 기술을 개발

15) Electro-active polymer. 전기적 신호에 의해 물리적인 변형을 발생시키는 고분자 소재.

16) Active Structure. 스마트 구조라고도 함. 외부의 하중과 내부의 변화를 감지하고 능동적으로 대응할 수 있는 구조물.

17) 공기를 포함한 다공성 구조로 이루어진 매우 낮은 밀도의 고체로서, 열차단 성능이 높다.

했다. 이로써 돔 내부로의 에너지 유입을 최소화하여 냉방에 드는 비용을 크게 낮췄다. 래빗로보틱스는 스파이더봇을 돔의 유지보수 뿐만 아니라 조립에도 활용할 수 있도록 업그레이드했다. 네오텍은 여러 회사들의 엔지니어들로 북적거렸고, 직원들의 표정에는 활력이 돌아왔다. 투자자들도 블루오아시스가 기후변화에 대응하는 해결책 중 하나가 될 거라는 김 대표의 비전을 다시 믿어 주기로 했다.

*

뜨겁고 황량한 사막에서 첫 번째 돔이 차츰 형상을 갖춰가고 있었다. 십여 대의 스파이더봇들이 무인 기중기와 협동하여 빠르고 능숙하게 돔을 만들어가는 모습을 관계자들이 감탄하며 지켜보고 있었다.

김 대표가 감격에 겨워 떨리는 목소리로 말했다.

“이 박사님이 처음 말씀하셨을 때, 말도 안된다고 생각했습니다.”

“쉽지 않은 일이었죠. 그래도 해내셨잖아요. 축하드립니다.”

이 박사가 말했다. 그녀는 안식 휴가 중인데도 이 광경만큼은 직접 보고싶다며 이곳까지 찾아왔다.

“이 박사님, 이번에 많은 걸 배웠습니다. 전에는 모든 걸 혼자 완벽하게 통제하려고 했는데, 그러다 주변 사람들에게 피해만 주고 실패할 뻔했어요.

이 박사님과 다른 협력업체들, 심지어 고객의 도움이 없었으면 이번 프로젝트는 불가능했습니다.”

첫 번째 돔에서는 아마¹⁸⁾를 재배할 예정이었다. 여러 기술적 혁신에도 불구하고 블루오아시스의 실내 농업은 아직도 비용이 높았다. 그런데 이번에는 고객들이 해법을 내놨다. 정밀하게 제어된 환경에서 재배한 아마의 섬유로 만들어진 합성 소재는 강도와 품질의 균일도가 높아서, 최고급 승용차를 위한 친환경 소재로 비싸게 공급할 수 있다는 것이었다. 친환경 바이오 소재 기업들 외에

18) Radiative Cooling. 대기 투과율이 높은 파장(8~13 μ m)의 적외선 형태로 열을 방출해 온도를 낮추는 자연적인 냉각 방식.

18) 아마(亞麻) 섬유는 가볍고 인장강도가 높으면서도 생분해가 가능한 친환경 소재로, 자동차 내장재 등에 활용됨.

의약품 회사들도 균일한 품질을 보장하는 약용 작물을 재배하기 위해 블루오아시스를 적극적으로 검토하는 중이었다.

그는 팬데믹의 스타 해결사로부터 실패한 아마추어 경영인으로 추락했을 때를 기억했다. 매일 밤 홀로 고민과 후회만 계속하고 있을 때 이 박사와 주변 사람들의 도움 덕분에 새로운 돌파구를 찾아낼 수 있었다. 아직은 돛 하나일 뿐이지만, 더 나은 세상을 만드는 데 조금이나마 기여하고 그가 받은 도움을 세상에 돌려주고 싶었다.

이 박사는 흐뭇한 표정으로 그를 바라보며 말없이 고개를 끄덕였다. 하지만 그는 알고 있었다. 그녀의 미소에는 프로젝트의 성공뿐 아니라, 한 젊은 사업가의 깨달음과 성장을 축하하는 마음도 담겨 있다는 것을.

산업기술 뉴스

규제

방산

반도체

자동차

배터리

철강

화학산업

디스플레이

바이오

로봇

산업기술 뉴스

규제-①

탄핵블랙홀에 내팽개쳐진 국가전략산업

(2024년 12월 13일 이데일리)

‘K칩스법’(조세특례제한법 개정안)은 지난 10일 본회의에서 일몰 기한을 올해 말에서 3년 연장하는 내용만 통과됐다. 당초 반도체 투자세액공제율을 5%포인트 높이고, R&D 시설투자 공제율을 20%로 확대하기로 했으나 무산됐다. 여기에 AI기본법, 반도체 특별법 모두 연내 처리가 불투명해졌다. 용인 반도체 클러스터 기반시설에 대한 지원예산은 전혀 반영되지 않았다. 김형준 차세대지능형반도체사업단장은 “정부가 산업 지원정책과 예산 집행 등을 빨리 정상화해야 기업들이 경쟁력을 유지할 수 있다”고 말했다.

규제-②

R&D 예타 폐지 법 개정안 국무회의 통과

(2024년 12월 11일 이데일리)

기재부와 과기정통부는 연구개발 (R&D) 분야 예비타당성조사 폐지 이행을 위한 국가재정법과 과학기술기본법 개정안의 국무회의 의결을 마쳤다고 10일 밝혔다. 국가재정법과 과학기술기본법이 개정되면 기초·원천연구 등 대규모 연구형 R&D 사업의 경우 기획 완성도를 높이기 위한 ‘사전기획점검제’를 거쳐 지체없이 이듬해 예산요구를 할 수 있다. 이를 통해 기존 예타 제도 대비 2년 이상 일정 단축이 가능해진다 또 사업 추진 과정에서 환경변화 등에 따라 변경이 필요한 경우 계획 변경심사를 통해 유연한 R&D 추진이 가능케 할 방침이다. 정부는 이번 R&D 예타 폐지로 선제적 기술 확보 및 경쟁력 강화를 적기에 집중 지원할 수 있는 토대가 마련될 것으로 보고 있다.

규제-③

보호무역 밀려오는데…배터리, 석화 무방비

(2024년 12월 10일 디지털타임스)

트럼프 2기 행정부 출범 이후 최대한 이른 시일 안에 한·미 정상회담을 연다는 정부 계획은 실현되기 어려울 것으로 예상된다. 배터리산업은 인플레이션감축법(IRA)의 첨단제조생산세액공제(AMPC)를 영업이익에 반영하고 있어 보조금 축소시 타격이 불가피하다. 중국산 흑연의 세액공제 혜택취소도 문제다. 한국은 흑연의 약 90% 이상을 중국에서 수입하고 있다. 관세 압박을 가할 경우, 국내 배터리업체들은 비용을 더 부담하더라도 대체 공급망을 찾아야한다. 최근 울프 크리스테르손 스웨덴 총리의 방한도 취소되며 국내 배터리, 석유화학 기업 최고 경영자들과의 비공개 면담도 무산됐다. 정국 혼란으로 그간 정부 주도로 논의해온 ‘석유화학업계의 경쟁력 제고방안’발표가 이달 예정대로 진행될지도 불투명한 상황이다. 동 방안에는 자산 매각과 통폐합, 금융·세제 지원 등이 담길 예정이었지만 국무위원들이 모두 사의를 표명해 정상적으로 열리지 않을 가능성이 크다. 강인수 숙명여자대학교 경제학부 교수는 “비상계업 이후 한미정상 간 대화 채널이 사실상 멈춘 상태”라며 “트럼프 당선인은 공약 이행률이 높아 한국에 불리한 정책을 강력히 실행할 가능성이 매우 크다”고 말했다.

방산

70억弗 수출계약 ‘백지’ 되나…하양계 질린

‘K방산’ (2024년 12월 10일 머니투데이)

당초 타결이 임박한 것으로 관측된 폴란드 정부의 K2전차 추가 구입계약의 연내 체결이 불투명해진 것으로 알려졌다. 방산수출의 경우 기술보안과 외교관계 등 예민한 사안이 복합적으로 다뤄져 이를 조율하고 정리하는 정부의 역할이 어느 산업보다 크기 때문이다. 무기수입국 입장에서 수출국의 정치적 안정성과 대외신뢰도 등을 의사결정의 주요 기준으로 삼는다. 앞서 방한한 사디르 자파로프 키르기스공화국(키르기스스탄) 대통령은 한국항공우주산업(KAI)의 한국형 기동헬기 생산현장을 시찰하려 했으나 이를 취소하고 조기귀국했다. 특수선업계에선 한국형 차기구축함(KDDX) 상세설계·선도함(1번함) 사업자 선정이 연기될 수 있다는 우려가 나온다. 조선업계가 수출을 위해 추진한 ‘팀코리아’도 당분간 동력을 잃게 됐다. 방산업계는 국정혼란이 수습되더라도 피해가 장기화할 수 있다는 우려를 내비친다. 국가브랜드가 타격을 입으면서 수출 불확실성이 높아졌기 때문이다.

반도체—①

사라진 美압박 보호막...반도체업계

‘고립무원’ (2024년 12월 10일 디지털타임스)

미 정부는 지난 2022년부터 최근까지 우리 정부에 인공지능 반도체 생산 공장을 미국 현지에 지어달라고 수 차례 요구하고 있는 것으로 전해졌다. 다만 사실상 우리 행정부가 이를 협상할 수 있는 상황이 아니어서 우려가 커지고 있다. TSMC도 애리조나 신규 팹에서 엔비디아의 최신형 AI가속기 ‘블랙웰’ 시리즈 양산 주문을 받은 것으로 알려졌다. 해당 공장은 첨단 패키징 공정인 ‘CoWoS’를 지원하지 못하기 때문에 대만에서 양산을 진행하는 것이 유리하지만, 미 정부의 압박이 있었던 것으로 업계에선 보고 있다. 전문가들은 대만에 가해졌던 압박이 삼성전자와 SK하이닉스에도 이어질 가능성이 있다고 보고 있다. 삼성전자는 텍사스 테일러시에 파운드리 공장을 건설 중이고, SK하이닉스도 애리조나에 HBM 패키징 공장을 짓기로 했다. 하지만 두 기업에 대한 미 정부의 반도체 보조금 규모는 확정되지 않았다.

반도체—②

문혀버린 K칩스법...중소부품업계 본사

해외로 대탈출 위기

(2024년 12월 13일 파이낸셜 뉴스)

반도체 업계 관계자는 “반도체 패권은 곧 기술력에서 나온다”면서 “‘하이리스크 하이리턴’사업인데 세액공제가 당장 내년부터 불투명해지면서 타격이 커질 것”이라고 국내 반도체 업체들의 경쟁력 약화를 우려했다. 경쟁국인 미국, 일본, 대만, 중국이 반도체 업계에 파격 지원을 이어가는 가운데, 국내 반도체업계는 지원이 부실하다는 평가가 업계 안팎에서 나온 바 있다. 양향자 전 국회의원은 “업계에서는 본사를 해외로 옮기는 엑소더스(대탈출)의 조짐도 보이고 있다”고 경고했다.

자동차-①

‘차 더 안 팔리네...’ 하이브리드·LPG차는 경기불황 속 독주 (2024년 12월 10일 국민일보)

고물가와 경기침체 장기화 여파로 신차 시장에선 하이브리드차, 액화석유가스(LPG) 차 등 이른바 ‘가성비’차량이 인기다. 하이브리드차는 상대적으로 비싸지만 유지비가 적게 든다는 장점에 판매 성장세를 보이고 있다. LPG 차 역시 휘발유 대비 30~40% 연료비 절감 효과가 있다. 한국자동차모빌리티산업협회(KAMA)는 인플레이션 완화와 금리 인하 기대에 따른 소비 심리 개선, 하이브리드차 판매 증가 등을 감안해 내년도에는 1.3%증가한 166만대를 전망치로 내놨다.

자동차-②

中, 유럽 관세장벽 피해 하이브리드 수출 늘려 (2024년 12월 10일 중앙일보)

중국 완성차 업체들이 유럽의 전기차 추가 관세를 피하기 위해 하이브리드 차량 수출을 늘리는 것으로 나타났다. 하이브리드차는 중국산 수입 전기차에 최대 45.3%까지 부과되는 추가 관세 적용을 받지 않는다. 중국자동차연석회의(CPCA)에 따르면 올 7~10월 중국 완성차 업체들이 유럽에서 판매한 하이브리드차 대수는 지난 해 같은 기간 대비 3배 이상 증가했다. 자동차 업계 관계자는 “기존에는 현대자동차와 기아, 도요타 등이 하이브리드차를 앞세워 캐즘을 넘고 있었다”며 “중국업체까지 뛰어들면 결국 하이브리드차 시장 경쟁이 심화될 것”이라고 말했다.

배터리—①

캐즘에 중국 공세까지...배터리 3사 점유율 20%대도 위험 (2024년 12월 10일 중앙일보)

세계 배터리 시장에서 국내 배터리 업체들의 입지가 흔들리고 있다. 국내 배터리 3사(LG에너지솔루션·삼성SDI·SK온)의 시장 점유율이 3년 새 10%포인트 이상 하락했다. 전기차 캐즘(일시적 수요 정체)이 지속하고 있는 데다 중국의 공세에 밀린 영향이다. 내년 도널드 트럼프 미국 대통령의 집권 2기가 시작되면 수요가 더 줄어들 전망이다. 특히 트럼프 전 대통령은 인플레이션감축법(IRA)을 통해 보조금을 지급하는 정책을 비판해왔다. 중국의 가격·기술 공세에 밀리고 있는 영향도 크다. 중국은 정부의 강력한 보조금 지원으로 가격 경쟁력에서 우위를 차지하고 있는 데다 기술개발 속도도 빠르다.

배터리—②

“中 의존 그만... 음극재 정부지원 절실” (2024년 12월 6일 머니투데이)

‘미국 신정부 출범 대비 배터리 대응방안 토론회’에서 포스코퓨처엠 관계자는 “중국이 2011년에 9달러 정도하던 음극재를 2달러 후반까지 낮추는 상황에서 국내 음극재산업을 전략적으로 지원해주셨으면 합니다”라고 말했다. 미국이 공급망에서 중국을 배제하는 규제를 늘리고 있지만 음극재만큼은 중국산 사용을 허가하며, 지원이 필요한 목소리가 나온다. 중국은 지난해 12월 흑연 수출을 허가제로 전환했다. 한국 주요 배터리기업으로의 수출은 허가하면서 직격탄은 피했지만 공급망이 흔들릴 수 있다는 우려는 가시지 않는다. 국내 배터리제조사가 80%이상 중국산 음극재에 의존하고 있다. 박태성 한국배터리산업협회 상근부회장은 “음극재 생산기업에 생산보조금을 준다거나 국산 음극재를 사용하는 배터리 제조사에 구매보조금을 주는 등 지원이 한시적으로라도 필요하다”고 말했다.

철강-①

포스코퓨처엠, 철강생산 필수재 ‘전극봉’ 제조기술 국산화 (2024년 12월 13일 매일경제)

포스코퓨처엠은 산업부가 20년 시작한 탄소산업기반조성사업의 ‘300mm이상급 인조 흑연 전극봉 기술 개발’ 국책과제 주관기관으로 참여해 4년 9개월만 전극봉 제조 기술 국산화에 성공했다. 탄소 소재인 전극봉은 전기로 제강 공정에서 철 스크랩 용융 또는 용광로에서 생산한 쇳물의 불순물을 제거하는 정련 공정 소재다. 전극봉은 전기를 열에너지로 바꾸는 역할을 하는데 전극봉의 직경이 크고 밀도가 높을수록 전력량을 증가시킬 수 있어 생산 효율이 높아진다. 이번 국산화로 중국, 인도 등에서 매년 3만t이상의 전극봉을 전량 수입하던 국내 철강업계와의 협력이 기대된다.

철강-②

철강 ‘탄소중립’ 장벽 현실화... “수소환원제철 정부 지원 지속돼야”

(2024년 12월 10일 아주경제)

EU·미국 등이 탄소를 무역장벽으로 활용하려는 움직임이 활발해지고 있다. EU는 오는 2026년부터 탄소국경조정제도(CBAM)를 전면 시행한다. 철강 등 주요 산업 재료에 EU 생산 제품과 동일한 탄소세를 역외 생산 제품에도 부과하는데 이는 중국·브라질 등에서 생산한 저가 철강이 EU로 유입되는 것을 막으려는 행보다. 트럼프 행정부조차 대중 견제를 위해 미국 내 수소환원제철 기술 개발에는 다양한 혜택을 제공할 것으로 예측된다. 수소환원제철은 석탄의 일종인 코크스를 활용해 철광석에서 산소를 분리하는 기존 고로 방식과 달리 수소를 환원제로 사용해 탄소 배출을 획기적으로 줄이는 철강 탄소중립 핵심 기술이다. 철강 생산의 부산물로 탄소 대신 물을 만드는 만큼 탄소 감축이 매우 어려웠던 기존 철강 산업 문제를 해결할 것으로 기대받고 있다. 하지만 저렴한 재생에너지와 그린수소 가격으로 인해 브라질·중국 등이 가격 경쟁력에서 우위를 차지할 것이라는 연구 결과가 나오고 있다. 국내 철강 업체가 이러한 글로벌 불공정 경쟁 상황에서 기술 우위를 이어나갈 수 있도록 정부의 지원이 일괄 계속되어야 한다.

화학산업

중동 석유기업들이 한국 NCC 눈독 들이는 이유 (2024년 12월 10일 국민일보)

중동 석유기업들이 한국의 나프타분해시설(NCC·석유화학 범용 제품 생산설비)에 눈독을 들이고 있다. 본국에서 더 싸게 만들 수 있지만 다양한 제품을 양산할 능력을 갖춘 한국 기업의 생산시설을 공략 거점으로 삼겠다는 구상이다. 세계 최대 에너지 기업인 사우디아라비아 아람코도 울산에 초대형 NCC단지를 구축하고 있다. 이전까지는 나프타를 LG화학이나 롯데케미칼 등 NCC 보유 석유화학기업에 판매했으나 이제는 직접 분해해 기초유분까지 생산하겠다는 계획이다. LG화학은 생산 품목에 폴리올레핀, 폴리프로필렌 등 NCC에서 나온 기초유분으로 만드는 기초소재까지 포함하고 있어 PIC 입장에서는 제품 포트폴리오 확장 기회다. 삼일 PwC 경영연구원은 보고서를 통해 “기초 소재의 자립이 필요하며 구조조정과 설비 통합으로 범용제품 경쟁력을 높이고, 스페셜티 사업을 확대하는 투트랙 전략이 필요하다”고 말했다.

디스플레이

K-디스플레이, OLED로 급속 재편… “내년 IT·모바일 수요 본격화”

(2024년 12월 13일 아주경제)

K-디스플레이 업계가 유기발광다이오드(OLED) 중심으로 재편되고 있다. 시장에선 적용 애플리케이션이 기존 스마트폰, TV 등에서 태블릿, 노트북까지 정보기기(IT)로 확대됐으며 폴더블 디스플레이 수요까지 본격화하면서 개화기를 맞을 것이란 전망이다. 아울러 디바이스 인공지능(AI)의 확대로 저전력 니즈증가와 함께 폴더블 디스플레이 디바이스 확대에 OLED 확산에 유리한 환경이 조성됐다는 분석이다. 12일 업계에 따르면 올해 1~3분기 누적 기준 OLED 패널 출하량은 전년 대비 60%나 증가했다. 애플이 주도하는 OLED 확대는 한국 디스플레이 산업의 성장을 이끌 수 있다는 기대감도 나오고 있다. 한국 기업의 애플 내 OLED 패널 점유율이 80% 이상에 달한다는 이유에서다.

바이오

‘尹주도’ 국가바이오위원회 출범 안갯속

(2024년 12월 12일 머니투데이)

이달 출범 예정이던 국가바이오위원회가 윤석열 대통령의 비상계엄령 선포로 사실상 무산될 위기에 처했다.

11일 업계에 따르면 국가바이오위원회 출범을 위한 회의, 관련 일정은 모두 보류됐다. 국가바이오위원회는 연구·개발, 인허가 등 바이오정책 전반을 심의하는 역할을 맡는 기구로 대통령이 직접 위원장을 맡을 예정이었다. 국가바이오위원회를 시작으로 보건·의료, 식량, 자원, 에너지, 환경 등 바이오 전분야에 대한 민관협력을 통해 비전·전략을 제시할 예정이었다. 하지만 윤 대통령이 계엄사태 이후 임기와 정국안정 방안을 당에 일임하는 등 직무배제가 진행되면서 동력을 잃은 것으로 판단된다. 참여 예정이던 장관들도 비상계엄 선포 직전 국무회의 참석 여부, 계엄 선포 동의 여부 등으로 질타 받고 있어 정상적인 진행이 어려워진 상황이다.

로봇

하드웨어→소프트웨어 지형 바뀌는 로봇 산업

(2024년 12월 10일 국민일보)

로봇의 ‘몸’이 아닌 ‘머리’를 개발하는데 뛰어드는 기업들이 늘어나고 있다. 로봇용 운영체제(OS)가 확산하면 로봇 생태계를 무한하게 확장할 수 있어서다. 소프트웨어 중심으로 로봇 시장이 재편되면서 국내 기업들도 기술 개발에 속도를 내고 있다. 삼성, LG, 현대차 등 제조업 기반의 기업뿐 아니라 네이버 등 정보기술(IT) 기업도 소프트웨어 경쟁력을 로봇에 이식하기 시작했다. 네이버는 로봇의 ‘눈’ 역할을 하는 비전 기술로 유럽컴퓨터비전학회(ECCV) 1위를 차지하며 세계적 경쟁력을 인정받았다. 모건스탠리는 휴머노이드 리포트에서 ‘휴머노이드 기술 제공자’로 네이버를 선정했는데, 휴머노이드 기술 분야에서 선정된 기업은 네이버가 유일하다. 네이버는 최근 로봇 전용 OS를 개발했다. 네이버의 로봇 OS ‘아크마인드’는 로봇의 움직임 제어와 주요 서비스를 OS 형태로 제공한다. 업데이트를 통한 보안 기능 강화나 로봇 관리도 가능하다. 네이버는 삼성전자와 로봇 플랫폼 구현을 위해 협력하고 있다.

산업/기술 동향

1 나노섬유 소재 응용 기술 동향

2 피치계 탄소소재 기술 동향

3 극한환경 대응 아라미드 섬유 기술 동향 및 전망

4 지속 가능한 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향



나노섬유 소재 응용 기술 동향

최경호 탄소나노PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실
문준연 박사후연구원 | 전북대학교 바이오표면공학연구소
박찬희 교수 | 전북대학교 기계설계공학부

요약

나노섬유는 지름이 나노미터(1nm=10억 분의 1미터) 수준으로, 기존 편직물 섬유 소재와 비교하여 매우 미세하고 복잡한 구조를 가지고 있다. 이러한 초미세 구조는 넓은 비표면적과 탁월한 물리·화학적 특성을 제공하여 소재의 강도와 유연성 및 흡착력 등을 크게 향상시키고 다양한 기능을 구현할 수 있어 차세대 첨단 소재로 주목받고 있다.

특히 나노섬유는 바이오·의료, 환경, 에너지, 전자기기 등 여러 분야에서 혁신적 가능성을 보여주고 있다. 예를 들어, 바이오·의료 분야에서는 상처 치유용 지혈 드레싱 및 창상피복제, 세포외기질(ECM)을 모사하는 조직공학용 지지체, 약물 전달 시스템 등에 주로 사용된다. 특히 나노섬유 드레싱은 높은 세균 차단 효과와 산소 및 영양소 투과도로 인해 상처 회복을 촉진하는 데 매우 유리하다. 환경 분야에서는 정수 필터와 공기 청정 필터로서 미세먼지와 유해 물질을 높은 효율로 여과하며, 기존 필터보다 내구성과 여과 효율이 뛰어나다. 에너지 분야에서도 리튬이온 배터리 및 연료전지 전극 소재로 활용되어 에너지 밀도와 수명을 개선한다. 이는 스마트폰과 전기차와 같은 차세대 기술의 소형화·고성능화에도 기여한다.

이처럼 나노섬유는 바이오·의료, 환경, 산업 분야에서 광범위하게 활용되며, 앞으로 다양한 연구와 제조 기술 개발을 통해 더욱 발전할 것으로 기대된다.

1. 개요

▪ 전기방사 기술의 개념

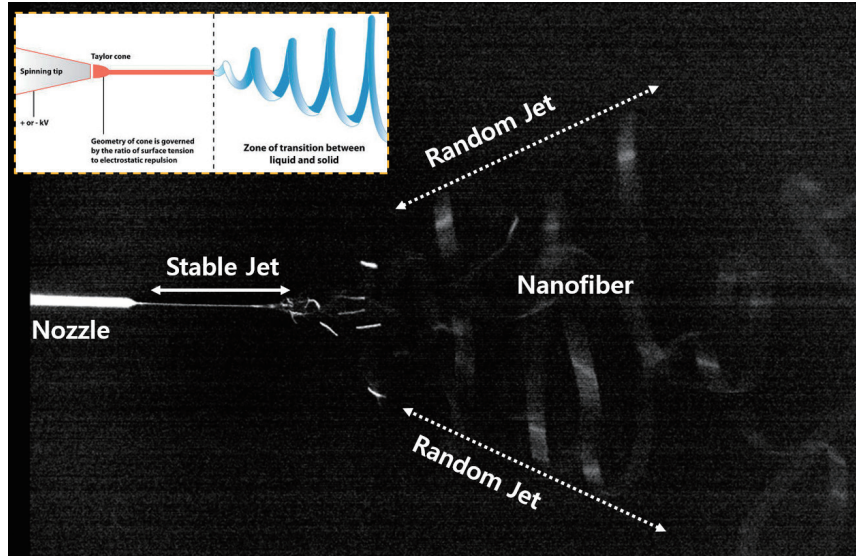
기술의 개념

전기방사 기술은 오래된 나노섬유 제조기법 중 하나로, 고전압 전기장을 이용해 고분자 용액을 나노미터 단위의 섬유 형태로 뽑아내는 공정이다. 이 기술의 핵심 원리는 고전압이 고분자 용액에 가해지면서 용액 표면에 정전기력이 발생하여 특정 모세관(노즐)에서

테일러 콘(Taylor Cone) 형태로 용액이 길게 뻗어 나오는 것이다. 테일러 콘은 고전압이 임계점에 도달했을 때 섬유 형태로 방출되는 현상이며, 정전기력으로 인해 고분자사슬이 늘어나 공기 중에서 용매가 휘발되면서 고체 나노섬유로 형성된다. 전기방사는 전압의 세기, 용액의 농도, 방출 속도 등 변수를 조절하여 나노섬유의 직경과 밀도를 쉽게 변경할 수 있기 때문에 매우 유연한 적용이 가능하다.

그림 1
전기방사법을 이용한 나노섬유 제조
과정의 초고속 촬영 이미지

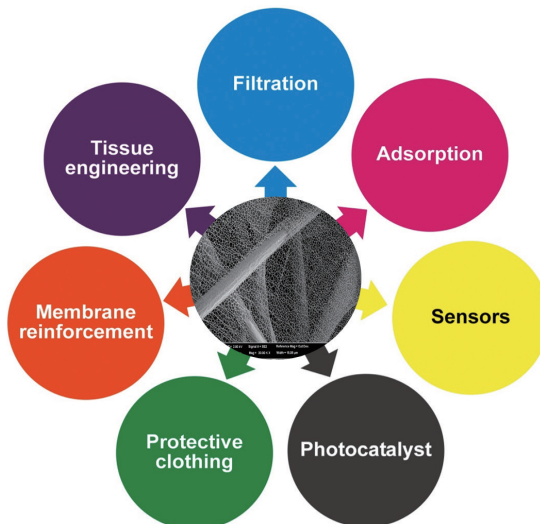
출처: 전북대학교



이렇게 제조된 나노섬유는 다양한 고분자 물질에 활용될 수 있으며, 필터, 의료용 드레싱, 에너지저장장치, 전자기기 등 다양한 분야에서 고성능 소재로 사용된다. 특히 전기방사법은 섬유의 구조와 특성을 정밀하게 제어할 수 있어 연구 및 상업적 용도로 높은 응용 가능성을 보인다. 최근에는 기존 전기방사법의 한계로 지적되는 높은 제조단가 문제를 해결하기 위한 다양한 양산 기술 연구가 수행되면서 나노섬유의 제조단가가 해가 갈수록 낮아지는 추세다.

그림 2
나노섬유의 다양한 산업으로의 응용

출처: 전북대학교

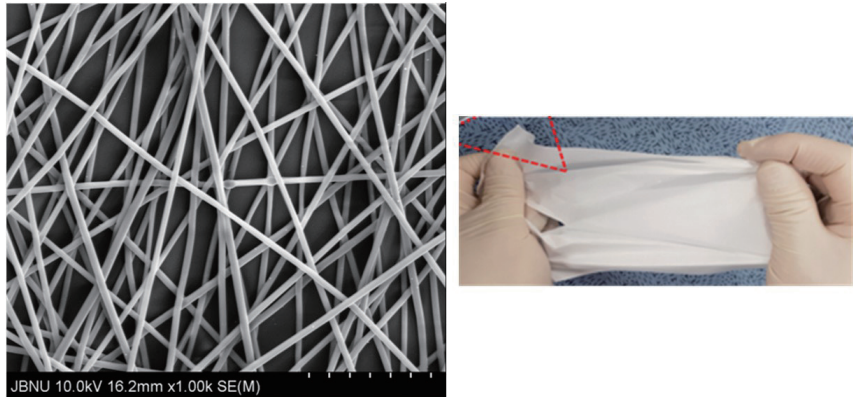


산업혁명 핵심 소재-
산업용 섬유 및 나노소재 기술

- 나노섬유의 개념 나노섬유는 지름이 나노미터 수준에 불과한 초미세 섬유로, 표면적이 넓고 흡착성과 투과성이 높아 바이오·의료, 환경, 에너지 등 고부가가치 첨단산업에 주로 활용된다. 나노섬유의 대표적인 제조 방법으로는 기계적 방사와 전기방사가 있다.

그림 3
전기방사법으로 제조된 나노섬유 매트
표면의 SEM 사진

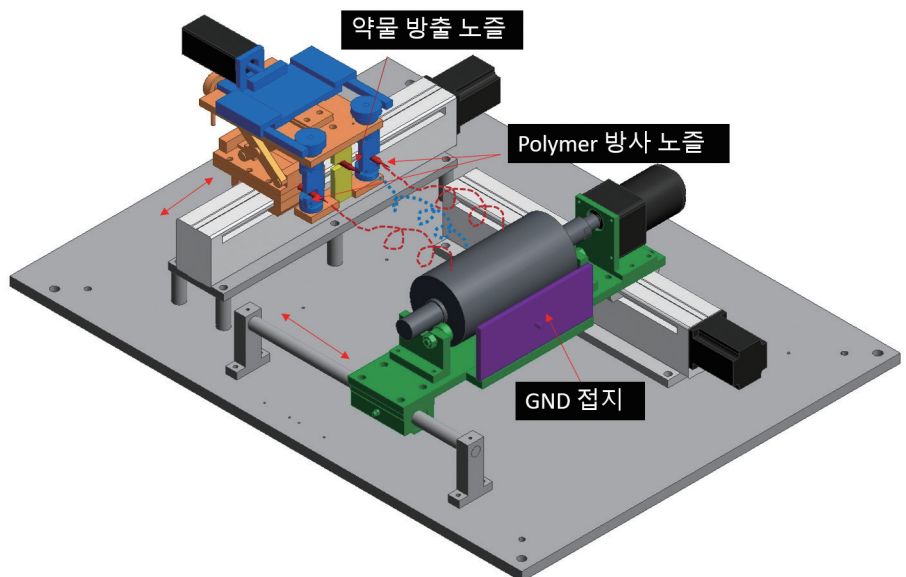
출처: 전북대학교



전기방사는 고전압 전기장을 통해 다양한 고분자 물질로부터 균일한 나노섬유를 생산하는 방식으로, 다른 제조 방식에 비해 가장 널리 사용된다. 전기방사는 생산 공정의 변수 조절을 통해 섬유의 구조와 특성을 정밀하게 조절할 수 있어서 연구 개발과 상업화 모두에서 유리한 장점을 제공한다. 최근에는 [그림 4]와 같이 로봇을 이용한 다양한 기능성 나노섬유의 제조가 연구되고 있어 그 응용 범위는 더욱 늘어나는 추세다.

그림 4
3축 로봇을 이용한 전기방사
장치 시스템

출처: 전북대학교



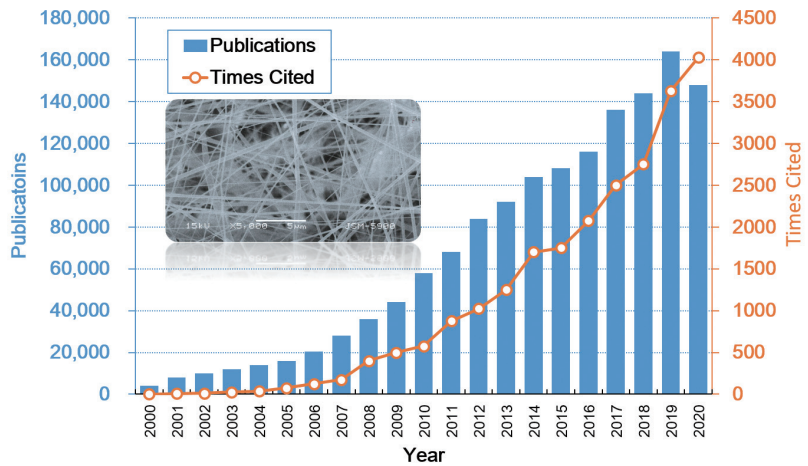
기술의 범위

나노섬유는 그 독특한 물리·화학적 특성 덕분에 다양한 산업에서 널리 활용되고 있다. 높은 비표면적, 투과성, 흡착성 그리고 우수한 기계적 강도 덕분에 의료, 환경, 에너지, 전자 등 여러 분야에서 기존 소재로는 구현하기 어려운 기능을 구현해 내고 있다. 이러한 나노섬유 특유의 성질은 고성능 필터, 의료용 드레싱, 배터리 전극, 센서 등 다양한 분야로 응용 가능성을 열어주었으며, 각 산업에 맞게 필요한 특성과 구조를 조절할 수 있는 유연성 덕분에 더욱 다양한 방식으로 활용되고 있다.

특히 나노섬유를 이용한 SCI 논문의 출판 수를 보면 [그림 5]와 같이 해가 갈수록 증가 추세를 보인다. 이는 나노섬유를 이용한 다양한 산업 분야 응용을 반영한 결과로 추정된다.

그림 5
나노섬유를 이용한 SCI 논문의
출판 수 경향

출처: Journal of Materials
Science, 2020



▪ 나노섬유의 산업 분야별 적용

나노섬유는 환경, 에너지, 바이오 분야를 포함한 중·고부가가치 산업에서 특히 높은 활용성을 보이며, 지속적으로 활용 영역을 넓혀가고 있다.

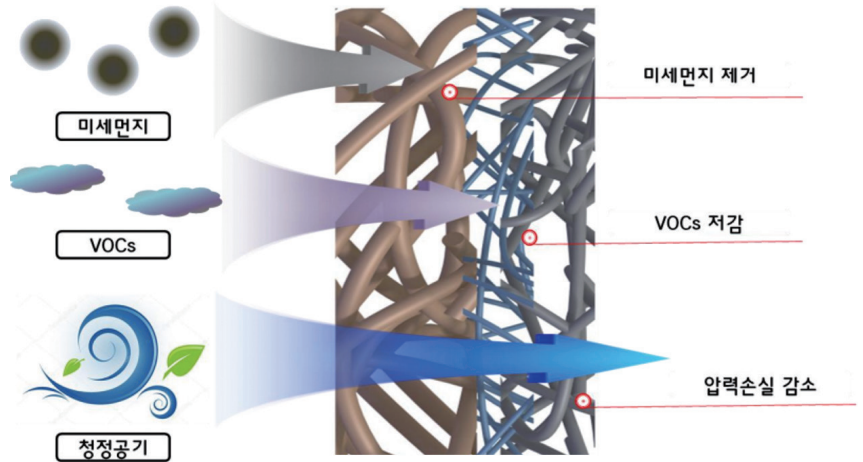
나노섬유는 공기 필터 분야에서 높은 여과 효율과 긴 수명을 제공하는 혁신적인 소재로 평가된다. 나노섬유의 미세한 직경과 넓은 비표면적은 공기 중 미세먼지, 세균, 바이러스 등 유해 물질을 효과적으로 여과하며, 정밀하게 조절된 기공 구조로 고성능 필터링이 가능하다. 또한 낮은 저항으로 인해 공기 투과가 용이하고 높은 에너지 효율성과 내구성을 가지고 있어 공기 청정기, 산업용 공기 정화 시스템, 차량용 필터 등 다양한 분야에서 핵심 소재로 자리 잡고 있다.

특히 초미세먼지 필터링에서는 기존 HEPA급 필터보다 통기도와 필터 효율 면에서 우수한 나노섬유 필터의 개발도 보고되고 있다.

그림 6

나노섬유를 활용한 공기 필터의 개발 예시

출처: 전북대학교

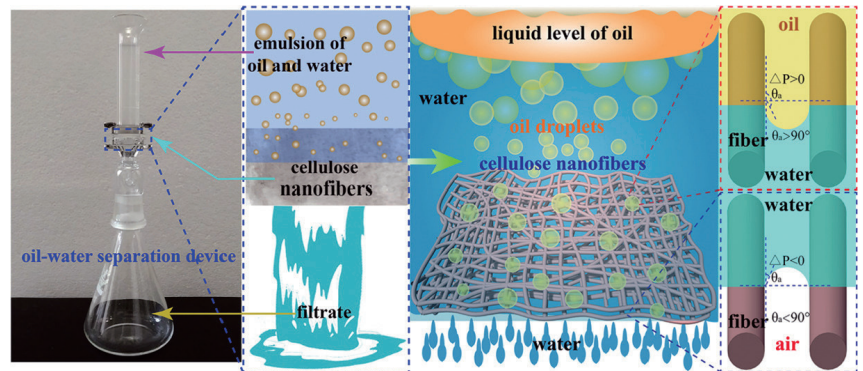


또한 나노섬유는 유수 분리막 분야에서도 탁월한 성능을 발휘한다. 나노섬유 기반 유수 분리막은 물과 기름을 정밀하게 분리할 수 있으며, 기공의 크기와 구조를 제어하여 필요에 따라 친수성 또는 소수성을 부여할 수 있다. 이러한 특성 때문에 나노섬유 유수 분리막은 산업 폐수 처리, 해양 유출 사고 대응, 정유 공정 등에서 효과적으로 활용된다. 또 내구성이 높아 반복 사용이 가능하고 작은 압력으로도 빠른 분리가 가능해 에너지 효율성도 확보할 수 있다.

그림 7

나노섬유를 활용한 유수 분리막의 개발 예시

출처: International Journal of Biological Macromolecules

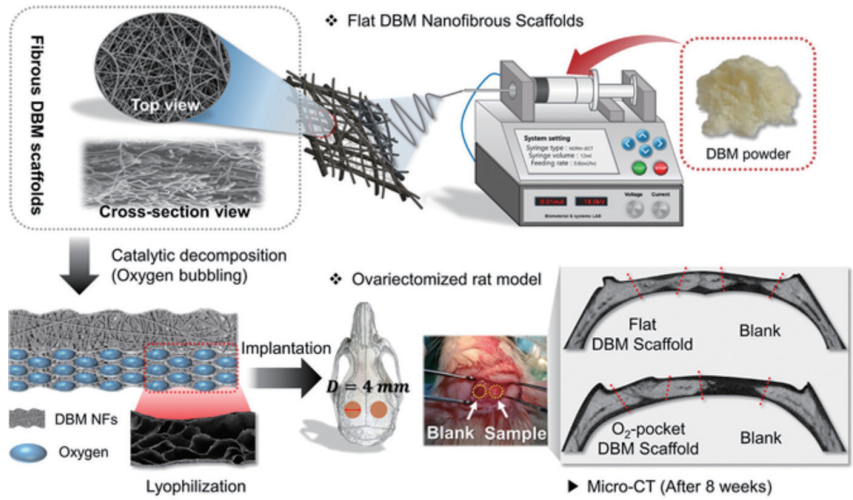


나노섬유는 환경 분야를 넘어 바이오 분야에서도 혁신적인 가능성을 보여준다. 생체 내 지지체 개발의 경우, 나노섬유의 높은 표면적, 생체 적합성, 미세기공 구조가 세포의 부착과 증식을 촉진하여 조직 재생과 세포 성장에 최적화된 환경을 제공한다. 특히 나노섬유 지지체는 기공 크기와 구조를 조절할 수 있어 뼈, 연골, 피부 등 다양한 조직에 맞춘 맞춤형 지지체 개발이 가능해 조직공학 및 재생의학에서 중요한 소재로 평가된다.

그림 8

나노섬유를 활용한 경조직 지지체의 개발

출처: Journal of Materials Science & Technology

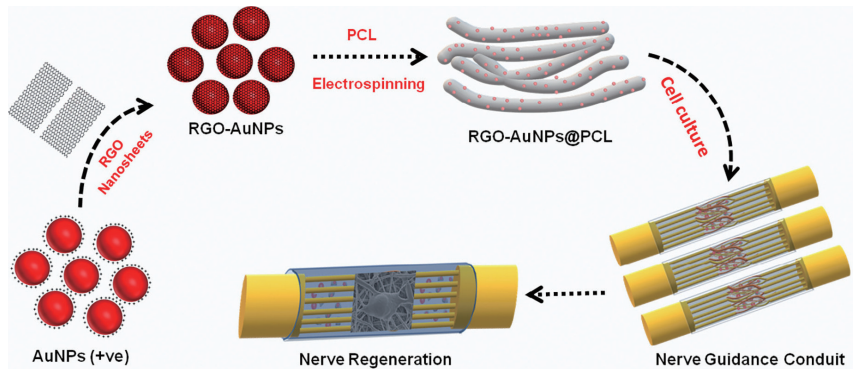


바이오 분야에서 나노섬유는 생체 내 신경도관 개발에도 활용된다. 나노섬유는 미세 구조와 넓은 표면적을 제공하여 신경세포가 부착하고 성장하기에 적합한 환경을 제공하며, 배열된 나노섬유의 방향성은 손상된 신경이 적절한 방향으로 재생되도록 유도할 수 있다. 또한 나노섬유의 유연성과 생체 적합성 덕분에 손상된 신경 부위에 안정적으로 적용될 수 있어서 신경 재생 효과를 극대화할 수 있다.

그림 9

나노섬유를 활용한 신경 재생 유도도관의 개발

출처: Materials Science and Engineering: C

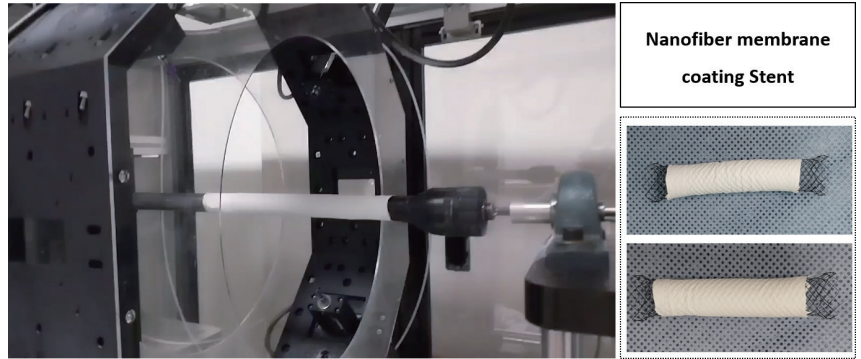


의료기기 코팅에서도 나노섬유는 높은 가능성을 보여준다. 나노섬유는 생체 적합성이 뛰어나 체내 삽입 시 면역 반응을 최소화하며, 표면의 미세 구조가 세균 부착을 방지하고 항균 물질을 포함할 수 있어 감염 예방에 효과적이다. 나노섬유 코팅이 적용된 의료기기는 안전성과 성능을 높일 수 있으므로 삽입형 장치나 인공 장기의 경우 환자의 회복 속도와 장기 안전성을 크게 향상시킨다.

그림 10

통형 고속 나노섬유 제조 기술을 이용한
피막형 스텐트 제조 장비

출처: 전북대학교



또한 나노섬유는 지혈제와 창상피복제 개발에도 활용된다. 나노섬유의 높은 표면적은 혈액을 빠르게 흡수하고 응고를 촉진하여 지혈 속도를 높인다. 지혈제 외에도 나노섬유 기반 창상피복제는 상처 치유를 촉진하고 세균 침투를 막으면서 산소와 수분을 공급하는 등 상처 부위에 적합한 환경을 제공해 감염 위험을 줄이고 치유 속도를 높인다.

그림 11

Cotton-type 3D 나노섬유를 활용한
지혈용 소재의 개발

출처: 전북대학교

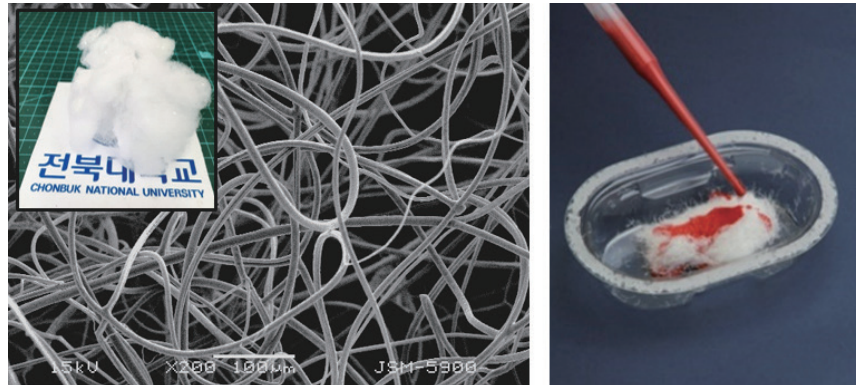
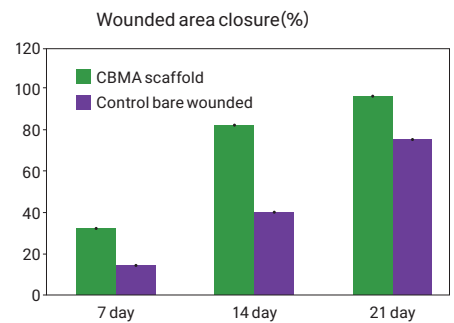
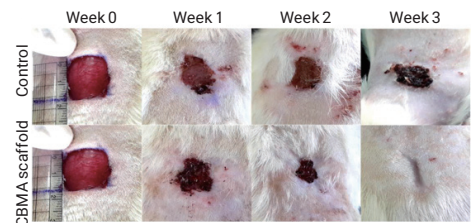
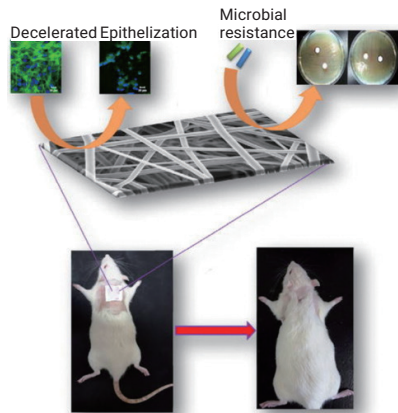


그림 12

항균성 적용 나노섬유를 활용한
창상피복용 소재의 개발

출처: 전북대학교

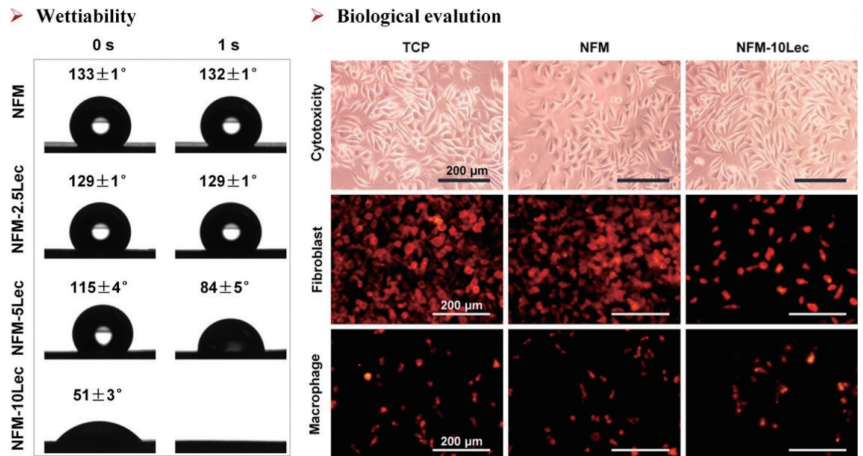
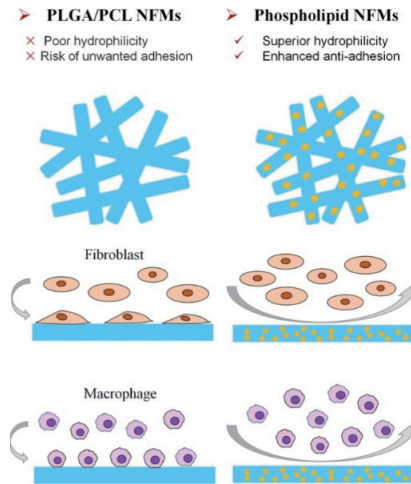


마지막으로, 나노섬유는 유착방지막으로도 활용된다. 수술 후 장기와 조직 간 유착을 방지하기 위해 신체 내 물리적 장벽을 형성하며, 생체 적합성으로 인해 안정적이고 안전하게 사용될 수 있다. 나노섬유는 유연성과 안정성을 지니고 있어 다양한 수술 부위에 적용이 가능하며, 체내에서 안전하게 분해되어 조직 손상을 최소화하고 회복을 돕는 특성 때문에 유착방지막으로서 높은 잠재력을 가지고 있다.

그림 13

기능화된 나노섬유를 활용한
유착방지용 소재의 개발

출처: Colloids and surfaces B



이처럼 나노섬유는 의료, 환경, 에너지, 전자 분야에 걸쳐 폭넓게 응용될 수 있으며, 각 산업에 필요한 물성을 맞춤형으로 조절할 수 있는 유연성 덕분에 향후 활용도가 더욱 높아질 것으로 기대된다.

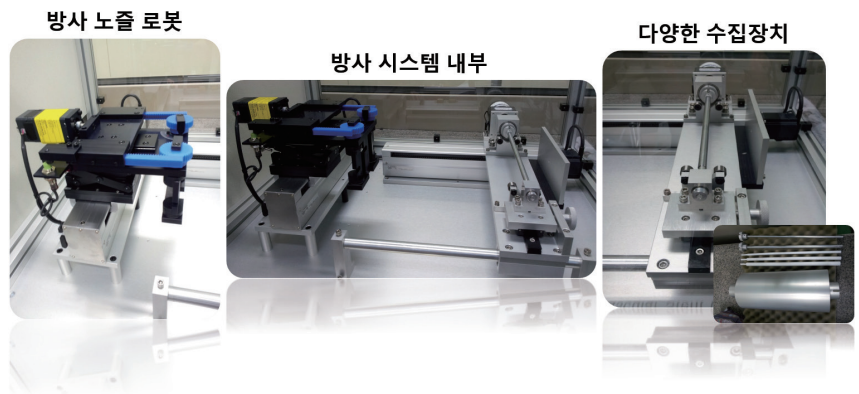
기술의 등장 배경

나노섬유의 등장은 나노기술과 재료과학의 발전에서 비롯되었다. 20세기 후반에 접어들면서 과학계는 재료의 미세 구조가 거시적 물성을 변화시키는 방식에 대해 깊이 이해하게 되었고, 이로 인해 기존 소재의 한계를 넘어서는 새로운 기능성 소재의 개발에 관심이 커졌다. 특히 나노미터 수준의 크기에서 나타나는 독특한 물리·화학적 특성은 고강도, 경량화, 투과성 향상, 흡착성 증대 등 첨단산업 분야에서 요구되는 특수한 기능에 대한 적용 가능성을 제시했다. 이러한 배경에서 나노섬유가 고성능 소재로 주목받게 되었다.

그림 14

나노섬유 제조를 위한 전기방사 장치의 구성

출처: 전북대학교

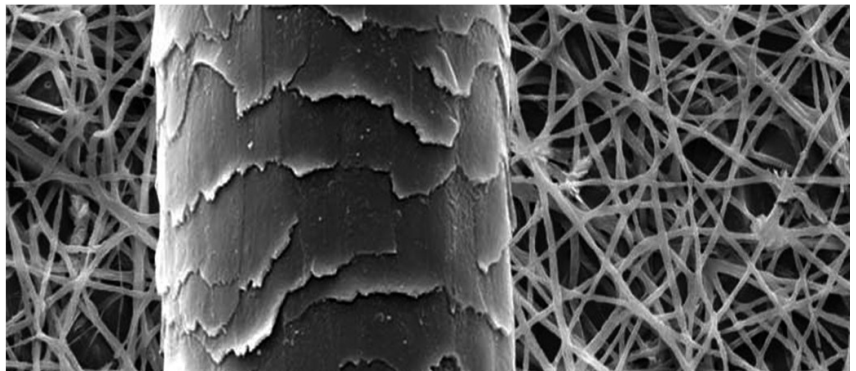


초기 나노섬유 연구는 고분자화학과 방사공학의 발전과 밀접한 관계가 있으며, 직경이 큰 기존 섬유들이 제공하는 단순한 물리적 특성을 넘어서는 다양한 기능을 구현할 수 있는 방법으로 나노섬유가 부상했다. 나노섬유는 직경이 작아질수록 표면적이 기하급수적으로 증가하여 반응성이나 흡착성이 크게 향상된다. 특히 높은 비표면적과 미세기공 구조를 통해 고성능 필터, 의료용 드레싱, 배터리 전극 소재 등에서 기존 소재와 차별화된 응용이 가능해졌다.

그림 15

인모와 나노섬유의 형태학적 차이

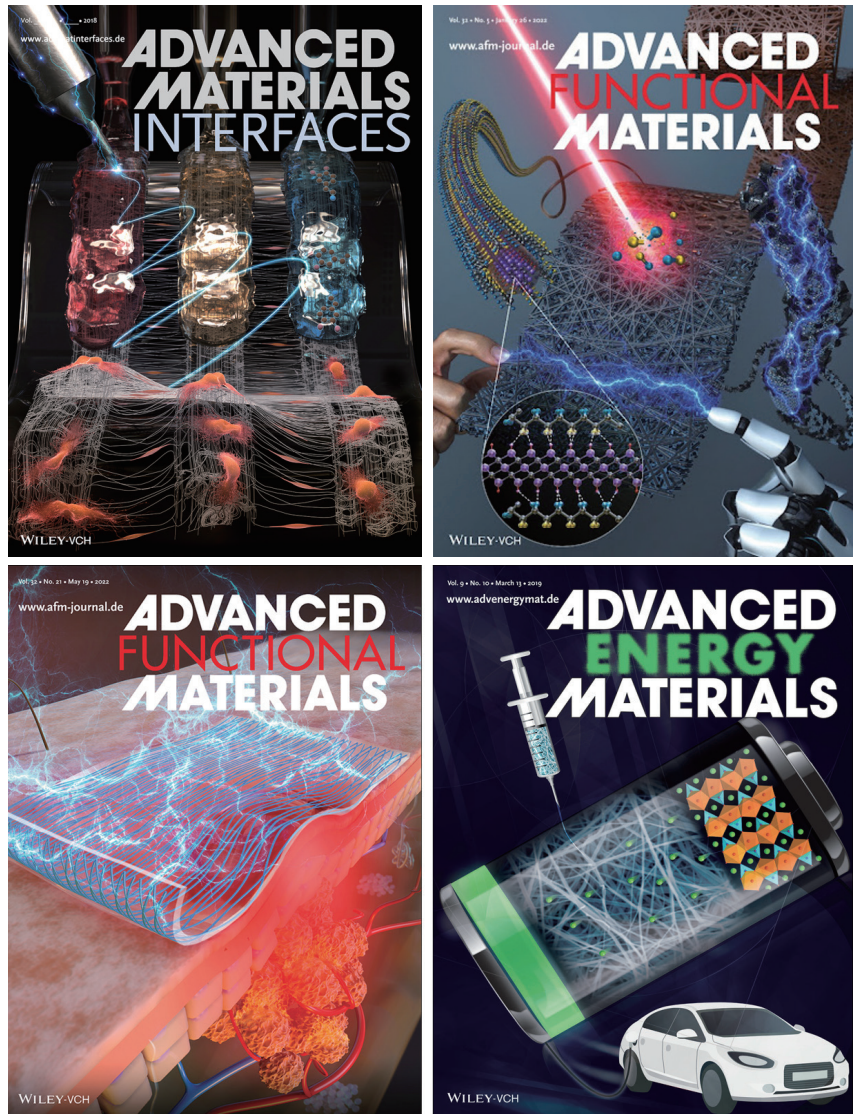
출처: Espin nanotech



또한 산업 전반에서 고성능 첨단 소재에 대한 수요가 증가하면서 나노섬유는 더욱 중요한 소재로 자리 잡았다. 예를 들어, 환경 오염 문제로 인해 고성능 필터 소재 수요가 증가하고, 전자 및 에너지산업에서는 경량화·고성능화·소형화 요구가 커짐에 따라 이를 충족할 수 있는 이상적인 소재로 나노섬유가 주목을 받았다. 특히 의료 분야에서는 생체 적합성, 높은 흡착성, 투과성, 유연성 등의 특성을 갖춘 나노섬유가 조직공학 및 재생의학 등 다양한 응용 가능성을 보여주면서 그 중요성이 확대되었다.

그림 16
나노섬유를 활용한 다양한 공학적
응용에 대한 우수 연구 결과

출처: Wiley



결과적으로 나노섬유는 과학기술의 발전과 산업적 요구가 결합되어 등장한 소재로, 다양한 산업에 적용할 수 있는 폭넓은 가능성을 제시했으며, 현대 기술 발전의 중요한 구성 요소로 자리 잡게 되었다.

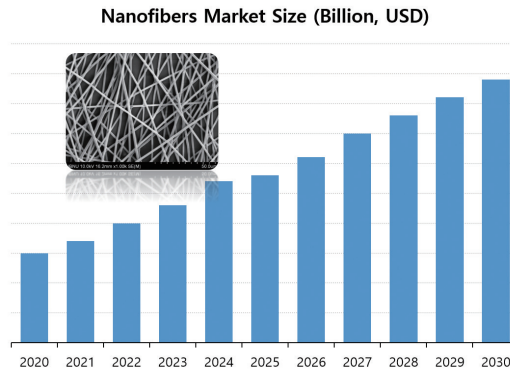
2. 국내외 시장 동향

Grand View Research에 따르면, 세계 나노섬유 시장 규모는 2023년 약 22억 8천만 달러로 평가되었으며, 2024년부터 2030년까지 연평균성장률(CAGR) 8.8%로 지속적인 성장이 예상된다. 특히 의료, 여과, 전자 분야에서 나노섬유의 성능이 기존 소재를 훨씬 뛰어넘어 해당 분야의 수요 증가를 견인하고 있으며, 각 산업에서도 나노섬유의 우수한 특성을 기반으로 성장을 도모하고 있다.

그림 17

인모와 나노섬유의 형태학적 차이

출처: Grand view research

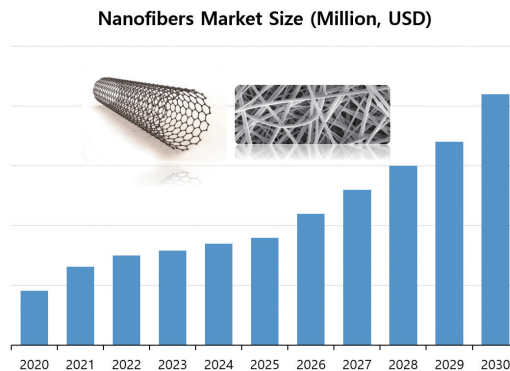


아시아-태평양 지역은 글로벌 나노기술 시장에서 가장 빠르게 성장하는 시장으로, Grand View Research에 따르면 2023년부터 2032년까지 이 지역의 연평균성장률은 약 40%에 이를 것으로 전망된다. 이는 의료, 전자, 환경 등 고성능 나노소재 수요가 급증하면서 산업 가치가 높아지고 있음을 의미한다. 특히 아시아 지역은 고성능 필터, 첨단 의료기기 및 전자기기 부품 분야에서 나노섬유가 폭넓게 사용되고 있으며, 지속적인 연구 개발을 통해 기술 경쟁력을 강화하고 있다.

그림 18

아시아-태평양 지역 나노기술 시장 동향

출처: Grand view research



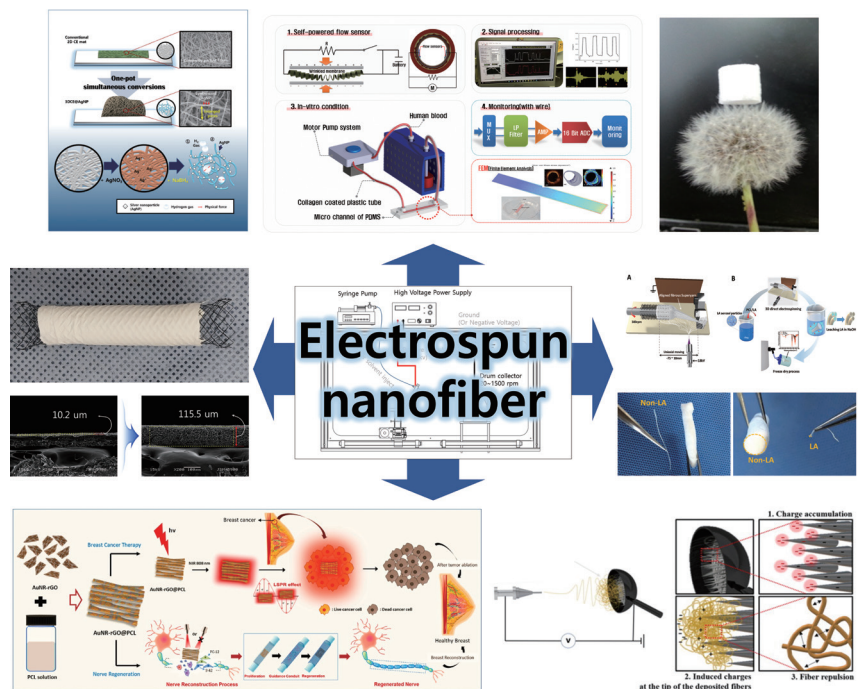
이러한 성장세는 전 세계적으로 나노섬유를 핵심 소재로 하는 산업의 중요성을 반영하며, 나노섬유 기술의 발전과 함께 향후 꾸준히 증가할 것으로 기대된다.

전 세계적으로 나노섬유의 개발과 응용에 대한 중요성이 점차 증가하고 있으며, 의료, 에너지 저장, 환경보호 같은 다양한 분야로 적용 시도가 확산되고 있다. 특히 미국과 유럽에서는 나노섬유의 안전성과 효율성을 높이기 위한 연구가 활발히 진행 중이다. 또 나노섬유 기반의 배터리 전극 소재, 정수 필터 개발, 생체 친화적 나노섬유 연구에 집중적 투자가 이루어지고 있으며, 다양한 연구기관과 기업들이 나노섬유 기술을 활용한 응용성을 높이기 위해 협력하고 있다.

아시아 지역에서는 한국, 일본, 중국을 중심으로 나노섬유를 전자, 에너지, 바이오 분야에 응용하려는 다양한 연구가 진행 중이다. 한국의 경우 나노섬유를 필터, 의료용 지지체, 전자 소자에 활용하기 위한 정밀 공정 및 대량 생산 기술 개발에 박차를 가하고 있다. 많은 연구기관과 기업이 전기방사 기술을 이용해 고성능 필터와 의료용 조직 재생 지지체 같은 응용 제품을 개발하고 있으며, 대학 및 정부 출연 연구소에서는 환경 및 바이오 분야의 응용성 향상에 집중하고 있다. 정부와의 긴밀한 연계를 통해 상용화가 촉진되고 있으며, 향후 나노섬유 기술이 산업 전반에 걸쳐 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

그림 19
나노섬유를 활용한 바이오 분야
응용 연구

출처: 전북대학교



전기방사 장치 기술 동향

• 전기방사 장치

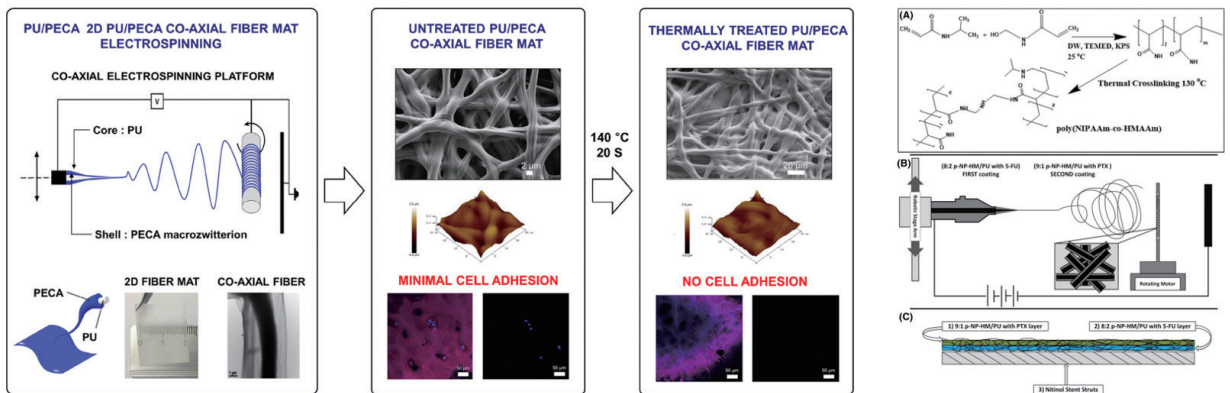
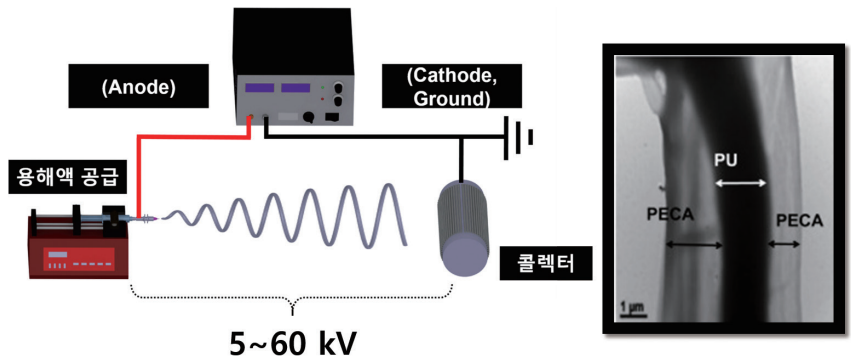
최근 전기방사 장치는 다양한 산업 분야의 요구를 반영하여 빠르게 기술적 발전을 이루고 있다. 나노섬유 생산을 위한 전기방사 기술은 고성능과 생산 효율성을 목표로 최적화되고 있으며, 특히 코어-셸 전기방사와 에멀션 전기방사 등의 응용 기술이 주목받고 있다. 이들 기술은 나노섬유의 구조를 정밀하게 제어할 수 있어서 배터리 분리막이나 약물 전달 시스템과 같은 고부가가치 분야에 적용되면서 기존 기술의 한계를 극복하고 새로운 기능을 구현하려는 연구가 활발히 이루어지고 있다.

예를 들어, 최근에 개발된 원통형 고속 전기방사 장치는 기존 전기방사 장치와 달리 나노섬유의 생산 속도를 크게 향상시키면서 동시에 다양한 기능성 소재의 코팅을 가능케 하고 있다. 특히 혈관 협착 치료에 사용되는 스텐트 표면에 고분자 나노섬유를 코팅하는 방식이 연구되고 있다. 나노섬유로 코팅된 스텐트는 바이오필름 형성을 억제하여 스텐트 내강을 깨끗하게 유지하며, 나노섬유 내에 약물을 로딩하여 환부에 직접적인 약물 전달 기능을 제공할 수 있다. 이러한 나노섬유 코팅은 기존 스텐트가 가진 한계를 극복하고 기능성 스텐트의 성능을 크게 향상시킴으로써 의료기기 분야에 응용 가능성을 넓히고 있다.

그림 20

전기방사 응용(코어-셸 구조)

출처: 전북대학교



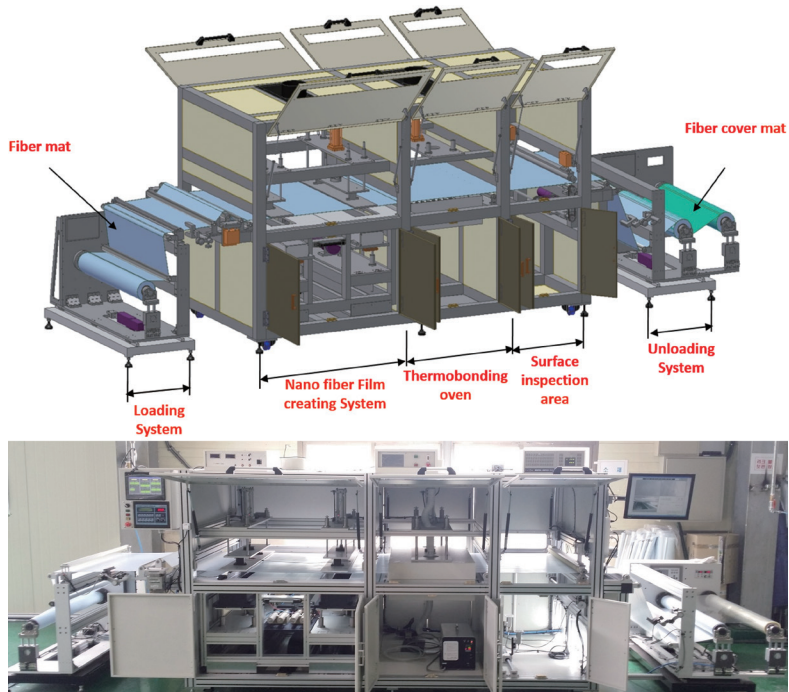
이처럼 전기방사 기술의 발전은 나노섬유가 환경보호, 에너지 저장, 바이오 의료 등 다양한 분야에서 새로운 고부가가치 솔루션을 제공할 수 있는 기반을 마련하고 있으며, 향후 발전 방향에 따라 산업 전반에 걸친 혁신이 기대된다.

▪ 양산형 및 기타 전기방사 장치

나노섬유의 산업 내 응용 분야가 확대되면서 생산성 향상이 중요하게 요구되면서 이를 충족하기 위해 다양한 양산형 전기방사 장치가 개발되고 있다. 초기 전기방사 장치는 비교적 낮은 생산 속도로 인해 대량 생산에 한계가 있었지만, 멀티니들(Multi-needle), 니들리스(Needleless), 원심 전기방사 등 양산형 기술의 도입으로 나노섬유 생산 효율이 크게 개선되었다. 예를 들어, 니들리스와 멀티니들 방식은 다수의 전기방사 제트를 동시에 활용해 시간당 최대 450g의 나노섬유를 생산할 수 있으며, 제약과 의료 분야 고부가가치 제품 생산에 적합한 것으로 평가되고 있다.

그림 21
양산형 전기방사 장치

출처: 전북대학교

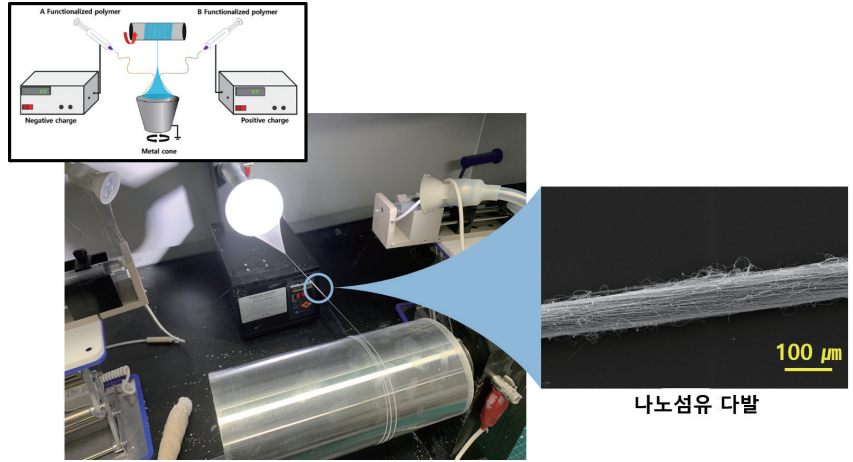


또한 양산형 전기방사 장치 외에도 전기방사 기술을 기반으로 한 하이브리드 기술이 개발되고 있다. 하이브리드 전기방사는 나노섬유의 기공 크기와 표면적을 정밀하게 조절하거나 다양한 형태로 변형된 나노섬유를 생성할 수 있어 고품질 나노섬유 생산에 유리하다. 이는 다양한 특수 기능을 가진 나노섬유의 생산 가능성을 열어줄 뿐 아니라 필터링 효율이 높은 필터나 특정 환경에서의 기능성 소재 개발에 활용될 수 있다.

그림 22

전기방사 응용(양극 전기방사)

출처: 전북대학교

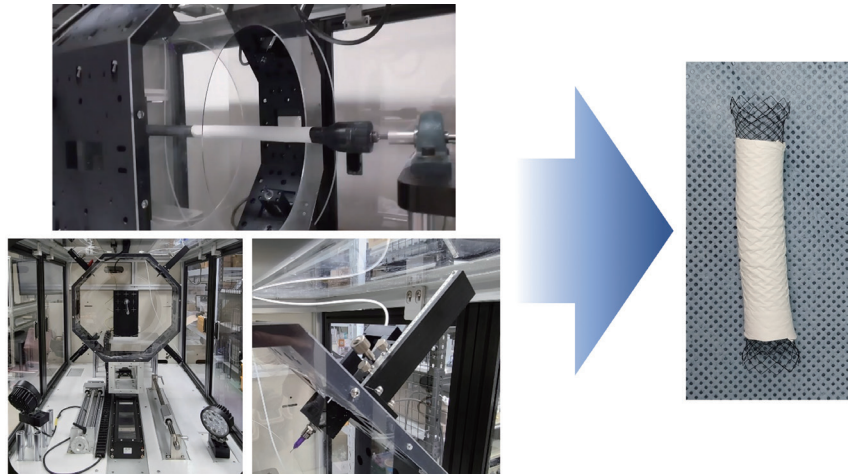


최근 개발된 원통형 고속 전기방사 장치의 경우 기존 전기방사 장치와 달리 나노섬유의 생산 속도를 크게 향상시킴과 동시에 다양한 기능성 소재 코팅을 가능하게 한다. 특히 혈관 협착 치료에 사용되는 스텐트의 표면에 고분자 나노섬유를 코팅하는 방식이 연구되고 있다. 나노섬유로 코팅된 스텐트는 바이오필름 형성을 억제하여 스텐트 내강을 깨끗하게 유지하며, 나노섬유 내에 약물을 로딩하여 환부에 직접적인 약물 전달 기능을 제공할 수 있다. 이러한 나노섬유 코팅은 기존 스텐트가 가진 한계를 극복하고, 기능성 스텐트의 성능을 크게 향상시킬 수 있어 의료기기 분야에서의 응용 가능성을 넓히고 있다.

그림 23

전기방사 응용 스텐트 코팅 (원통형 고속 전기방사)

출처: 전북대학교



이처럼 나노섬유의 대량 생산을 위한 양산형 전기방사 장치의 발전은 의료, 환경 보호, 고성능 필터 등 여러 산업 분야에서 나노섬유의 안정적 공급을 가능하게 하여 산업 전반에 걸쳐 중요한 역할을 할 것으로 전망된다.

4. 시사점

나노섬유는 그 고유한 특성 때문에 다양한 고부가가치 산업에서 혁신적 응용 가능성을 지닌 소재로 주목받고 있다. 특히 나노섬유는 높은 비표면적, 우수한 투과성, 흡착성, 고강도 등 물리적 특성을 통해 기존 소재가 제공하지 못하는 고성능 기능을 실현할 수 있으며, 필터링, 의료, 전자기기, 에너지 저장 등 첨단산업에서 필수적인 소재로 자리 잡아가고 있다. 이러한 특성은 고부가가치 제품에 대한 산업적 응용 가능성을 크게 확장시키고 있으며, 나노섬유를 활용한 제품들이 산업 전반에서 경쟁력과 경제적 부가가치를 높일 수 있는 잠재력을 내포하고 있다.

이런 배경 가운데 정부와 민간의 지속적인 연구 개발 투자는 더욱 중요해지고 있다. 정부의 정책적 지원은 나노섬유 기술의 상용화를 가속화할 뿐 아니라 친환경적 대량 생산 및 생체 적합성 향상 같은 기술적 과제를 해결하는 데 중요한 기반이 된다. 민간 기업과 연구소의 다양한 연구는 나노섬유의 응용성을 더욱 확대해 고부가가치 제품 개발을 촉진시키며, 이런 노력이 지속적으로 융합될 때 미래산업의 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 보인다.

나노섬유는 기존 소재의 한계를 극복하며 고성능과 친환경성을 동시에 갖춘 차세대 산업 소재로 지속적인 발전을 거듭해 왔으며, 여전히 무궁무진한 성장 가능성을 보유하고 있다. 높은 잠재력을 지닌 나노섬유 연구가 꾸준히 이루어져 국가와 기업의 기술적 경쟁력을 높이는 핵심 자산이자 지속 가능한 산업 전환의 전략적 자원으로 자리 잡길 기대한다.

출처 및 참고자료

1. 서갑양, 『나노기술의 이해』, 서울대학교출판문화원, 2011.
2. 김기범 외, 『나노재료』, 범한서적, 2012.
3. 황선일, 「나노섬유 기술개발의 현황과 금후 전망」, ReSEAT, 한국과학기술정보연구원, 2012.06.
4. A. Nadaf, et. al., “Recent update on electrospinning and electrospun nanofibers: current trends and their applications”, RSC Advances 12, Issue 37, 2022.08. 23808–23828.
5. A. Garkal, et. al., “Electrospinning nanofiber technology: a multifaceted paradigm in biomedical applications”, New Journal of Chemistry 45, Issue 46, 2021.11. 21508–21533.
6. J. Song, M. Kim, H. Lee, “Recent Advances on Nanofiber Fabrications: Unconventional State-of-the-Art Spinning Techniques”, Polymers 12, Issue 6, 2020.05. 10.3390/polym12061386.
7. Y. Mao, et. al., “Facile fabrication of phospholipid-functionalized nanofiber-based barriers with enhanced anti-adhesion efficiency”, Colloids and Surfaces B: Biointerfaces Vol. 203, 111728, 2021.07.
8. R. Jaswal, et. al., “Nanographene enfolded AuNPs sophisticatedly synchronized polycaprolactone based electrospun nanofibre scaffold for peripheral nerve regeneration”, Materials Science and Engineering: C Vol. 116, 111213, 2020.11.
9. S.W. Ko, et. al., “Composite demineralized bone matrix nanofiber scaffolds with hierarchical interconnected networks via eruptive inorganic catalytic decomposition for osteoporotic bone regeneration”, Journal of Materials Science & Technology Vol. 199, 2024.11. pp. 246–259.
10. 1D. Shu, et. al., “One-step electrospinning cellulose nanofibers with superhydrophilicity and superoleophobicity underwater for high-efficiency oil-water separation”, International Journal of Biological Macromolecules Vol. 162, 2020.11. pp. 1536-1545.
11. Wiley 홈페이지; onlinelibrary.wiley.com
12. E-spin NanoTech 홈페이지; espinnanotech.com/nanofibers
13. Rebosis 홈페이지; www.rebosis.co.za
14. Grand View Research(grandviewresearch.com)



피치계 탄소소재 기술 동향

최경호 탄소나노PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실

전영표 책임연구원 | 한국화학연구원(KRICT) 화학공정본부

요약

- (현황) 피치계 탄소소재는 고온 내열성, 높은 강도, 경량성, 전도성 등 우수한 물리적 특성으로 인해 전 세계 탄소소재 기술 선진국에서 항공·우주, 자동차, 전자 및 에너지 저장 분야에서 주목받고 있다.
- (이슈) 한국은 아직은 피치계 탄소소재 기술력이 충분히 확보되지 못한 상태이며, 특히 고탄성 피치계 탄소섬유는 일본·미국 등의 소재 생산국에 비해 기술 기반이 극히 낮아 단기적인 상업 생산은 기대할 수 없는 상황이다.
- (방향) 우주·항공·국방 등 극한환경 소재가 요구되는 산업 분야에서 그 중요성이 증가하고 있는 피치계 탄소소재 글로벌 경쟁력을 강화하기 위해서는 정부의 정책적 중장기 기술 개발 지원을 바탕으로 아래와 같은 전략 수립 및 목표 달성이 요구된다.
 - 원천 소재기술 확보: 고성능 피치계 탄소소재 개발을 위한 고순도·고품질 피치 프리커서의 전처리, 분자량 분포 제어, 고온 열처리 공정기술 등을 확보하고 스케일업 실증을 통한 기술 고도화가 먼저 요구된다.
 - 친환경 기술 확대: 기존 활용하던 양질의 석유 및 석탄계 원료 기반 피치 프리커서 및 피치계 탄소소재 제조기술만으로는 탄소중립 기여는 물론이고 급변하는 원료산업 환경에 대응하기 어렵다. 그러므로 바이오산업 부산물, 플라스틱 재활용 부산물 등 저급·친환경 원료를 이용하는 지속 가능한 피치 프리커서와 탄소소재 제조 및 생산기술을 확보하고, 이를 바탕으로 탄소중립 목표에 부합하는 기술 개발이 지속되어야 한다.
 - 적용 분야 확대: 기존 항공·우주·국방 분야 외에도 에너지 분야, 수소 저장, 2차전지 음극재, 전기차 부품 등 차세대 첨단산업에서 적용 분야를 지속적으로 개발하고 확대해 나가야 한다.
 - 정부 지원 및 산업생태계 강화: 아직 피치계 탄소소재 기술 기반이 극히 미약한

국내 기술 수준을 글로벌 Top 수준으로 견인할 수 있도록 정부의 지속적인 연구 개발(R&D) 지원과 기업-학계 간 협력 체계 강화를 통해 국내 기업들이 글로벌 시장에서 경쟁력을 확보할 수 있도록 지원해야 한다.

- (결어) 미래산업의 고부가가치 핵심 소재로서 그 중요성이 증가하고 있는 피치계 탄소소재 분야에서 한국의 피치계 탄소소재 산업의 발전을 위해서는 정부의 전략적인 기술 개발 지원을 통한 원천기술 확보가 선행되어야 한다. 또 민간의 지속적인 투자를 바탕으로 기술 고도화 및 생산 기반 구축이 이어지고 장기적으로 친환경적 원료의 적극 활용과 응용 다변화로 산업 투자가 지속될 때 비로소 한국이 피치계 탄소소재 분야 글로벌 선도국으로 도약할 수 있을 것이다.

1. 개요

피치 프리커서(pitch precursor)

피치는 상온에서 고체로 존재하는 검정 또는 갈색의 물질이다. 또 석유나 석탄과 같은 탄화수소 자원의 부산물로서 고온에서 증류하고 남은 중질 성분이기도 하며, 열가소성 성질이 있어 열을 가하면 녹아 끈적한 액체로 변하게 된다. 이때의 온도를 연화점이라고 하는데, 연화하는 온도는 피치의 구성 성분에 따라 달라지게 된다. 피치의 연화 온도는 50~350°C 이상까지 다양하게 나타나며, 구조적 특성으로 인해 여러 산업 분야에서 중요한 탄소 재료의 원료로 활용되고 있다.

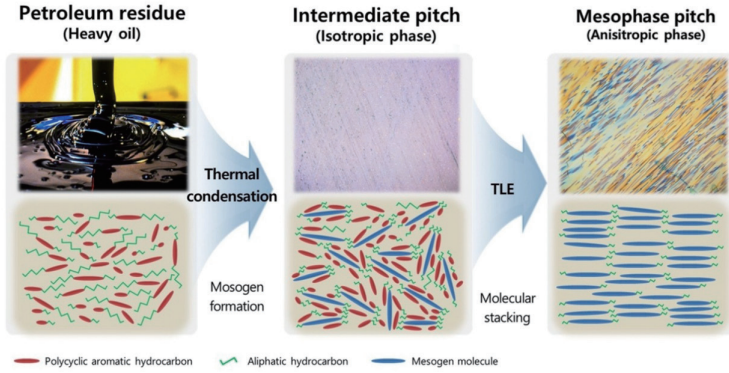
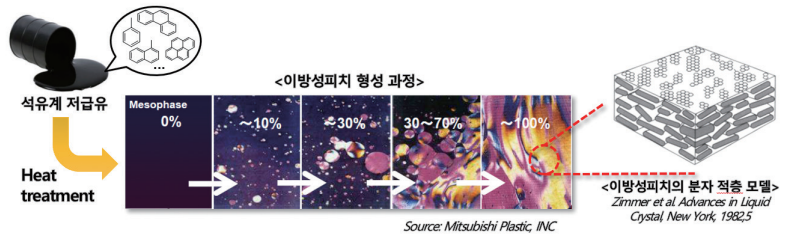
석유계 피치는 석유 정제 과정의 부산물로 생산되며, 상대적으로 낮은 불순물 함량을 가지지만 방향족 화합물의 함량이 낮아 탄화수율이 낮은 편이다. 석탄계 피치는 석탄의 건류 과정에서 발생하는 콜타르로부터 제조되며, 방향족 화합물의 함량이 높아 탄화수율이 높다. 다만 금속 산화물, 황, 질소 등 불순물 함량이 높아 사용에 제한이 있을 수 있다.

일반적인 피치가 특수한 열처리 과정을 거치면 단계적으로 먼저 분자층들이 쌓이는 적층(stack) 현상이 일어난다. 그 결과로 방향성을 지닌 이방성 소구체(MCMB; Meso Carbon Micro Beads)가 형성되고, 형성된 소구체들은 자체적으로 성장하거나 다른 소구체와 병합되어 결국에는 전체 이방성을 나타내는 이방성 피치(anisotropic pitch), 메조페이즈 피치(mesophase pitch) 또는 액정 피치(Liquid crystalline pitch)로 불리게 된다. 피치는 액정성 특성을 가지며, 고성능 탄소섬유 및 고밀도 흑연 제조에 사용된다.

그림 1

열처리 조건에 따른 석유계 피치의
분자 구조 변화

출처: Journal of Industrial and
Engineering Chemistry, 2021



피치는 다양한 산업 분야에서 응용되고 있는데, 특히 피치 기반 탄소섬유, 인조흑연, 활성탄소(활성탄소섬유) 및 고성능 전극 재료 등을 제조하는 데 중요한 역할을 한다.

- 대표적으로 이방성 피치는 고성능 피치계 탄소섬유의 원료로 사용된다.
- 고품질 바인더 피치는 인조흑연 블록, 인조흑연 전극봉, 인조흑연 음극재, 전극 제조 등에 사용되고 있다.
- 일반적인 바인더 피치는 우리가 잘 알고 있는 아스팔트 도로 건설, 지붕 공사 등 다양한 분야에서 재료 간 결합을 강화하는 데 활용된다.
- 또한 피치는 다양한 흡착 및 정화 공정에 사용되는 고성능 활성탄 제조 분야나 초고흡착능의 활성탄소섬유의 제조 공정 등 다양하게 사용된다.

피치계 탄소소재

- (정의) 피치계 탄소소재는 석유계, 석탄계 또는 합성 피치를 열처리하여 제조되는 다양한 형태의 탄소소재로 높은 탄소 함량과 내구성, 내열성을 가지고 있다. 또 열과 전기의 전도성이 뛰어나 고성능 소재로 활용된다. 일반적으로 피치계 탄소섬유와 같은 고탄성 섬유 형태와 우수한 흡착 성능 등을 바탕으로 특수 산업 용도에 사용되는 활성탄소, 그리고 인조흑연(전극봉, 블록, 음극재)까지 다양한 형태로 첨단산업에서 중요한 역할을 하고 있다.

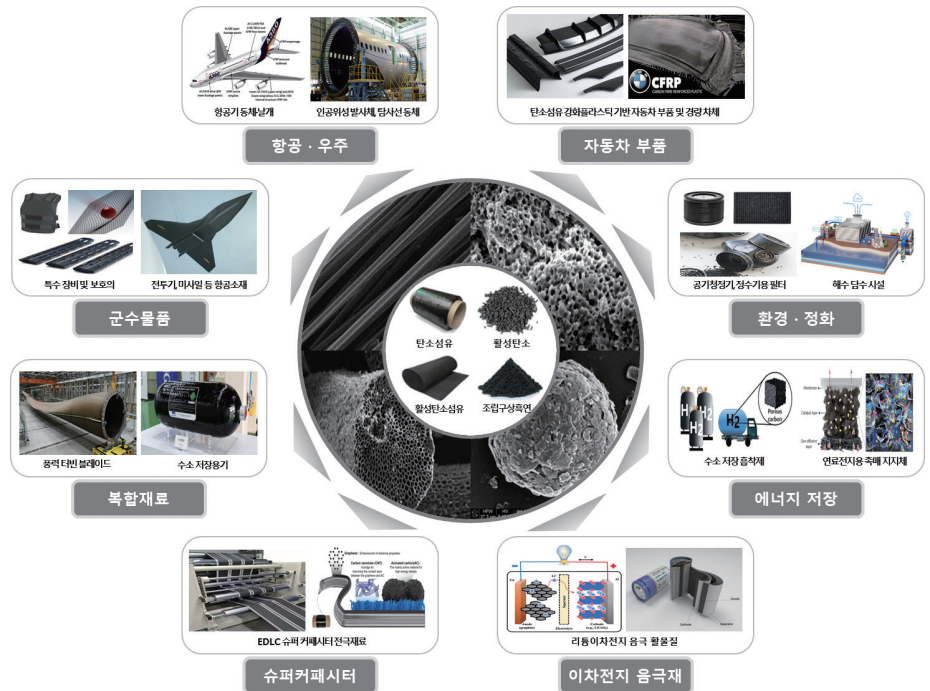
- (특성) 피치계 탄소소재는 높은 탄소 함량과 구조적 특징을 바탕으로 높은 열적·화학적 안정성을 가지고 있다. 또한 섬유, 블록, 필름 등 다양한 형태로 제조 가능한 우수한 가공성뿐만 아니라 열처리를 통해 극한으로 발달될 수 있는 높은 전기·열전도성을 지니고 있다.

※ 최근 피치계 탄소소재의 원료가 되는 이방성 피치 기술의 비약적 발전으로 인해 제조 수율이 높은 이방성 피치가 개발되고 있다. 이에 따라 석유·석탄 부산물 활용에 따른 원료 비용이 저렴하다는 장점에 더하여 고성능 피치계 탄소소재의 가격 경쟁력도 확보되는 상황이다.

- (응용) 피치계 탄소섬유는 항공·우주, 군수물자, 자동차 경량화 부품 등에 적용되고, 활성탄소는 환경 정화, 에너지 저장, 슈퍼커패시터 등에 적용되고 있다. 또한 흑연 형태로 이차전지 음극재 등 에너지 분야에 적용되며, 복합재료 형태로 고내열 및 고내부식 등의 특성을 바탕으로 극한환경 응용분야에 그 적용을 확대하고 있다.

- (전망) 피치계 탄소소재는 기존 소재 대비 높은 성능과 가공성을 제공하여 산업적으로 매우 중요한 위치를 차지하고 있다. 다만 기술 기반이 취약한 한국으로서는 전략적 원천기술 확보 및 생산 기반 구축 지원을 통해 향후 에너지, 환경 및 첨단 소재 분야의 수요 증가에 대응할 수 있는 기술 혁신이 더욱 요구된다.

그림 2
피치계 탄소소재



(1) 피치계 탄소섬유

- (개요) 피치계 탄소섬유는 주로 고품질의 이방성 피치를 원료로 하여 섬유 방사, 안정화, 탄화, 표면 처리 등 일련의 공정을 통해 제조되는 고성능 탄소섬유로 높은 전기·열전도성을 제공한다. 특히 높은 탄성률을 갖는 고탄성률 피치계 탄소섬유는 우주·항공과 군사적 용도에 주로 사용되기 때문에 기술 보유국에서는 전략물자로 따로 분류하여 기술 교류 및 수출입을 통제하고 있다.

그림 3

피치계 탄소섬유의 열처리 거동 변화

출처: Fiber Reinforced Composites, 2021

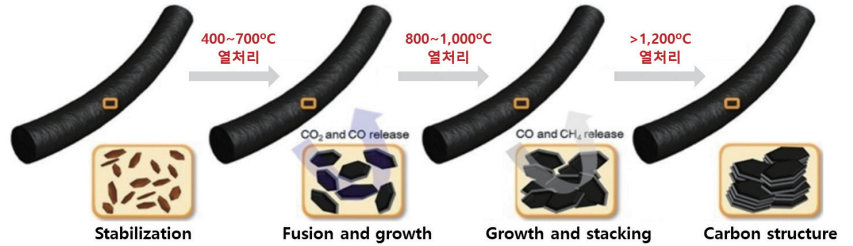
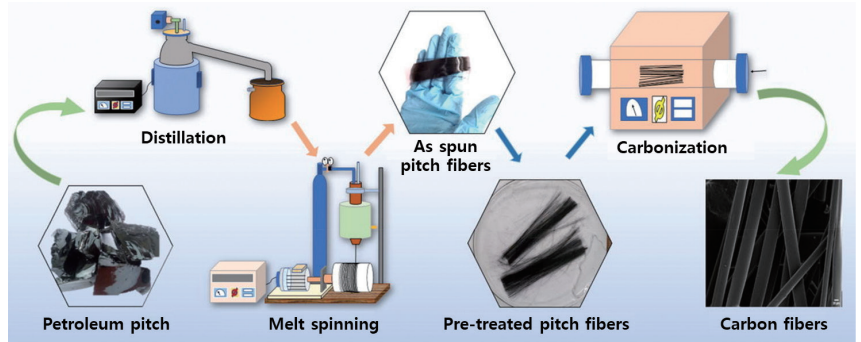
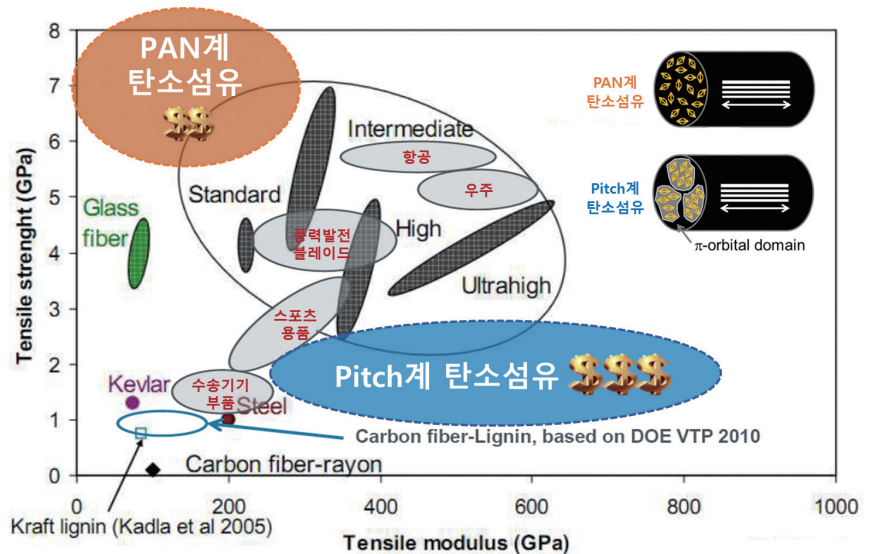


그림 4

피치계 탄소섬유의 물성

출처: Joint Institute for Strategic Energy Analysis, 2016



- (공정) 석유, 석탄, 바이오 원료 등을 이용하여 고배향성 이방성 피치 원료를 만든 후 이를 용융 방사하여 섬유상으로 제조하고, 안정화 과정을 거쳐 열경화성 섬유로 변환하고 나서 탄화 및 흑연화 등의 고온 열처리를 통해 탄소섬유로 제조된다.
 - 이방성피치: 원료 피치에서 불순물을 제거하고 이방성을 형성시켜 고순도 및 고배향성 피치 제조
 - 방사: 피치를 용융 상태로 노즐의 방사홀을 통해 섬유상으로 제조
 - 안정화: 열가소성 상태인 피치 섬유를 가교 구조를 갖는 열경화성 구조로 안정화
 - 열처리: 1,000~1,800°C의 열처리로 탄소 구조를 형성하고, 특정 물성의 발현을 위해 필요할 경우 2,400~3,000°C의 고온 열처리를 통해 결정성이 향상된 흑연화 구조를 발현시킨다.

- (특성) 피치계 탄소섬유는 고탄성률(~1,000GPa)과 높은 열전도도(~1,100W/mK)를 특징으로 하며, 우수한 물성으로 인해 다양한 분야에서 활용된다.
 - 인장강도: 1.3~3.8GPa(PAN계 탄소섬유는 2.3~7.0GPa)
 - 인장탄성율: 300~1,000GPa(PAN계 탄소섬유는 150~600GPa)
 - 열전도성: 120~1,100W/mK(PAN계 탄소섬유는 평균 20W/mK 내외, 구리는 400W/m·K)
 - 내열 및 내화학성: 극한 환경에서도 안정성이 높음
 - 경제성: PAN계 탄소섬유 대비 원료 및 제조 공정에서 저렴한 제조 비용

- (응용) 주요 응용 분야로는 우주·항공, 군수 분야, 산업용 기계의 정밀 부품, 전자기기의 열관리 시스템, 에너지 저장 장치의 전극 재료, 그 외 환경 정화용 활성탄소섬유 등이 있다.

- (전망) 피치계 탄소섬유는 PAN계 탄소섬유 대비 강도가 낮다는 단점이 있지만, 열·전기전도성이 월등하게 우수하여 특정 응용 분야에서 높은 경쟁력을 가지고 있다. 특히 고탄성과 고열전도성이 요구되는 분야에서 중요한 역할을 하고 있으며, 지속적인 연구 개발을 통해 그 응용 범위가 확대되고 있다. 나아가 국내 생산 기술을 확보하게 된다면 다양한 산업 분야에 걸쳐 광범위한 적용이 가능하므로 향후 더욱 다양한 분야에서의 활용이 기대된다.

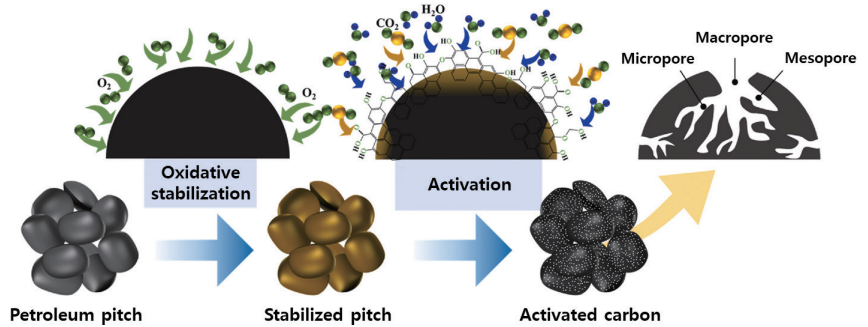
(2) 피치계 활성탄소

- (개요) 피치계 활성탄소는 석유계 피치나 석탄계 피치를 원료로 하여 제조된 활성탄소로, 높은 비표면적과 기공 구조로 인해 다양한 분야에서 사용된다.

그림 5

피치계 활성탄소 제조 공정 모식도

출처: Materials Chemistry and Physics, 2024



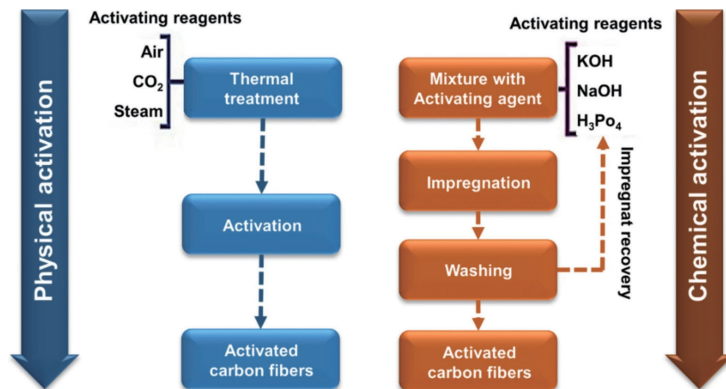
- (공정) 피치계 활성탄소는 등방성 피치 프리커서의 탄화·활성화 공정을 통해 생산되며, 일반적인 활성탄소 대비 높은 비표면적(1,000~3,000m²/g)과 다공성 구조를 가진다.
 - 탄화(Carbonization): 원료 피치를 열처리하여 수소, 산소, 질소 등 불순물을 제거하고 고탄소 함량의 물질로 전환한다.
 - 활성화(Activation): 탄화된 피치에 물리·화학적 방법으로 기공 구조를 생성하는데, 물리적 활성화는 주로 수증기나 이산화탄소(CO₂)를 사용하여 고온(700~1,200°C)에서 처리하고 화학적 활성화는 인산(H₃PO₄), 수산화칼륨(KOH) 등 화학 약품을 사용하여 비교적 낮은 온도에서 활성화한다.
- (특성) 피치계 활성탄소는 기공 구조가 발달하여 넓은 비표면적을 가지는데, 기공 분포는 미세기공(<2nm), 중공(2~50nm), 대공(>50nm)으로 구성된다. 원료로 피치를 사용하기 때문에 일반적으로 간과하기 쉬우나 주요한 물성 지표 중 하나인 기계적 강도 면에서 타 원료 대비 우수한 특성을 나타낸다.
 - 장점: 전반적으로 열적·화학적 안정성이 우수하며, 높은 비표면적의 기공 구조로 흡착효율이 뛰어나고 특정 용도에 적합하도록 맞춤형 설계와 제작이 가능하다.
 - 단점: 탄화, 활성화 등 제조 과정에서 높은 에너지를 소모하기 때문에 제조 비용이 상승한다.
- (응용) 피치계 활성탄소는 높은 전도성과 비표면적으로 인해 전기화학적 성능을 향상시키는 용도로 리튬이온배터리(LIB)나 슈퍼커패시터(Super capacitor)의 전극 소재로 사용되고 있다. 공기와 수질 오염물 제거 및 폐수 처리, 화학 반응의 촉매 지지체, 의약 및 식품산업 등 다양한 분야에서 활용되고 있다.

- (전망) 향후 피치계 활성탄소 기술은 나노 구조 제어, 표면 개질, 복합재료 개발, 재생 및 재활용 기술 등의 방향으로 발전할 것으로 예상된다. 이와 같은 기술 발전을 통해 피치계 활성탄소는 환경, 에너지, 의료 등 다양한 분야에서 더욱 중요한 역할을 할 것으로 기대되며, 지속적인 연구 개발을 통해 그 응용 범위가 더욱 확대될 전망이다.

(3) 피치계 활성탄소섬유

- (개요) 피치계 활성탄소섬유는 피치 프리커서를 원료로 하여 섬유상으로 제조된 활성탄소를 소재로 한다. 섬유상 구조를 바탕으로 높은 비표면적과 균일한 기공 구조를 가지고 있어 일반 활성탄소 대비 100배 이상 빠른 고흡착 성능으로 다양한 분야에서 적용되고 있다.
- (공정) 피치계 활성탄소섬유는 피치를 섬유상으로 제조하고 안정화시킨 후 원료의 탄화·활성화 공정을 통해 생산되며, 일반적으로 다음과 같은 공정을 거쳐 제조된다.
 - 섬유 방사(Melt-blown): 피치를 용융 상태로 녹여 2~4cm 내외의 짧은 단섬유로 흩뿌려서 부직포 형태로 방사
 - 안정화(Stabilization): 방사된 섬유를 산화·열처리하여 가교결합을 유도하고 열적 안정성을 부여
 - 탄화(Carbonization): 고온에서 열처리하여 섬유를 탄소화 처리
 - 활성화(Activation): 물리적(수증기) 또는 화학적(KOH, H₃PO₄) 활성화 공정을 통해 섬유 표면에 미세기공을 형성

그림 6
물리적 및 화학적 활성화 공정
출처: Carbon Letters, 2024



- (특성) 피치계 활성탄소섬유는 섬유 형태로 인해 높은 유연성과 구조적 설계 자유도를 갖고 있다. 주로 2nm 이하의 미세기공이 발달되어 있고, 1,000~3,000m²/g에 이르는 높은 비표면적을 바탕으로 가스와 작은 분자의 흡착에 우수한 성능을

가지고 있다. 또 분말형 활성탄소에 비해 흡탈착 속도가 100배까지 빠른 장점과 고온·내화학성의 안정성으로 인해 고가 또는 특수 용도에 주로 사용된다.

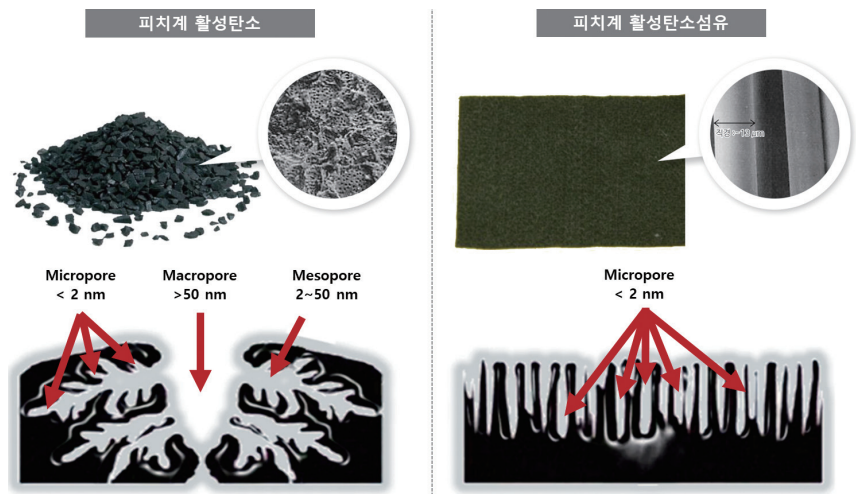
- 장점: 전반적으로 우수한 열적·화학적 안정성을 지니며, 높은 비표면적 기공 구조로 흡착효율이 뛰어나고 특정 용도에 적합하도록 맞춤형 설계와 제작이 가능하다.
- 단점: 제조 과정에서의 높은 에너지 소모로 인해 비용이 비싸다. 특히 고품질의 활성탄소섬유 제조를 위한 화학적 활성화 과정에서 발생하는 슬러지 처리는 난제로 남아 있다.

- (응용) 피치계 활성탄소섬유는 고속 흡착이 요구되는 공기 및 수질의 오염물질 제거 필터와 휘발성 유기화합물(VOCs)의 흡착과 유해가스의 초고속 흡착 등에 활용되고 있다.
- (전망) 피치계 활성탄소섬유는 독특한 섬유 구조와 우수한 물리·화학적 특성 덕분에 다양한 산업에서 중요한 역할을 하고 있다. 친환경 및 에너지 분야에서 잠재적 응용 가능성이 높아 제조 비용 절감과 공정 개선이 이루어진다면 적용이 급격히 확대될 것으로 기대된다.

그림 7

피치계 활성탄소와 활성탄소섬유의 기공 특성 비교

출처: Wakaida Inc.(日)



(4) 인조흑연: 조립구상흑연 음극재

인조흑연 제조 공정 전반에 걸쳐서 피치는 핵심적인 원료로 사용된다. 이 과정은 석유나 석탄의 부산물로부터 피치를 준비하는 것으로 시작하여 코크스의 제조 원료가 되는 소프트 피치를 코킹시키고 바인더 피치와 혼합하여 성형한다. 이어 탄화 열처리 이후 함침 피치를 이용한 함침 및 열처리를 반복한 후 초고온 흑연화를 통해 인조흑연으로 제조된다.

코킹 공정의 원료 피치, 바인더 피치, 함침 피치 그리고 인조흑연 음극재의 경우에는 코팅 피치에 이르기까지 전반적인 인조흑연 제조 공정에 걸쳐 피치가 적용된다. 이 과정에서 사용되는 피치의 품질은 최종 인조흑연의 특성을 결정짓는 중요한 요소가 된다.

인조흑연은 우수한 물성으로 인해 다양한 첨단산업에서 활용되고 있는데, 주요 응용 분야로는 이차전지의 분말형 음극재, 철강 및 제련 산업에서의 인조흑연 전극봉, 반도체 제조용 부품, 원자로의 중성자 감속재, 전자기기의 방열 소재, 우주·항공 분야의 부품 등으로 적용되는 인조흑연 블록 등이 있다.

인조흑연 적용 분야 중 특히 이차전지 음극재로서의 인조흑연은 천연흑연에 비해 수명이 길고 급속충전에 유리한 특성을 가지고 있어 전기차와 스마트폰 등의 배터리 성능 향상에 기여하고 있다. 이에 반해 제조 공정상 단가가 비싸고 무엇보다 수요시장의 급격한 규모 확대에 맞추어 생산 규모 증설이 어려운 단점이 있다.

이러한 인조흑연 음극재의 장단점을 해결할 수 있는 형태의 적용 기술이 조립구상흑연 음극재다. 조립구상흑연 음극재는 천연흑연 가공 과정에서의 공정 부산물을 원료로 주로 사용하고, 피치를 이용하여 이를 조립하고 최종적으로 코팅 피치로 표면처리하여 완성된다. 조립구상흑연 음극재는 원료가 풍부하여 증설이 용이하고 주원료인 천연흑연 미분을 이용한 조립 공정과 표면처리 공정 모두 피치를 이용한다. 그리고 이에 적용된 피치가 인조흑연 구조로 발현되어 천연흑연과 인조흑연의 특징점을 모두 가지면서도 가격 경쟁력을 갖출 수 있는 기술 분야라고 할 수 있다.

※ 인조흑연은 탄소소재 시장의 50%에 가까운 점유율을 가지는 소재이지만, 그 범위가 너무 넓어 피치계 탄소소재에 한하여 다른 이 글에서는 인조흑연 중 차세대 에너지 소재로 부상 중인 조립구상흑연 음극재를 대상으로 소개하고자 한다.

- (개요) 조립구상흑연 음극재는 리튬이온배터리의 음극 소재로 사용되는 고기능성 흑연 재료이며, 천연흑연이나 인조흑연 가공 부산물을 주원료로 하여 조립화 및 구형화 과정을 통해 제조된다. 이 음극재는 리튬이온의 저장 및 방출 능력이 뛰어나 배터리의 성능을 향상시키며, 주로 에너지 밀도와 충·방전 효율을 높이는 데 기여할 수 있다.

그림 8

조립구상흑연 음극재의 제조 공정



- (공정) 주로 천연흑연이나 인조흑연의 공정 부산물을 피치와 혼합 과정을 통해 조립하고, 조립된 흑연을 구형화하여 부피밀도를 높여서 리튬이온 확산을 유도한다. 조립 과정의 특징으로 전해질 침투가 용이하며, 천연흑연과 인조흑연 음극재의 특징을 모두 가질 수 있다. 최종적으로 피치 코팅을 통해 전기화학적 안정성을 높여서 이차전지 음극재로 적용된다.
- (특성) 리튬이온 삽입/탈리 과정에서 낮은 저항과 높은 안정성을 제공하는 등 전기화학적으로 높은 안정성과 구형화된 입자 구조로 인해 리튬 저장에 최적화되어 에너지 밀도가 높다. 또 리튬이온의 확산 경로를 단축하여 빠른 충·방전이 가능하며, 무엇보다 천연흑연 음극재의 가공 부산물을 활용하여 제조 비용이 낮고 대량 생산에 적합한 장점이 있다.
- (응용) 조립구상흑연 음극재의 물성과 등급에 따라 전기자동차 및 하이브리드 전기차용 이차전지의 음극재로 활용될 수 있다. 또 생산된 신재생 에너지의 저장 등에 적용되는 에너지 저장 시스템(Energy Storage System, ESS) 용도로 사용될 수 있고, 스마트폰이나 노트북 등 휴대용 전자기기의 배터리 음극재로도 적용이 가능하다.
- (전망) 천연흑연의 낮은 비용과 인조흑연의 높은 성능을 조화시킨 소재로, 리튬이온배터리 시장에서 주목받고 있다. 무엇보다 대량 생산에 적합한 장점이 있어 향후 전기차와 ESS 수요의 폭발적 증가와 더불어 시장 규모가 꾸준히 확대될 것으로 예상된다.

피치계 탄소소재는 고온 내열성, 높은 강도, 경량성, 전도성 등 우수한 물리적 특성을 바탕으로 항공·우주, 자동차, 건설, 재생에너지, 스포츠 및 레저 등 다양한 산업에서 활용 범위를 넓혀가고 있다. 이에 따라 시장 규모도 꾸준히 확대되고 있다. 이에 따라 앞서 소개한 피치계 탄소소재 4종(탄소섬유, 활성탄소, 활성탄소섬유, 조립구상흑연 음극재)에 대한 생산량과 시장 규모를 살펴보고자 한다. 단, 조립구상흑연 음극재의 경우 아직 정확한 시장 규모 집계가 어렵기에 흑연(천연 및 인조) 기반 음극재에 대한 생산량과 시장 규모로 대체해 제시하였다.

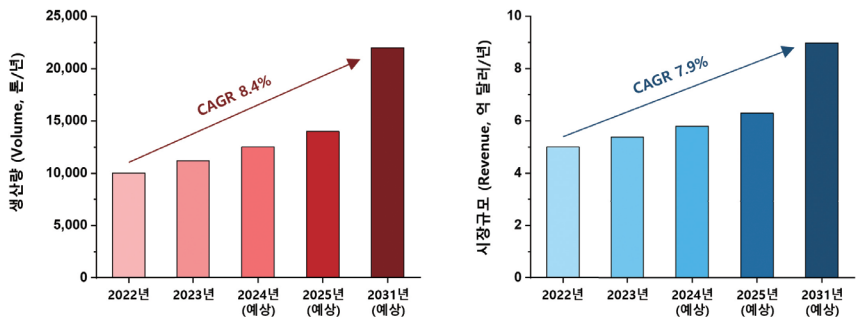
(1) 피치계 탄소섬유

피치계 탄소섬유의 2024년 글로벌 생산량은 약 12,500톤, 시장 규모는 약 5.8억 달러로 예상된다. 우주·항공 분야와 풍력에너지 분야에서 수요가 꾸준히 증가하고 있는데, 연료 효율성과 경량화를 위한 항공기 부품에서의 채택 증가와 아시아-태평양 및 유럽 지역에서 풍력에너지 설치 확대, 그리고 스포츠와 레저산업 및 고성능 자동차 부품에서의 적용 증가가 주요 성장 요인으로 해석된다.

- 시장 전망: 시장 규모는 연평균성장률(CAGR) 약 7.9%씩 증가하여 2031년까지 9.0억 달러를 초과할 것으로 전망된다. 이는 첨단산업 분야에서 지속 가능한 극한 소재에 대한 수요 증가가 주요인으로 해석된다.
- 지역별 시장 동향: 주로 아시아-태평양 지역의 시장 증가율이 두드러진다. 산업화와 강력한 자동차 및 풍력에너지산업 덕분에 중국과 인도가 가장 빠르게 성장하는 시장으로 주목받고 있다. 북미는 항공·우주산업의 수요가 높아 주요 시장으로 자리 잡고 있다. 이와 같은 성장은 제조 공정의 혁신, 비용 절감, 품질 향상, 탄소섬유 재활용에 대한 관심 증가로 뒷받침되고 있다.

그림 9
피치계 탄소섬유의 글로벌 생산량(左)
및 시장 규모(右)

출처: Mordor Intelligence, Future Market Insights Verified Market Research



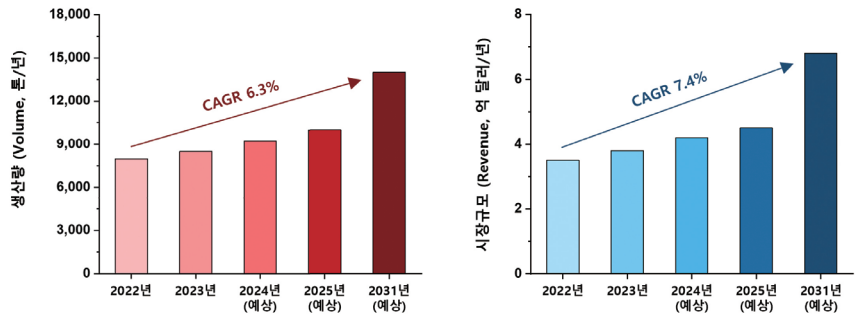
(2) 피치계 활성탄소

피치계 활성탄소는 지속 가능한 에너지의 저장과 환경 규제가 강화되면서 공기 정화, 수처리 및 산업용 용매 회수 등에서 중요성이 커지고 있다. 2024년 글로벌 피치계 활성탄소 생산량은 약 9,200톤이고, 시장 규모는 약 4.2억 달러로 추정된다.

- 시장 전망: 시장은 CAGR 7.4%의 성장세를 바탕으로 2031년에는 6.8억 달러를 초과할 것으로 전망된다. 피치계 활성탄소에 대한 다양한 응용 분야에서의 활용은 시장 성장을 견인하고 있으며, 새로운 응용 분야가 계속해서 개발될 것으로 예상된다.
- 지역별 시장 동향: 중국, 일본, 한국이 주요 생산 및 소비 지역이다. 특히 중국은 생산 시장과 내수 시장 모두에서 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 환경 보호 및 탄소 배출 감축 정책 강화로 유럽과 북미에서도 수요가 빠르게 증가하는 경향을 보인다.

그림 10
피치계 활성탄소의 글로벌 생산량(左)
및 시장 규모(右)

출처: IMARC Group,
Research Nester



(3) 피치계 활성탄소섬유

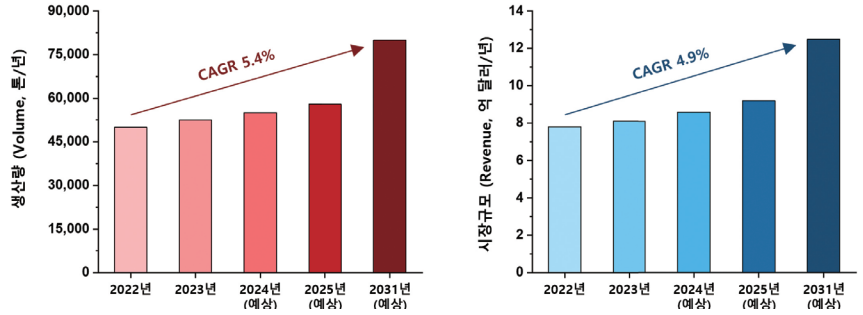
피치계 활성탄소섬유 시장은 연평균 4.9%의 성장세로 가속화되고 있는데, 공기 정화, 수처리, 용매 회수 같은 응용 분야에서의 수요 증가와 필터 기술의 발전이 주요 성장 동력으로 해석된다.

- 시장 전망: 글로벌 피치계 활성탄소섬유 시장은 2022년부터 2031년까지 지속적인 성장이 예측된다. 2024년 추정 시장 규모 약 8.6억 달러에서 2031년에는 약 12.5억 달러에 이를 것으로 전망된다.
- 지역별 시장 동향: 피치계 활성탄소의 주요 시장은 북미와 아시아-태평양 지역으로 양분된다. 북미 지역 시장 규모는 최근 환경 규제 강화와 최첨단 공기 정화 기술 및 소재에 대한 시장 요구가 성장 동력이다. 아시아-태평양 지역은 지속적인 산업화와 이에 따르는 환경 문제에 관한 관심이 성장을 견인할 것으로 전망된다.

그림 11

피치계 활성탄소섬유의 글로벌
생산량(左) 및 시장 규모(右)

출처: Mordor Intelligence,
Market.Biz



(4) 조립구상흑연 음극재

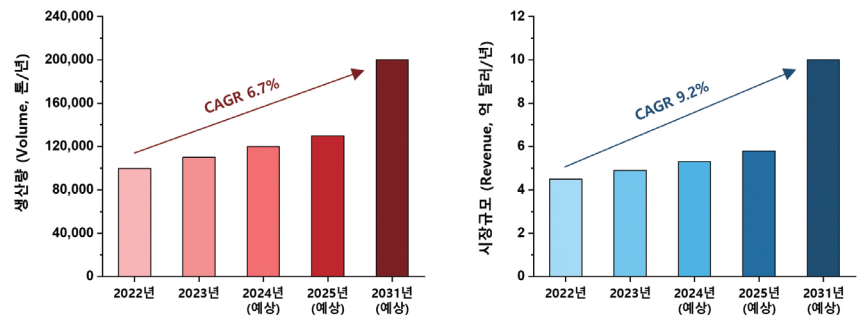
천연 및 인조흑연은 리튬이온 이차전지의 음극재로 사용되어 고밀도 에너지 저장 및 배터리 수명을 향상시키는 데 중요한 역할을 한다. 특히 전기차(EV) 및 재생에너지 저장 시스템(ESS; Energy Storage System)에서의 수요가 꾸준히 증가하면서 시장이 빠르게 성장하고 있다.

- 시장 전망: 2024년 글로벌 흑연 음극재의 생산량은 약 12만 톤이며, 시장 규모는 약 5.3억 달러(CAGR 9.2%)로 추정된다. 이와 같은 성장세로 인해 2031년에는 10억 달러를 초과할 것으로 예측된다.
- 지역별 시장 동향: 중국, 한국, 일본이 주요 시장이며, 주원료가 되는 천연흑연 가공 부산물이 풍부한 중국이 흑연 음극재 생산과 소비의 선두 주자이다. 최근 지속 가능한 에너지 정책을 추진하는 유럽 지역도 급격한 성장세를 보이고 있다. 또한 글로벌 자원 무기화의 문제로 인해 전 세계적으로 공급망 안정화가 주요 이슈가 되고 있으며, 이에 따라 많은 국가에서 생산 능력 자급을 통한 공급망 확보를 추진하고 있어서 향후 시장은 더욱 확대될 전망이다.

그림 12

흑연(천연, 인조) 음극재의 글로벌
생산량(左) 및 시장 규모(右)

출처: Mordor Intelligence, Grand
View Research



국내 시장 동향

- 한국의 피치계 탄소소재 시장은 주로 배터리와 전기차산업에서 수요가 증가하고 있으나, 아직은 국내 기술 및 생산 기반 부재로 수요를 거의 전량 해외에 의존하는 상황이다.
- 향후 우주·항공, 국방, 자동차 등 첨단산업 분야의 급성장과 더불어 지속 가능한 극한 물성 소재의 필요성이 부각되는 현 상황에서 정책적 기술 개발 지원과 민간의 전략적 투자를 바탕으로 조속히 생산 기반을 구축하고 공급을 자립하는 것이 당면 과제이다.
- 글로벌 피치계 탄소소재 시장은 항공·우주와 전기차산업의 발전에 힘입어 지속적으로 성장하고 있다. 국내 시장 역시 긍정적인 전망을 보이고 있으며, 주요 기업들의 기술 개발과 정부의 지원을 결합하여 더욱 빠른 성장이 시급히 요구되고 있다.

3. 국내외 기술 동향

- 최신 피치계 탄소소재 개발은 효율성 증대와 성능 향상에 집중되고 있다. 피치계 탄소섬유 기술을 보유한 일본과 미국이 기술을 선도하고 있고, 항공·우주 및 군수 분야에서 성능 고도화를 주도하고 있다.
- 에너지 분야에서 한국은 선진국 대비 약 80% 수준의 기술력을 보유한 것으로 평가되는데, 배터리 음극재 분야에서 높은 경쟁력을 갖추고 있다. 현재 정부 지원과 민간 협력 투자를 통해 적극적인 연구 개발을 진행하면서 기술 격차를 빠르게 좁혀가고 있다.

글로벌 기술 개발 동향

- (피치계 탄소섬유) 피치계 탄소섬유는 항공·우주, 자동차, 건축 그리고 최근에는 전기차(EV)와 풍력 발전 부품에서 점점 더 많이 사용되고 있다. 최근 5년간에는 생산 비용 절감과 성능 향상을 목표로 기술 개발이 집중되었다. 특히 고강도·고탄성의 탄소섬유를 생산하기 위해 피치의 전처리 과정 개선과 제조 공정 최적화가 중요한 이슈로 부각되고 있다.

출처: IMARC Group, 2023;
Journal of Carbon Research,
2022

- 공정 개선 및 효율화: 최근 연구에서는 피치계 탄소섬유의 생산 공정에서 발생하는 에너지 소비를 줄이고 생산 속도를 향상시키는 기술이 중점적으로 연구되고 있다. 특히 프리커서(precursor) 재료의 품질 향상과 안정화 및 탄화 공정에서의 열처리 에너지 절감 기술이 활발히 연구되고 있다.
- 고성능 탄소섬유: 피치계 탄소섬유의 단점인 인장강도의 개선과 장점인 탄성율의 고도화를 위해 열처리 공정 개선과 나노 구조 강화 등 일련의 기술 개발이 수행 중이다. 최근에는 다양한 원료 물질을 활용한 피치 프리커서 개발 등 환경친화적인 기술 개발에 집중되고 있다.
- (피치계 활성탄소) 피치계 활성탄소는 특히 수처리, 공기 정화, 가스 흡착 등에서 활발히 사용되고 있다. 최근에는 흡착 성능을 극대화하고 생산 비용을 절감하기 위한 공정 개발 연구에 집중되고 있다.

출처: Grand View Research, 2021;
Journal of Environmental
Management, 2022

- 최근의 기술 개발 중 가장 주목할 만한 부분은 나노기술을 활용한 표면적 확대이며, 활성탄소의 표면적을 나노 미세입자로 확대하여 흡착 성능을 향상시키는 기술과 에너지 저감을 위한 저온 활성화 공정 개발도 활발히 이루어지고 있다.
- 이에 더해 환경적인 이슈도 부각되고 있는데, 활성탄소의 제조 공정에서 발생하는 화학 물질과 이산화탄소의 배출을 줄이기 위해 친환경적인 천연가스를 활용하는 방법 등 다양한 환경친화적 기술 개발에도 활발한 투자가 진행 중이다.
- (피치계 활성탄소섬유) 피치계 활성탄소섬유는 환경 정화와 관련된 분야에서 주로 사용된다. 특히 공기와 수질 정화, 화학적 가스 흡착 등에서 중요한 역할을 하는데, 최근에는 흡착 성능 향상과 제조단가 절감을 통한 경쟁력 강화를 주요 기술 개발 방향으로 연구가 집중되고 있다.

출처: Research Nester, 2021;
Journal of Carbon Science, 2020

- 기공 구조: 피치계 활성탄소섬유는 미세구조의 최적화를 통해 흡착 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 최근 연구에서는 활성탄소섬유의 나노구조 강화와 화학적 표면 처리를 통한 성능 향상, 그리고 선택적 흡착 능력 강화를 통해 맞춤형 활성탄소섬유가 주요 개발 대상이 되고 있다.
- 화학적 내구성을 높이는 동시에 고온·고압 환경에서 안정성을 강화하는 기술이 집중 조명 중이며, 이처럼 물성이 개선된 활성탄소섬유의 양산성을 보완하기 위한 자동화 공정 개발이 중요한 과제로 관심받고 있다.

- (조립구상흑연 음극재) 조립구상흑연은 전기차 및 ESS(에너지 저장 시스템) 배터리의 음극재 주요 후보 물질이다. 고용량과 안정성을 위한 기술 개발을 포함하여 최근 몇 년 동안은 음극재의 효율성을 높이고 구상화 과정을 최적화하는 방향으로 개발이 진행되고 있다.
 - 구상화 기술 개선: 주요 개발 방향은 구상화 기술의 개선이며, 이를 통해 입도 분포를 개선하고, 배터리의 충전/방전 효율성을 향상시키는 기술과 대량 생산을 위한 공정 개선이 주요하게 연구 중이다.
 - 최근 용량 개선이 주요 목표로 집중 연구 중이며, 조립 기술을 통해 용량 개선이 가능한 나노입자를 효율적으로 도입하면서 팽창을 억제하고 용량과 수명을 동시에 연장하는 기술이 활발히 연구되고 있다.

출처: MarketsandMarkets, 2022;
TechSci Research, 2023

국내 기술 개발 동향

- (피치계 탄소섬유) 피치계 탄소섬유는 미국과 일본에서만 원천기술을 보유하고 생산 중이며, 전략물자로 관리하고 있어 기술 교류와 수출입이 자유롭지 못한 상황이다. 한국에서는 피치계 탄소섬유 개발이 일부 지원된 바 있으나, 기술 기반 부족과 기업의 낮은 투자 의지로 인해 개발 시도로만 그쳤고 상용화를 위한 완성된 통합공정기술과 양산공정기술의 확보는 요원한 상황이다.
 - 그동안 국내에서는 우주·항공·국방 등 첨단산업 분야에 대한 기술력 미성숙으로 피치계 탄소섬유의 필요성이 낮았다. 하지만 최근 급성장한 첨단산업 분야에서 수요가 지속 증가하고 있으며, 정부의 정책적 지원과 민간의 전략적 투자를 바탕으로 피치계 탄소섬유 원천 소재기술과 양산을 위한 통합공정기술 확보가 시급히 요구되고 있다.
- (피치계 활성탄소) 최근에는 활성탄소의 효율성을 높이기 위한 나노구조 개발이 진행되고 있다. 이를 통해 기존보다 더 높은 표면적과 흡착 능력을 가진 활성탄소가 개발되고 있으며, 기능성 향상과 환경적 적용을 확장하기 위한 연구가 다방면으로 진행 중이다.
- (피치계 활성탄소섬유) 피치계 활성탄소섬유는 단열재와 흡착재 개발을 목적으로 몇 차례 기술 개발이 지원된 바 있다. 그러나 원료가 되는 피치 프리커서의 기술 개발과

경쟁력 확보가 가능한 양산공정기술 분야에서 완성도가 부족하여 양산이 지연되고 있다. 이에 축적된 기술 기반을 바탕으로 소재와 공정 분야에 대한 기술 완성도를 제고하여 기술 완성 및 국내 생산이 요구되고 있다.

- (조립구상흑연 음극재) 조립구상흑연 음극재는 전지자동차 및 에너지 저장 시스템(ESS)의 수요 증가에 따라 고성능 음극재 개발로 집중되고 있다. 특히 천연흑연의 가공 부산물을 활용한 조립구상흑연의 생산기술이 개발되고 있는데, 이를 바탕으로 가격 경쟁력을 높이는 동시에 친환경적 생산기술 확보를 목표로 개발 추진 중이다.

4. 시사점

- 피치는 다양한 특성과 응용 가능성으로 인해 고성능 탄소재료산업에서 중요한 원료로 자리 잡고 있다. 지속적인 연구와 개발을 통해 그 활용 범위가 확대되고 있으며, 향후 피치의 구조적 특성과 처리 방법에 대한 이해가 깊어질수록 더욱 다양하고 고성능의 피치계 탄소소재 개발이 가능할 것으로 기대된다.
- 경량화와 고성능화 요구로 인해 항공·우주, 자동차, 신재생에너지 등 다양한 산업 분야에서 피치계 탄소소재 수요가 증가하고 있다. 이러한 수요의 충족을 넘어 국내 기술 경쟁력 강화를 위해서는 원천기술 확보, 생산성 향상, 그리고 비용 절감이라는 세 가지 주요 과제가 해결되어야 한다.
 - 현재 피치계 탄소섬유 제조 원천기술은 미국·일본에 독점적으로 집중된 상황이며, 한국의 독자적인 기술 개발로 원천기술이 확보되어야 한다. 이를 위해서는 정부와 기업의 지속적인 R&D 투자가 필수적이며, 전문연구기관과 기업 간의 긴밀한 협력 또한 필수 불가결한 요소라 할 수 있다.
 - 생산성 향상은 피치 제조 공정의 효율성을 높이고 품질을 개선하는 것을 목표로 해야 한다. 이를 위해 공정 최적화, 자동화 및 디지털화, 품질 관리 시스템 개선, 그리고 인력 교육 및 훈련 등의 방안이 동시에 고려되어야 한다.
- 피치계 탄소소재 원천소재기술이 부재된 한국에서 민간 상용화를 추진하기 위해서는 가장 어려운 문제인 원천소재기술과 통합공정기술의 확보와 동시에 가격 경쟁력 또한 확보되어야 한다. 이는 사실상 불가능한 ‘난제’라 할 수 있다.

- 따라서 피치계 탄소소재 생산국으로 도약하기 위해서는 민간의 초기 부담을 낮춰줄 수 있는 정부의 전략적 기술 개발 투자가 선행되어야만 한다. 이를 바탕으로 한 정부, 기업, 연구기관의 유기적인 협력이 이루어질 때 한국이 단계적으로 피치계 탄소소재 생산국으로 진입하고 향후 기술 선도를 견인할 수 있을 것이다.

정책 제안

- 피치(pitch) 관련 기술의 국내 경쟁력 강화를 위해서는 다각도의 접근이 필요하며, 원천소재기술 확보를 위한 전략적 R&D 투자 확대가 선행되어야 한다. 이를 바탕으로 기술 확보, 인프라 구축, 그리고 전문인력 저변이 점진적으로 확대되어야 할 것이다.
- 먼저 R&D 투자 확대를 포함한 정부의 정책적·전략적 지원과 적극적인 개입을 통해 기업들은 더 많은 자원을 기술 개발에 투입할 수 있게 된다. 결과적으로 피치계 탄소소재 생산국으로 도약함과 동시에 글로벌 시장에서의 경쟁력을 확보하게 될 것이다.
- 정부와 기업의 투자를 바탕으로 긴밀한 산학연 기술개발 협력 체계를 구축해야 한다. 기초 연구에서부터 상용화에 이르는 전 과정을 완성할 수 있게 효율적으로 관리되어 연구 결과가 상용화에 도달할 수 있도록 시작부터 완성까지 체계적으로 지원되어야 한다.
- 피치계 탄소소재의 기술 고도화를 위해서는 국제 협력이나 기술 교류가 필수적이나 원천소재기술이나 생산 기반이 없는 현재 국내 상황에서는 동 분야에 대한 국제 협력이 선결과제라 할 수 없다. 다만 선제적 기술 확보와 생산국 도약을 이룬 이후에만 미국·일본 등 피치계 기술 선진국과의 기술 교류를 통한 기술 도약과 글로벌 기술 경쟁력 확보가 가능할 것으로 판단된다.

출처 및 참고자료

1. Zimmer J. E., and White J. L., “Disclination structures in carbonaceous mesophase”, *Advances in Liquid Crystals*, Vol. 5, 1982, pp. 157–213.: Mitsubishi Plastics.
2. S. Rani, et. al., “Isotropic coal tar pitch–based carbon fibers: Effect of nitric acid towards elimination of air–stabilization step”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* Vol. 127, 2023.11, pp. 283–294.
3. J. H. Lee, et. al., “Enhanced pore formation in petroleum pitch using stabilization and synergistic steam/CO₂ hybrid activation”, *Materials Chemistry and Physics* Vol. 312, 2024.01, 128587.
4. S. Ko, et. al., “Anisotropic phase transition via high temperature thin–layer evaporation of a petroleum–based isotropic pitch”, *Journal of Industrial and Engineering Chemistry* Vol. 95, 2021.03, pp. 92–100.
5. S. Fathima, et. al., “12 – Carbon fiber and glass fiber reinforced elastomeric composites”, *Fiber Reinforced Composites 2021*, 2021.03, pp. 307–340.
6. J. H. Joo, et. al., “Recent advances in activated carbon fibers for pollutant removal”, *Carbon Letters 2024*, 2024.09.
7. Mordor Intelligence, “Advanced Carbon Materials Market Size & Share Analysis – Growth Trends & Forecasts(2024–2029)”.
8. Markets and Markets, “Carbon Fiber Market by Raw Material (PAN, Pitch, and Rayon), Fiber Type (Virgin, Recycled), Form, End–use Industry (Aerospace & Defense, Automotive, Wind Energy, Sporting Goods, Civil Engineering), and Region”.
9. Market.biz, “Global Pitch–Based Carbon Fiber Precursor Market Analysis and Industry Forecast 2028” and “Global Pitch–based Carbon Fiber Precursor Market Analysis and Industry Forecast 2023–2028”.
10. Research and Markets, “Activated Carbon Fiber Market by Type, Application and Region – Global Forecast to 2027”, 2022.11.
11. Mordor Intelligence, “Spherical Graphite Report”.
12. Future Market Insights, “Carbon Fiber Market – Global Industry Analysis, Size, Share, Growth, Trends, and Forecast 2024–2034” and “Activated Carbon Fiber Market – Global Forecast to 2028”.
13. Verified Market Research, “Global High Performance Pitch Based Carbon Fiber Market Size By Type Of Pitch, By Application, By End–Use Industry, By Geographic Scope And Forecast”, 2024.07.
14. IMARC Group, “Carbon Fiber Reinforced Plastic (CFRP) Market Report by Raw Materials (Polyacrylonitrile, Pitch–based, Rayon–based), Type (Thermoset, Thermoplastic), Manufacturing Process (Layup, Pultrusion and Filament Winding,

- Resin Transfer, Injection and Compression Moulding, and Others), Application (Aerospace & Defense, Automotive, Wind Energy, Civil Engineering, Sporting Goods, Electrical and Electronics, Marine Applications, and Others), and Region 2024–2032”.
15. Research Nester, “Pitch–Based Carbon Materials Market: Global Demand Analysis & Opportunity Outlook 2031”.
 16. Grand View Research, “Carbon Materials Market Size, Share & Trends Analysis Report By Application (Composites, Energy Storage, Automotive), By Region (North America, Europe, Asia Pacific, Latin America, MEA), And Segment Forecasts, 2024 – 2032”.
 17. TechSci Research, “Spherical Graphite for Battery Applications”, 2023.
 18. Journal of Carbon Research, 2022.
 19. Journal of Environmental Management, 2022.
 20. Joint Institute for Strategic Energy Analysis(jisea.org), 2016.
 21. Wakaida Inc.(日, www.wakaida.jp)



극한환경 대응 아라미드 섬유

기술 동향 및 전망

윤석한 섬유 PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실
엄영호 교수 | 한양대학교 유기나노공학과

요약

우주 개발과 해저 탐사 등 최근 부상하는 신산업들은 기존의 생활 환경을 넘어 극한환경에서의 개발을 요구하고 있다. 극고온, 극저온, 방사능 노출, 고압과 같은 다양한 극한 조건에서 견딜 수 있는 고성능 소재의 개발이 필수적이다. 이러한 필요성에 따라 아라미드 섬유가 주목받고 있다. 아라미드 섬유는 초고강도, 고내열성, 고내화학성, 내구성, 난연성 등 다양한 특성을 지니고 있어 기존의 방탄 소재 용도를 넘어선 극한 성능의 소재로 각광 받고 있다.

아라미드(aramid)는 방향족 폴리아미드(aromatic polyamide)로 분류되며, '85% 이상의 아미드기가 두 개의 방향족 고리에 직접 결합된 합성 폴리아미드로부터 제조된 섬유'로 정의된다. 아라미드 섬유는 주로 파라아라미드 섬유와 메타아라미드 섬유로 구분되며, 파라계는 호모아라미드와 공중합아라미드로 세분화된다.

파라계와 메타계 아라미드 섬유는 아미드결합의 위치에 따라 구분되며, 아미드 결합이 방향족 고리의 메타 위치에 있으면 메타계, 파라 위치에 있으면 파라계로 분류된다. 파라아라미드 섬유는 높은 강도와 내구성을 특징으로 하며, 메타아라미드 섬유는 내열성, 난연성, 전기 절연성이 뛰어나다.

아라미드 섬유의 글로벌 시장은 2023년 47.8억 달러에서 2024년 52.9억 달러로 성장했으며, 연평균성장률 10.8%를 기록하면서 2028년에는 79.8억 달러 규모에 이를 것으로 전망된다. 아라미드 섬유는 기존의 방탄복, 안전 보호구 외에도 다양한 산업 분야에서 활용되고 있다. 대표적인 응용 분야로는 마찰재, 광케이블 보강재, 고무 보강재, 전기 절연지 등이 있으며, 이들 산업에서 연평균 5~7%의 안정적인 성장세를 보이고 있다.

글로벌 시장의 급격한 성장 속에서 선도 기업들의 광범위한 제품 포트폴리오와 후발주자인 중국 기업들의 대규모 투자 및 시장 점유율 확대는 국내 기업들에게

큰 도전 과제로 다가오고 있다. 이를 극복하기 위해 국내 아라미드 섬유 기업들은 미래를 대비한 혁신적이고 선제적인 투자가 요구된다.

본고는 아라미드 섬유의 정의 및 개념, 시장 전망, 주요 기업 동향을 종합적으로 분석하여 극한환경 대응을 위한 첨단 소재로서 아라미드 섬유의 가능성과 가치를 조명하고자 한다.

1. 개요

기술의 개념

아라미드(aramid)는 지방족 폴리아미드(aliphatic polyamide)인 나일론과 구별되는 방향족 폴리아미드(aromatic polyamide)로, '85% 이상의 아미드기가 두 개의 방향족 고리에 직접 연결된 합성 폴리아미드로부터 제조된 섬유'로 정의된다.

이 섬유는 1971년 미국 Dupont社에 의해 처음 개발되었으며, 1974년 미국 연방통상위원회가 위 정의를 공식적으로 규정했다.

아라미드 섬유는 고유의 황금빛 색상으로 인해 흔히 '황금실'로 불린다. 이 명칭은 단순히 색상뿐 아니라 일반 섬유보다 10배 이상의 높은 가격으로 거래되는 고부가가치 소재라는 의미도 내포하고 있다.

아라미드 섬유는 강철 대비 약 20%의 무게로 5배 이상 뛰어난 인장강도를 자랑하며, 슈퍼섬유(인장강도 20g/d 이상, 탄성률 500g/d 이상)로 분류된다. 특히 총알을 막는 방탄복의 핵심 소재로 사용되어 익숙한 소재다.

또한 400°C 이상의 고온에서도 타거나 녹지 않고 물성을 유지할 수 있어 방화복, 우주복 등 극한환경에서 신뢰성이 요구되는 제품의 핵심 소재로 활용된다.

그림 1

아라미드 섬유의 개념

출처: SK 홈페이지, 재가공

What is Aramid Fiber?

HERACRON[®] ALKEX[®]

Kevlar[®] Twaron[®] Nomex[®]



Structural Point

- ✓ Rigid chain (benzene ring)
- ✓ Strong hydrogen bond

Characteristics

- ✓ Excellent mechanical properties
- ✓ Excellent thermal/chemical resist.





방탄소재



브레이크 패드



방화복



우주복

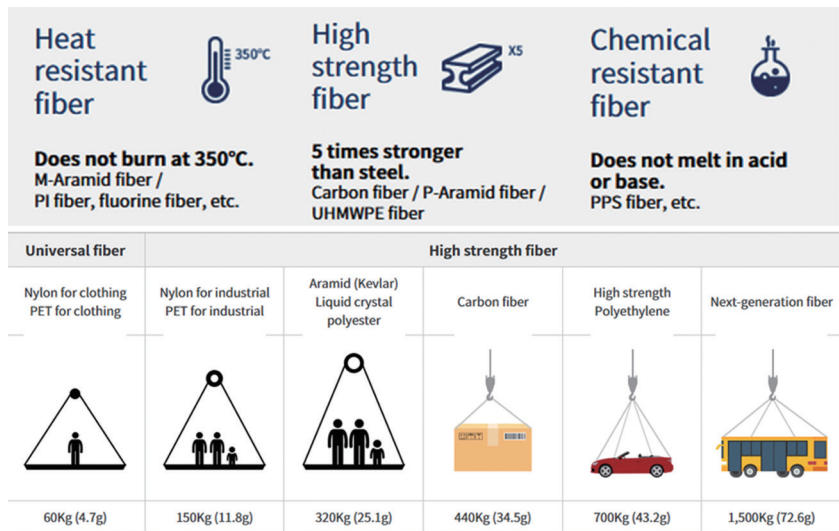
극한환경 대응 섬유의 개념

- 극한환경은 초고온, 극저온, 초고압, 산화·부식 등 일반적인 대기 환경과 달리 물리적·화학적으로 가혹한 조건을 의미한다. 이러한 환경에서도 정상적으로 기능하는 소재를 극한소재라 부른다.
- 최근 우주 개발, 수소 산업의 발전, 심해 탐사 등 극한환경에서의 탐사와 개발이 활발해지면서 우주·항공 분야의 위성발사체, 액체수소 저장 장치, 초고온 가스터빈과 같은 첨단 장비를 구성할 수 있는 극한 소재의 수요가 급증하고 있다.
- 아라미드 섬유는 다음과 같은 특성을 바탕으로 대표적인 극한환경 섬유 소재로 꼽힌다.
 - 인장강도 약 29g/d, 탄성률 약 880g/d, 고내열성(~450°C), 내한성(~-160°C), 전기 절연성, 난연성(LOI ~40), 내화학성
- 따라서 노출되는 환경과 제품 특성에 적합한 아라미드 섬유를 선택하는 것이 극한 소재 활용의 핵심이다.

그림 2

극한환경 대응 섬유의 개념

출처: 휴비스 홈페이지



- 극한환경에 대한 대응 요구가 증가함에 따라 아라미드 섬유는 기존 안전 보호구에 국한된 용도에서 벗어나 다양한 극한 소재로 활용되고 있으며, 용도에 맞춘 극한 성능 섬유로의 패러다임 전환이 이루어지고 있다.

극한성능 아라미드 섬유

그림 3

극한 성능 아라미드 섬유

출처: 휴비스 홈페이지, 재가공



기술의 범위

(1) 아라미드 섬유의 종류

극한 성능 아라미드 섬유는 대표적으로 호모 파라아라미드(p-aramid homopolymer) 섬유, 공중합 파라아라미드(p-aramid copolymer) 섬유, 메타아라미드(m-aramid) 섬유의 세 가지 유형으로 분류된다. 산업계에서는 편의상 호모 파라아라미드 섬유를 파라아라미드 섬유, 공중합 파라아라미드 섬유를 공중합아라미드 섬유로 명명한다.

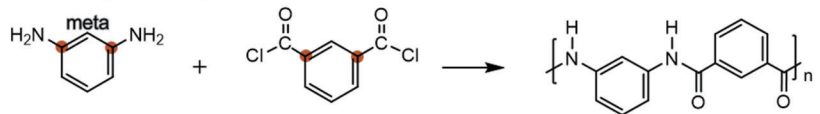
파라계와 메타계 아라미드 섬유는 아미드결합의 위치에 따라 구분되며, 벤젠고리의 메타 위치에 아미드결합을 갖는 것이 메타계, 파라 위치에 아미드결합을 갖는 것이 파라계이다.

파라계 아라미드에서 호모아라미드는 p-페닐렌 디아민(PPD)과 테레프탈로일클로라이드(TPC)를 단량체로 중합하는 반면, 공중합아라미드는 폴리이미드의 중합 원료로 알려진 3,4'-옥시디아닐린(3,4'-ODA)을 공단량체로 함께 반응한다. 이로 인해 사슬 규칙성이 높은 호모아라미드 섬유는 높은 액정성을 띄어 황산에 용해 후 액정 방사로 제조되는 반면, 공중합아라미드 섬유는 등방성으로 유기 용매에 용해되어 고연신 공정을 통해 제조된다.

그림 4-1

파라계 및 메타계 아라미드 섬유의 화학 구조

메타아라미드(m-aramid)



파라아라미드(p-aramid homopolymer)

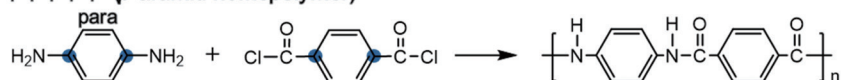
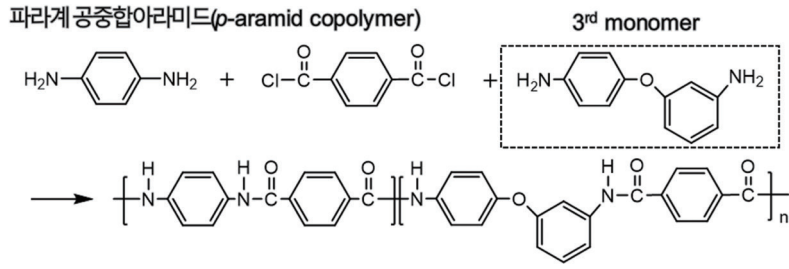


그림 4-2

파라계 및 메타계 아라미드 섬유의 화학 구조



(2) 아라미드 섬유의 특성

파라아라미드 섬유는 선형 분자쇄 배열로 인해 매우 강한 2차 결합, 즉 수소결합과 벤젠고리 적층을 형성한다. 이 덕분에 인장강도 23g/d 이상, 인장탄성률 550g/d 이상으로 매우 우수한 기계적 물성을 나타낸다.

반면 메타아라미드 섬유는 구부러진 분자 배열을 특징으로 하며, 상대적으로 유연한 사슬구조로 인해 열 분산에 유리하다. 그 결과, 메타아라미드 섬유는 고온 환경에서도 물성을 안정적으로 유지하며, 내열성, 난연성, 전기 절연성이 뛰어난 소재로 평가받고 있다.

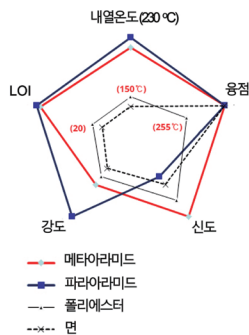
공중합아라미드 섬유는 파라아라미드 섬유의 우수한 기계적 물성을 유지하면서도 마모, 굽힘, 피로에 대한 저항성과 내화확성이 더욱 향상된 특성을 보인다. 이는 미세 구조의 차이로부터 비롯되는데, 공중합아라미드 섬유는 액정 방사로 제조되는 파라아라미드에 비해 결함(periodical defects)이 적고 더 높은 결정면 배향도를 가지기 때문이다.

결과적으로 공중합아라미드 섬유는 파라아라미드보다 높은 인장강도, 신도, 내환경성, 및 내화확성을 발휘하며, 이러한 특성으로 인해 차세대 고부가가치 섬유 소재로 주목받고 있다.

그림 5

파라계 및 메타계 아라미드 섬유의 물성 비교

출처: 휴비스 홈페이지, 재가공

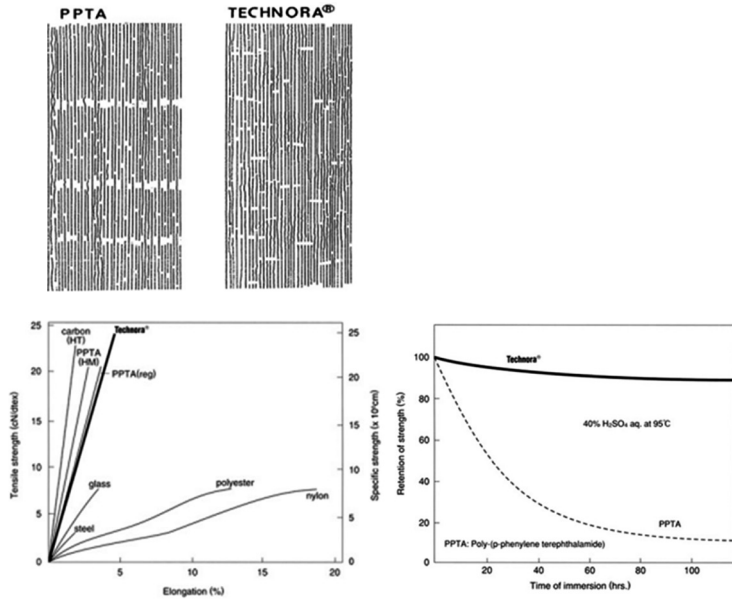


아라미드 섬유		강도 (g/d)	탄성률 (g/d)	신도 (%)	LOI (%)	내화확성
메타아라미드 (초내열성 전기절연성)	Nomex	5	94	30.5	28	Good
	Teijinconex	4.1~7.0	-	28~45	27~38	
	MetaOne	4.5~5.0	-	30~50	>28	
파라아라미드 (고강도, 고탄성률)	Kevlar	23.0~23.6	555~885	2.4~3.6	29	
	Twaron	22.1~24.8	550~836	2.7~3.7	29~40	
	Heracron	21.5~27.2	680~850	3.0~4.0	>29	
공중합아라미드 (교내구성)	Technora	26.0~29.0	490~700	3.9~4.5	25	Very good

그림 6

호모 및 공중합 파라아라미드 섬유의
미세구조 및 물성

출처: High Performance and
Specialty Fibers, 2016



2. 국내외 시장 동향

세계 아라미드 섬유 시장 동향

아라미드 섬유는 고성능 산업용 섬유 가운데 성능 대비 가격이 비교적 저렴한 편이라 세계적으로 가장 높은 수요를 보이는 섬유 중 하나다.

파라아라미드 섬유의 세계 시장 규모는 2016년 5만 6,192톤에서 2018년 6만 4,831톤으로 연평균 7.4%의 성장률을 기록했으며, 2024년에는 9만 7,980톤에 이를 것으로 전망된다. 이 기간에 연평균 7.1%의 높은 생산량 증가세가 지속되었다.

글로벌 매출 규모 또한 2023년 47.8억 달러에서 2024년 52.9억 달러로 빠르게 성장했다. 지속적인 수요 증가에 힘입어 연평균성장률(CAGR) 10.8%를 기록하여 2028년에는 79.8억 달러에 도달할 것으로 예상된다(CAGR은 통계 자료마다 편차가 있으나 8~10% 내외 수준이다).

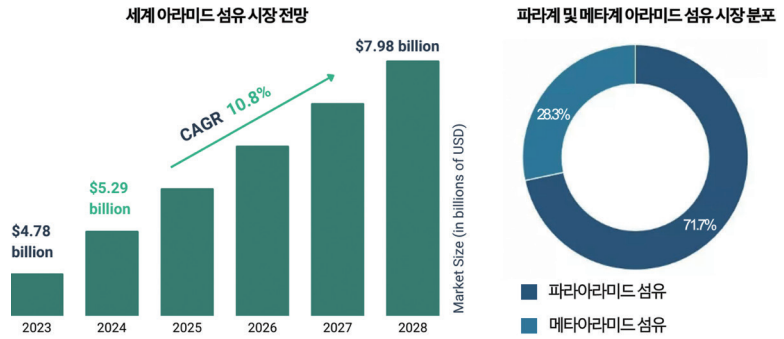
아라미드 섬유의 가격 역시 수요 증가와 함께 상승세를 보이고 있다. 2016년 kg당 35.0달러였던 가격이 2018년 38.6달러로 상승했으며, 2024년까지 44.3% 증가한 가격 수준을 보일 것으로 전망된다.

글로벌 시장에서의 소재별 점유율을 살펴보면, 파라아라미드 섬유는 보호구 및 안전용으로 다양한 시장에 진출하여 약 71.7%의 점유율을 차지하고 있다. 한편 메타아라미드 섬유는 약 28.3%의 점유율을 기록 중이며, 절연지와 같은 고부가가치 제품에 적용되면서 점유율이 꾸준히 증가하는 추세다.

그림 7

세계 아라미드 섬유 시장 및 파라계/메타계 아라미드 섬유의 시장 분포

출처: The Business Research Company, Coherent Market Insights



세계 아라미드 섬유 생산 현황

세계 아라미드 섬유 시장은 제품의 경량화와 고성능화에 대한 수요 증가에 힘입어 글로벌 기업들의 적극적인 투자로 생산량이 빠르게 확대되고 있다.

2011년 9만 9,500톤이었던 세계 아라미드 섬유의 생산 능력은 2017년 14만 1,600톤으로 연평균 6.1%의 성장률을 기록하였다.

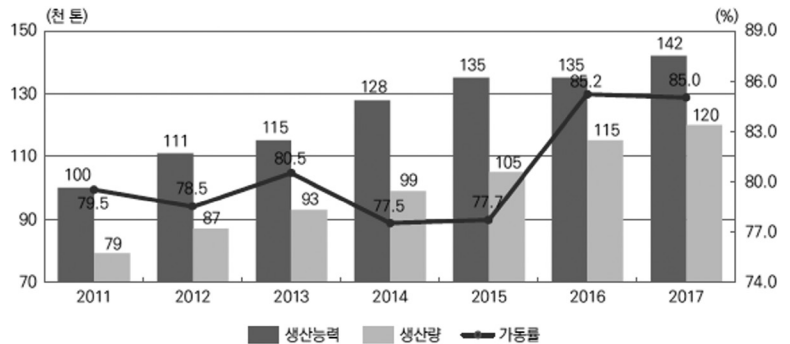
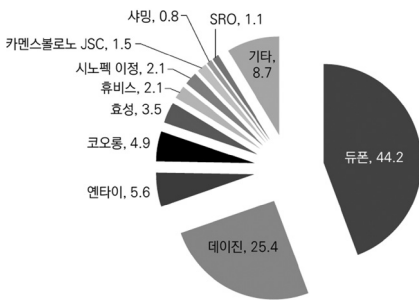
같은 기간 실제 생산량도 7만 9,116톤에서 12만 393톤으로 연평균 7.2% 증가하면서 생산 능력 확장 속도를 넘어서는 성장을 보여주었다.

특히 생산 능력 대비 실제 생산량을 나타내는 생산가동률은 2011년 79.5%에서 2017년 85.0%로 5.5% 상승했다. 이는 아라미드 섬유에 대한 강한 시장 수요가 공급을 초과하고 있음을 보여주는 중요한 지표다.

그림 8

세계 아라미드 섬유 생산 현황 및 주요 기업의 생산점유율(2017년 기준)

출처: 산업연구원, 2020



주요 기업을 살펴보면, 미국의 듀폰(Dupont)은 세계 생산 능력의 거의 절반을 차지하고 있다. 일본의 테이진(Teijin), 중국의 엔타이(Yantai Tayho), 한국의 코오롱 인더스트리와 효성, 휴비스 등이 아라미드 섬유 생산을 주도하고 있다.

Dupont은 아라미드 섬유를 최초로 개발한 회사로, 세계 최고 수준의 기술력을 바탕으로 파라계와 메타계 아라미드 섬유를 모두 생산하고 있다. 2017년 기준으로

Dupont의 생산 능력은 6만 2,600톤으로, 생산 능력은 세계 전체의 44.2%를 차지한다.

일본의 Teijin은 호모·공중합 파라아라미드와 메타아라미드를 모두 생산하며, 2017년 생산 능력은 3만 6,000톤으로 세계 시장의 25.4%를 차지한다.

국내 아라미드 섬유 기업 생산 현황

한국은 일반 파라 및 메타아라미드 섬유의 생산과 기술 수준에서 미국과 일본에 이어 세계 3위 수준에 있다. 그러나 인장 특성, 내피로성, 고무 접착성 등이 뛰어난 공중합아라미드 섬유의 경우 국내 생산이 전무하고 Teijin이 시장을 독점하고 있는 상황이다.

국내 파라아라미드 섬유는 코오롱 인더스트리의 헤라크론(Heracron®)과 효성의 알렉스(ALKEX®)가 시장을 주도하고 있다. 최근 태광도 파라아라미드 시장에 진입하면서 시장규모가 급격히 확장되고 있다.

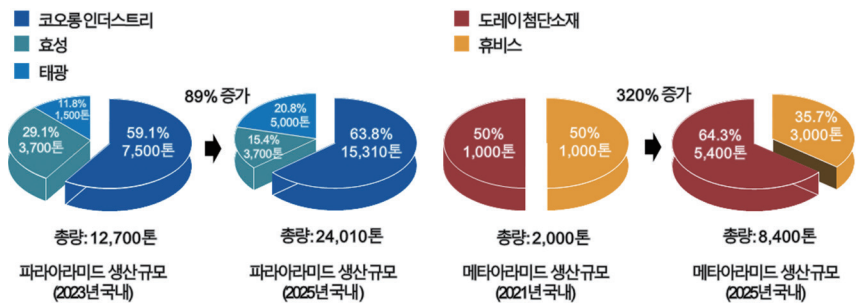
2023년 국내 파라아라미드 섬유 생산량은 1만 2,700톤 규모였으나, 코오롱 인더스트리가 2023년 7,500톤에서 2024년 15,310톤으로, 태광은 2023년 1,500톤에서 2024년 5,000톤으로 공격적인 증설을 진행해 총 생산 규모는 2만 4,010톤으로 약 89% 증가했다.

다만 국내 기업들은 호모 파라아라미드 섬유의 생산에만 투자하고 있으며, 공중합 파라아라미드 섬유의 생산 설비와 투자는 전무한 상황이다.

국내 메타아라미드 섬유는 휴비스와 도레이첨단소재가 주도하고 있다. 2021년 연간 생산량은 각 1,000톤씩이었으나, 2024년 휴비스가 3,000톤, 도레이첨단소재가 5,400톤으로 생산량을 크게 늘릴 계획이다. 이에 따라 총 생산량은 약 320% 급격한 성장을 기록할 것으로 예상된다.

그림 9
국내 아라미드 섬유 생산 현황 및 전망

출처: 각 기업 홈페이지, 재가공



수요 용도별 시장 현황 및 전망

수요 용도별로 살펴보면, 마찰재용 수요가 가장 많다. 광섬유 보강재와 안전 보호 제품 산업에서의 높은 수요 증가가 세계 아라미드 섬유 수요 증가를 주도할 것으로 예상된다.

2018년 기준 자동차 브레이크 패드 등 마찰재용 아라미드 섬유의 수요는 전체의 28.7%를 차지하면서 가장 높은 비중을 기록했다.

마찰재용 아라미드 섬유의 수요는 2018년부터 2024년까지 연평균 7.2%의 높은 성장률을 보일 것으로 예상되며, 2024년에는 전체 수요에서 28.8%로 높은 비중을 유지할 것으로 보인다.

또한 방탄복, 헬멧, 방검복 등 안전 보호 제품에 대한 수요도 중요한 비중을 차지한다. 2016년 25.6%였던 시장 비중은 연평균 7.3%의 성장률을 기록하면서 2024년에도 25.8%를 유지할 것으로 보인다.

광섬유 보강재 수요는 5G 이동통신용 광케이블의 수요 증가로 인해 2016년부터 2024년까지 연평균 7.5% 증가할 것으로 전망된다. 이로 인해 2024년까지 광섬유 보강재가 전체 파라아라미드 섬유 수요에서 차지하는 비중은 21.8%로 상승할 전망이다.

그 외에도 차량용 고무호스를 비롯한 고무 보강재(mechanical rubber goods, MRG), 전기 절연재, 타이어 보강재 등의 수요도 꾸준히 증가할 것으로 보이며, 이들 시장의 비중은 약 10% 내외를 유지할 것으로 전망된다.

표 1
세계 파라아라미드 섬유 응용재
시장의 규모 및 전망

출처: Markets and Markets,
2018.10.

응용재	시장 규모(톤)			구성비(%)			연평균 증가율(%)	
	2016	2018	2024	2016	2018	2024	2016-2018	2018-2024
마찰재	16,169	18,613	28,259	28.8	28.7	28.8	7.3	7.2
안전보호	14,397	16,636	25,300	25.6	25.7	25.8	7.5	7.2
광섬유 보강재	11,822	13,794	21,319	21.0	21.3	21.8	8.0	7.5
고무보강재	6,832	7,852	11,734	12.2	12.1	12.0	7.2	6.9
전기절연재	3,264	3,741	5,492	5.8	5.8	5.6	7.1	6.6
타이어 보강재	1,341	1,530	2,233	2.4	2.4	2.3	6.8	6.5
산업용 필터	789	868	1,130	1.4	1.3	1.2	4.9	4.5
기타	1,578	1,797	2,513	2.8	2.8	2.6	6.7	5.7
합계	56,192	64,831	97,980	100.0	100.0	100.0	7.4	7.1

세계에서 가장 높은 시장 점유율을 보유한 미국의 Dupont은 파라아라미드와 메타아라미드를 생산하면서 각각 Kevlar®와 Nomex®라는 상표명으로 판매하고 있다. 일본의 Teijin은 파라, 메타, 공중합아라미드 섬유를 모두 생산하고 있으며, 특히 공중합아라미드 섬유는 Technora® 브랜드로 Teijin에서만 독점 공급하고 있다.

Twaron®은 1986년 네덜란드 AKZO에서 개발하였으나, 이후 Teijin이 인수하여 자회사인 Teijin Aramid로 판매되고 있다.

그 외에도 파라아라미드 섬유는 한국의 코로롱 인더스트리(Heracron®), 효성(ALKEX®), 중국 엔타이(Taparan®), 중국 Zhonglan Chenguang(STARAMID®) 등이 대표적인 시장을 형성하고 있다. 메타아라미드 섬유는 엔타이의 Newstar®, 한국 도레이첨단소재의 Arawin®, 휴비스의 MetaOne®이 글로벌 시장을 주도하고 있다.

같은 종류의 아라미드 섬유라도 각 기업은 고유한 방식으로 섬유를 생산한다. 파라아라미드는 강한 액정성을 보이므로 대부분 황산 용매를 이용한 건·습식 방식을 채택하는 반면, Teijin의 공중합 파라아라미드는 등방성으로 습식 방식 후 고온-고배율 연신법으로 생산된다.

공중합아라미드 섬유는 연신 전의 강도가 2g/d로 낮은 수준이지만, 500°C 전후의 고온에서 고배율 연신을 거치면 28g/d 수준의 우수한 강도를 얻을 수 있다.

메타아라미드 섬유는 용액중합-건식 방사 공정과 계면중합-습식 방사 공정으로 구분되며, Nomex®, Aramin®은 건식 방사 공정을, Teijinconex®, Newstar®, MetaOne®은 습식 방사 공정을 통해 제조된다.

표 2
주요 기업별 아라미드 섬유
소재 및 생산 공정

출처: Secondary
research and expert
interviews, 2016

주요기업	아라미드 섬유 종류	브랜드명	생산량 (톤/년, 2016년)	생산 공정
Dupont	파라아라미드	Kevlar®	32,000	건습식방사
	메타아라미드	Nomex®	17,280	건식방사
Teijin	파라아라미드	Twaron®	9,500	건습식방사
	메타아라미드	Teijinconex®	3,500	습식방사
	공중합아라미드	Technora®	1,200	습식방사
Kolon Industries	파라아라미드	Heracron®	5,500	건습식방사
Hyosung	파라아라미드	Alkex®	1,500	건습식방사
Yantai Tayho Advanced Materials Co., Ltd	파라아라미드	Taparan®	-	건습식방사
	메타아라미드	Newstar®	5,000	습식방사
Toray Chemical Korea	메타아라미드	Arawin®	2,500	건식방사
Huvis	메타아라미드	MetaOne®	1,000	습식방사

제품 기술 개발 동향

(1) 안전 보호구 (방탄 및 방화 소재)

방탄 소재는 일반적으로 soft body armor와 hard body armor로 구분된다. 전자는 보통 사람이 착용하는 방탄재를 의미하므로 유연함, 착용감, 무게 등의 제약을 받는다. 이를 해결하기 위해 파라아라미드 패널이 세라믹이나 금속 플레이트를 대신해 적용되고 있다.

최근에는 방탄 성능 향상을 위해 uni-directional로 적층된 복합재 시트 개발이 진행 중이다.

방화복에는 난연성이 우수한 메타아라미드 섬유가 주로 사용되며, 외피는 메타아라미드와 파라아라미드가 함께 사용된다. 내피는 100% 메타아라미드 섬유로 구성되며, 겹감, 안감, 중간층 3겹 구조로 제작된다. 최근 휴비스는 자체 기술을 활용해 메타아라미드 섬유로 방화복 개발에 성공한 바 있다.

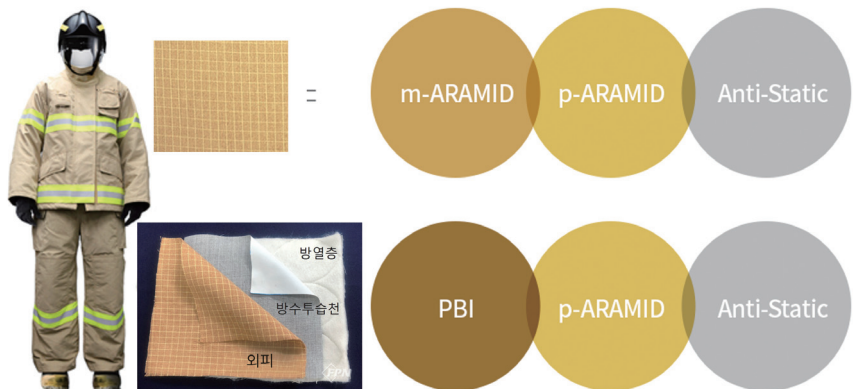
그림 10
방탄복 및 방화복 적용 기술

출처: 「한국섬유신문」

방탄복(파라아라미드 패널)



방화복(메타 및 파라아라미드 직물)



(2) 마찰재 및 고무 보강재(MRG)

승용차용 브레이크에 사용되는 마찰재는 노볼락(Novolac) 페놀계 바인더 수지를 결합재로 사용하고, 석면 대체 아라미드 펄프를 보강재로 혼합한 복합재료다. 아라미드 섬유는 마찰계수가 낮고 낮은 fade, rotor 공격성, filling이 우수하여 기본재로 사용하기 용이한 소재다.

2~4mm 크기로 짧고 가늘게 섬유화된 아라미드 펄프가 적용된 브레이크 패드는 분진을 70%까지 줄일 수 있어 유럽연합의 자동차 환경 규제인 ‘유로 7’에도 부합한다.

MRG(Mechanical Rubber Goods)는 고무와 아라미드 섬유의 복합체를 의미한다. 고무는 유연하고 부드러운 반면, 아라미드 섬유는 기계적 물성과 내구성을 담당하는 뼈대 역할을 한다.

MRG는 주로 자동차 제품에서 높은 비중을 차지하며, 타이어 코드, 호스, 벨트 등이 이에 속한다. 최근에는 모빌리티의 경량화·고성능화에 따라 컨베이어 벨트, 고내압·고내열 연료 호스, 파워 스티어링 호스 등 고내구성이 요구되는 다양한 소재에 적용되고 있다.

특히 파라아라미드 섬유에 비해 공중합아라미드 섬유는 우수한 내피로도 및 내화학성을 보여 최근 MRG용 섬유 소재의 국산화 기술 개발이 정부 R&D 지원을 통해 진행되고 있다.

그림 11

마찰재 및 고무 보강재 적용 기술

출처: 「연합뉴스」, 한국화학섬유협회

마찰재(브레이크 패드)



고무보강재(MRG)



(3) 광케이블 및 전기 절연지

광케이블은 5G/6G와 같은 차세대 통신과 AI산업의 핵심 기반 소재다.

기존 동축케이블에 비해 광케이블은 다발적인 신호 처리와 원거리 전송 시 정보 소실 우려가 적어 효율성이 높다.

광케이블은 설치 장소가 공중, 지하, 심해 등 극한환경에 주로 노출되기 때문에 외부 환경에 따른 물리적·화학적 손상을 최소화하여야 한다. 이를 위해 파라아라미드 섬유는 매우 낮은 열팽창계수와 고강도를 갖추고 있어 최적의 보호 및 강화재로 사용된다.

특히 해저 광케이블의 비중이 크기 때문에 물에 의한 성능 저하를 방지하기 위해 특수 water blocking 처리된 아라미드 섬유가 사용된다.

또한 메타아라미드는 최근 급성장하는 전기차 시장에서 고내열, 난연성, 전기 절연성을 갖춘 아라미드 절연지로의 수요가 급증하고 있다.

전기차 모터, 배터리, 제너레이터 등은 화재 예방을 위해 전기 절연지로의 패키징이 필수적이다. 기존에는 전량 수입에 의존하였으나 최근 국내 휴비스가 메타아라미드 절연지 개발에 성공하여 국산화가 이루어졌다.

그림 12
광케이블 보강재 및 전기 절연지
적용 기술

출처: KSD Fiber Cable

광케이블 보강재



전기 절연지



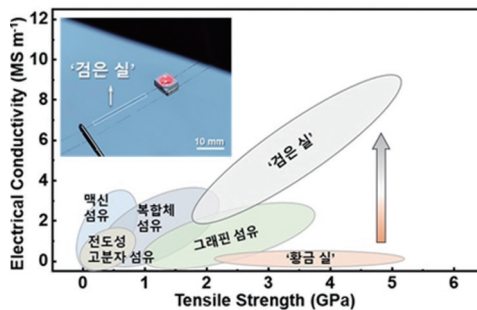
(4) 기능성 아라미드
섬유 기술

아라미드 섬유는 기존의 산업 분야를 넘어 우수한 물성 덕분에 전기 전도성, 열전도성 등을 가진 다양한 기능성 섬유의 기재용 섬유로서의 확장을 위한 선행 연구가 진행되고 있다.

최근 KIST에서는 파라아라미드와 탄소나노튜브(CNT)를 나노복합화하여 전기전도성 아라미드 섬유 개발에 성공했다. 이 섬유는 기계적 강도와 함께 높은 전기전도성을 동시에 갖추고 있어 차세대 스마트 섬유로 주목받고 있다.

또한 같은 연구팀은 파라아라미드와 질화붕소나노튜브(BNNT)를 복합한 섬유를 개발하여 뛰어난 열전도성과 함께 우주 방사선에 포함된 중성자를 효과적으로 차단할 수 있는 우주·항공용 아라미드 섬유 개발에 성공했다.

아라미드-CNT 복합섬유(전기전도성)



아라미드-BNNT 복합섬유(열전도성)

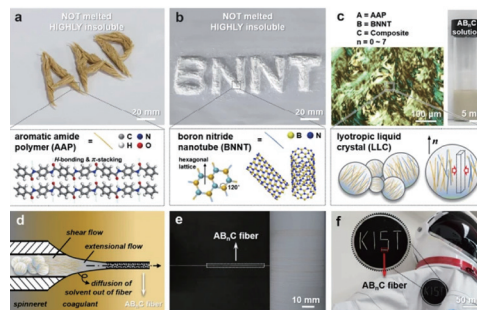


그림 13
기능성 아라미드 섬유 기술

출처: KIST

4. 시사점

아라미드 섬유는 최근 우주·항공, 6G 통신, AI, 자율주행 등 신산업 분야에서 극한 성능 신소재로서 그 가치가 재조명되고 있다. 과거에는 주로 총알을 막는 소재로만 알려졌다면 앞으로는 극한 고온, 고압, 화학물질 저항력까지 갖춘 소재로 더욱 많이 활용될 것이다.

하지만 극한 성능 소재로서 아라미드 섬유는 세계적 수요 증가에도 불구하고 이 산업은 글로벌 선도 기업들이 시장을 선점하고 고착화된 공급망을 구축한 상황이라서 신생 기업들이 진입하기에는 사실상 어려운 상황이다.

다행히도 국내 섬유 기업들은 아라미드 섬유의 중요성을 일찍이 인식하고, COVID-19와 같은 어려운 상황 속에서도 공격적인 투자를 통해 파라아라미드와 메타아라미드 섬유의 세계적 생산 규모를 확보한 상태다.

그러나 Dupont과 Teijin 같은 글로벌 선도 기업들은 자체적으로 파라아라미드, 메타아라미드를 비롯해 심지어 공중합아라미드까지 다양한 소재 포트폴리오를 보유하고 있어 시장에서의 점유율 확대에 매우 유리한 상황이다.

또한 중국의 섬유업체들이 막대한 투자와 인력을 투입하여 아라미드 섬유 시장에서의 영향력을 강화하고 있어 선두 그룹과 후발주자 사이에서 국내 기업들의 상황은 낙관적이지 않다고 볼 수 있다.

따라서 본고에서는 장기적 관점에서 국내 아라미드 섬유 기업들이 시장 비중을 확대할 수 있는 비전을 제시하고자 한다.

첫째, 중국 기업들이 아직 진입하지 않은 공중합 파라아라미드 섬유 개발에 투자하고 시장 진입하는 것이 중요하다. 현재 Teijin의 Technora가 시장을 독점하고 있지만, 공급이 수요를 따라가지 못하고 있어 국내 기업들이 시장에 진입할 여지가 충분하다. 최근 정부의 지원으로 공중합아라미드 섬유 개발 사업이 진행 중이며, 이를 위한 지속적 투자가 필요하다.

둘째, 다양한 극한환경에 대응할 수 있도록 물성이 세분화된 용도 맞춤형 아라미드 섬유 개발이 필요하다. 단순히 고강도, 고탄성률을 추구하는 것이 아니라 탄소섬유처럼 강도나 탄성률 등 특성화된 소재들로 등급화할 수 있는 기술 확보가 중요하다.

출처 및 참고자료

1. K. H. Ryu, et. al., “Boost Up the Mechanical and Electrical Property of CNT Fibers by Governing Lyotropic Liquid Crystalline Mesophases with Aramid Polymers for Robust Lightweight Wiring Applications(전기 통하는 차세대 아라미드 섬유 개발)”, Advanced Fiber Materials Vol. 5, 2022.12, pp. 514–526.
2. Japan The Society of Fiber Science and Technology, “Technora® Fiber: Super Fiber from the Isotropic Solution of Rigid–Rod Polymer”, High–Performance and Specialty Fibers: Concepts, Technology and Modern Applications of Man–Made Fibers for the Future, Springer Nature, 2016.08.
3. 박훈, 『수요구조 변화에 따른 국내 산업용 섬유산업의 대응전략』, 산업연구원, 2020.12.23.
4. 한지은, “코오롱인더스트리, 구미공장 아라미드 펄프 생산량 2배 확대”, 『연합뉴스』, 2024.11.13.
5. 전상열, “소방관, 91년 만에 우리 기술 방화복 입는다”, 『한국섬유신문』, 2015.02.06.
6. “우리 결의 슈퍼히어로 소방관! 화염으로부터 영웅을 지키는 ‘방화복’”, SKInno News, SK이노베이션, 2024.05.03.
7. “Nokian Tyres, 아라미드 섬유 보강재를 적용한 타이어 신제품 출시”, 화성정보, 한국화학섬유협회, 2021.04.16.
8. “파라계 및 메타계 아라미드 섬유의 특징 및 물성비교”(편역), TEIJIN LIMITED Fact book Fundamental information, Teijin, 2024.11.
9. “슈퍼섬유 제품 소개”, 휴비스(huvis.com)
10. “강화 케블라 ADSS 광케이블 경량 대형 스펜(200–1000m)”, KSD Fiber Cable Manufacturer (www.ksdfibercable.com).
11. 휴비스(www.huvis.com), “각 섬유의 technical data sheet”, 재가공.
12. The Business Research Company, “Aramid Fiber Global Market Report 2024”, 2024.03.
13. Coherent Market Insights, “Aramid Fibers Market Analysis”, 2024.05.
14. Markets and Markets, “Aramid Fiber Market: Global Forecast to 2024”, 2018.10.

윤석한 섬유 PD | 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실

양병진 섬유솔루션 부문장(수석) | 한국생산기술연구원(KITECH) 산업용섬유기술센터

요약

소프트웨어 정의 차량(SDV; Software-Defined Vehicle) 기반의 자율주행기술과 전력 기반 동력장치를 활용한 새로운 운송 시스템과 관련 산업 생태계를 미래모빌리티라고 정의한다. 자동차·철도·선박·소형 운송 장치와 디지털기술(자율주행, 무인체계, 로봇)이 결합하면서 광범위한 이동 생태계 전반을 혁신하는 수단으로 의미가 확장되고 있다.

미래모빌리티로의 전환과 함께 최근 섬유 기반의 자동차 소재·부품 개발은 전력 효율성 개선을 위한 경량화, 차량 냉난방 사용에 따른 열 차단 및 단열 성능 확보, 탑승자의 쾌적성 확보를 위한 NVH(Noise, Vibration, Harshness) 성능 개선에 초점을 맞추어 진행되고 있다.

주요 선진국을 중심으로 친환경 트렌드와 기후 위기에 대응 방안으로 미래차 분야에서도 탄소중립 실현을 위한 환경 규제를 강화하고 있다. 대표적으로 EU는 ELV(End-of-Life-Vehicle) 규정을 통해 차량용 소재·부품의 자원 순환성을 높이기 위하여 설계 단계부터 재사용·재활용뿐 아니라 재생 원료 사용이 가능한 제품 설계를 단계적으로 의무화하고 있다.

미래모빌리티 시장에서는 에너지 효율 향상, 경량화, 저전력화 기술과 함께 선진 시장의 환경 규제와 무역장벽에 대응할 수 있는 자원 순환성 확보가 필수적이다. 이를 위하여 지속 가능한 섬유 기반 소재·부품 기술에 대한 적극적인 지원이 필요한 상황이다.

본고에서는 미래모빌리티 분야 섬유 기반 자동차 소재·부품의 정의, 등장 배경, 시장 전망, 개발 사례를 정리하여 전반적인 기술 개발 동향을 공유하고자 한다.

1. 개요

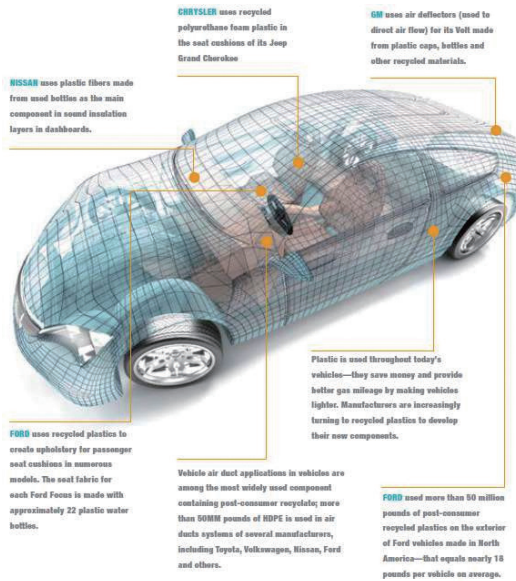
지속 가능한 미래차용 소재·부품은 자동차산업의 생태계 전환과 선진 시장의 환경 규제 및 무역장벽 강화에 대응하기 위하여 지능화, 친환경화, 경량화, 기능화 방향으로 연구 개발이 추진되고 있다.

섬유 소재 기반의 자동차 소재·부품은 탑승자의 쾌적성을 확보하고 차량의 주행 효율을 향상시키기 위하여 냉난방 에너지 효율성을 높이는 단열&경량화 부품·소재, NVH 성능이 향상된 흡차음 부품·소재 중심으로 연구 개발이 진행되고 있다.

그림 1

자동차 내장 부품·소재
친환경(Biomass & Recycle)
소재 개발 전략

출처: SPI: The plastics
Industry Trade Association,
한국자동차연구원 재인용, 2021



탄소중립(Carbon neutral), 친환경(Eco-Friendly), 자원 재활용(Recycling of resources)과 같이 환경 문제와 관련된 친환경 소재·부품 개발이 시장 트렌드로 자리 잡으면서 자동차 관련 규제 및 무역장벽이 강화되는 추세다. EU를 중심으로 차량의 순환성을 확보하기 위한 ELV(End-of-Life-Vehicle) 규정을 강화하였고, 폐자동차의 재활용 의무화 비율을 강제하는 방향으로 2024년 법규 발효 예정이며, 2030년부터 생산되는 모든 신차에 의무 적용이 예정되어 있다.

미래모빌리티 차량의 주행 효율을 향상시키기 위하여 냉난방 에너지 손실을 저감하는 단열 부품·소재의 필요성이 강조되고 있다. 전기를 동력원으로 사용하는 차량의 경우 냉난방 시스템을 운영하기 위하여 10~30% 감소하는 것으로 알려져 있다. 고온 외부 환경에서 전달되는 열을 효과적으로 차단하고, 차량 실내의 난방 에너지 손실을 최소화할 수 있는 고효율 단열 소재 개발의 필요성이 높아지고 있다.

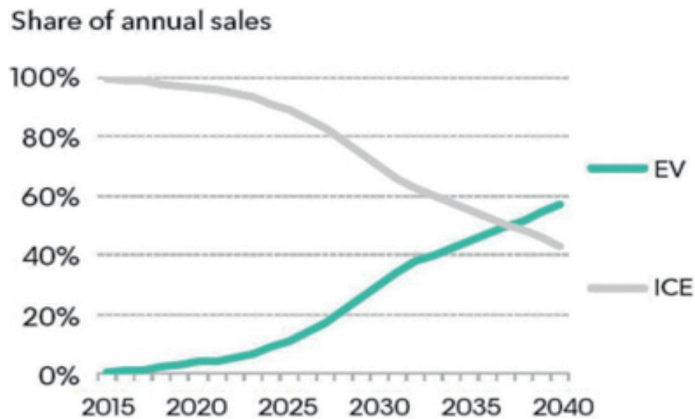
2. 미래차 소재·부품 시장 및 정책 전망

- 유해가스 배출량이 많아 환경 유해성이 높은 것으로 인식되고 있는 내연기관 자동차를 대체하는 미래차 분야는 기존 완성차 시장의 저성장 기조 속에서도 높은 수준의 성장세를 유지하고 있다. 2030년 미래차 시장은 전기차, 수소차, 자율주행 자동차 분야의 혁신을 바탕으로 시장 성장을 견인할 것으로 예상된다.
- 친환경 자동차는 지속적으로 성장하여 2030년에 전체 완성차의 약 20%를 점유하고, 전기차는 전체 자동차 생산의 18% 수준으로 성장할 것으로 예상된다. 블룸버그는 글로벌 시장에서 전기차의 판매 비중이 2037년에 내연기관차를 넘어설 것으로 예상하고 있다. 또 2040년에는 중국, 미국, 유럽 등의 시장에서 경차의 56%, 중형차의 31%가 전동화될 것으로 전망했다.
 - 친환경 자동차: 하이브리드(HEV; Hybrid Electric Vehicle), 전기자동차(BBEV; attery Electric Vehicle), 수소자동차(FCEV; Fuel Cell Electric Vehicle) 등

그림 2

글로벌 전기차(EV)와
내연기관(ICE) 비중

출처: BloombergNEF, 2019



- 글로벌 시장의 성장과 함께 국내 완성차 시장도 미래차 중심의 안정적인 시장 성장을 예상하고 있다. 전후방 산업과의 연계성이 높은 자동차산업의 확장성을 활용하여 국내 미래차 산업 생태계의 경쟁력을 강화하는 방향으로 연구 개발이 진행 중이다. 친환경 자동차 시장의 국내 생산 규모는 2020년 전기차 14만 대와 수소차 약 1,500대에서 각각 연평균 20.0%와 8.1%로 성장하여 2030년에는 전기차 87만 대와 수소차 3,300대 규모가 될 것으로 전망된다.

표 1
국내 친환경 자동차의 시장 전망

구분		2017년	2120년	2230년	CAGR (2020~2030)
세계 자동차 생산		9,466만 대	9,877만 대	11,460만 대	1.5%
국내 친환경 자동차	전기차	1.5만 대	14만 대	87만 대	20.0%
	수소차	1387대	1509대	3300대	8.1%

출처: BISTEP, 2019;
중소벤처기업부, 2019.09. 재인용

- 현대자동차는 2026년까지 전기차 판매 목표를 84만 대(전체 차량 판매의 17%), 2030년까지 187만 대(전체 판매 차량의 58%)로 설정하고 지속적인 시장 확대를 위하여 노력하고 있다.
 - 유럽 시장에서 48만 대(전체 판매 차량의 69%), 한국 시장에서 29만 대(전체 판매 차량의 58%), 기타 시장에서 57만 대를 판매할 계획임
- 2030년 판매 목표를 달성할 경우 현대자동차의 글로벌 전기차 시장점유율은 2021년 3% 수준에서 2030년 7% 수준으로 상승할 것으로 예상된다. 특히 미국에서의 시장점유율은 11%, 유럽에서의 시장점유율은 6%까지 성장할 것으로 기대되고 있다.

그림 3
현대자동차의 친환경 자동차 글로벌 판매 추이

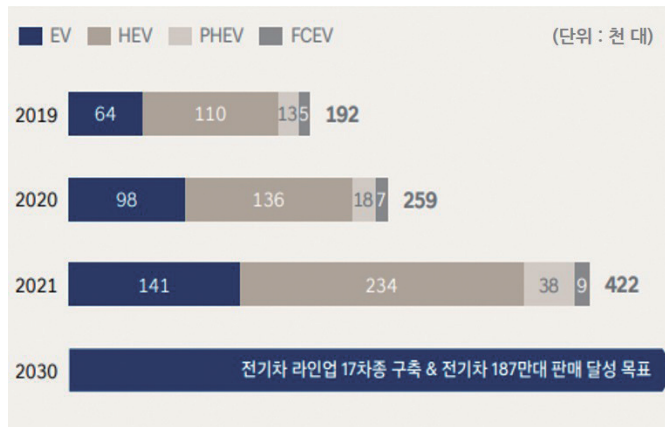
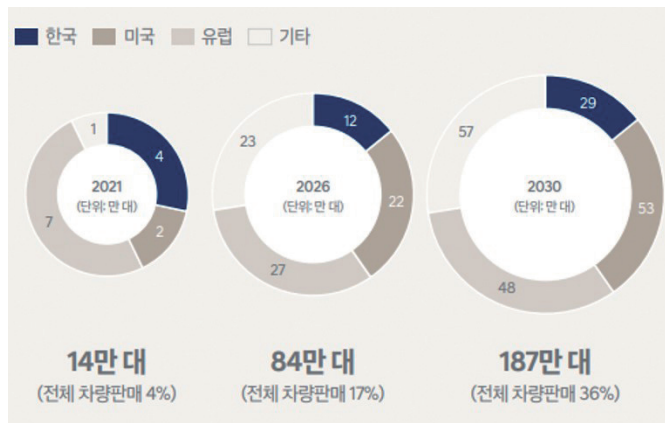


그림 4
현대자동차의 2030 전기차 판매 목표



- 폐자동차의 재활용 의무화 비율을 강제하는 유럽의 ELV 규정은 2024년 법규 발효 예정이며, 2030년부터 생산되는 모든 신차에 관련 의무 적용을 예고했다. EU는 ELV 규정을 바탕으로 재활용 원자재 사용 의무를 설정하고(72개월 후) 차량 순환성 여권제도 도입(84개월 후)을 검토 중이다. 발효 후 72개월 후부터는 자동차 부품·소재에 재활용 원자재 사용 의무를 설정하도록 하고 있다. 특히 플라스틱에 대해서는 신차 생산 단계에서 소비자가 사용하고 폐기한 재활용 플라스틱을 최소한 25% 이상 사용하도록 의무화하고 있다. 84개월 후부터 EU 권역에서 출시되는 모든 차량에 대하여 차량 순환성 여권제도를 도입할 계획이며, 해당 여권 관련 사항은 향후 EU 집행위원회 시행령을 통하여 입법화될 것으로 예상된다.

그림 5
ELVR 규정에 의거한 폐자동차
재활용 지침

출처: European Aluminium

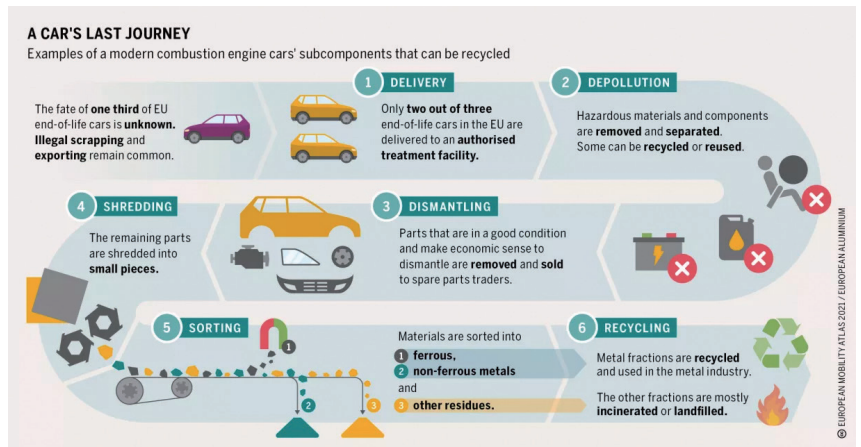
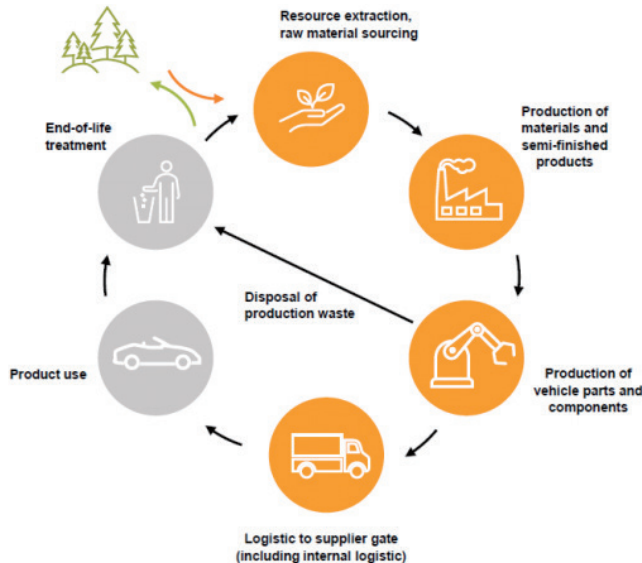


그림 6
자동차 순환경제(Circular
Economy) 현황

출처: Catena-X, 국회입법조사처
재인용, 2023



- 세계 최대 소비 시장인 중국과 한국 및 일본의 완성차 업체를 비롯한 화학 소재 업체들의 성장으로 인하여 자동차용 경량 부품 시장의 49.6%를 아시아 업체가 점유하고 있다. 자동차 친환경·경량화 부품은 BEV(Battery Electric Vehicle) 시장을 바탕으로 경량 소재 부품의 급격한 시장 성장을 견인할 것으로 예상된다.

표 2

(단위: 세계-십억 달러 / 국내-천억 원)

국내외 자동차용 경량 부품의
시장 규모 및 전망

구분	2020	2021	2022	2023	2024	2025	CAGR
세계 자동차 경량 부품 시장	69.7	74.8	80.2	86.1	92.4	99.1	7.3%
국내 자동차 경량 부품 시장	32.7	35.1	40.4	43.3	46.5	49.9	7.35

출처: MarketsandMarkets,
2020

3. 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향

- 최근까지 첨단 소재와 디지털기술 융합을 중심으로 진행되던 글로벌 완성차 업체들의 기술 경쟁 방향이 변화하고 있다. 단순한 전기차나 수소전기차 등 친환경 자동차를 제조하는 것을 넘어 차량 제작 시 친환경 에너지를 사용하고, 자동차 소재·부품에 천연 소재나 재활용 소재를 적극적으로 적용하고 있다. 탄소배출 저감을 넘어 차량의 생산과 사용, 폐차, 재활용 등 생애 주기(LCA; Life Cycle Assessment) 전반에 걸쳐 친환경성을 고려한 기술 개발이 주목받고 있다.
- 볼보는 2025년까지 신차 내장 소재의 25%를 천연 유래 바이오 소재와 재활용 소재로 전환한다는 목표를 제시했다. 올해 생산되는 전기차에는 재활용 PET, 천연 유래 바이오 소재, 와인산업에서 재활용된 코르크를 활용한 직물을 개발하여 내장 소재로 적용할 예정이다. 제품 생애 주기와 디지털여권제도에 대응하기 위하여 재활용 자원의 유통 과정을 추적할 수 있는 블록체인기술 기반의 플랫폼 시스템도 개발을 완료했다.

그림 7

볼보의 전기 콘셉트 차량인
‘볼보 콘셉트 리차지’의 내부

출처: 볼보 홈페이지



산업혁명 핵심 소재-
산업용 섬유 및 나노소재 기술

- 천연섬유를 활용해 고성능 경량 소재를 개발하는 스위스 기업 비컴프와 기술 제휴를 바탕으로 지속 가능한 친환경 소재를 미래차용 소재·부품에 확대 적용하기 위한 기술 개발을 진행 중이다. 지난해 공개한 순수 전기 콘셉트 차량인 ‘볼보 콘셉트 리차지’의 하부 수납공간, 헤드레스트, 언더커버 등에 아마(flax) 합성 소재를 적용했다. 또 시트 등받이와 헤드레스트, 스티어링 휠의 일부에는 북유럽에서 확보한 바이오 소재인 ‘노르디코(Nordico)’를 적용했다. 일반 가죽을 자동차 내장 부품·소재로 적용했을 때보다 노르디코 적용 시 이산화탄소 배출량이 74% 감소한다고 보고되었다.
- 메르세데스-벤츠는 2039년까지 차량 전체 생애 주기에 걸쳐 탄소중립적인 차량 라인업을 구축하겠다는 계획을 발표했다. 올해 공개한 순수 전기 콘셉트 차량인 ‘비전 EQXX’에도 스타트업 기업에서 개발한 바이오 소재를 폭넓게 사용했다. 도어 손잡이는 생분해되는 바이오매스 섬유로 만들어졌고, 시트 제작에는 버섯과 선인장으로 만든 인조 가죽, 바닥 매트는 생산량이 우수하고 재활용이 가능한 대나무 섬유를 적용했다.

그림 8

메르세데스-벤츠의 비전 EQXX에 적용된 친환경 소재

출처: 메르세데스-벤츠 홈페이지



- BMW는 신규 출시한 전기차 SUV ‘iX’의 인테리어 내장 소재로 천연 올리브잎 추출물을 코팅 후 태닝 공정을 진행한 가죽을 적용했고, 바닥재는 폐어망을 재활용하여 만든 나일론 원사를 사용했다. iX 차량 한 대당 60kg의 재활용 플라스틱이 사용되었고, 자체 알루미늄의 50%를 쓰레기 처리 과정에서 추출한 재활용 소재로 제작했다. 다양한 친환경 리사이클 소재 도입을 통해 iX 한 대의 생산 과정에서 발생하는 탄소 발생량이 동급 내연기관차보다 45% 감소한 것으로 보고되었다.

그림 9

올리브잎 추출물을 기반으로 제작된
BMW iX의 가죽시트

출처: BMW 코리아 홈페이지

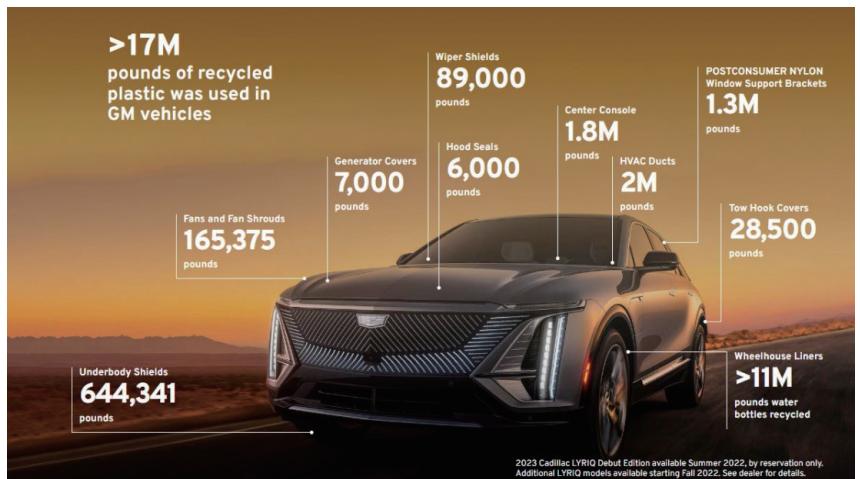


- GM은 친환경 소재 개발과 적용을 위한 자체 탄소배출 관리 솔루션을 개발하고 있다. 현재 생산 중인 자동차는 물론 생산 과정에서 사용되는 소재·부품 전반에 대하여 친환경 전략을 수립하여 적용하고 있다. 전기트럭 제조사인 리비안에서는 실내 좌석에 환경 부담이 완화된 친환경 인조 가죽 ‘비건 리더’를 인테리어 소재로 활용하고 있다.

그림 10

GM의 내장 부품에 대한 재활용 소재
적용 현황

출처: GM 지속가능보고서



- 현대자동차그룹은 2000년 초부터 자동차 소재·부품으로 활용이 가능한 친환경 소재 개발을 지속적으로 진행했다. 2016년 아이오닉 일렉트릭의 내장재에 목재 섬유질 함유 비율을 향상시킨 바이오 플라스틱을 사용했고, 시트에는 유칼립투스 나무 추출물로 만든 텐셀 원단을 적용했다. 2018년에는 수소차 넥소의 실내 마감재 대부분에 바이오 플라스틱을 적용하여 탄소중립 및 환경 규제에 대한 대응 기술 확보를 위해 노력하고 있다.

- 현대자동차그룹은 ELV 규정에 대응하기 위하여 사용 후 페트병 등 폐자원 재활용 기술을 활용한 차량용 소재·부품 관련 기술 개발을 진행 중이다. 신규 출시된 아이오닉6는 사용 후 폐기된 페타이어 재활용 도료와 천연 유래 식물성 원료를 복합화한 도료를 사용하여 내외장을 도색했으며, 친환경 가죽과 재활용 플라스틱 원단을 인테리어용 내장 소재로 사용했다. 사탕수수에서 추출한 바이오 플라스틱을 활용한 대시보드, 바이오 PET 원단으로 제작된 헤드라이너, 페어망 재활용 원사로 제작한 바닥재 등 다양한 방향에서 탄소중립 대응 소재를 개발하여 실차에 적용하고 있다.

그림 11
재활용 플라스틱 원단과
바이오 플라스틱이 적용된
아이오닉6의 내장재



- 기아의 전용 전기차인 EV6는 한 대당 500ml 페트병 75병 분량의 재활용 소재를 사용했다. 도어 트림, 도어 스위치, 크래시 패드는 유채꽃, 옥수수 등 식물에서 추출한 바이오 오일 성분을 이용한 도료를 적용했다. 또 사탕수수, 옥수수 등에서 추출한 바이오 성분 원사를 활용하여 제작된 원단을 시트 지지체로 사용했다. 아마 씨앗 추출물을 활용해 나파 가죽 시트를 개발했으며, 도어 포켓과 매트에는 페플라스틱을 재활용한 소재로 제작되었다. 이러한 부품·소재 개발을 바탕으로 EV6는 국내 자동차 업계 최초로 '제품 탄소발자국 인증'(영국)을 취득했다.

그림 12
500ml 페트병(75EA) 재활용 소재가
사용된 기아 EV6



- 현대자동차 제네시스는 전동화 모델을 중심으로 친환경 소재 적용을 확대하고 있다. 제네시스의 첫 전기차 G80 전동화 모델은 가구 제작 공정에서 발생하는 폐목재를 활용하여 제작된 ‘포지드 우드’ 장식이 적용되었고, 천연염료와 재활용 PET 원사로 만든 친환경 원단을 가죽시트에 적용했다.

그림 13

폐원목과 재활용 PET 원사를 적용한 제네시스 G80

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG



- 현대차그룹의 핵심 부품 협력사인 현대트랜시스에는 친환경 트렌드에 부합하는 소재와 제조 공정, 성형 공정 등 다양한 방향에서 관련 기술 개발을 추진하고 있다. 천연 유래 바이오 원료, 재생 소재, 재활용 소재를 활용해 자원 순환성을 확보하고, 동시에 주행 효율성 향상을 위한 경량화 기술을 적용하여 새로운 개념의 친환경 내장 소재를 개발했다.

그림 14

바이오매스 원료를 사용한 친환경 시트 성형 제품

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG



- 석유계 고분자 소재를 대체하기 위하여 천연 소재(옥수수과 피마자 열매)에서 추출한 바이오매스 원료를 사용하여 시트 커버와 폼을 개발했다. 사용 후 폐기 단계에서 황산화물(SOx)이나 질소산화물(NOx), 이산화탄소 배출이 적은 바이오매스 소재의 적용 분야 확대를 위해 핵심 소재·부품 대체 기술을 연구하고 있다.
- 방오 성능이 우수한 현대트랜시스의 실리콘 원단은 천연 광물자원인 석영에서 원재료를 추출하여 만든 친환경 제품이다. 바이오매스 소재를 활용하고 친환경 난연제를 적용한 인조가죽, 유해 물질을 저감한 친환경 폴리우레탄, 상온 접착 공법 등 다양한 방향에서 안전하고 친환경적인 소재와 제조 공정을 개발하고 있다.

그림 15

현대트랜시스의 천연 소재 기반의 폼 패드 제품

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG



그림 16

재생 가죽과 리사이클 PET를 적용한 미래모빌리티 시트

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG

HYUNDAI TRANSYS



- 현대트랜시스는 미래모빌리티 자율주행 콘셉트 시트에 친환경 소재를 적용하여 밀라노 디자인 위크와 리니아펠레 국제가죽박람회에서도 공개했다. 탄소중립에 대한 사회적 요구와 윤리적 소비, 친환경 자동차의 확산에 대응하기 위해 폐가죽으로 만든 재생 가죽 원단, 제조 과정 중 발생하는 잔유물을 활용한 위빙(waving) 소재를 중심으로 내장 부품·소재를 개발하여 실차에 적용했다.

그림 17

현대자동차 업사이클링 패션 프로젝트
'리스타일 2021'

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG



- 자동차 1대에는 2만여 개의 부품이 사용되며, 사용 후 폐기되는 자원의 순환성 확보를 위하여 가방과 운동화 등 의류 제품을 비롯하여 생활용품, 포장재, 산업용 원자재 등으로 부가가치를 높여서 재활용하는 업사이클 기술이 주목받고 있다. 자동차에서 발생하는 금속 부품은 대부분 재활용되지만, 가죽시트와 에어백, 안전벨트 등 내장 부품은 대부분 폐기되었다. 이러한 폐기물의 활용도를 높이기 위하여 업사이클링 기술을 바탕으로 다양한 분야의 응용 제품 개발이 진행되고 있다.
- 스위스의 프라이탁(Freitag)은 자동차 폐기물 업사이클 분야의 대표 기업으로 인식되고 있다. 트럭의 방수포, 자동차의 에어백, 안전벨트를 활용하여 다양한 패션의류 제품을 생산하고 있다. 사용 후 폐기되는 방수포나 천막을 활용하여 가죽을 대체하는 원단으로 활용하고, 폐자동차의 안전벨트를 가방끈으로 활용한다. 재료 선별 및 재단, 봉제 과정이 100% 수작업으로 제조되어 차별화된 패션 아이템으로 소비자의 주목을 받고 있다.

그림 18

자동차 폐기물 업사이클 대표 기업인
스위스 프라이탁의 제품들

출처: HYUNDAI TRANSYS BLOG

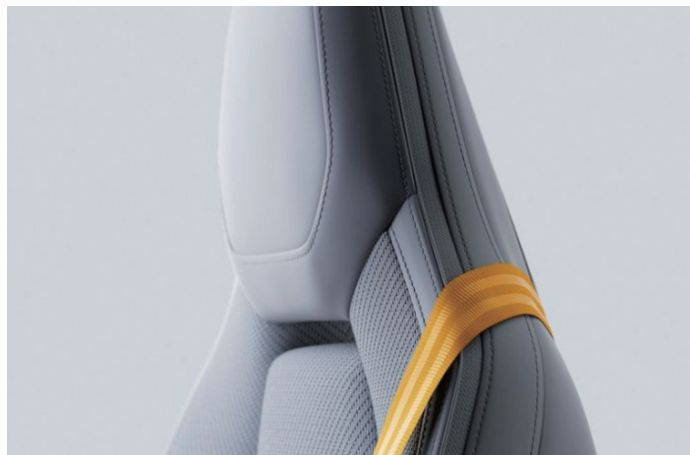


- 국내 기업 트레드앤그루브(TREDNGROOVE)는 사용 후 폐기 단계에서 대표적인 환경 오염 제품으로 분류되는 폐타이어를 활용하여 신발 제품으로 개발해 냈다. 사회적 기업 모어덴의 컨티뉴(Continew), 코오롱FnC의 래코드(RE:CODE)는 가죽시트, 안전벨트, 에어백을 활용하여 가방, 지갑 등의 패션 아이템을 제작·판매하고 있다.
- 스웨덴의 프리미엄 전기차 브랜드인 폴스타(Polestar)는 2022년 ‘폴스타 오투 콘셉트(Polestar O2 Concept)’를 통해 자동차 내장 부품의 모든 레이어(layer)가 동일 소재로 생산되고, 이를 활용해 부품을 설계·제작하는 단일 소재 방식(Mono-material approach)의 제조 공정을 제안했다. 이종 소재 분리의 작업 효율성과 재활용 소재의 부가가치를 향상시켜 자동차의 순환 자원화에 기여할 것으로 예상된다.

그림 19

폴스타 오투 콘셉트의 단일 소재 방식

출처: 폴스타, 「모토타」 재인용



4. 시사점

미래모빌리티는 SDV(Software-Defined Vehicle) 기반의 자율주행기술과 전력 기반의 BEV(Battery Electric Vehicle)가 결합하면서 인류가 경험하지 못한 새로운 미래 사회를 구현할 것으로 예상된다. 삶의 편리함에서 나아가 새로운 라이프스타일과 혁신적인 주행 환경을 제공하기 위하여 차량용 소재·부품에 대한 다양한 연구 개발이 진행되고 있다.

자율주행기술의 발전에 따라 차내 공간 탑승자의 쾌적성을 확보하고 전력 기반 주행 효율을 개선하기 위한 소재·부품 개발이 활발하게 진행되고 있다. 차량 외부에서 전달되는 열을 효과적으로 차단하고 차량 실내 난방 에너지 손실을 최소화할 수 있는 경량화 단열소재 개발과 차내 공간의 활용성을 강화하기 위한 흡차음 소재 개발이 주목받고 있다.

EU를 중심으로 차량의 순환성을 확보하기 위한 ELV(End-of-Life-Vehicle) 규정이 제안되고, 플라스틱 재생원료(r-plastic) 25% 목표, 재활용 원자재 사용 의무, 차량순환성 여권제도 등의 세부 규정이 단계적으로 발효 예정인 상황이다. 국가의 주력 산업인 자동차산업의 경쟁력 강화를 위하여 정부 차원의 정책적 지원과 자원 순환 생태계 구축에 대한 적극적인 투자가 필요한 상황이다.

우리 사회의 지속 가능성을 확보하기 위하여 탄소중립, 친환경, 자원 재활용 기술과 결합된 자동차 소재·부품 연구가 주목받고 있다. 강화되는 선진 시장의 환경 규제와 무역장벽에 대응하기 위하여 자동차 자원 순환 생태계를 구축할 수 있는 리사이클, 바이오 소재, 에너지 효율성 관련 원천기술 개발이 활발하게 진행되고 있다. 미래차 소재·부품의 글로벌 공급망 환경 변화와 주요국의 정책 변화에 대응하기 위하여 국내 완성차 업체와 주요 중소 협력업체, 관련 학계의 유기적인 협력을 통한 대응 기술 개발이 필수적이다.

출처 및 참고자료

1. 김경민, “EU의 차량순환성 관리 동향 및 시사점”, 「외국입법/정책 분석」 제47호, 국회입법조사처, 2023.12.29.
2. 하진욱, “자동차 산업 소재 동향”, KATECH 한국자동차연구원, 2021.05.04.
3. 윤웅희, “EU, 차량순환성 및 폐차관리규정 입법 동향”, KOTRA 경제통상 리포트, 2023.07.27.
4. “A Car's Last journey”, Martin Keim & Philipp Cerny ed., European Mobility Atlas 2021, Heinrich-Böll-Stiftung European Union, 2021.07.: European Aluminium.
5. Fortune Business Insight, “자동차 내장재 시장 규모, 점유율 및 산업 분석, 소재별(플라스틱, 직물, 복합재, 가죽(합성 및 천연) 및 기타), 애플리케이션별(대시보드, 시트, 에어백 및 안전 벨트, 도어 패널 및 트림, 카펫 및 헤드라이너 및 기타) 및 지역 예측(2019~2026년)”, 2024.11.
6. MarketsandMarkets, Automotive Lightweight Material Market by Material, Application & Component, Vehicle Type, and Region-Global Forecast to 2025, 2020.07.
7. BloombergNEF, “Electronic Vehicle Outlook 2019”, 2019.09.
8. 중소벤처기업부, “GPS-250 프로젝트 그린카 플레이 그라운드 조성 추진계획(안)”, 2019.09.
9. European Parliament and Council, “Regulation (EU) 2019/1020 of the European Parliament and of the Council of 20 June 2019 on market surveillance and compliance of products and amending Directive 2004/42/EC and Regulations (EC) No 765/2008 and (EU) No 305/2011 (Text with EEA relevance.)”, 2019.06.
10. 10. European Commission, “Circular economy: improving design and end-of-life management of cars for more resource-efficient automotive sector”, 2023.07.13.
11. “새로운 차원의 전기 퍼포먼스 SUV 쿠페 ‘폴스타 4’ 최초 공개”, 「모토야」, 2023.04.18.5. SBD Automotive, “The Software-Defined Vehicle Enabling the Updatable Car”, 2021.07.
12. “뺏속까지 ‘착한 차’가 온다! 친환경 자동차 내장재가 대세”, HYUNDAI TRANSYS BLOG, 2022.09.07.
13. “NEXT ZERO? 모빌리티 업사이클링 열풍”, HYUNDAI TRANSYS BLOG, 2022.08.19.
14. Catena-X(catena-x.net), “Traceability as the backbone of Catena-X”, 2021.06.23.
15. 한국자동차모빌리티산업협회, “세계 자동차 통계(각 연도 기준)”.
16. 볼보(motorcarsvolvocars.com)
17. 메르세데스-벤츠(mercedes-benz.com)
18. BMW코리아(bmw.co.kr)
19. GM 지속가능보고서, HYUNDAI TRANSYS BLOG에서 재인용.

KEIT NEWS



윤석한 섬유 PD 소개

2001. 1. ~ 다이텍연구원 연구개발본부장

2019. 9. ~ KEIT 입사

섬유 PD로 일하시면서 뿌듯했던 일이나 힘들었던 일 등 가장 기억에 남는 일이 있으실까요?

COVID-19 팬데믹 시기, 산업통상자원부와와의 협력을 통해 마스크 및 방호복 소재의 공급망 안정화에 기여한 경험은 매우 뜻깊었습니다. 당시 일본의 수출규제로 인해 섬유 소재 자립화의 필요성이 대두되었고, 이에 대응하기 위한 전략을 수립하여 정책에 반영한 결과, 실제로 관련 과제가 지원되어 가시적인 성과로 이어지는 모습을 보았을 때가 기억에 많이 납니다.

올해 섬유 분야에서 제일 이슈되는 내용을 하나만 뽑는다면?

향후 섬유 산업의 가장 큰 이슈는 ESPR(에코디자인규정), DPP(디지털제품여권), EPR(생산자책임재활용제도) 등 글로벌 친환경 규제에 대한 법제화입니다. 이러한 규제들은 유럽연합(EU)을 중심으로 빠르게 확산되고 있으며, 이를 적기에 대처하지 못할 경우 국내 섬유산업의 경쟁력이 심각하게 저하될 수 있습니다. 그러나 이 위기를 극복한다면, 친환경 전환을 통해 글로벌 시장을 선도할 수 있는 새로운 기회로 활용할 수 있을 것입니다.

앞으로 PD로 재임하시는 동안 어떤 R&D를 지원하고 싶으신가요?

섬유산업의 친환경·디지털 전환은 생존을 위한 필수 과제이자 재도약의 발판입니다. 글로벌 환경규제와 가치소비 트렌드의 확산으로 친환경 소재 사용이 거래의 필수 조건으로 구체화되고 있으며, 이를 충족하지 못하는 기업은 시장 진입 자체가 어려워질 것입니다. 기획-생산-유통 등 섬유패션산업 전분야로 디지털화가 확산되고 있습니다. 우리 섬유패션산업의 재도약을 위해 친환경·디지털 전환 R&D를 지속적으로 발굴하여 지원하고 싶습니다.

섬유 분야 연구수행자분들께 하고 싶은 말씀이 있으시다면?

우리 섬유·패션산업은 최근 중국 등 후발 주자의 급격한 추격과 원가 경쟁력 약화로 인해 산업 전반의 경쟁력이 하락하고 있습니다. 이에 더해, 글로벌 환경 규제와 가치소비 확산에 따른 친환경·디지털 전환의 요구는 단순한 변화가 아니라, 산업 생태계 전반을 뒤흔드는 거대한 흐름으로 작용하고 있습니다. 이러한 상황 속에서 기술 혁신과 R&D를 통한 지속 가능한 성장의 모멘텀을 확보하는 것이 무엇보다 중요합니다. 글로벌 규제 대응을 위한 친환경 섬유 기술 개발*, 디지털 기술 접목, 첨단 산업용 섬유 및 제품 고도화가 이를 실현할 수 있는 주요 전략이라 할 수 있습니다. 전통 주력산업에서 미래 기반산업으로의 전환이 필요한 시점이며, 이를 위해 각계의 적극적인 참여와 협조가 필요합니다.

마지막으로 내년 선정공고나 신규사업/과제 기획 계획이 있으실까요?

섬유산업의 환경 규제와 수요에 적기 대처할 수 있도록 Fiber to Fiber 리사이클 기술 확보가 시급한 상황입니다. 전 세계 폐의류 중 가장 큰 비중을 차지하는 폐혼방섬유의 리사이클 기술을 확보하여, 이를 통해 글로벌 시장을 선점하고 섬유산업의 순환경제 전환을 앞당기는 것이 목표입니다. 더불어 AI 연계 디지털 전환 기술, 모빌리티·우주항공 등 첨단산업에 사용되는 핵심소재 및 부품개발을 위한 사업과 과제도 지속적으로 발굴할 예정입니다.

최경호 탄소나노 PD 소개

2004. 3. ~ 삼성SDI 전략과제팀 책임연구원

2019. 1. ~ 재료부품연구회(KIDS) 회장

2007. 5. ~ 한국생산기술연구원 연구그룹장

2022. 8. ~ KEIT 입사



탄소나노 PD로 일하시면서 뿌듯했던 일이나 힘들었던 일 등 가장 기억에 남는 일이 있으실까요?

가장 기억에 남는 일은 예비타당성조사(예타) 사업을 기획하고 준비한 일련의 과정입니다. 초기 기획부터 관계자들과의 협의, 자료 작성, 예산 대응까지 매 단계가 도전의 연속이었지만, 성공적인 성과로 이어져 산업계와 학계에 긍정적인 영향을 미쳤을 때 PD로서 가장 뿌듯한 일이 아닐까 생각합니다.

올해 또는 내년 탄소나노 분야에서 제일 이슈되는 내용을 하나만 뽑는다면?

올해 가장 주목할 만한 이슈는 ‘탄소나노튜브(CNT) 산업화의 성공’이라고 생각합니다. CNT 산업화가 성공하면서 관련 기술의 후속사례들이 활발히 이어질 것으로 기대됩니다. 그동안 탄소나노 분야는 기대에 미치지 못한다는 인식이 일부 있었으나, 이번 성과를 계기로 이러한 인식을 전환하고, 새로운 도약의 전환점을 마련할 수 있는 한 해가 될 것으로 기대합니다.

앞으로 PD로 재임하시는 동안 어떤 R&D를 지원하고 싶으신가요?

글로벌 산업의 요구에 부응하는 혁신적인 R&D를 지원하고자 합니다. 구체적으로, ‘극한 성능의 발현’과 ‘한계 성능의 극복’을 목표로 하는 독보적인 탄소나노 연구 개발 사례를 적극 발굴하여 미래 첨단 산업의 해결사가 되는 탄소나노R&D를 지원하고 싶습니다.

탄소나노 분야 연구수행자분들께 하고 싶은 말씀이 있으시다면??

탄소나노 분야의 발전을 위해서는 첨단 미래 산업에 적용할 수 있는 ‘킬러 애플리케이션(Killer Application)’ 기술을 지속적으로 발굴하는 것이 중요하다고 생각합니다. 특히, 탄소나노 기술이 미래 산업의 핵심 소재로 자리잡기 위해서는 단순한 기술 개발을 넘어, 명확한 수요와 연계된 혁신적인 응용 기술을 선제적으로 확보할 필요가 있습니다. 이를 위해 연구자분들께서 다양한 산업과의 협력에 열린 자세로 임해 주시길 부탁드립니다. 저 또한 이 과정에서 적극 지원하겠습니다.

마지막으로 내년 선정공고나 신규사업/과제 기획 계획이 있으실까요?

내년에는 탄소와 나노 분야 모두에서 새로운 사업 기획이 예정되어 있습니다. 탄소 분야에서는 탄소중립을 실현하기 위한 ‘탄소 재활용 방안’과 ‘전략물자 확보’를 목표로 하는 신규 사업을 추진하고 있습니다. 나노 분야에서는 ‘초물성 나노복합 소재 기술’을 개발하여, 나노 소재의 본연의 성능을 극대화하고 첨단 수요 산업의 초격차 경쟁력을 확보하는 것을 목표로 하고 있습니다. 이러한 신규 사업들을 통해 미래 산업의 핵심 기술로 자리잡을 수 있도록 체계적인 기획과 지원을 이어나갈 계획입니다.

KEIT ISSUE PICK

발행일 2024년 12월
발행 번호 Vol. 2024-12
발행인 한국산업기술기획평가원 원장 전문종
발행처 한국산업기술기획평가원(KEIT)
주소 대구본원 (41069) 대구광역시 동구 첨단로 8길 32(신서동 1152)
Tel. 053) 718-8114
대전본원 (35262) 대전광역시 서구 문정로 48길 48(탄방동 647)
계룡빌딩 3층 Tel. 042) 712-9300~5
서울사무소 (04513) 서울특별시 중구 세종대로 39 상공회의소회관 4층
Tel. 02) 6050-2100
웹사이트 www.keit.re.kr
ISSN 2234-3873

이 책자의 저작권은 한국산업기술기획평가원에 있습니다.
무단전재와 복제를 금합니다.

*KEIT ISSUE PICK 원문은 KEIT 웹사이트(keit.re.kr)의
홍보관 ⇨ 간행물 탭에서 다운로드 받으실 수 있습니다.



디자인 구김종이 gu.kim.zong.i@gmail.com
일러스트 묘지 www.instagram.com/myo_ji/
제작 (사)장애인동반성장협회 동반사업장
서울시 금천구 가산디지털1로 33-33 대륭테크노타운2차 505-2
Tel. 02) 464-5565
판형 189mm × 266mm
종이 표지: 스노우지 250 g/m² 내지: 스노우지 100 g/m²
서체 프리젠테이션 Freesentation
이슈 픽 Issue Pick

1	나노섬유 소재 응용 기술 동향	최경호 탄소나노PD 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실 문준연 박사후연구원 전북대학교 바이오나노융합공학과 박찬희 교수 전북대학교 기계설계공학부
2	피치계 탄소소재 기술 동향	최경호 탄소나노PD 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실 전영표 책임연구원 한국화학연구원(KRICT) 화학공정본부
3	극한환경 대응 아라미드 섬유 기술 동향 및 전망	윤석한 섬유 PD 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실 엄영호 교수 한양대학교 유기나노공학과
4	지속 가능한 섬유 기반 미래차 소재·부품 개발 동향	윤석한 섬유 PD 한국산업기술기획평가원(KEIT) 섬유탄소나노실 양병진 섬유솔루션 부문장(수석) 한국생산기술연구원(KITECH) 산업용섬유기술센터
+	(특집) Science Fiction - 블루오아시스	전윤희