

2026

# 나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

나노기술연구협의회 나노정보전자분회

차세대 나노제조 공정과  
에너지 자립형  
나노기술의 발전 방향



나노기술연구협의회  
Korea Nanotechnology Research Society



2026

# 나노 리서치 트렌드 리포트

Nano Research Trend Report

## 차세대 나노제조 공정과 에너지 자립형 나노기술의 발전 방향

〈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 | 2026-02

I S S N | 3140-2151

집필자 | 나노정보전자분회 박성준 (아주대학교 부교수)

발행연월 | 2026년 6월

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 MRS Spring Meeting & Exhibit

나노기술연구협회의 나노정보전자분회 - 박성준 (아주대학교 / 부교수)

### 요약문

#### 학회명

2026 MRS Spring Meeting & Exhibit

#### 개최 기간

2026. 4. 26.(일)~5. 1.(금)

#### 개최 장소

국 가 | 미국

도 시 | 하와이

장 소 | Hilton Hawaiian Village

#### 주관 기관

Materials Research Society

#### 학회 소개

- MRS Spring Meeting & Exhibit은 1973년 설립된 Materials Research Society에서 주관하는 세계적인 재료과학 및 나노기술 분야 국제 학술회로로, 매년 Spring Meeting과 Fall Meeting 형태로 정기 개최되고 있음
- 본 학회는 반도체, 나노소재, 바이오전자, 에너지 소재, 유연전자소자 등 첨단 융합 연구 분야를 폭넓게 다루고 있으며, 전 세계 대학·연구기관·산업체 연구자들이 참여하는 대규모 국제 학술행사임
- 특히, 최신 재료 및 나노기술 기반 소자 연구의 주요 성과와 미래 기술 방향이 발표되는 대표적인 학회로 평가받고 있으며, 차세대 반도체, 웨어러블 전자소자, 에너지 저장·변환 기술, 바이오 인터페이스 및 자율 구동형 시스템 분야의 핵심 연구 흐름을 파악할 수 있는 중요한 학술 교류의 장으로 자리 잡고 있음

#### 해당 기술분야 및 발표규모

- 해당 기술분야: 나노제조, 에너지 소재, 바이오전자 및 유연전자소자 분야
- 본 학회의 해당 분야 발표규모: 나노제조, 에너지 소재, 바이오전자 및 유연전자소자 분야 중심으로 50개 이상의 심포지엄 진행, 구두·포스터 발표 운영

#### 주요 발표내용

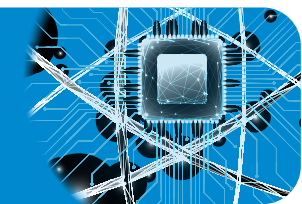
- Reinhold H. Dauskardt** (Professor, Stanford University, USA)
  - 발표제목: Innovations in Materials and Open-Air Fabrication Processes for Next-Generation Nanomanufacturing
  - 발표내용: 연소 합성 (combustion synthesis) 기반 open-air 나노제조 공정을 통해 저온·대면적 금속 산화물 박막 제조 기술을 소개하였으며, porogen-integrated rapid oxidation (PiRO) 공정을 이용한 나노 다공성 구조 형성 및 roll-to-roll 기반 제조 가능성을 제시함
- Xudong Wang** (Professor, University of Wisconsin-Madison, USA)
  - 발표제목: Wearable and Implantable Nanogenerators for Biomedical Applications
  - 발표내용: 압전 나노소재 기반 자율 구동형 바이오전자 시스템을 소개하였으며, 심장 박동과 같은 생체 움직임으로부터 전력을 생성하는 나노 발전기와 페루프 기반 바이오전자 플랫폼의 가능성을 제시함

#### 핵심 키워드

- Open-Air Nanomanufacturing
- Self-Powered Electronics
- Piezoelectric Nanogenerator

#### 시사점 요약

- 최근 나노기술 연구는 단순한 고성능 소재 개발을 넘어, 저비용·대면적 제조 공정과 자율 구동형 시스템 구현 중심으로 빠르게 확장되고 있음
- 특히 open-air 기반 저온 나노제조 기술과 self-powered 바이오전자 기술은 실제 산업 및 의료 시스템 적용 가능성을 크게 향상시키고 있음
- 최근 연구 흐름은 개별 소자의 성능 향상을 넘어, 제조-에너지-센싱-치료 기능이 통합된 지능형 시스템 구현 방향으로 발전하고 있음
- 이에, 차세대 나노전자 및 바이오전자 분야의 핵심 연구개발 이슈로 “저온·대면적 나노제조 기반 자율 구동형 지능형 바이오전자 시스템 연구”를 제시함



# 차세대 나노제조 공정과 에너지 자립형 나노기술의 발전 방향

## 1 | 연구 트렌드 소개

최근 나노기술 분야에서는 단순히 새로운 소재의 성능을 향상시키는 연구를 넘어, 실제 산업 및 의료 시스템에 적용 가능한 형태로 기술을 구현하려는 방향으로 연구 흐름이 빠르게 변화하고 있음. 특히 기존 나노소재 및 전자소자 연구가 개별 소재의 전기적·광학적 특성 향상에 집중되어 있었다면, 최근에는 제조 공정의 단순화, 대면적 생산성 확보, 저전력 구동, 유연·신축성 구현, 그리고 시스템 통합까지 고려하는 방향으로 연구 범위가 확장되고 있음. 이는 나노기술이 연구실 수준의 기초 연구를 넘어 실제 상용화와 산업 적용 단계로 진입하고 있음을 보여주는 중요한 변화로 볼 수 있음

특히, 나노제조 분야에서는 고온·진공 기반 공정을 대체하기 위한 저온·고속 제조 기술이 핵심 연구 트렌드로 부상하고 있음. 기존 반도체 및 금속 산화물 기반 소자 제조 공정은 고가의 진공 장비와 장시간 열처리에 의존하고 있기 때문에 공정 비용과 에너지 소비가 크고, 대면적 제조 및 유연 기판 적용에 한계가 존재하였음. 이에 따라 최근에는 대기 중 (open-air)에서 수행 가능한 용액 공정, 플라즈마 공정 및 자기조립 기반 공정 기술이 활발히 연구되고 있으며, 복잡한 공정 단계를 최소화하면서도 나노구조 형성과 전기적 특성 제어를 동시에 구현하려는 연구가 증가하고 있음. 이러한 흐름은 향후 roll-to-roll 기반 대량 생산 공정 및 차세대 유연 전자소자 제조 기술과도 밀접하게 연결되고 있음

또한, 최근 나노기술은 단순한 전자소자 제조를 넘어, 외부 전력 공급 없이 스스로 동작할 수 있는 자율 구동형 (self-powered) 시스템 구현 방향으로 빠르게 발전하고 있음. 기존 웨어러블 및 이식형 전자소자는 대부분 배터리 기반 시스템에 의존하고 있기 때문에 제한적인 사용 시간과 반복적인 충전 및 교체 문제를 가지고 있었으며, 특히 장기간 체내 삽입이 필요한 의료기기의 경우 안정적인 전력 공급이 중요한 기술적 과제로 여겨져 왔음. 이에 따라 최근에는 인체의 움직임·압력·진동과 같은 미세한 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 나노발전기 (nanogenerator, NG) 기술이 차세대 에너지 플랫폼으로 주목받고 있음

더 나아가 최근 연구 흐름은 단순한 에너지 생성 기능을 넘어, 센싱·데이터 처리·전기 자극 기능이 통합된 지능형 바이오전자 시스템으로 확장되고 있음. 특히 유연·신축성 기반 나노소재와 바이오인터페이스 기술의 발전으로 인해, 실제 인체와 안정적으로 결합 가능한 웨어러블 및 이식형 전자소자 연구가 활발히 진행되고 있으며, 앞으로는 실시간 건강 모니터링 및 자율 치료가 가능한 폐루프 (closed-loop) 기반 바이오전자 플랫폼으로 발전할 가능성이 높음

결과적으로 최근 나노기술의 핵심 연구 트렌드는 ‘고성능 개별 소재 개발’ 중심에서 ‘저비용 제조·에너지 자립·시스템 통합’을 동시에 구현하는 방향으로 이동하고 있으며, 이러한 흐름은 향후 웨어러블 헬스케어, 차세대 의료기기, 스마트 센서 및 인간-기계 인터페이스 (HMI) 분야의 핵심 기반 기술로 자리잡을 것으로 기대됨

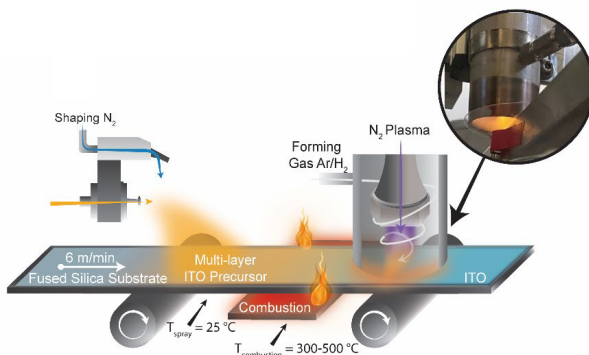
## 2 | 연구의 특징 및 핵심 기술

최근 나노제조 분야에서는 기존의 고비용·저생산성 공정을 대체하기 위해, 대기 중에서 수행 가능한 저온·고속 제조 기술이 중요한 연구 흐름으로 부상하고 있음. 특히 금속 산화물 박막은 광전자소자, 센서, 에너지 분야에서 핵심 소재로 활용되지만, 기존 sol-gel 기반 공정은 장시간 열처리와 높은 공정 비용으로 인해 산업적 확장에 한계가 존재해 왔음. 이러한 문제를 해결하기 위한 방향으로, 복잡한 진공 공정을 제거하고 제조 공정을 단순화하려는 시도가 활발히 진행되고 있음

이러한 흐름 속에서 Reinhold H. Dauskardt (Stanford University) 연구팀은 “Innovations in Materials and Open-Air Fabrication Processes for Next-Generation Nanomanufacturing”이라는 제목의 발표를 통해, 연소 합성 (combustion synthesis)을 기반으로 한 open-air 나노제조 기술을 제시하며 기존 제조 패러다임의 전환 가능성을 보여주었음. 본 연구에서는 용액 기반 연소 반응을 이용하여 금속 산화물 박막을 빠르게 형성하고, 대기 중 플라즈마 공정을 통해 산소 공공과 같은 결함을 정밀하게 제어함으로써 전기적 특성을 향상시키는 전략을 제안하였으며, 이를 통해 나노구조 형성과 전기적 물성 제어를 하나의 공정에서 동시에 구현하고자 하였음

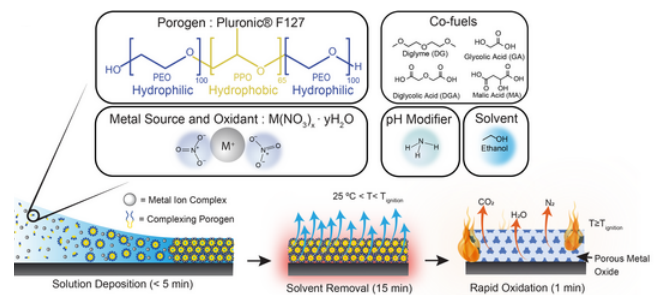
또한, 진공 공정 없이 대기 중에서 투명전도성 산화물 박막을 대면적으로 형성하면서 낮은 시트저항과 높은 투과도를 동시에 달성함으로써, 기존 sputtering 기반 공정이 가지는 비용 및 공정 복잡성 문제를 효과적으로 완화할 수 있음을 보여주었음. 더 나아가, porogen-integrated rapid oxidation (PiRO) 공정을 통해 자기조립 고분자를 활용하여 연소 반응과 동시에 나노 다공성 구조를 형성하고, 250°C 이하의 저온에서 수 분 내에 구조 형성이 가능함을 입증함으로써 공정 효율성을 크게 향상시켰으며, 이러한 기술이 유연 기판 기반의 roll-to-roll 제조에도 적용 가능함을 제시하였음

연소 합성 (Combustion Synthesis) 기반 대면적 박막 나노제조 기술



(출처: Small, 21(32), 2503252, 2025)

Porogen-Integrated Rapid Oxidation 기반 저온 나노구조 박막 형성 기술



(출처: Advanced Materials, 37(35), 2504719, 2025)

[그림 1] 저온·대면적 산화물 전자소자를 위한 차세대 나노제조 기술

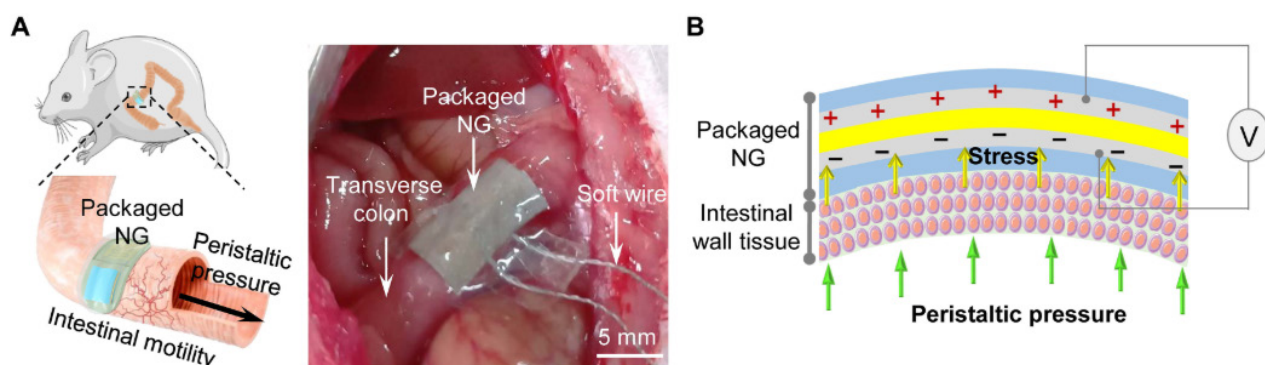
이러한 저비용·대면적 나노제조 기술의 발전은 단순한 소재 합성을 넘어 실제 응용 가능한 전자소자의 구현을 가능하게 한다는 점에서 중요한 의미를 가지며, 최근에는 외부 전력 공급에 의존하지 않고 스스로 에너지를 생성하는 자율 구동형 전자소자 (self-powered electronics)로의 확장이 주요 연구 흐름으로 이어지고 있음. 특히, 웨어러블 및 이식형 전자소자의 경우 배터리 기반 시스템은 부피, 수명, 생체 적합성 측면에서 한계를 가지기 때문에, 인체의 미세한 기계적 움직임을 전기에너지로 변환하는 나노발전기 (nano-generator, NG)에 대한 관심이 증가하고 있음



이러한 흐름 속에서 Xudong Wang (University of Wisconsin-Madison) 연구팀은 “Wearable and Implantable Nanogenerators for Biomedical Applications”라는 제목의 발표를 통해, 압전 나노소재 및 복합체를 활용한 자율 구동형 바이오 전자소자의 가능성을 제시하였음. 본 연구에서는 압전 소재를 이용하여 유연하고 신축성이 있는 나노발전기를 구현하고, 심장 박동과 같은 생체 움직임으로부터 전력을 생성하여 심박조율기와 같은 이식형 의료기기를 구동할 수 있는 가능성을 제시하였음. 또한, 3D 프린팅 기반 강유전체 복합소재를 통해 혈관, 스텐트, 뼈와 같은 생체 구조를 모사한 압전 구조체를 구현하고, 압력 변화에 따라 전기 신호를 생성하는 기능을 제시하였음

이러한 구조는 에너지 생성뿐만 아니라 센싱 및 자극 기능을 동시에 수행할 수 있으며, 생성된 전기 신호를 활용한 폐루프 (closed-loop) 전기 자극 시스템을 통해 신경 조절 및 조직 재생과 같은 자율적 치료 기술로 확장될 수 있음을 보여주었음. 결과적으로, 나노 제조 기술의 발전과 자율 구동형 바이오 전자소자의 등장은 나노소자가 단순한 소재 및 소자 수준을 넘어, 에너지 생성·센싱·치료 기능이 통합된 지능형 시스템으로 확장되고 있음을 보여주는 중요한 연구 흐름이라 할 수 있음

생체 밀착형 압전 센서 패치 및 이식형 바이오인터페이스 구조



[그림 2] 압전 나노소재 기반 자가구동형 이식 바이오전자 시스템  
(출처: Science Advances, 10(29), eadn8706, 2024)

### 3 | 기존과 비교 시 연구 (기술)의 우수성과 가능성

기존 금속 산화물 기반 전자소자 제조 공정은 고온 열처리와 진공 기반 sputtering 공정에 의존하기 때문에 공정 비용이 높고 제조 시간이 길다는 한계를 가지고 있었음. 또한, rigid 기판 중심의 제조 방식으로 인해 대면적 제조 및 유연 전자소자 적용에 제약이 존재하였으며, 복잡한 다단계 공정은 나노구조 형성과 전기적 특성 제어를 동시에 구현하기 어렵다는 문제점이 있었음. 특히 기존 sol-gel 기반 공정은 수 시간 이상의 열처리가 필요하고, 균일한 나노구조 형성 및 산소 공공 제어가 제한적이라는 한계를 가짐

반면, Reinhold H. Dauskardt 연구팀이 제시한 연소 합성 (combustion synthesis) 기반 open-air 나노제조 기술은 대기 중 저온 공정만으로 금속 산화물 박막 형성과 나노구조 제어를 동시에 수행할 수 있다는 점에서 기존 기술 대비 높은 공정 효율성과 경제성을 가짐. 특히, porogen-integrated rapid oxidation (PiRO) 공정을 통해 자기조립 고분자 기반 나노 다공성 구조를 수 분 내에 형성할 수 있었으며, 250°C 이하의 저온 공정을 구현함으로써 유연 기판 기반 roll-to-roll 제조 가능성을 제시하였음. 또한, 대기 중 플라즈마 공정을 활용하여 산소 공공과 같은 나노 스케일 결함을 정밀하게 제어함으로써 전기적 특성을 향상시킬 수 있음을 보여주었음

**표1 차세대 나노제조 기술 분야 연구 트렌드 변화**

| NO | 항목      | 기존 연구 트렌드                | 최신 연구 트렌드                  |
|----|---------|--------------------------|----------------------------|
| 1  | 제조 공정   | • 고온·진공 기반 sputtering 공정 | • 대기 중 (open-air) 저온·고속 공정 |
|    |         | • 복잡한 다단계 공정             | • 용액 기반 단순·저비용 공정          |
| 2  | 나노구조 형성 | • 별도 패터닝 및 후공정 필요        | • 연소 반응 기반 자기조립형 나노구조 형성   |
| 3  | 생산성     | • 낮은 공정 속도 및 높은 비용       | • 대면적·고속 제조 가능             |

이러한 저비용·대면적 나노제조 기술의 발전은 단순한 소재 합성을 넘어 실제 응용 가능한 전자소자의 구현을 가능하게 한다는 점에서 중요한 의미를 가지며, 최근에는 외부 전력 공급에 의존하지 않고 스스로 에너지를 생성하는 자율 구동형 전자소자 (self-powered electronics)로 연구 흐름이 확장되고 있음. 특히 웨어러블 및 이식형 전자소자의 경우 기존 배터리 기반 시스템은 부피 증가, 제한적인 수명, 반복적인 교체 문제 및 생체 적합성 측면에서 한계를 가지기 때문에, 인체의 미세한 기계적 움직임을 전기에너지로 변환하는 나노발전기 (nanogenerator, NG)에 대한 관심이 증가하고 있음

반면, Xudong Wang 연구팀이 제시한 압전 나노소재 기반 자율 구동형 바이오전자 시스템은 인체의 미세한 기계적 움직임만으로 전력을 생성할 수 있어 외부 전력 의존성을 크게 감소시킬 수 있다는 장점을 가짐. 또한, 유연·신축성 구조와 생체 모사형 압전 구조체를 기반으로 다양한 생체 조직에 안정적으로 적용 가능하며, 에너지 생성·센싱·전기 자극 기능을 하나의 시스템으로 통합할 수 있다는 점에서 기존 바이오전자 기술 대비 높은 확장 가능성을 보여주었음. 특히 폐루프 (closed-loop) 기반 자율 치료 시스템으로 발전할 경우, 향후 디지털 치료기기 및 차세대 이식형 바이오전자 플랫폼 분야에서 중요한 역할을 할 것으로 기대됨

**표2 차세대 나노 자율 구동형 바이오전자 기술 분야 연구 트렌드 변화**

| NO | 항목       | 기존 연구 트렌드         | 최신 연구 트렌드             |
|----|----------|-------------------|-----------------------|
| 1  | 전력 공급 방식 | • 배터리 기반 외부 전력 공급 | • 생체 움직임 기반 자가 발전     |
| 2  | 소자 구조    | • rigid 기반 전자소자   | • 유연·신축성 기반 바이오전자     |
| 3  | 기능       | • 단순 센싱 중심        | • 에너지 생성·센싱·자극 통합     |
| 4  | 구동 방식    | • 외부 전원 의존형       | • self-powered 자율 구동형 |

## 4 | 향후 전망 및 기대

최근 나노기술 연구는 단순히 새로운 소재를 개발하거나 개별 소자의 성능을 향상 시키는 수준을 넘어, 제조 공정·에너지 생성·센싱·데이터 처리·치료 기능이 통합된 시스템 수준으로 빠르게 발전하고 있음. 특히, 기존 반도체 및 전자소자 제조 기술이 고온·진공 기반 공정과 높은 제조 비용에 의존해 왔던 것과 달리, 최근에는 대기 중 (open-air) 환경에서 수행 가능한 저온·고속 나노제조 기술이 차세대 제조 패러다임으로 주목받고 있음. 이러한 변화는 단순한 공정 개선을 넘어, 고성능 나노소자의 대면적·저비용 생산을 가능하게 한다는 점에서 매우 중요한 의미를 가짐

특히, 연소 합성 (combustion synthesis) 기반 제조 기술과 porogen-integrated rapid oxidation (PiRO) 공정은 나노구조 형성과 전기적 특성 제어를 동시에 구현할 수 있다는 점에서 기존 공정 대비 높은 공정 효율성과 확장성을 보여주고 있음. 기존 금속 산화물 박막 제조 공정은 수 시간 이상의 열처리와 진공 장비가 필요하였기 때문에 공정 비용과 에너지 소비가 크고, 유연 기판 기반 제조에 적용하기 어렵다는 한계가 존재하였음. 반면 최근 연구에서는 수 분 이내의 저온 공정만으로 대면적 산화물 박막과 나노 다공성 구조를 형성할 수 있음을 보여주었으며, 이는 향후 유연·신축성 전자소자 및 웨어러블 시스템의 상용화를 가속화할 수 있는 중요한 기반 기술로 작용할 것으로 기대됨

또한, 이러한 저비용·대면적 제조 기술은 향후 roll-to-roll 기반 연속 공정과 결합될 경우, 기존 실리콘 기반 전자소자 대비 높은 생산성과 경제성을 확보할 가능성이 높음. 특히, 유연 기판 위에서 고성능 나노소자를 대량 생산할 수 있게 되면, 웨어러블 헬스케어 기기, 스마트 센서, 차세대 디스플레이 및 에너지 소자와 같은 다양한 산업 분야로의 확장이 가능할 것으로 전망됨. 더 나아가 대기 중 공정 기반 제조 기술은 기존 반도체 공정 대비 에너지 소비를 감소시키고 공정 단순화를 가능하게 한다는 점에서 친환경·지속가능 제조 기술 측면에서도 중요한 의미를 가질 것으로 기대됨

한편, 최근 바이오전자 분야에서는 외부 전력 공급 없이 스스로 에너지를 생성하는 자율 구동형 전자소자 (self-powered electronics)가 중요한 연구 흐름으로 부상하고 있음. 기존 웨어러블 및 이식형 의료기기는 대부분 배터리 기반 시스템에 의존하고 있기 때문에, 부피 증가, 제한적인 사용 시간, 반복적인 배터리 교체 및 생체 적합성 문제와 같은 한계를 가지고 있었음. 특히 장기간 체내 삽입이 필요한 이식형 의료기기의 경우, 반복적인 수술을 통한 배터리 교체가 필요할 수 있다는 점에서 실제 임상 적용에 큰 제약 요소로 작용해 왔음

이러한 문제를 해결하기 위해 최근에는 인체의 미세한 움직임이나 압력 변화를 전기에너지로 변환할 수 있는 압전 기반 나노발전기 (nanogenerator, NG)에 대한 관심이 증가하고 있음. 특히 압전 나노소재와 강유전체 복합체를 활용한 유연·신축성 기반 바이오전자 시스템은 심장 박동, 호흡, 근육 움직임과 같은 생체 신호로부터 직접 전력을 생성할 수 있어, 기존 외부 전원 의존형 시스템의 한계를 극복할 수 있는 차세대 플랫폼으로 평가받고 있음. 또한, 최근에는 3D 프린팅 기반 생체 모사형 압전 구조체를 통해 혈관, 스텐트, 뼈와 같은 복잡한 생체 구조를 구현할 수 있게 되면서, 단순한 에너지 생성 기능을 넘어 생체 적합형 센싱 및 치료 플랫폼으로의 확장 가능성이 크게 증가하고 있음

더 나아가 최근 연구 흐름은 에너지 생성과 센싱 기능의 통합을 넘어, 폐루프 (closed-loop) 기반 자율 치료 시스템으로 발전하고 있다는 점에서 중요한 의미를 가짐. 기존 의료기기는 생체 신호를 단순 측정하거나 외부 장치로 전달하는 수준에 머무르는 경우가 많았지만, 앞으로는 생성된 전기 신호를 기반으로 실시간 생체 상태를 분석하고, 이에 따라 전기 자극이나 약물 전달을 자동으로 제어하는 지능형 바이오전자 시스템으로 발전할 가능성이 높음. 특히, 인공지능 (AI) 기반 데이터 분석 기술과 결합될 경우, 환자의 생체 데이터를 실시간으로 학습하고 최적의 치료 조건을 자동으로 제어하는 개인 맞춤형 디지털 치료기기로 발전할 수 있을 것으로 전망됨

결과적으로 최근 나노기술연구는 저비용·대면적 제조 기술과 자율 구동형 바이오전자 기술의 융합을 통해, 단순 소재 및 개별 소자 수준을 넘어 지능형 시스템 수준으로 빠르게 진화하고 있음. 향후 이러한 기술은 웨어러블 헬스케어, 디지털 치료기기, 차세대 이식형 의료기기, 스마트 바이오인터페이스 및 인간-기계 인터페이스 (HMI) 분야의 핵심 기반 기술로 활용될 것으로 기대되며, 미래 의료·전자 산업의 패러다임 변화에 중요한 역할을 할 것으로 전망됨



## 5 | 연구개발 이슈 제시

본 연구에서 소개된 open-air 기반 저온 나노제조 기술과 자율 구동형 바이오전자 시스템은 단순히 개별 소재 및 소자의 성능 향상에 머무르지 않고, 제조 공정·나노구조·에너지 생성·바이오인터페이스 기능을 하나의 시스템 수준에서 통합적으로 설계할 수 있음을 보여주었다는 점에서 중요한 의미를 가진다고 생각됨

기존의 많은 나노전자 연구는 개별 소자의 전기적 성능 향상이나 특정 기능 구현에 집중되어 있었으며, 고온·진공 기반 공정을 통해 높은 성능을 확보하는 방향으로 발전해 왔음. 그러나 이러한 접근은 높은 제조 비용과 복잡한 공정 구조로 인해 실제 대면적 생산 및 웨어러블·이식형 시스템 적용에 한계를 가져왔음. 반면, 본 연구에서 제시된 연소 합성 (combustion synthesis) 기반 open-air 공정과 porogen-integrated rapid oxidation (PiRO) 기술은 나노구조 형성과 전기적 특성 제어를 동시에 구현할 수 있는 공정 전략을 제시함으로써, 저비용·고생산성 기반 차세대 나노전자 제조 플랫폼의 가능성을 보여주었다고 판단됨

또한, 압전 나노소재 기반 자율 구동형 바이오전자 기술은 단순히 생체 움직임으로부터 전력을 생성하는 수준을 넘어, 에너지 생성·센싱·전기 자극 기능을 하나의 시스템으로 통합할 수 있음을 보여주었다는 점에서 의미가 큼. 특히, 기존 바이오전자 시스템이 외부 전력 공급과 단순 신호 측정 기능에 의존하였다면, 최근 연구 흐름은 생체 신호를 실시간으로 감지하고 이에 따라 전기 자극을 자동으로 수행하는 폐루프 (closed-loop) 기반 지능형 바이오전자 시스템으로 빠르게 확장되고 있다고 판단됨

이러한 연구 흐름은 최근 빠르게 발전하고 있는 유연 전자소자, self-powered electronics, biointerface engineering, AI 기반 디지털 헬스케어 기술과 밀접하게 연결되어 있으며, 단순한 전자소자 개발을 넘어 실제 의료·헬스케어 플랫폼으로의 확장 가능성을 보여준다는 점에서 중요한 시사점을 가짐. 특히 저온·대면적 제조 기술과 자율 구동형 바이오전자 기술이 결합될 경우, 향후 웨어러블 헬스케어, 이식형 의료기기, 스마트 바이오센서 및 디지털 치료기기 분야에서 핵심 기반 기술로 활용될 가능성이 높다고 판단됨

궁극적으로 본 연구는, “저비용·대면적 나노제조 기술과 자율 구동형 바이오전자 시스템의 융합을 통해 지능형 바이오인터페이스를 구현한다.”라는 개념이 차세대 나노전자 및 바이오전자 기술의 핵심 방향으로 자리잡고 있음을 보여주며, 기존의 ‘개별 소자 성능 향상 중심 연구’에서 ‘제조·에너지·센싱·치료 기능이 통합된 시스템 설계 중심 연구’로의 전환을 상징하는 연구라고 생각됨. 요약하자면, 본 연구는 나노구조 제어와 저온 제조 기술을 기반으로 자율 구동형 바이오전자 시스템 구현 가능성을 제시하였으며, 이는 향후 차세대 웨어러블·이식형 의료기기의 저전력화·지능화·장기 안정성 확보를 동시에 달성할 수 있는 핵심 전략으로 평가됨

**표3** 주요 기술용어 설명

| NO | 용어명                                       | 내용                                                                                     |
|----|-------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1  | 연소 합성<br>(Combustion Synthesis)           | • 연료와 산화제의 급격한 화학 반응을 이용하여 금속 산화물 나노소재 및 박막을 빠르게 형성하는 공정 기술로, 저온·대면적 제조가 가능하다는 장점이 있음  |
| 2  | Open-Air Nanomanufacturing                | • 진공 환경 없이 대기 중에서 수행 가능한 나노제조 기술로, 공정 단순화와 제조 비용 절감이 가능하며 유연 전자소자 및 대면적 공정에 적합한 제조 방식임 |
| 3  | Porogen-Integrated Rapid Oxidation (PiRO) | • 자기조립 고분자 (porogen)를 활용하여 연소 반응과 동시에 나노 다공성 구조를 형성하는 저온 산화 공정 기술로, 수 분 내 나노구조 형성이 가능함 |
| 4  | 나노발전기<br>(Nanogenerator, NG)              | • 인체 움직임, 압력, 진동 등 기계적 에너지를 전기에너지로 변환하는 자가발전형 에너지 소자로, self-powered 전자소자 구현에 활용됨       |
| 5  | 자율 구동형 전자소자<br>(Self-Powered Electronics) | • 외부 배터리나 전원 공급 없이 자체적으로 에너지를 생성하여 동작하는 전자 시스템으로, 웨어러블 및 이식형 의료기기 분야에서 주목받고 있음         |
| 6  | 압전 나노소재<br>(Piezoelectric Nanomaterials)  | • 기계적 변형이나 압력 변화에 의해 전기 신호를 생성할 수 있는 나노소재로, 에너지 수확, 센싱 및 바이오전자 시스템에 활용됨                |



**2026**  
**나노 리서치 트렌드**  
**리포트**



**나노기술연구협의회**  
Korea Nanotechnology Research Society