

2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

나노기술연구협회의 나노에너지분회

보조재에서 설계 축으로:
나노카본 기반 차세대 전지 전극의
구조·기능·확장성 전략



나노기술연구협회
Korea Nanotechnology Research Society

2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

보조재에서 설계 축으로: 나노카본 기반 차세대 전지 전극의 구조·기능·확장성 전략

〈나노 리서치 트렌드 리포트〉는 나노기술 핵심 이슈와 최신 연구 트렌드를 전문가 시사점 중심으로 정리한 리포트로, 나노기술연구협의회 산하 6대 나노기술 분야별 전문가 네트워크인 ‘기술분회’ 소속 전문가를 통해 작성되었습니다. 본 리포트는 기술분야별 국내외 주요 학회에 기술분회 소속 전문가들이 직접 참여하여, 학회에서 발표된 연구 성과와 논의 내용을 조사·분석하고, 이를 바탕으로 전문가의 시사점을 반영한 최신 연구 트렌드를 제시하고자 기획되었습니다. 이를 통해 연구자들의 창의적인 선행연구와 향후 핵심 이슈로 부상할 가능성이 높은 주제를 선제적으로 발굴함으로써, 연구현장의 흐름을 파악하는 선행지표로 활용하고자 합니다. 〈나노 리서치 트렌드 리포트〉에 많은 관심 부탁드립니다. 나노기술연구협의회는 앞으로도 미래 나노기술 이슈를 지속적으로 발굴하고 공유함으로써, 국가 나노기술 연구 및 산업 발전에 기여할 수 있도록 노력하겠습니다.

발간번호 | 2026-05

I S S N | 3140-2151

집필자 | 나노에너지분회 유정근 (한국과학기술연구원 에너지저장연구센터 책임연구원)

발행연월 | 2026년 7월

발행처 | 나노기술연구협의회

발행인 | 김주선 회장

주소 | 서울특별시 서초구 남부순환로 354길 14, 3층

전화 | 02-2057-8506

홈페이지 | <https://www.kontrs.or.kr>

담당자 |곽정원 팀장, 손소미 대리

본 콘텐츠는  과학기술정보통신부 「나노과학기술 연구진흥 및 협력 네트워크 확산 연구」 사업을 통해 제작되었습니다.

본 리포트의 무단 전재 및 재배포를 금합니다.

Nano Research Trend Report

249th ECS Meeting

나노기술연구협의회 나노에너지분회 - 유정근 (한국과학기술연구원 / 책임연구원)

요약문

학회명

249th ECS Meeting (The 249th Meeting of The Electrochemical Society)

개최 기간

2026. 5. 24.(일)~28.(목)

개최 장소

국 가 | 미국

도 시 | 시애틀

장 소 | Seattle Convention Center

주관 기관

미국전기화학회 (The Electrochemical Society, ECS)

학회 소개

- 1902년 설립된 전기화학·고체과학 분야 최고 권위의 국제 학술단체로, 매년 봄·가을 두 차례 대규모 대회를 열어 배터리·연료전지·수전해·반도체·센서·나노소재를 폭넓게 아우름
- 한 대회에서 수십 개 심포지엄·수천 편의 발표가 진행됨
- 제249차 대회는 '지속가능 기술 (Sustainable Technologies)'을 주제로 청정에너지·자원순환에 기여하는 전기화학·소재 기술을 집중 조명

해당 기술분야 및 발표규모

- 나노카본 분과 (Carbon Nanostructures and Devices Division) 주관 B01 세션에서 약 70~80편 규모의 구두 및 포스터 발표가 진행됨
- 에너지 변환·저장을 위한 탄소 나노구조를 전지 전극의 탄소 소재 관점에서 분석
- 구조 (아키텍처)·기능 (역할 재정의)·확장성 (공급·경제성)의 3관점으로 정리

주요 발표내용

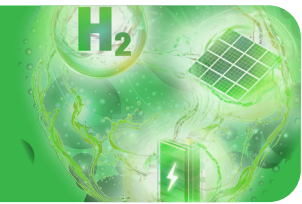
- **Marcus A. Worsley** (Group Leader, Lawrence Livermore National Laboratory (LLNL), USA)
 - 발표제목 Architectured Nanocarbon-Based Electrodes for Peak Electrochemical Performance
 - 발표내용 아키텍처 나노카본 전극: 3D 프린팅 그래핀 에어로젤로 전극 구조 설계
- **박규영** (교수, 포항공과대학교, 대한민국)
 - 발표제목 Redefining the Function of Carbon for Next-Generation Rechargeable Electrode Design
 - 발표내용 탄소 기능 재정의: 다기능 그래핀 코팅으로 무코발트 양극 안정화
- **Adam M. Boies** (Professor, Stanford University, USA)
 - 발표제목 Carbon Materials in Batteries: Requirements, Trade-Offs, and Pathways for Scalable Anodes and Conductive Additives
 - 발표내용 전지용 탄소: 음극·도전재의 요구조건·공급·비용 트레이드오프

핵심 키워드

- 구조 (Architecture): 3D 프린팅 그래핀·탄소 에어로젤, 주기적 격자 전극, 저굴곡 개방 채널
- 기능 (역할 재정의): 다기능 그래핀 코팅 (전도·보호·고전압 안정), 무코발트 LNO 양극
- 확장성 (공급·경제성): 흑연 음극·도전재 (카본블랙↔CNT), 공정기반 비용모델, 신공정 (메탄 열분해·촉매 흑연화)

시사점 요약

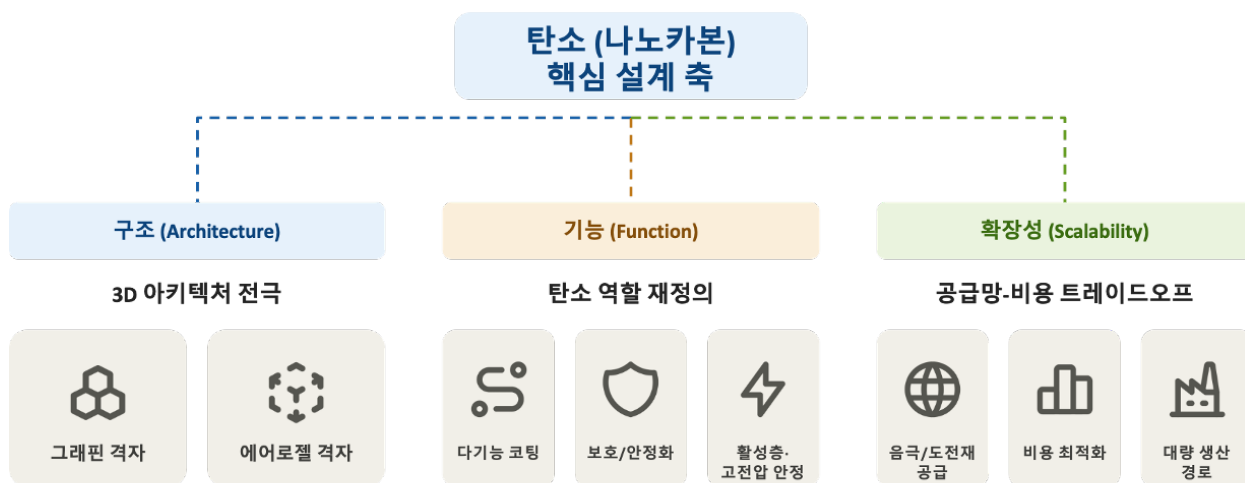
- 본 학회의 세 가지 주요 발표를 관통하는 흐름은, 탄소가 전극의 '수동적 보조재'를 넘어 구조·기능·확장성을 함께 설계하는 핵심 설계 축으로 다뤄진다는 점임
 - ① 구조: 3D 프린팅으로 전극 형상을 설계해 전달·로딩 상충 해소
 - ② 기능: 그래핀 코팅으로 탄소를 활성 기능층으로 재정의
 - ③ 확장성: 음극·도전재의 요구조건·공급·비용을 정량 분석해 양산 경로 제시
- 이에, 핵심 R&D 이슈로 「탄소 소재를 구조·기능·확장성의 세 축에서 통합 설계하여, 고성능·저비용·양산 가능한 차세대 전극을 구현하는 기술 개발」을 제시함



보조재에서 설계 축으로: 나노카본 기반 차세대 전지 전극의 구조·기능·확장성 전략

1 | 연구 트렌드 소개

- 리튬이온전지를 비롯한 전기화학 에너지 저장·변환 (EES) 소자에서 탄소는 오랫동안 ‘도전재·지지체’ 같은 보조 역할로 여겨졌다. 그러나 이번 ECS 249 B01 심포지엄 (에너지 변환·저장을 위한 탄소 나노구조)의 초청·수상 강연들은, 탄소 (나노카본)를 전극의 성능·비용·양산성을 좌우하는 ‘핵심 설계 축’으로 끌어올린다.
- 본 리포트는 이 흐름을 가장 잘 보여주는 3건을 ‘구조-기능-확장성’ 세 관점에서 정리한다.
 - ① 구조 (Architecture): 3D 프린팅으로 그래핀·탄소 에어로젤 전극의 형상을 설계
 - ② 기능 (Function): 다기능 그래핀 코팅으로 탄소의 역할 자체를 재정의
 - ③ 확장성 (Scalability): 전지용 탄소 (음극·도전재)의 요구조건과 공급·비용 트레이드오프를 정량 분석
- 세 관점은 탄소 소재의 차세대 전지 전극 설계의 통합적 방향을 제시한다.



[그림 1] 탄소 (나노카본)를 전극 설계의 축으로 - 구조·기능·확장성 개념도

2 | 연구의 특징 및 핵심 기술

구조 - 아키텍처 나노카본 전극 / Marcus A. Worsley (LLNL, 초청강연)

• 발표 연구의 개요

- 탄소 에어로젤 (그래핀·CNT 기반)은 초저밀도 (수 mg/cm^3 급), 매우 큰 비표면적, 우수한 전기전도성을 동시에 갖춘 3차원 다공성 소재로, 슈퍼커패시터·전지·촉매 지지체의 유력 후보로 주목받아 왔다.
- 그러나 일반적인 에어로젤은 기공이 무작위 (stochastic)로 형성되어 내부 물질전달 경로가 길고 굴곡도 (tortuosity)가 커서, 전극을 두껍게 (고로딩, high loading) 만들수록 이온 전달이 성능을 지배하는 율속 과정 (rate-limiting step)이 되어 성능이 한계에 부딪힌다.
- Worsley 그룹 (LLNL)은 이 문제를 ‘소재 조성’이 아니라 ‘전극의 3차원 형상 (Architecture)’ 설계로 해결하고자, 직접 잉크 쓰기 (direct ink writing, DIW)·투영 마이크로 스테레오 리소그래피로 그래핀 에어로젤의 주기적 격자 구조를 직접 인쇄하는 전략을 제시했다.

• 핵심 내용 요약

- 그래핀 산화물 (GO) 기반 점탄성 (요변성) 잉크를 DIW로 압출·적층해 우드파일 (woodpile) 형태의 주기적 그래핀 에어로젤 미세격자를 제작했다.
- 인쇄된 격자는 가벼우면서 전기전도성이 높고, 최대 약 90% 압축변형까지 견디는 초압축성을 보였으며, 동일 밀도의 벌크 그래핀 대비 영률 (강성)이 한 자릿수 (약 10배) 수준으로 향상되었다.
- 무작위 기공 대신 ‘설계된 개방 채널’을 가지므로 굴곡도가 낮아 물질전달이 빠르고, 그 위에 활물질을 초고로딩 (ultra-high loading)해도 곧은 채널이 이온 통로를 유지한다.

• 발표 연구의 특징 및 핵심 기술

- 적층제조 (3D 프린팅): 직접 잉크 쓰기 (direct ink writing, DIW)·투영 마이크로 스테레오 리소그래피로 전극의 3차원 구조를 의도대로 설계한다. ‘소재’가 아니라 ‘구조’ 자체를 설계 변수로 다룬다.
- 저굴곡 개방 채널: 주기적 격자가 직선형 이온 채널을 제공하여, 두꺼운 전극에서도 이온 전달-활물질 로딩 간 상충관계를 구조적으로 완화한다.
- 기능 확장: 격자 표면 의사커패시터성 (pseudocapacitive) 활물질 (예: MnO_2)을 도입하면, 곧은 채널 덕분에 초고로딩에서도 면적정전용량 (전극 단위면적당 저장 가능한 전하량)을 유지·향상시킬 수 있다.
- 응용 확장성: 동일 원리가 흐름 전극 (flow-through electrode)·전기화학 촉매·전지 등으로 확장된다.

• 의미 및 시사점

- 두꺼운 전극의 ‘에너지 (로딩)–출력 (전달)’ 상충은 전극 설계의 오랜 난제인데, 이를 재료가 아닌 ‘구조’로 풀 수 있음을 실증했다.
- 후막·고로딩으로 고에너지 밀도 셀을 구현하려는 산업 추세 (예: 건식 후막 전극, 무용매 공정)와 직접 맞닿아 있어, 차세대 전극 아키텍처 설계의 출발점으로 평가된다.
- ‘소재 탐색’과 ‘구조 설계’를 분리 가능한 변수로 다룸으로써, 소재 개발과 전극 설계를 병렬로 최적화하는 길을 제시한다.

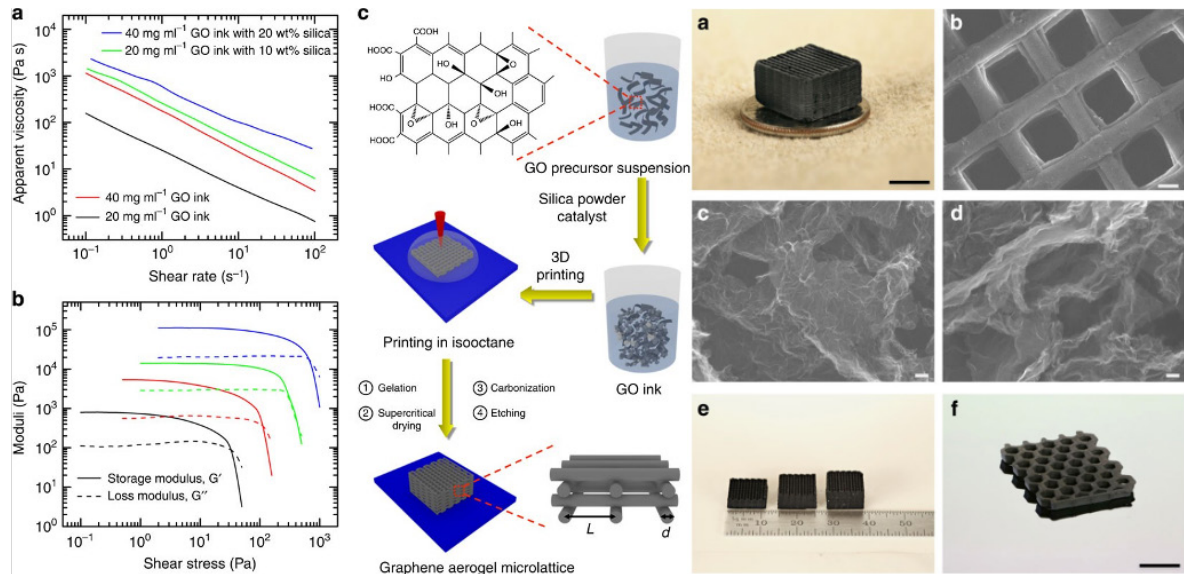
• 향후 전망

- 적층 제조의 발전으로 초고로딩과 저굴곡도를 더 높은 수준에서 양립시킬 전망이다.
- 프린팅 해상도·다중소재 출력 기술이 향상되면 격자 주기를 더 미세화하고, 활물질·굴격을 한 번에 인쇄하는 ‘기능성 격자’

설계로 발전할 수 있다.

- 슈퍼커패시터를 넘어 흐름전지·수전해·집전 구조 등으로 응용이 확장된다.

· 분석·전산 유체/전기화학 모델링과 결합하면 ‘구조-성능’ 관계를 사전에 예측·설계하는 단계로 나아갈 수 있다.



[그림 2] 3D 프린팅 그래핀 에어로젤 아키텍처 전극 개념도

(출처: 발표 논문 기반 저자 작성, 원문 (Nature Communications): <https://www.nature.com/articles/ncomms7962>)

기능 - 탄소 역할의 재정의 / 박규영 (포항공과대학교, 수상강연)

· 발표 연구의 개요

- 탄소를 ‘단순 도전재’가 아니라 전극 표면에서 능동적으로 작동하는 ‘다기능 활성층’으로 재정의한다. 대표 사례가 무코발트 고용량 양극인 LNO (LiNiO_2)에 적용한 그래핀 기반 밀봉 (hermetic) 코팅이다.

- LNO는 코발트 없이 높은 용량·낮은 가격·지속가능성을 갖지만, 약 4.1 V 이상의 고전압 운전에서 수명이 짧아 실용화가 제약되어 왔다.

· 핵심 내용 요약

- 다중스케일 분석으로 LNO 고전압 열화 메커니즘을 규명했다: 고충전 상태에서 격자 산소 손실 → 국부 O3-O1 적층전이 → Ni 이온 이동·비가역적 적층결함 → 미세 균열·층 휨 → 입자의 거시적 기계 열화로 이어지는 ‘열화 연쇄 (degradation cascade)’

- 얇은 그래핀 기반 밀봉 코팅이 고충전 상태의 산소 손실을 억제해 열화 연쇄의 ‘시발점’을 차단함으로써, 고전압 용량유지율을 크게 향상시켰다. (수명 약 2배 이상)

· 발표 연구의 특징 및 핵심 기술

- 다기능 코팅: 그래핀 코팅이 ① 전자 전도 네트워크, ② 수분· CO_2 등 외기 차단 보호막 (hermetic), ③ 고전압 산소 발생·손실 억제의 세 기능을 한 층에서 동시에 수행한다.

- 메커니즘 규명: 원자 → 미세 → 거시로 이어지는 열화 연쇄를 다중 스케일로 연결하여, 코팅이 ‘산소 손실’을 끊는다는 인과를 입증했다.

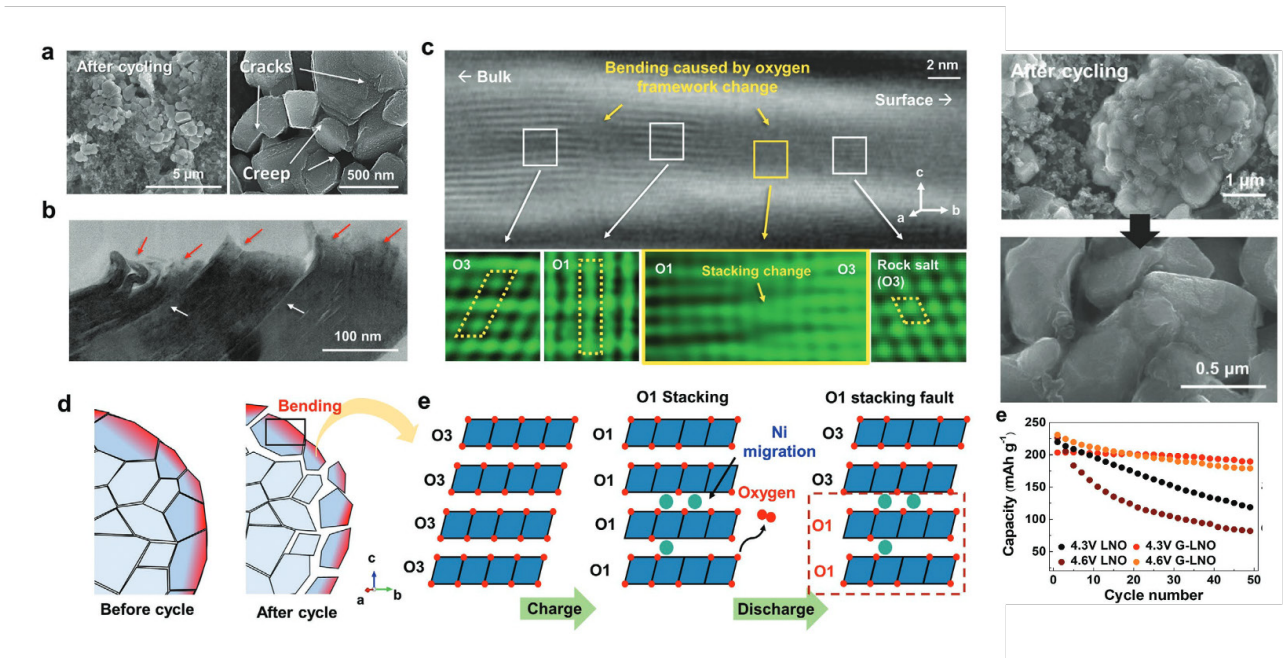
- 확장 가능성: 동일 원리가 니켈리치 양극·실리콘 음극 등 고용량 전극으로 확장된다.

• 의미 및 시사점

- 탄소를 '첨가제'에서 '기능층'으로 끌어올린 대표 사례로, 코발트 의존도 저감 (자원·비용·ESG)과 직접 연결된다.
- 고전압·고용량 양극의 수명 한계가 '재료를 바꾸는 것'이 아니라 '표면 기능을 설계하는 것'으로도 돌파될 수 있음을 시사한다.
- 열화의 인과 사슬을 규명함으로써, 코팅 외에도 도핑·전해질 첨가제 등 다른 해법을 '같은 원인 (산소 손실)' 관점에서 비교·설계할 토대를 제공한다.

• 향후 전망

- 그래핀 다기능 코팅을 무코발트 LNO를 넘어 니켈리치 양극·실리콘 음극·전고체 계면 등으로 확장할 전망이다.
- 코팅 균일도·두께·결함이 산소 손실 억제 효율과 어떻게 연결되는지 정량화되면, '코팅-계면-수명'을 예측·설계하는 단계로 발전할 수 있다.
- 분석 (산소 발생·구조 변화 실시간 관찰)·전산 모델링과 결합해, 열화 연쇄를 사전에 차단하는 계면 설계로 고도화될 것으로 보인다.



[그림 3] 그래핀 다기능 코팅에 의한 무코발트 LNO 양극 안정화 개념도

(출처: 발표 논문 기반 저자 작성, 원문 (Wiley): <https://advanced.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adma.202106402>)

확장성 - 전지용 탄소의 요구조건·공급·비용 / Karan Bhuwalka·Adam Boies (Stanford, 초청강연)

• 발표 연구의 개요

- 탄소는 전지에서 두 가지 핵심 역할을 한다 - ① 음극 활물질 (흑연·흑연/실리콘 복합)과 ② 도전재 (카본블랙↔CNT). 이 발표는 각 역할의 요구조건과 트레이드오프를 정리하고, 특히 음극용 흑연의 '확장 가능한 공급'을 공정 기반 비용모델 (process-based cost model)로 정량 분석한다.
- 흑연 수요 급증과 공급망 편중이 산업·국가 차원의 리스크로 부상한 가운데, 미국과 중국의 흑연 (천연·합성) 생산비를 단계별로 분해해 비교한다.

• 핵심 내용 요약

- 현재 음극 소재의 92% 이상이 중국에서 생산되어 공급 편중 리스크가 크다.
- 미국 내 천연·합성 흑연 생산비는 중국 대비 약 100~200% 높아, 단기 자립에는 정책 지원이 필요하다.
- 낮은 금융비용(financing rate)·성형수율(shaping yield) 개선만으로 약 25~30%를, 공정 처리량 향상·장비비 절감 등 추가 전략까지 더하면 약 35~40%까지 비용을 낮출 수 있다.

• 발표 연구의 특징 및 핵심 기술

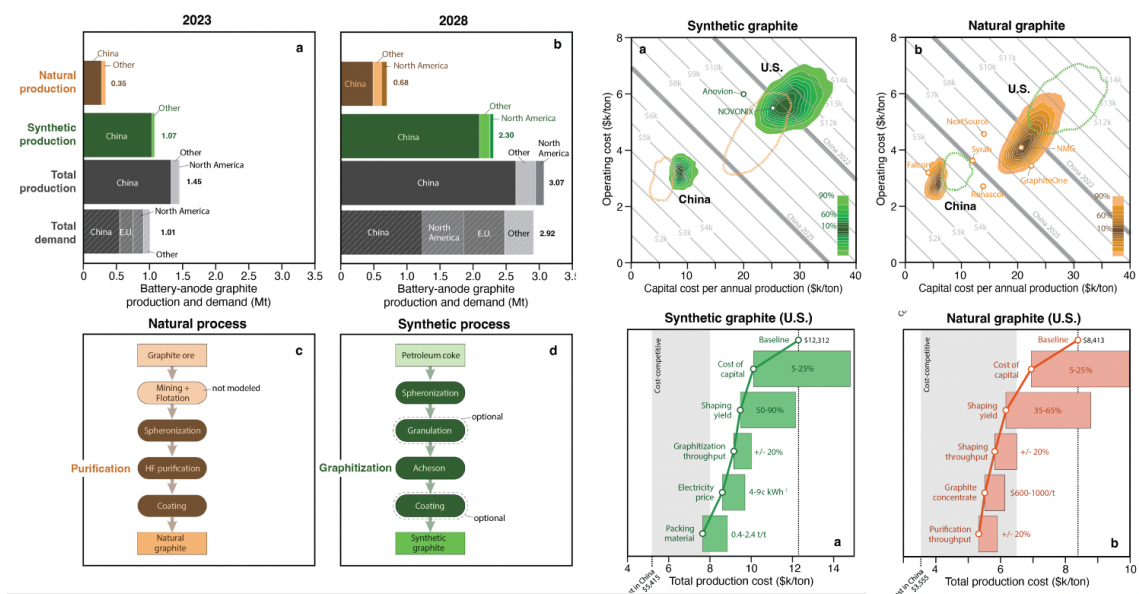
- 공정기반 비용모델: 원료·공정·장비·자본/금융비용을 단계별로 쌓아 생산비를 추정함으로써 ‘어디서 비용이 발생하는가’를 정량적으로 규명한다.
- 비용 드라이버 분해: 자본비용·규모의 경제·투입원가가 핵심 동인이며, 미국은 자본집약도와 투입원가가 높아 현 시장가에서 다수의 프로젝트가 비경쟁적이다.
- 신공정 경로: 메탄 열분해($\text{CH}_4 \rightarrow \text{탄소} + \text{수소}$)·촉매 흑연화(저온 흑연화) 등은 중국 외에서 경쟁력 있는 음극 공급 경로의 후보가 된다.
- 도전재 트레이드오프: 카본블랙(저가)↔CNT(소량으로 고전도)의 비용·성능 균형 또한 핵심 설계 변수다.

• 의미 및 시사점

- 고성능 소재 개발만큼이나 ‘제조 비용·공급 안정성’이 차세대 전지 경쟁력의 핵심축임을 데이터로 제시했다.
- 한국 셀·소재 업계에도 음극·도전재 공급망 다변화와 신공정 투자 우선순위 판단의 정량적 근거가 된다.

• 향후 전망

- 메탄 열분해·촉매 흑연화 등 신공정의 기술성숙도 제고와 결합해 중국 외 ‘확장 가능한’ 공급망 설계로 발전할 전망이다.
- 도전재 선택(카본블랙↔CNT) 최적화와 전과정 평가(LCA)·정책 시나리오를 연계한 통합 기술 경제성 분석으로 확대될 것으로 보인다.



[그림 4] 전지 속 탄소의 두 역할과 흑연 음극 공급·비용 트레이드오프
(출처: 발표 논문 기반 저자 작성, 원문 (arXiv): <https://arxiv.org/pdf/2503.21521>)

3 | 기존과 비교 시 연구 (기술)의 우수성과 가능성

기존 전극 개발에서 탄소는 주로 도전재·지지체 같은 ‘수동적’ 역할에 머물렀고, 성능은 활물질 (양극·음극) 자체에 의존했다. 반면 이번 세 강연은 탄소를 ①구조 (아키텍처), ②기능 (코팅·역할), ③확장성 (공급·비용)의 세 축에서 ‘능동적으로 설계’한다.

• 구조 - 아키텍처 나노카본 전극

- 기존의 슬러리 캐스팅 기반 평면 후막 전극은 두께가 커질수록 굴곡·전달 한계로 성능이 포화하며, 무작위 기공의 에어로젤도 동일한 한계를 가진다.
- 반면 본 연구는 ‘형상 설계’로 비표면적과 물질전달을 동시에 확보하여 기록적 면적정전용량과 높은 에너지·출력 밀도를 보고했다.
- 핵심 차별점은 ‘소재 한계’에 부딪힌 성능을 ‘구조 자유도’로 다시 끌어올린다는 점이다. 동일 소재라도 격자 주기·채널 폭을 바꿔 성능을 조율할 여지를 제공한다.
- 적층제조와 해상도·복잡도가 높아질수록 더 정교한 다공 구조 설계가 가능해, 성능 향상의 ‘여유 공간 (headroom)’이 계속 확대된다.

• 기능 - 탄소 역할의 재정의

- 기존에 탄소는 수동적 도전재였고, 표면 코팅도 주로 단일 기능 (전도 또는 보호)에 머물렀다.
- 본 연구는 전도+보호+산소억제를 한 층으로 통합해 탄소를 ‘설계된 기능층’으로 전환했고, 열화의 근본 원인 (산소 손실)을 직접 표적한다. 무코발트·니켈리치 등 고용량·저코발트 양극의 고전압 실용화를 앞당기는 범용 표면설계 원리가 될 수 있다.

• 확장성 - 전지용 탄소의 요구조건·공급·비용

- 기존의 탄소 음극·도전재 논의는 성능 위주였고 공급·비용은 부차적으로 다뤄졌다.
- 본 연구는 성능을 넘어 ‘얼마에, 얼마나 안정적으로 만들 수 있는가 (확장성)’를 정량화하여 양산·공급망 관점의 설계 기준을 제시한다. 비용 드라이버를 알면 공정·금융·정책 레버를 선택적으로 조합해 경쟁력 확보 경로를 설계할 수 있다.
- 이 접근은 ‘좋은 소재 하나’를 찾는 데서 나아가 소재-구조-기능-공급망을 함께 설계한다는 점에서 본질적으로 다르다. 이는 실험실 성능을 넘어 양산·공급망까지 포괄하는 통합 설계로의 전환을 의미한다.

표1 전지용 탄소 소재 연구 트렌드 변화

NO	관점	기존 접근	최신 접근
1	구조 (전극 아키텍처)	• 슬러리 캐스팅 평면 후막 (굴곡·전달 한계)	• 3D 프린팅 기반 그래핀 에어로젤의 주기적 격자 구조 (저굴곡·초고로딩)
2	탄소의 기능	• 단순 도전재·지지체 (수동적)	• 다기능 그래핀 코팅 (전도성 향상·계면 보호·고전압 안정화)으로 양극 활성증화
3	확장성 (공급·비용)	• 성능 위주, 공급·비용은 부차	• 공급망·경제성을 함께 고려한 소재 개발

4 | 향후 전망 및 기대

- 본 리포트가 주목한 세 강연은 각 축의 발전 방향도 함께 보여준다
 - 구조(아키텍처): 3D 프린팅 그래핀·탄소 에어로젤 전극은 해상도·복잡도를 더 높여 초고로딩과 저굴곡을 양립시키고, 슈퍼커패시터를 넘어 흐름전지·수전해·집전 구조 등으로 확장될 전망이다.
 - 기능(역할 재정의): 그래핀 다기능 코팅은 무코발트 LNO를 넘어 니켈리치 양극·실리콘 음극·전고체 계면 등으로 확장되어, 탄소를 ‘설계된 기능층’으로 쓰는 전략이 폭넓게 적용될 전망이다.
 - 확장성(공급·경제성): 흑연 음극·도전재의 공급·비용 분석은 메탄 열분해·촉매 흑연화 등 신공정과 결합해 중국 외 ‘확장 가능한’ 공급망 설계로 이어지고, 도전재(카본블랙↔CNT) 선택의 비용·성능 최적화로 확대될 전망이다.
- 종합하면, 탄소를 구조·기능·확장성의 세 축에서 함께 설계하는 흐름은 분석·전산 모델링·기술경제성 분석과 결합해 ‘성능·비용·양산성’을 동시에 끌어올리는 방향으로 수렴할 것으로 전망된다.

5 | 연구개발 이슈 제시

- 세 강연은 탄소가 전극의 보조재를 넘어 구조(아키텍처)·기능(코팅·역할)·확장성(공급·경제성) 전반을 좌우하는 ‘핵심 설계 축’임을 보여준다. 구조에서는 3D 프린팅이 전달-로딩 상충을 해소하고, 기능에서는 그래핀 다기능 코팅이 무코발트 양극을 활성층으로 재정의하며, 확장성에서는 공정기반 비용모델이 음극·도전재의 공급·비용·신공정을 정량화한다.
- 즉, 3D 아키텍처 전극(구조)·다기능 탄소 코팅(기능)·확장 가능한 탄소 공급망(경제성)을 함께 끌고 가는 통합 전략이 차세대 전지 경쟁력의 관건이다. 이는 ‘좋은 활물질 하나를 찾던 시대’에서 ‘탄소를 축으로 전극 전체(구조-기능-공급)를 설계하는 시대’로의 이행을 의미한다.
- 이에, 핵심 R&D 이슈로 「탄소 소재를 구조·기능·확장성의 세 축에서 통합 설계하여, 고성능·저비용·양산 가능한 차세대 전극을 구현하는 기술 개발」을 제시한다.

표2 주요 기술용어 설명

NO	용어명	내용
1	탄소 에어로젤 (그래핀·CNT)	• 초저밀도·고비표면적·고전도성의 3차원 다공성 탄소. 전극·촉매 지지체로 활용됨
2	3D 프린팅 (DIW·마이크로SLA)	• 직접잉크쓰기 (DIW)·투명 마이크로 스테레오 리소그래피로 전극의 3차원 형상을 설계·제작하는 적층제조 기술
3	아키텍처 전극 / 주기적 격자	• 전극 형상을 주기적 격자·개방 채널로 설계해 물질전달과 활물질 로딩을 동시에 확보한 구조
4	굴곡도 (tortuosity)	• 전극 내부에서 이온이 실제 이동하는 경로의 휘어짐 정도. 낮을수록 전달이 빠름
5	도전재 (카본블랙·CNT)	• 활물질 사이 전자 전달 통로. 카본블랙은 저가, CNT는 적은 양으로 높은 전도성을 제공 (비용·성능 트레이드오프)
6	공정기반 비용모델	• 원료·공정·장비·금융비용 등을 단계별로 쌓아 생산비를 추정하는 기술경제성 (TEA) 분석 기법
7	천연·합성 흑연	• 음극용 흑연. 천연은 광물 가공, 합성은 코크스 등을 고온 흑연화하여 제조 (고비용·고품질)

NO	용어명	내용
8	메탄 열분해 / 촉매 흑연화	• 흑연·탄소를 더 싸게 만드는 신공정. 메탄 열분해는 $\text{CH}_4 \rightarrow \text{탄소} + \text{수소}$, 촉매 흑연화는 촉매로 저온 흑연화
9	무코발트 LNO (LiNiO_2)	• 코발트 없는 고용량·저가 니켈 양극. 약 4.1V 이상 고전압에서 산소 발생·표면 열화가 과제임
10	격자 산소 손실 / O3-O1 적층전이	• 고충전 상태에서 LNO 격자의 산소가 빠져나가며 층 적층순서가 O3 $\rightarrow$ O1로 바뀌는 현상. 열화 연쇄의 시발점
11	열화 연쇄 (degradation cascade)	• 산소 손실 $\rightarrow$ Ni 이동·적층결함 $\rightarrow$ 미세 균열·층 휨 $\rightarrow$ 입자 기계 열화로 이어지는 다중스케일 손상 사슬
12	그래핀 다기능 코팅	• 전자 전도 + 표면 보호 (수분· CO_2 차단) + 고전압 산소 발생 억제를 동시에 하는 활성 기능층

2026
나노 리서치 트렌드
리포트



나노기술연구협의회