

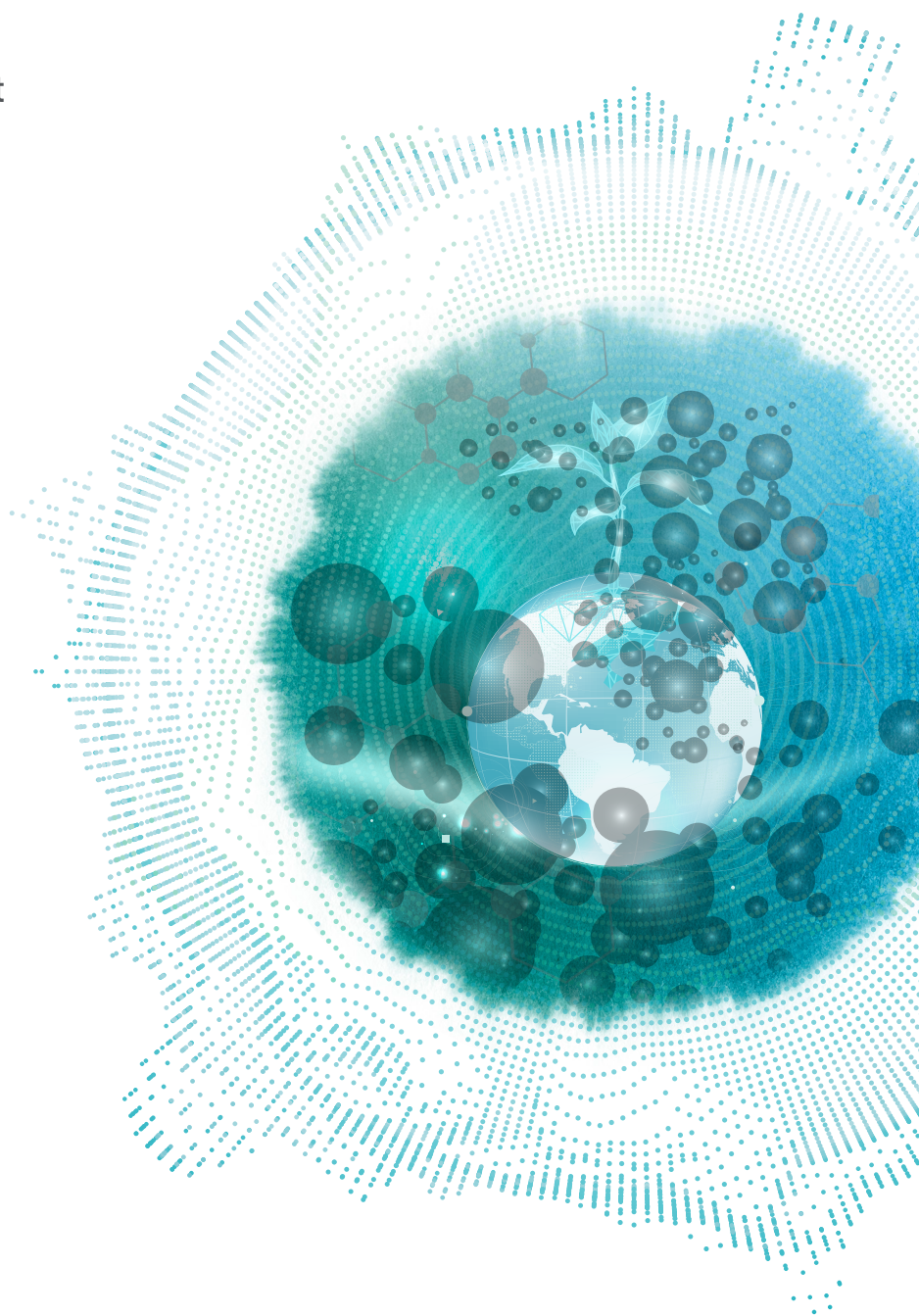
2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

나노기술연구협의회 나노환경분회

햇빛으로 물을 정화하고
유용한 금속을 회수하는
나노기술



나노기술연구협의회
Korea Nanotechnology Research Society

2026

나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

햇빛으로 물을 정화하고 유용한 금속을 회수하는 나노기술

〈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 | 2026-07

I S S N | 3140-2151

집필자 | 나노환경분회 백정민 (성균관대학교 신소재공학부 교수)

발행연월 | 2026년 8월

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

2026 한국전기전자재료학회 하계학술대회

나노기술연구협의회 나노환경분회 - 백정민 (성균관대학교 / 교수)

요약문

학회명

2026 한국전기전자재료학회 하계학술대회

개최 기간

2026. 6. 24.(수)~26.(금)

개최 장소

국 가 | 대한민국

도 시 | 부산광역시

장 소 | BEXCO

주관 기관

한국전기전자재료학회

학회 소개

- 본 학회는 1987년에 창립된 전기·전자재료 분야의 대표 학술단체로, 전기·전자·정보통신산업 및 전기설비 분야의 발전, 전기·전자재료 학문의 진흥, 산·학·연 네트워크와 관련 소재·소자 기술의 개발 및 보급을 목적으로 설립됨
- 연 2회의 정기 학술대회를 개최하여 전기·전자재료 전 분야의 연구자와 전문가가 모여 최신 연구 결과와 기술 동향을 공유하고 있음

해당 기술분야 및 발표규모

- 해당 기술분야: 전기·전자재료를 중심으로 유전체·압전체, 반도체, 디스플레이, 에너지 소재, 센서 및 나노소재 분야를 다루며, 배터리, 연료전지, 수전해, 전기화학 촉매, 광전기화학 기반 환경·에너지 기술 등 전기화학 관련 소재·소자 분야도 포함함
- 본 학회의 해당 분야 발표규모: 본 학술대회는 총 1,363편의 발표가 진행되는 대규모 학술행사로, 포스터 673편, 구두발표 289편이 발표됨. 구두발표는 일반 182편, Keynote 8편, Invited 99편으로 구성되며, 워크숍 및 심포지엄 193편, 신진과학자 초청 강연 13편 등 다양한 세션을 통해 관련 최신 연구성과가 공유됨

주요 발표내용

- **조기현** (교수, 단국대학교, 대한민국)
 - **발표제목** 광전기화학식 기반 수처리 및 자원 회수 기술
 - **발표내용** 태양광을 이용해 반도체 나노전극의 산화·환원 반응을 유도하고, 이를 통해 수중 오염물 제거와 희토류 등 핵심 자원 회수를 동시에 구현하는 광전기화학식 수처리 기술을 제시

핵심 키워드

- 광전기화학식 수처리
- 전기화학 기반 자원 회수
- 반도체 나노전극 계면 제어

시사점 요약

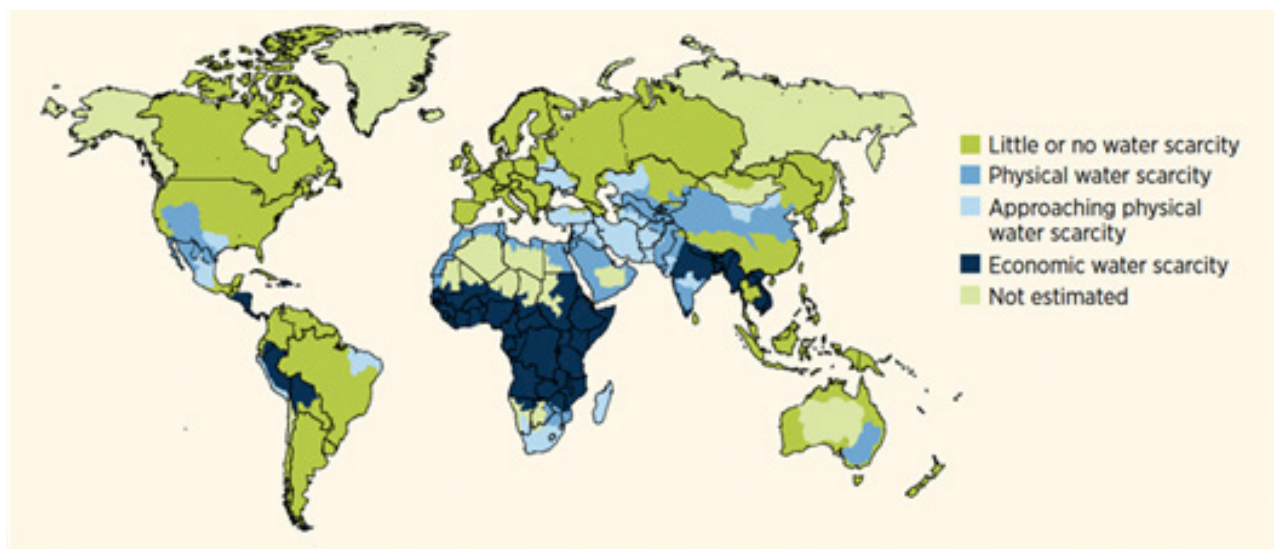
- 최근 수처리 및 자원 회수 분야의 나노기술 트렌드는 단순 흡착·막분리 중심에서 벗어나, 태양광 등 재생에너지를 직접 활용하는 광전기화학식 분리 기술로 확장되고 있음
- 특히 반도체 나노전극과 산화·환원 기능성 고분자를 결합하여, 수중 중금속 이온과 희토류 자원을 선택적으로 포집·방출하는 계면 제어형 분리 기술이 주목받고 있음
- 조기현 교수의 관련 연구는 광전기화학 반응을 통해 중금속 오염물 제거와 희토류 회수 과정의 전기 에너지 사용량을 줄일 수 있음을 보여주며, 수처리 기술이 오염 제거를 넘어 자원순환 기술로 발전하고 있음을 시사함
- 향후 광전기화학식 수처리 기술은 오염물 제거 성능뿐 아니라 선택성, 에너지 절감, 전극 재사용성이 핵심 경쟁력이 될 것으로 보이며, 이를 위해 나노구조 전극의 계면 반응을 정밀하게 설계하는 연구가 중요해질 것으로 판단됨
- 이에, 해당 분야의 핵심 연구개발 이슈로 “태양광 구동 나노전극 기반 선택적 오염물 제거 및 희소금속 회수 기술” 연구를 제시함



햇빛으로 물을 정화하고 유용한 금속을 회수하는 나노기술

1 | 연구 트렌드 소개

최근 수처리 기술은 단순히 오염물질을 제거하는 수준을 넘어, 물속에 존재하는 유용 금속 이온을 선택적으로 회수하는 방향으로 확장되고 있음. 이는 전 세계적으로 물 부족 문제가 심화되는 동시에, 에너지 전환에 필요한 리튬·니켈·코발트·희토류 등 핵심 원소의 공급 위험성이 커지고 있기 때문임 (그림 1). 특히 반도체 공정·광산·금속 제련, 전자폐기물 등에서 발생하는 폐수에는 몰리브덴·크롬·비소와 같은 유해 이온뿐 아니라 희토류 등 산업적으로 중요한 자원이 함께 포함될 수 있음. 따라서 차세대 수처리 기술은 “오염 제거”와 “자원 회수”를 동시에 달성하는 기술로 발전하고 있음



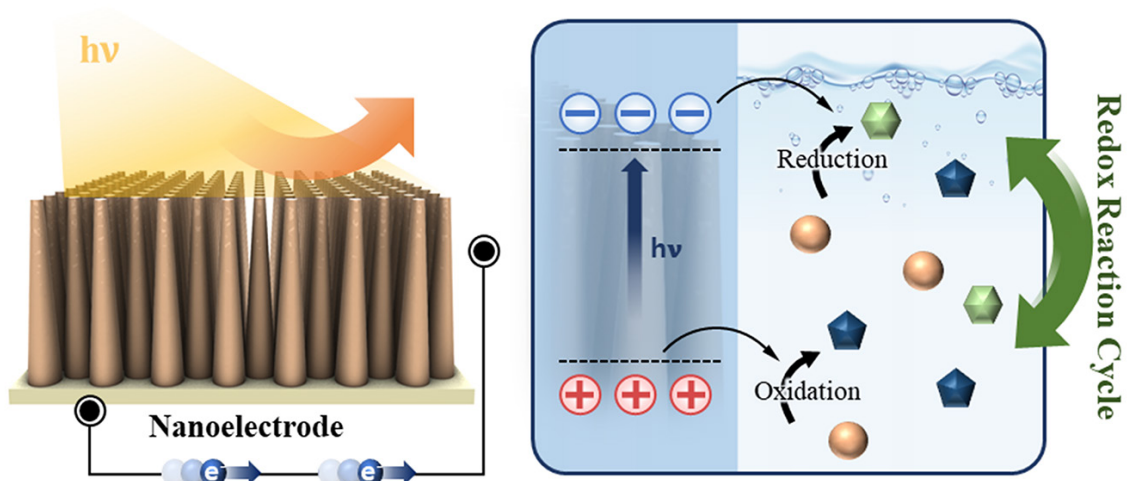
[그림 1] 물 부족 현황
(출처: Wikimedia Commons, based on a United Nations map)

기존의 흡착·이온교환·막분리 기반 수처리 기술은 대량 처리에는 유리하지만, 특정 이온만 골라내는 선택성이 낮거나 재생 과정에서 산·염기 등 화학약품이 많이 사용한다는 한계가 있음. 또한, 전기화학 기반 분리 기술은 선택성과 공정 제어성이 우수하지만, 외부 전기에너지 사용량이 여전히 중요한 부담으로 작용함. 이에 따라 최근에는 태양광과 같은 재생에너지를 직접 이용해 전기화학 반응을 구동하는 광전기화학식 분리 기술이 주목받고 있음

광전기화학식 분리 기술은 반도체 나노전극이 빛을 흡수해 전자와 정공을 만들고, 이 전하가 오염물질 또는 금속 이온의 흡착·방출 반응을 유도하는 방식임. 즉, 외부 전기에너지를 줄이면서도 물속 이온을 선택적으로 붙잡거나 다시 떼어낼 수 있는 기술임. 특히 이 과정에서 나노막대·나노입자·탄소나노튜브·기능성 고분자 등을 결합하면 반응 표면적과 선택성을 동시에 높일 수 있어, 나노기술 기반 수처리·자원 회수 기술의 핵심 방향으로 평가됨

2 | 연구의 특징 및 핵심 기술

조기현 교수의 발표인 광전기화학식 기반 수처리 및 자원 회수 기술은 반도체 나노전극과 산화·환원 기능성 물질을 결합하여, 태양광을 이용한 오염물 제거와 희소금속 회수 가능성을 제시한 연구 흐름으로 볼 수 있음 (그림 2).



[그림 2] 광전기화학식 나노전극 시스템

첫 번째 핵심 기술은 산화·환원 기능성 반도체 나노전극을 이용한 중금속 음이온 제거 기술임. 관련 연구에서는 이산화티타늄 나노막대 전극 위에 폴리비닐페로센과 탄소나노튜브를 결합한 기능성 전극을 제작하였음. 이 전극은 빛을 받으면 산화·환원 반응이 촉진되어 몰리브덴산 이온, 크롬산 이온, 비산 이온과 같은 중금속 음이온을 선택적으로 포집할 수 있음. 특히 0.3 V의 낮은 전압에서도 몰리브덴 기준 124 mg/g 수준의 흡착 성능을 보였으며, 기존 전기화학식 분리 공정 대비 전기에너지 사용량을 51.4% 줄일 수 있음을 제시하였음

두 번째 핵심 기술은 희토류 자원 회수를 위한 광전기화학식 재생 기술임. 관련 연구에서는 이산화티타늄 나노막대 전극 위에 페로센 기반 고분자와 탄소나노튜브를 결합하여 희토류 이온을 선택적으로 흡착하고, 빛을 이용해 다시 방출하는 시스템을 구현하였음. 이 전극은 이트륨 기준 최대 214.2 mg/g 수준의 흡착 성능을 보였고, 광전기화학 반응을 통해 흡착된 희토류를 100%에 가까운 재생 효율로 회수하였음. 또한, 기존 전기화학식 시스템 대비 에너지 사용량을 68.8% 절감할 수 있음을 나타내 보였음

이 기술의 중요한 특징은 단순히 전극 표면에 이온을 붙잡는 것이 아니라, 빛에 의해 생성된 전하와 전극 주변의 국소적인 수소 이온 생성을 동시에 활용한다는 점임. 즉, 산화·환원 반응을 통해 금속 이온과 전극 사이의 결합을 약화시키고, 동시에 전극 근처에서 생긴 수소이온이 이온교환을 촉진하여 흡착된 희토류를 효과적으로 방출함. 이러한 방식은 기존의 산 처리나 강한 전기적 재생 방식에 비해 친환경적이고 에너지 효율적인 자원 회수 전략으로 볼 수 있음

3 | 기존과 비교 시 연구 (기술)의 우수성과 가능성

기존 수처리 기술은 오염물 제거 자체에 초점이 맞추어져 있었기 때문에, 폐수 속 유용 금속을 회수하는 데에는 한계가 있었음. 또한, 흡착제를 재사용하기 위해 별도의 화학약품을 투입하거나, 높은 전압을 사용해야 하는 경우가 많아 에너지 소비와 2차 오염 문제가 발생할 수 있음

반면 광전기화학식 수처리 및 자원 회수 기술은 반도체 나노전극이 태양광을 직접 받아 전기화학 반응을 유도하므로, 외부 전기에너지 사용량을 줄일 수 있음. 또한, 기능성 고분자와 나노전극을 결합하면 특정 이온에 대한 선택성을 높일 수 있어, 복잡한 폐수 환경에서도 목표 금속 이온만 골라내는 방향으로 발전할 수 있음

특히 이산화티타늄 나노막대와 탄소나노튜브 기반 구조는 넓은 표면적과 빠른 전하 이동 경로를 제공함. 나노막대 구조는 물과 접촉하는 반응 면적을 넓히고, 탄소나노튜브는 전자 이동을 도와 전극 반응 속도를 향상시킬 수 있음. 따라서 이 기술은 단순한 수처리 소재 개발을 넘어, 빛·전극·고분자 계면에서 일어나는 반응을 정밀하게 설계하는 계면 나노공학 기반 기술로 해석할 수 있음

또한, 폐하드디스크에서 유래한 NdFeB 자석 폐기물 용액으로부터 네오디뮴과 디스프로슘을 각각 59.2%, 61.1% 회수한 결과는 이 기술이 실제 전자폐기물 재활용에도 적용될 가능성이 있음을 보여줌. 다만 실제 폐기물 용액에서는 철 이온 등 경쟁 이온이 많아 회수 효율이 낮아질 수 있으므로, 앞으로는 전처리 공정과 선택성 높은 리간드 설계가 함께 필요할 것으로 판단됨

표1 광전기화학식 수처리 및 자원 회수 분야 연구 트렌드 변화

NO	항목	기존 연구 트렌드	최신 연구 트렌드
1	기술목적	•오염물질 제거 중심	•오염 제거와 유용 자원 회수 동시 달성
2	에너지 공급	•외부 전기에너지 의존	•태양광 기반 광전기화학 반응 활용
3	소재 설계	•단순 흡착제 및 막 소재 중심	•반도체 나노전극 및 기능성 고분자 복합화
4	반응 제어	•전체 용액 조건 조절	•전극 계면의 국소 pH 및 산화·환원 반응 제어
5	적용 대상	•일반 폐수 처리	•중금속 제거, 희토류 회수, 전자폐기물 재활용

4 | 향후 전망 및 기대

광전기화학식 수처리 및 자원 회수 기술은 향후 에너지 절감형 환경기술과 자원순환 기술을 연결하는 핵심 플랫폼으로 발전할 가능성이 큼. 특히 태양광을 직접 활용할 수 있다는 점에서, 전력 인프라가 부족한 지역이나 분산형 수처리 시스템에도 적용 가능성이 있음

또한, 희토류와 같은 핵심 광물은 전기차·풍력발전·전자소자·디스플레이 등 첨단산업 전반에 필수적으로 사용되지만 공급망 불안정성이 큰 자원임. 따라서 폐전자제품, 산업폐수, 광산 배출수 등에서 희소금속을 회수하는 기술은 단순한 환경 정화 기술을 넘어 국가 전략자원 확보 기술로도 의미가 있음

향후 연구에서는 실제 폐수 내 다양한 경쟁 이온이 존재하는 조건에서도 목표 이온만 선택적으로 회수할 수 있는 소재 설계가 중요해질 것으로 보임. 이를 위해 금속 이온과 선택적으로 결합하는 기능성 고분자, 전극 표면의 나노구조, 국소 pH 변화, 산화·환원 전위 조절을 통합적으로 설계하는 연구가 필요함

기술 상용화를 위해서는 장시간 운전 안정성, 전극 재사용성, 대면적 전극 제조, 연속 흐름식 공정 적용 가능성도 함께 검증되어야 함. 특히 실험실 규모의 전극 성능을 실제 폐수 처리 시스템으로 확장하기 위해서는 나노전극의 성능뿐 아니라 공정 설계, 전극 수명, 회수 금속의 순도, 전체 에너지 비용까지 함께 평가하는 연구가 중요함

5 | 연구개발 이슈 제시

본 발표 관련 연구들은 수처리 기술이 단순한 오염물 제거 기술에서 벗어나, 태양광을 활용해 물속 유해 이온을 제거하고 동시에 유용 금속 자원을 회수하는 방향으로 발전하고 있음을 보여줌. 특히 반도체 나노전극과 산화·환원 기능성 고분자를 결합하면, 빛에 의해 생성된 전하를 이용해 이온의 흡착과 방출을 정밀하게 제어할 수 있음

이러한 접근은 기존 수처리 기술의 세 가지 한계, 즉 높은 에너지 사용량, 낮은 선택성, 재생 과정에서의 화학약품 사용 문제를 동시에 줄일 수 있는 가능성을 제시함. 또한, 희토류와 같은 핵심 자원을 폐기물에서 회수할 수 있다는 점에서, 환경기술과 자원순환 기술이 결합되는 새로운 연구 방향으로 판단됨

다만 실제 산업 적용을 위해서는 복잡한 폐수 조성에서도 선택성을 유지하는 기능성 나노전극 개발이 필요함. 또한, 장시간 반복 사용 시 전극 성능 저하를 최소화하고, 회수된 금속의 순도를 높이는 공정 최적화가 병행되어야 함

이에, 광전기화학식 수처리 및 자원 회수 분야의 핵심 연구개발 이슈로 “태양광 구동 나노전극 기반 선택적 오염물 제거 및 희소금속 회수 기술” 연구를 제시함. 쉽게 표현하면, “햇빛으로 작동하는 나노전극을 이용해 물속 유해물질은 제거하고, 가치 있는 금속은 골라 회수하는 기술”임

표2 주요 기술용어 설명

NO	용어명	최신 연구 트렌드
1	광전기화학식 기술	•반도체 전극이 빛을 흡수해 전기화학 반응을 일으키는 기술
2	산화·환원 반응	•전자가 이동하면서 물질의 상태가 변하는 반응으로, 이온 흡착·방출에 활용됨
3	기능성 고분자	•특정 이온과 선택적으로 결합하거나 반응할 수 있도록 설계된 고분자 소재
4	희토류	•네오디뮴, 디스프로슘 등 전기차·풍력발전·전자소자에 중요한 핵심 금속
5	재생 효율	•흡착된 이온을 다시 떼어내 회수할 수 있는 정도를 나타내는 지표

2026
나노 리서치 트렌드
리포트



나노기술연구협의회
Korea Nanotechnology Research Society