ISSUE PAPER
2025-01

연구재료 산업 경쟁력 제고를 위한 기준물질의 역할과 과제

연구산업진흥본부 연구장비재료팀 최문영 선임연구원

2025.07.



COMPA 과학기술사업화진흥원

연구재료 산업 경쟁력 제고를 위한 기준물질의 역할과 과제

CONTENTS

Ⅰ.	연구의 배경 및 목적	1
Ⅱ.	기준물질의 개념 및 필요성	3
Ⅲ.	국내·외 기준물질 개발 사례	8
Ⅳ.	기준물질 개발 수요 및 현장 의견 분석	16
Ⅴ.	결론 및 시사점	20
Ⅵ.	참고문헌	22

I

연구의 배경 및 목적

글로벌 기술환경과 연구재료 산업의 중요성

■ 최근 전 세계적으로 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단 바이오, 우주항공 등 첨단 전략산업 분야의 기술 경쟁이 더욱 치열해 지면서 각국의 연구개발 투자가 급격히 확대되고 있으며, 특히 첨단기술 분야에서는 정확하고 신뢰할 수 있는 측정데이터 확보가 연구개발의 성패를 좌우하는 핵심 요소로 부각되고 있음

- 1995년 발효된 WTO 무역기술장벽(TBT) 협정 이후, 국가 간 무역 및 기술 교류 촉진을 위해 국제 표준에 부합하는 신뢰성 있는 측정 결과 확보가 필수적으로 요구되며, 이는 국제무역에서의 기술 장벽을 해소하고 국가 경쟁력을 높이는 핵심 요소로 자리잡음

- 미국의 국립표준기술연구소(NIST)는 약 1,300여 종의 표준참조물질(SRM)을 개발하여 산업 및 학술 연구의 품질 관리와 기술혁신을 지원하고 있으며, 일본의 국립계량표준연구소(NMIJ) 또한 약 6,500여 종 이상의 기준물질을 확보하여 자국 산업 경쟁력 강화하고 있음

■ 글로벌 연구재료 시장은 Thermo-Fisher, Merck, TCI 등 소수 글로벌 기업이 높은 시장 점유율을 차지하며 공급망을 독점하는 과점 구조를 형성하고 있어, 각국 연구기관과 산업체의 연구개발 활동이 상당한 영향을 받고 있음

-최근 국제적 기술 패권 경쟁이 심화되고 글로벌 공급망의 불안정성이 커지면서 첨단 연구재료의 해외 공급이 제한되는 사례가 증가하고 있으며, 이는 국내 연구개발 활동의 안정성과 지속 가능성을 위협하는 주요 요인으로 작용함

-이러한 국제 공급망의 불안정성에 대응하고자, 국내 연구재료 산업의 경쟁력 확보를 위한 국산 기준물질의 자급화가 시급한 국가적 전략 과제로 부상하고 있음

국내 연구재료 수급 현황과 문제점

■ 현재 국내 연구기관 및 산업체에서 사용하고 있는 기준물질의 90% 이상을 해외 수입에 의존하고 있어, 연구 데이터의 신뢰성과 연구 성과의 안정성이 해외 공급망에 과도하게 종속되어 있는 상황임

- 반도체·디스플레이 및 이차전지 분야에서 쓰이는 첨단 연구장비용 기준물질은 해외 전문기업이 독점 공급하고 있어, 국제 정세 변화나 갑작스러운 공급 중단과 같은 외부 요인에 따라 국내 연구개발 활동이 직접적인 타격을 받을 가능성이 매우 높음

※ 예 : 미 EAG사 238개 원소 기준물질, 일본 ITC사 57개 원소 기준물질 등

- 이로 인해 국내 연구기관은 필요한 기준물질을 적시에 확보하지 못하는 어려움에 직면하고 있으며, 기준물질의 공급 비용 상승과 장기적인 공급 지연으로 인해 연구 효율성 및 경쟁력이 크게 저하되고 있음

■ 국내에 도입된 고가의 첨단 연구장비들이, 적절한 성능 검증 및 교정에 활용할 수 있는 기준물질이 부족하여 본래의 설계 성능을 충분히 구현하지 못하는 상황이 지속되고 있음

- 동일한 시료를 분석하더라도 장비와 사용자에 따라 결과가 다르게 나타나, 데이터의 재현성과 신뢰성에 심각한 문제가 발생하고 있으며, 이는 국내 연구 성과의 국제적 신뢰성과 경쟁력을 저하시키는 요인으로 작용하고 있음
- 이에 따라 국내 연구장비의 성능을 객관적으로 검증하고, 국제적 신뢰성을 확보할 수 있는 기준물질의 개발과 보급이 시급한 과제로 대두되고 있음

■ 국산 기준물질 개발 및 보급을 위해 다양한 정책이 추진되고 있으나, 대부분은 산업체의 공정 모니터링을 위한 상용 표준물질 개발에 집중되어 있어, 선행연구를 수행하는 연구장비용 기준물질 개발을 위한 연구개발 지원은 여전히 부족한 실정임

- 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단 바이오 등 국가 전략기술 분야에서 활용되는 연구장비용 기준물질은 여전히 해외 의존도가 매우 높으며, 이로 인해 국내 연구개발의 자체 기술력 확보와 국제적 경쟁력 강화를 위한 신속한 대응이 어려운 실정임

연구재료 산업에서의 기준물질의 역할

■ 기준물질은 연구개발 전 과정에서 데이터 품질과 신뢰성을 보장하는 핵심 인프라로서, 연구장비의 정확한 성능 검증과 분석 방법의 신뢰성 확보를 위한 필수 자원임

- 정확한 기준물질을 활용한 장비 교정 및 분석 방법 검증을 통해 데이터의 정확성과 일관성을 크게 향상시킬 수 있으며, 이는 국내 연구 성과의 국제적 신뢰성과 상호 호환성을 높여 연구 성과가 국제적으로 인정받는 데 필수적임
- 특히 첨단 바이오 및 의료 등 정밀 측정과 데이터 정확성이 중요한 분야에서는 기준물질 부족으로 인한 데이터 재현성 저하 사례가 빈번히 보고되고 있으며, 이를 극복하기 위해 고품질 기준물질의 확보가 매우 중요함

■ 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단 바이오, 우주항공 등 국가 전략기술 분야의 핵심 기술 경쟁력 확보를 위해서는 연구장비용 기준물질 개발을 국가 차원에서 반드시 추진해야 함

- 연구장비용 기준물질 개발은 국가 전략기술 분야에서의 기술적 난제를 해결하기 위한 필수적인 기초·기반 연구이며, 이를 통해 기술개발의 신뢰성을 확보하고 국제 기술 표준을 선도할 수 있는 기반을 마련할 수 있음
- 나아가 국가 전략기술의 글로벌 경쟁력을 강화하고 국내 기술 주권을 하기 위해서는 연구기관과 기업이 기준물질을 자체적으로 개발·보급할 수 있도록 체계적이고 지속 가능한 지원 체계를 구축해야 하며, 이를 위한 국가 차원의 전략적이고 적극적인 대응이 시급히 요구됨

Ⅱ 기준물질의 개념 및 필요성

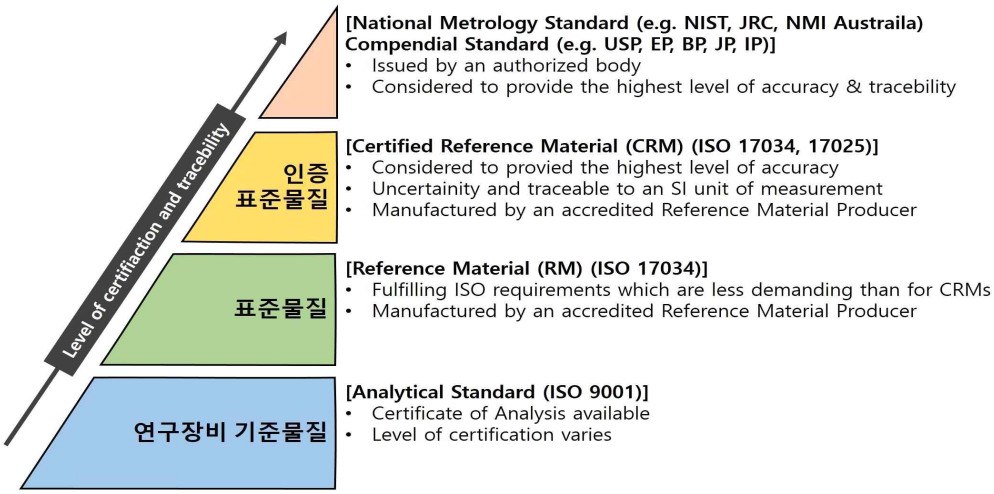
기준물질의 정의와 범위

■ **(정의)** 기준물질(Analytical Reference Material, ARM)은 측정·분석 과정에서 비교 기준으로 사용되어 결과의 정확도와 신뢰도를 향상시키는 물질로, 실험실이나 연구 현장에서 측정 기기의 교정(calibration)이나 분석법 검증 등에 활용되는 참조용 시료 전반을 포괄하는 개념

- 특정 물질의 함량 분석이나 분석장비의 성능평가 시 비교 기준으로 활용되어 분석 결과의 정확성을 높이는 역할

■ **(범위)** 기준물질(ARM)은 공식 인증을 받은 표준물질(RM, Reference Material) 및 인증표준물질(CRM, Certified Reference Material)과 구분됨

- 표준물질(RM)은 공인 절차를 통해 인증받은 물질로, 특히 국제 공인 인증을 받은 것을 인증표준물질(CRM)이라고 하며, 품질관리, 규제 준수 및 인증 등 공식적 목적에 사용됨
- 기준물질(ARM)은 실험실이나 연구 현장에서 신속하게 제작 및 사용되는 비공인 물질로, 표준물질(RM/CRM)의 후보물질로 간주될 수 있으며, 일부 문헌에서는 '분석표준물질(Analytical Standard)'이라고도 표현함



〈그림 1〉 **표준물질과 연구장비 기준물질의 정의**

■ **(기준물질의 인증단계)** 기준물질 인증은 국제표준에 따라 다음과 같은 엄격하고 체계적인 절차를 거쳐 수행

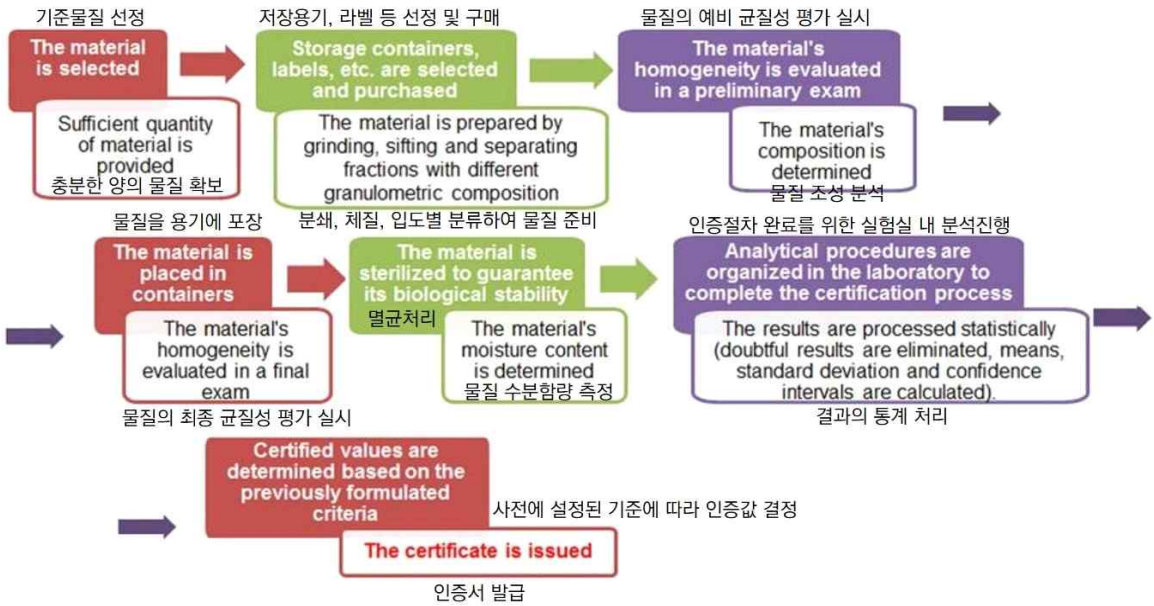
- (재료 선정 및 초기 준비 단계) 충분한 양의 원료 물질을 확보하고, 재료는 분쇄, 체질 및 입자크기 조정 등 물리적 처리를 거쳐 균질성을 갖추도록 준비

- (예비 평가 및 조성분석 단계) 예비 시험을 통해 물질의 균질성과 화학적 조성을 평가하고, 필요한 경우 생물학적 안정성 확보를 위해 멸균 처리 및 수분 함량 측정 등 추가 분석 진행

- (최종 분석 및 인증값 결정 단계) 실험실 내에서 표준화된 분석 절차를 수행한 후, 결과는 통계적 처리(의심 결과 배제, 평균, 표준편차 및 신뢰 구간 계산)를 통해 분석 신뢰도를 높이고, 인증 기준에 따라 최종 인증값 결정

- 최종적으로 확정된 인증값을 포함한 인증서가 발급되며, 이 인증서는 기준물질의 측정 결과에 대한 국제적 신뢰성과 소급성을 공식적으로 보장함

※ 이러한 체계적 인증 절차는 기준물질의 신뢰성과 정확성을 담보하고, 이를 통해 연구 및 산업현장에서 측정값의 국제 표준화와 데이터 신뢰성 확보에 기여



〈그림 2〉 **기준물질의 인증단계**

* 출처 : Kie ł basa , A. et al. (2015)

인증표준물질(CRM)과 연구장비 기준물질(ARM)의 개념적 차이와 활용

■ **(인증표준물질(CRM))** 국제표준 ISO 17034에 따라 국제적으로 공인된 기관에서 엄격한 절차를 통해 측정값과 불확도를 공식 인증한 물질로, 국제적 소급성(traceability)이 보장됨

- 인증표준물질은 교역, 환경 규제, 법적 인증, 품질보증 등 공식적 목적에 사용되며, 데이터의 국제적 호환성과 신뢰성을 확보하는 데 필수적임

- 미국 NIST의 표준참조물질(SRM), 유럽연합 JRC의 ERM, 일본 NMIJ의 인증표준물질 등을 들 수 있으며, 이들은 국가 및 국제 공인 시험기관에서 널리 활용되고 있음

■ **(연구장비 기준물질(ARM))** 국제적으로 공식 인증을 받지 않았지만, 연구 및 산업현장에서 신속하게 활용될 수 있도록 제작된 실험실 참조 물질로, 연구자의 필요에 따라 신속히 제작하여 사용할 수 있다는 장점이 있음

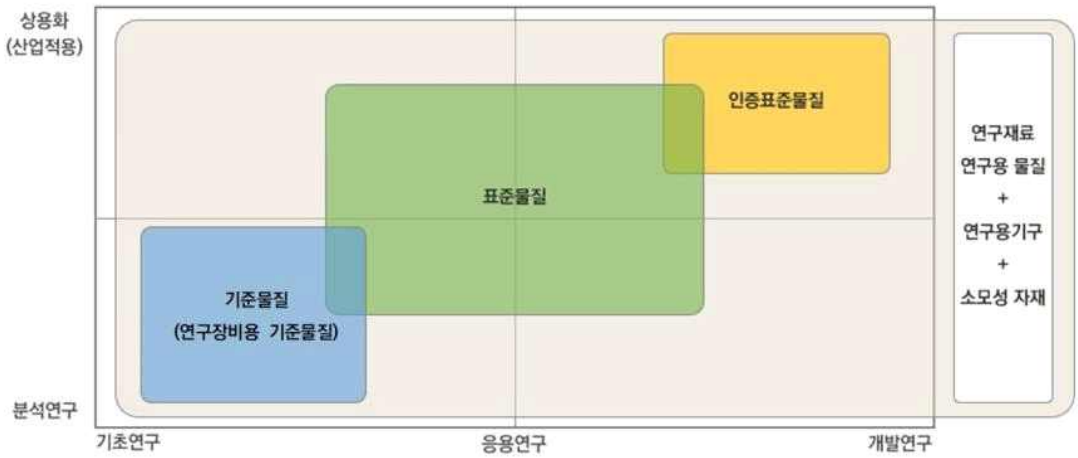
- 연구장비 기준물질은 분석 장비의 성능평가 및 분석법 개발 과정에서 주로 활용되며, 연구 현장에서 데이터의 정확성과 재현성을 신속히 확보할 수 있도록 돕는 역할을 함
- 반도체·디스플레이 및 바이오 분야에서 발생하는 분석 난제를 해결하기 위해 연구기관들이 자체적으로 개발해 활용하는 사례가 많으며, 이러한 물질은 국제적 인증을 받기 전 단계에서 긴급한 측정 문제 해결에 활용됨

■ **(활용 차이)** 인증표준물질은 산업계 제품의 품질관리, 국가 간 거래, 규제 준수를 위한 공인 기준으로 활용되는 반면, 연구장비 기준물질은 연구 분야에서 실험 결과의 정확성 검증이나 첨단장비의 성능평가를 위한 내부 기준으로 활용

- 두 물질은 상호 보완적 역할을 수행하며, 산업계에서는 인증표준물질를 통해 제품의 신뢰성을 담보하고, 연구현장에서는 연구장비 기준물질를 통해 실험 데이터를 교정하는 등 상호 협력적 발전 가능
- 연구장비 기준물질을 활용하여 축적된 데이터는 향후 인증표준물질 개발의 기초자료로 제공될 수 있음

※ 해외의 여러 기관들 또한 CRM 외에 다양한 등급의 기준물질을 제공하고 있으며, NIST의 NTRM, 일본의 교정용 표준물질(JCSS), EU JRC의 ERM 등이 대표적인 사례로, 다양한 기준물질 체계는 연구 및 산업현장의 다양한 수요를 반영하며 목적에 맞는 기준물질을 선택·활용할 수 있도록 지원하고 있음

■ **(연구재료와의 연관성)** 연구장비용 기준물질, 표준물질은 연구재료의 범주에 포함되는 개념으로, 연구용 유기·무기·바이오 물질(시약 포함), 연구용 기구 및 소모성 자재

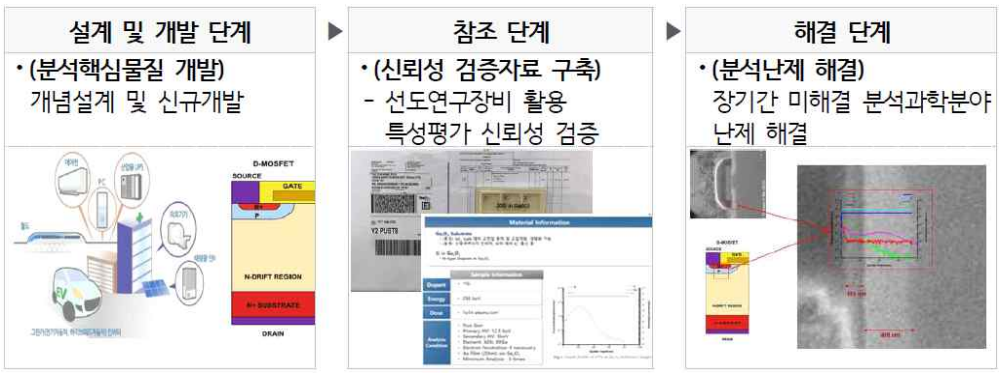


〈그림 3〉 **기준물질 및 표준물질과 연구재료와의 연관성**

연구장비 기준물질 적용 사례

■ 소재(신물질) 개발은 [설계 → 참조 → 실증]의 단계로 진행되며, 연구장비 기준물질은 각 단계에서 필수적인 기반이자 신뢰성 보증의 핵심 요소로 작용함

- (설계 및 개발 단계) 미래 소재(신물질)의 초기 개발 및 개념 설계 단계에서는 이론적 계산, 분자 모델링 및 시뮬레이션을 통해 소재의 물리적, 화학적 특성 예측하고 설계를 수행
  - 이 단계에서 연구장비 기준물질은 이론적 예측 결과를 검증할 수 있는 참조 기준으로 활용되어, 개발된 물질의 실제 물성과 예측값의 신뢰성을 확보하는 데 필수적인 역할을 함. 특히 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단바이오 등 국가 전략기술 분야에서 기준물질을 통해 초기 설계와 이론의 정확성 검증하고, 연구개발의 방향성을 명확히 하여 효율성을 높일 수 있음
- (참조 단계) 참조 단계에서는 개념 설계를 기반으로 실제 시료를 제작하고, 연구장비를 활용하여 정밀한 물성 데이터를 측정 및 확보
  - 연구장비 기준물질을 활용해 연구장비의 성능을 검증하고 교정을 수행함으로써, 측정된 소재 물성 데이터의 정확성과 신뢰성을 보장하며, 이를 통해 신뢰성 높은 데이터베이스를 구축할 수 있음. 이 단계에서 확보된 참조 데이터는 향후 소재의 상용화 과정에서 기준 데이터로 활용되어, 품질관리와 성능평가의 국제적 표준으로 자리잡는 중요한 기반 자료로 사용 가능
- (실증 단계) 연구개발 과정에서 장기간 해결되지 못했던 분석적 난제를 최종적으로 검증하고 해결하는 단계로, 실제 개발된 신물질의 특성 평가와 품질 검증이 이루어짐
  - 연구장비 기준물질을 활용해 미세 성분 분석, 표면 특성 평가, 초미량 분석 등 고난도 분석을 수행함으로써, 신물질의 특성을 명확히 규명하고 최종적인 신뢰성을 확보할 수 있음. 이 단계에 확보된 정밀한 평가 데이터는 신소재의 상용화 및 실용화를 촉진하며, 기술적 난제 해결을 통해 해당 소재 및 기술의 글로벌 경쟁력을 강화하고, 국제 표준을 주도할 수 있는 기반이 됨



〈그림 4〉 **연구장비 기준물질의 단계별 적용 사례**

연구 현장과 산업현장에서의 기준물질 개발 필요성

■ **(기술 자립과 경쟁력 확보)** 국내 첨단기술 분야의 연구장비 기준물질의 상당 부분이 해외 수입에 의존하고 있어, 국내 연구개발 활동의 지속성과 안정성이 위협받고 있음

- 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단바이오 등 국가 전략기술 분야의 연구장비 기준물질은 해외 특정 기관의 독점적 공급 구조로 인해 기술 경쟁력 확보와 국가 기술 주권 강화에 한계가 있는 상황임
- 국내에서는 연구장비 기준물질의 자립적 개발과 안정적 공급을 위한 국가적 지원 체계가 미흡하여, 기술 자립과 국제 기술경쟁력 강화를 위한 대응이 어려운 실정임

■ **(측정 신뢰성 및 연구데이터 재현성 확보)** 연구장비 기준물질은 첨단 분석장비의 정확한 교정과 성능평가를 위한 필수적인 수단으로, 연구데이터의 신뢰성과 정확도를 보장하는 핵심 요소

- 현재 국내 연구기관에서는 표준화된 연구장비 기준물질 부족으로 인해 데이터의 국제적 호환성과 재현성을 확보하기 어려우며, 이로 인해 연구 결과의 신뢰성이 저하되는 문제가 발생하고 있음
- 연구장비 기준물질을 활용해 데이터의 정확성과 일관성을 확보하는 것은 연구 재현성을 보장하고, 국제적으로 연구 성과를 인정받기 위해 반드시 필요한 조건임

■ **(분석 난제 해결 및 기술혁신 촉진)** 반도체·디스플레이, 나노소재 등 국내 첨단기술 분야에서는 연구장비 기준물질의 부족으로 분석 난제 해결과 기술혁신이 제약을 받고 있음

- 예를 들어, 반도체의 미량 불순물 분석이나 나노소재의 표면 특성 분석 등 고난도 분석을 위해서는 맞춤형 연구장비 기준물질이 절실히 필요하며, 이러한 연구장비 기준물질의 부재는 국내 기술경쟁력의 약화로 직결됨
- 맞춤형 연구장비 기준물질의 개발과 활용은 과학기술 분야의 기술적 난제를 해결하고, 혁신적인 기술개발과 국제적 표준화를 달성하는 데 필수적인 역할을 수행함

■ **(국가전략기술 분야에서의 필요성)** 반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단바이오 등 국가 전략기술 분야에서는 제품의 기획·개발 단계부터 양산 및 품질관리 단계에 이르기까지 정밀 분석기술이 핵심적인 역할을 수행함. 이들 분야는 극미세 구조나 초미량 성분을 다루는 특성상, 작은 측정 오차라도 제품 성능이나 연구 결과에 중대한 영향을 미칠 수 있으므로, 분석의 정확성과 실험 재현성을 확보할 수 있는 맞춤형 연구장비 기준물질이 반드시 필요함

〈표 1〉 국가전략기술 분야별 연구장비 기준물질 유형 및 주요 활용 방안

구분	연구장비 기준물질 유형	주요 활용방안 및 필요성
반도체·디스플레이	· 웨이퍼 도핑 농도 기준물질, 고유전율 박막 특성 평가 기준물질, 초미량 불순물 정량분석 기준물질	· 첨단 반도체 및 디스플레이 소자의 품질 관리 및 신기술 개발 촉진을 위한 초정밀 분석 및 공정 정확성 확보
이차전지	· 양극재·음극재의 원소 및 불순물 기준물질, 전해질 조성 기준물질, 차세대 배터리 특성 평가 기준물질	· 배터리 소재 품질 관리와 성능평가 정확도 확보, 글로벌 시장 진출을 위한 국제 공인 시험성적서 획득 기반 마련
첨단바이오	· 단백질 혼합물·유전자 기준물질, 세포치료제 효능 평가용 기준물질	· 바이오 신약 개발 및 의료 기술 국제 표준화를 촉진하며 연구 결과의 국제적 신뢰성 제고
우주·항공	· 항공우주 재료 표면 기준물질, 우주 및 지질 연대측정 기준물질	· 우주항공 기술 경쟁력 확보와 국제 표준 준수를 위한 정확한 재료 분석과 평가

Ⅲ 국내·외 기준물질 개발 사례

1 해외 선진기관의 기준물질 개발 및 활용 사례

미국 국가표준기술연구소(NIST)[1)]

■ 기관 개요

- 미국 상무부 산하 국가표준기술연구소(National Institute of Standards and Technology, NIST)는 국가측정표준기관으로 1906년부터 공인표준물질(SRM) 및 연구장비 기준물질(ARM/RM)을 개발·보급하고 있으며, 현재 1,200종 이상을 제공

■ 개발 목적 및 배경

- 산업과 연구 현장의 측정 결과 신뢰성 및 국제적 호환성을 확보하고, 신규 분석 분야에 선제적 대응
- 첨단 바이오의약품, 장내 미생물군 분석 등 새롭게 대두된 분야에서 국제적으로 신뢰할 수 있는 측정 기준 마련

■ 기준물질 유형 및 특성

(1) 공인표준물질(SRM) : 구성성분이나 특성값이 정밀 측정·분석되어 인증서에 불확도와 함께 기재된 최고 정확도의 기준물질로, 국제단위계(SI)[2)] 추적성이 보장되며 계측기 교정, 국제교역 등의 국제적 기준으로 활용됨

(2) 표준물질(RM) : 특정 성분값에 대해 NIST가 최선의 측정값과 추정 불확도를 제공하지만 공식 인증은 하지 않은 실험실 기준물질로, 표준 분석법이나 내부 기준에 대한 추적성을 제공하며, 해당 값은 정보용으로 사용되며, 주로 분석법 개발, 품질관리(QA) 용도로, SRM이 없거나 신속한 지원이 필요한 경우에 제공됨

(3) 연구급 시험물질(RGTM, Research Grade Test Material) : 특정 특성값을 제시하지 않고 여러 기관이 공동으로 측정·비교할 수 있도록 배포하는 연구단계용 시료로 초기 연구나 방법 평가를 위한 목적으로 사용되며, 충분한 데이터 축적 시 정식 RM/CRM으로 발전하기도 함

---

1) 본 내용은 미국 국립표준기술연구소(NIST)의 공식 홈페이지(nist.gov) 자료를 참고하여 작성하였으며, NIST는 공인표준물질(CRM)도 표준참조물질(Standard Reference Material, SRM)이란 명칭으로 개발·보급하고 있으나, 본 사례에서는 연구장비 기준물질(Analytical Reference Material, ARM/Reference Material, RM)을 중심으로 서술함

2) 국제단위계(SI)는 전 세계적으로 통용되는 공식 단위 체계로, 미터(m, 길이), 킬로그램(kg, 질량), 초(s, 시간) 등 총 7개의 기본 단위를 포함하여 모든 과학기술 및 산업 분야에서 국제적으로 측정값의 정확성을 보장하는 표준 체계를 의미

■ 민간 협력 개발 사례

- NIST는 민간 분석기업 Eurofins EAG와의 협력하여 NTRM(Non-Certified Traceable Reference Material) 프로그램을 통해 반도체 도핑 농도 분석용 SIMS 기준물질을 개발·보급하는 등 민관 협력 모델 구축

■ 주요 활용 사례 및 성과

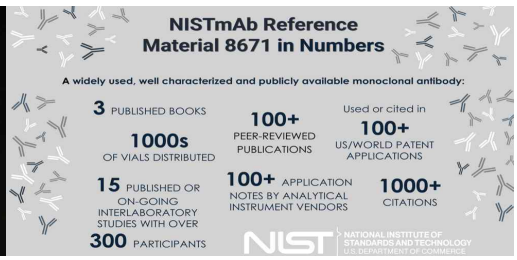
(1) 바이오 분야 기준물질 개발 사례

- 장내 미생물군 기준물질(RM 8048)을 개발하여 국제적 분석법 교차검증 및 표준화 촉진

- 단일 클론 항체 기준물질(NISTmAb, RM 8671)은 국제 의약품 품질 표준으로 널리 활용되어 출시 이후 3권의 전문서적 발간, 수천 개 시료 배포, 100여 편 이상의 논문 발표 및 기기 응용 노트, 100건 이상의 특허출원, 1,000회 이상의 인용 등 국제 연구 성과 창출



〈그림 5〉 인간 장내 미생물군 분석용 기준물질



〈그림 6〉 모노클로날 항체 기준물질 활용의 파급효과

* 출처 : nist.gov

(2) 반도체 분야 기준물질 개발 사례

- 반도체 공정에 쓰이는 이차이온질량분석기(SIMS, Secondary Ion Mass Spectrometry)의 교정을 위해, 이온주입 도핑 웨이퍼 표준물질(SRM 2133, 2134, 2137)을 개발하여 국제적 불순물 농도 분석 정확도 향상에 기여

- 특히 붕소 도핑 웨이퍼(SRM 2137)는 SIMS 장비의 보론 농도 측정정확도를 국제적으로 표준화하여 반도체 생산 공정 품질관리에 활용되며, 이 밖에도 인(SRM 2133), 비소(SRM 2134) 도핑 웨이퍼가 반도체 분석 기준물질로 널리 사용

- 추가적으로 니켈/크롬(Ni/Cr) 박막 깊이 프로파일 표준물질(SRM 2135c)을 개발하여 표면분석 장비의 깊이 프로파일 정확성 교정에 활용하고 있으며, 이를 통해 글로벌 반도체·디스플레이 제조기업의 분석 신뢰성 강화



〈그림 7〉 NIST SRM 2133
: 실리콘 내 인(P) 이온주입 표준물질



〈그림 8〉 NIST SRM 2135c
: Ni-Cr 박막 깊이 표준물질

* 출처 : nist.gov

일본 국가측정표준종합센터(NMIJ)[3)]

■ 기관 개요

- 일본 국가측정표준종합센터(National Metrology Institute of Japan, NMIJ)는 경제산업성 산하 국가표준기관으로 물리량·화학량 표준 확립 및 다양한 공인표준물질 및 연구장비 기준물질을 개발·보급

■ 개발 목적 및 배경

- 일본 산업의 국제 경쟁력 강화를 위해, 국가 차원에서 정밀 분석 기술과 측정값의 국제 표준화를 적극적으로 추진하고 있으며, 이를 뒷받침하는 다양한 CRM 및 ARM 개발을 전략적으로 추진

■ 기준물질 유형 및 특성

(1) 인증표준물질(CRM): 국제단위계(SI, International System of Units)에 대한 추적성과 측정불확도가 엄격히 보장된 인증값을 제공하여 산업 및 연구 분야의 측정 정확도를 국제적으로 보장하며, 계측기의 교정·성능 검증에 널리 활용됨

(2) 분석용기준물질(ARM/RM): 모노클로날 항체(AIST-MAB, RM 6208-a) 등과 같이 복잡한 생체 물질은 공식 인증 절차를 거치지 않은 비인증 기준물질 형태로 제공하여, 연구 현장과 산업의 품질관리 및 분석법 교차검증 등에 실질적으로 활용될 수 있도록 지원

- 모노클로날 항체 기준물질(AIST-MAB)은 CHO 세포(Chinese Hamster Ovary cell, 중국 햄스터 난소 유래 세포) 배양·정제하여 제조된 인간형 IgG1 항체[4)]로서, 질량분석(ID-MS, Isotope Dilution Mass Spectrometry) 기반의 정밀 농도 데이터와 품질 특성 정보를 제공하고 있으며, 이 기준물질은 국제적인 바이오의약 분석의 표준화를 위해, 다양한 기관의 연구장비와 분석법의 교정 및 비교 시험에 사용

■ 민간 협력 개발 사례

- 민간기업 Ion Technology Center(이온기술센터)*와 긴밀한 협력 체계를 구축하여, 반도체 공정 및 소재 분석의 신뢰성 향상을 위한 SIMS용 도핑 웨이퍼 ARM을 공동으로 개발하여 산업현장과 연구기관에 신속히 보급

* 첨단 분석 전문기업으로 이온 주입 및 재료 분석 기술을 바탕으로 Si 기반 반도체 도핑 웨이퍼 기준물질 등 5종의 연구장비 기준물질을 자체 개발·공급하고 있으며, 첨단 분석에 필수적인 기준물질을 일본 내에서 안정적으로 조달할 수 있는 환경을 구축하고 있음

■ 주요 활용 사례 및 성과

(1) 바이오의약품 기준물질(AIST-MAB, RM 6208-a) 개발 사례

---

3) 본 내용은 일본 국가측정표준종합센터(NMIJ)의 웹사이트(unit.aist.go.jp)와 후지필름 와코순약공업의 웹사이트(labchem-wako.fujifilm.com), 및 Frontiers 학술지 웹사이트(frontiersin.org)를 참고하여 작성하였음

4) 인간 면역글로불린(Immunoglobulin) G의 일종으로, 의약품으로 개발된 항체 중 가장 일반적으로 사용되는 형태

- 일본 NMIJ가 개발한 모노클로날 항체 기준물질(AIST-MAB)은 일본 및 국제 제약사, 연구기관에서 첨단 연구장비의 정확성 평가와 분석법 비교·검증을 위한 공통 표준시료로 활용되고 있으며, 이를 통해 바이오의약품 분석법의 국제 표준화와 분석 품질 수준 향상에 기여

- 출시 이후 일본 내외 30여 개 연구기관 및 제약회사가 이 기준물질을 활용한 국제 공동 숙련도 시험 및 비교 분석을 수행하여, 바이오의약품 분석법의 장비 간 결과 편차를 획기적으로 감소시키고 분석 결과의 국제적 호환성 확보

- 특히 항체의약품 분석 분야에서 정량 분석법의 정확도를 높이는 국제 표준물질로 자리매김하며, 일본 바이오의약품 분석의 신뢰성과 국제 경쟁력 강화에 기여

(2) 반도체 SIMS 분석용 도핑 웨이퍼 개발 사례

- NMIJ는 반도체 불순물 농도 분석 정확도 향상을 위해, SIMS 분석 장비 교정용으로 실리콘 웨이퍼에 정밀하게 이온 주입된 보론, 비소, 인 도핑 표준물질(NMIJ RM 5206-a 등)을 개발하여 일본 반도체 제조기업 및 연구소에서 표준으로 사용

- Ion Technology Center와 함께 개발한 도핑 웨이퍼 기준물질은 일본 반도체 산업의 SIMS 분석 정확도를 높이는 핵심 수단으로 자리 잡았으며, 국제 비교 시험을 통해 측정 결과의 신뢰성 입증

- 실제로 이 ARM의 활용 결과로 일본 내 주요 반도체 기업 및 연구기관 간 도핑 농도 측정의 재현성과 분석값 국제 비교성을 확보하여 반도체 공정 분석기술 및 계측 신뢰성을 크게 향상시킨 성과를 거둠

독일 연방재료연구소(BAM)[5)]

기관 개요

- 독일 연방재료연구소(Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, BAM)는 1871년부터 재료 및 화학 분야 국가 표준기관으로, ISO 17034 기준을 충족하는 인증표준물질(CRM)을 생산·보급하며, 현재 철강, 환경, 식품 등 다양한 산업 전반에 걸쳐 400종 이상의 표준물질 제공

개발 목적 및 배경

- 산업 제품의 품질 확보, 환경 안전성 제고, 규제 대응을 위한 측정 결과의 신뢰성 및 국제적 데이터 호환성 확보를 목적으로, 국제 공동시험(CCQM 등)에 참여해 독일 기준물질의 국제적 공신력 강화

기준물질 유형 및 특성

- ISO 17034에 따라 측정값과 불확도가 엄격히 공인된 인증표준물질(CRM)로, 산업 소재(철강 합금), 환경 매질(토양, 퇴적물, 대기 입자 등), 식품 및 소비재(유해물질 분석), 첨단 나노소재(Ni/Cr 박막 등) 등 다양한 분야에서 활용되며, 측정값 인증과 측정불확도를 함께 제공하여 연구 분야에서의 신뢰성 높은 분석과 품질관리 지원

5) 본 내용은 독일 연방재료시험연구소(BAM) 공식 웹사이트(rrr.bam.de)와 PubMed Central(PMC)(pmc.ncbi.nlm.nih.gov)를 참고하여 작성하였음

■ 민간 협력 개발 사례

- BAM은 개발한 CRM의 원형 시료를 독일 내 전문 민간기업에 위탁하여, 철강 합금 등의 CRM 대량 생산을 추진하고 있으며, 이를 통해 독일 및 유럽 전역에 표준물질을 효율적이고 안정적으로 공급할 수 있는 민관 협력 체계 구축

■ 주요 활용 사례 및 성과

(1) 이차전지 분야 기준물질 개발 사례 (NMC111 CRM, BAM-S014)

- BAM이 세계 최초로 개발한 리튬이온전지 양극재(NMC111, $LiNi_{0.33}Mn_{0.33}Co_{0.33}O_2$) 표준물질은 독일과 유럽을 포함한 세계 각국의 배터리 제조기업과 시험기관에서 ICP-MS, ICP-OES 등 원소분석 장비의 정확한 성분 분석을 위한 표준물질로 폭넓게 사용되고 있음
- 독일 및 EU 내 16개 주요 연구소와 분석기관이 참여한 국제 공동 비교 분석 시험을 통해, 각 실험실 및 분석장비 간 측정값의 일치성을 크게 향상시키고 국제적으로도 인정받은 이차전지 성분 분석 표준물질로 자리매김
- 특히 양극재 조성분석에서 리튬(Li), 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn) 성분 함량의 정확한 분석 및 제조 공정의 품질관리에 기여하여 독일 및 유럽 전기차 배터리 소재 품질 경쟁력 강화 및 재활용 공정 데이터 신뢰성 향상에 직접적 기여

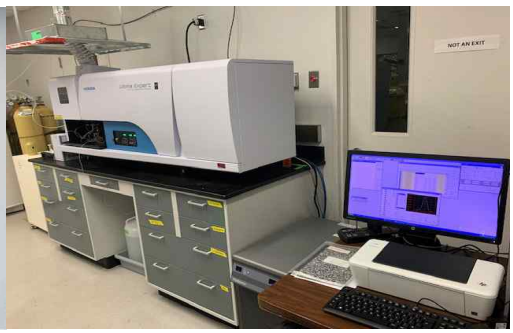
(2) 철강 합금 성분 분석 CRM 개발 및 활용 사례

- BAM이 제공하는 철강 합금 CRM은 철, 비철금속 합금 소재의 화학성분 분석 정확도를 확보하기 위한 국제 표준물질로 독일의 민간 분석기업 및 전세계 철강 제조기업의 분광분석기(OES, Optical Emission Spectroscopy) 교정 및 성능 검증에 필수적으로 활용됨
- 철강 및 금속 합금 CRM의 사용으로 각국 제조기업 및 시험기관의 분석 결과 정확도가 국제적으로 표준화되었고, 다른 실험실이나 장비 간 분석값 편차를 감소시켜 국제적 품질관리 수준 향상 및 무역기술장벽 해소에 기여



〈그림 9〉 이차전지 양극재 표준물질 (BAM-S014)

* 출처 : Recknagel, S. et al.(2025)



〈그림 10〉 원소분석 장비(ICP-OES)를 활용한 표준물질 분석 예시

* 출처 : rrr.bam.de

2 국내 기준물질 개발 및 활용 사례

국내 기준물질 개발 동향

■ **현재 국내에서 생산되는 표준물질은 산업현장의 수요를 충족하지 못하는 상황이며, 개발된 표준물질도 주로 단순 계측용으로 활용되고 있어 고난도·도전적 연구 분야에 적용하기에는 한계가 존재**

- 한국표준과학연구원을 포함한 9개의 공공기관에서 797개의 표준물질을 생산·보급하고 있으며, 17개의 민간기업에서도 1,769개의 표준물질을 생산 중 ('23.12월 기준)
- 다양한 분야의 표준물질을 폭넓게 공급하고 있는 선진국과는 달리, 국내 민간기업은 특정 산업 현장용 표준물질 중심의 생산에 머물러 있어, 연구 현장에서 요구되는 다변화된 수요 대응에는 한계가 있음

〈표 2〉 국내 표준물질 생산 현황 (공공 및 민간)

구분	주요 기관	인증표준물질	표준물질	계	종류	품질시스템
공공	한국표준과학연구원	533	7	540	종합	ISO 9001 인증 및 ISO 17034 자기선언
	한국산업기술시험원	56	16	72	유해금속	KOLAS
	한국화학융합시험연구원	12	54	66	비철금속 고분자물질	KOLAS
	한국세라믹기술원	18	26	44	광물	KOLAS
	한국가스안전공사	19		19	가스	KOLAS
	포항산업과학연구원	34	6	40	금속분야	KOLAS
	한국건설생활환경연구원	3	11	14	표준사	KOLAS
	서울대학교 농업생명과학대학 농생명과학공동기기원	1	-	1	중금속	KOLAS
	국립과학수사연구원	1	-	1	법의학 지표물질	KOLAS
	계	677	120	797	-	-
민간	어프로티움(구 덕양)	38		38	가스	KOLAS
	한국분석기술연구소	-	21	21	표준용액	-
	한국에어프로닥트	-	78	78	가스	-
	MS종합가스	-	17	17	가스	-
	대덕가스	-	54	54	가스	-
	대성산업가스	-	63	63	가스	-
	피에스캠	-	36	36	가스	-
	프렉스에어	-	27	27	가스	-
	자인(주)	16	-	16	액체점도	KOLAS
	㈜케미다스	100	1,104	1,204	화학	KOLAS

구분	주요 기관	인증표준물질	표준물질	계	종류	품질시스템
	에어코리아(주)	44	-	44	가스	KOLAS
	㈜리가스	91		91	가스	KOLAS
	㈜에이치시티	4	-	4	입자크기	KOLAS
	KOTITI시험연구원	1	-	1	섬유	KOLAS
	FITI시험연구원		7	7	섬유	KOLAS
	㈜킴스레퍼런스	4		4	정밀측정	KOLAS
	㈜한국나노가스	64		64	가스	KOLAS
	계	362	1,407	1,769	-	-

* 출처 : 2023 국가표준백서

■ **분석 장비 및 기초연구 현장에서 활용할 수 있는 연구장비 기준물질의 개발은 아직 충분하지 않은 상황이며, 국내산 표준물질 및 기준물질의 부족으로 인해 현재 미국, 독일, 일본 등 해외 물질에 의존할 수 밖에 없는 실정**

- 현재 국내에서 개발·보급되고 있는 표준물질은 대부분 단순 계측용으로 한정되어 있어, 첨단 연구장비 분야에 적용할 수 있는 연구장비 기준물질의 개발이 필요

- 소재·부품·장비의 개발 과정에서 신뢰성을 확보하기 위해서는 시험·인증을 통해 소급성을 보장할 수 있는 기준물질이 필수적임에도, 관련 기업이나 적합성 평가기관은 국내산 기준물질의 부재로 인해 수입산 기준물질을 사용할 수 밖에 없는 상황임

※ (표준물질 개발 현황) '23년 KRISS에서 개발한 인증표준물질은 총 29종, 표준물질 10종에 불과하며, '20~'21년 분야별 수요조사 결과 총 99종의 인증표준물질이 필요한 것으로 파악되었으나, 이를 모두를 개발하기 위해서는 막대한 예산이 소요되어, 개발 필요성과 시급성 등을 고려해 1차 표준물질 중심으로 제한적 개발 진행

〈표 3〉 KRISS 신규 개발 표준물질('23)

분야	구분	종수	신규개발 표준물질
고순도 표준시약	CRM	1종	· 포도당
표준용액	CRM	1종	· 규소(규산염 용액 형태) 단일원소 표준용액
식품 및 농업관련 물질	CRM	3종	· 쌀 분말 (원소 분석용) · 돼지고기 분말 (원소 분석용) · 커피콩 분말(원소 분석용)
임상 및 생화학물질	CRM	4종	· 혈당측정기용 포도당용액 (Level 1, 2, 3) · 자기공명영상 T1 특성 평가용 인증표준물질
	RM	10종	· 유화물질, fat fraction I, II, III (의료영상기기용) · 리프트밸리열바이러스 계열 A, D, K RNA · 노로바이러스 GI, GII RNA · 인간 알파코로나 바이러스 229E RNA · 인간 리노바이러스 (Human rhinovirus) RNA
고분자	CRM	1종	· Bisphenol 분석용 PC/ABS (Level II)
방사능	CRM	5종	· 콘크리트(powder) 방사능 인증표준물질(KRISS 2203CP-1) · 콘크리트(ball) 방사능 표준물질(KRISS 2203CB-1, 2) · 토양(ball) 방사능 표준물질(KRISS 2203SB-1, 2)

* 출처 : 2023 국가표준백서

국내 연구장비 기준물질 개발 사례 : KBSI 전력반도체 미량 도펀트 기준물질 개발

■ **(개발 배경 및 필요성)** 국내 전력반도체 분야의 분석 정확성을 확보하기 위해서는 연구장비 기준물질이 필수

- SiC 및 GaN과 같은 전력반도체 핵심 소재의 미량 도펀트(N, Al, P 등)를 정확히 분석할 수 있는 연구장비 기준물질이 국내에 부재하여, 해외에 대한 높은 의존도로 인해 연구개발 및 기술 자립에 어려움을 겪고 있는 상황
- 이에 따라, 신뢰성 높은 분석을 뒷받침할 수 있는 정확한 도펀트 농도 측정용 기준물질 개발이 시급한 과제로 제기됨

■ **(과정 및 주요 결과)** 국내 최초 SiC 및 GaN 전력반도체 미량 도펀트 연구장비 기준물질 개발

- 한국기초과학지원연구원(KBSI) 홍태은 박사 연구팀은 국내 최초로 SiC와 GaN 단결정 웨이퍼에 질소(N), 알루미늄(Al), 인(P), 마그네슘(Mg)을 이온 주입 방식으로 정확히 도핑하여 연구장비 기준물질(ARM)을 개발
- TCAD 시뮬레이션을 활용하여 도펀트의 주입 깊이와 농도를 정밀 설계하고, 실온 이온 주입을 통해 별도의 열처리 없이도 결정 구조 및 표면 품질을 안정적으로 유지하는 데 성공

■ **(기준물질 특성 평가 결과)** 우수한 구조적 안정성과 표면 품질 확보

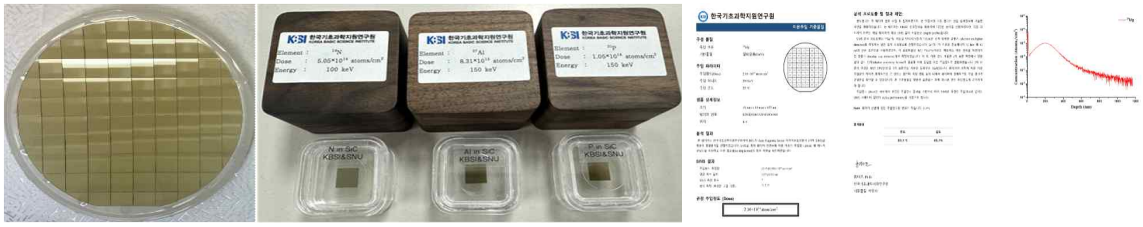
- XRD와 TEM 분석을 통해 이온 주입된 시편이 결정 구조에 변형이나 손상이 거의 없고, 표면 역시 AFM 분석을 통해 매우 평탄하게 유지되었음을 확인
- 이러한 물리적 특성은 연구장비 기준물질로서 필수적인 구조적 안정성과 표면 품질 충족

■ **(도펀트 농도 분포 및 신뢰성 검증 결과)** 국내 다기관 간 교차분석을 통해 신뢰성 공식 입증

- SIMS 분석 결과, 도펀트 농도 분포가 사전 설계값과 정확히 일치하였으며, 국내 기관 간 교차분석을 통해 상대표준편차(RSD)가 약 5% 내외의 우수한 재현성과 신뢰성을 공식적으로 입증
- 해당 연구결과는 SCI급 국제학술지에도 게재되어 국제적으로도 그 성과와 신뢰성을 인정받음

■ **(기대 효과 및 활용 전망)** 국내 전력반도체 산업의 분석 신뢰성 제고와 연구개발 경쟁력 강화 기대

- 본 연구에서 개발된 기준물질은 향후 국내 전력반도체 연구기관과 산업체에서 정확한 분석과 품질관리의 기준으로 활용될 것으로 기대됨
- 특히 국내 최초로 SiC 및 GaN 전력반도체용 미량 도펀트 연구장비 기준물질을 성공적으로 개발하여, 국내 전력반도체 분야의 분석 신뢰성과 기술 경쟁력을 한층 강화하는 데 크게 기여를 할 것으로 평가됨



〈그림 11〉 **전력반도체 미량 도펀트 기준물질 개발품**

Ⅳ

기준물질 개발 수요 및 현장 의견 분석

국내 기준물질 개발·보급에 대한 현장의 목소리

■ FGI 실시 개요

- (목적) 연구재료 활용 분야 확대·품질 향상, 기준물질 개발·보급 등 연구재료 산업 육성을 위한 산·학·연 의견 수렴
- (대상) 국내 연구재료 분야 연구자 및 수요기업 등 15인
- (방법) 사전에 구조화된 질의서를 기반으로 자유토론 방식의 FGI 실시

■ 주요 의견 수렴 결과(요약)

- 연구재료 국산화 및 신뢰성 검증 체계 구축 필요성

FGI 결과 요약

- 국내 연구기관과 산업현장은 연구재료의 높은 해외 의존도를 지적하며, 국산화가 이루어지더라도 이를 객관적으로 검증하고 표준화할 수 있는 체계와 기준이 부족하다는 공통된 의견을 제시함
- 바이오 분야에서는 항산화 효능 등 특정 성능평가에 필요한 신뢰성 있는 기준물질의 부재로 인해, 품질 평가와 연구개발 과정에서 정확한 분석 결과 도출이 어렵다는 현실적 어려움을 강조함
- 반도체·디스플레이 산업 현장에서는, 노후화된 해외 기준물질이 최신 분석기술 요구를 충족하지 못해, 정확한 측정과 품질관리에 명확한 한계가 존재한다는 의견이 제기됨
- 분석장비 제조기업은 첨단장비의 성능 평가를 위한 기준물질이 국내에 없어, 국제 인증 획득과 장비 성능의 객관적 검증에 심각한 어려움을 겪고 있음을 구체적으로 언급함

- 기준물질 개발사업 추진의 필요성

FGI 결과 요약

- 바이오 분야 연구자는 의약품의 효능 및 품질 평가 등 바이오 산업의 핵심 분석에 활용할 수 있는 기준물질이 국내에 전무한 현실을 구체적으로 지적하며, 해당 분야에 특화된 기준물질의 체계적 개발과 보급 사업이 반드시 필요하다는 의견을 제시함

► 반도체·디스플레이 분야 전문가는 해외에서 공급되던 기존 기준물질의 서비스 중단과 품질 편차 문제를 구체적 실제 사례로 언급하며, 국내 산업의 고도화된 분석 수요를 충족할 수 있는 최신 기준물질의 체계적 개발과 안정적 공급을 위한 정부 차원의 지원이 필요하다고 강조함

► 분석 장비 제조기업 대표는 초정밀 분석 장비의 국내 성능 평가에 필수적인 기준물질이 부재하여 장비 산업의 경쟁력이 저하되는 있는 실질적 문제를 지적하며, 국가 차원에서 산업현장의 수요를 반영한 실질적이고 체계적인 기준물질 개발 및 공급 지원이 필요하다는 의견을 제안함

- 기준물질의 수요-공급 공백과 대응 방안

FGI 결과 요약

► 국내 주요 첨단분야에서 활용되는 기준물질의 상당 부분이 해외 수입에 의존하고 있어, 분석 정확성 및 산업 경쟁력 유지에 명확한 제약이 있다는 공통된 의견이 도출됨

► 특히, 중에너지 이온 질량분석장비 등 고부가가치 첨단장비 분야에서는 적합한 국내 기준물질이 부재하여, 장비의 정확한 성능 평가와 품질관리에 심각한 어려움이 존재함을 전문가들이 지적함

► 이에 따라, 국내 산업과 연구 현장의 구체적 수요조사를 기반으로 정확한 기준물질의 우선 개발 품목을 선정하고, 실효성 높은 개발·보급 로드맵과 데이터베이스 및 온라인 플랫폼 등을 국가 차원에서 전략적으로 마련할 필요가 있다는 의견이 제시됨

► 또한, 장기적으로 국내 기준물질의 개발과 보급을 위한 정부의 구체적이고 일관된 정책 지원을 통해, 국내 분석기술 자립화와 첨단 산업 경쟁력 강화를 위한 기반을 조속히 구축해야 한다는 점도 강조됨

국내 기준물질 수요 현황

■ 수요조사 개요

- (목적) 국가전략기술 분야의 분석 신뢰성 확보를 위한 연구장비 기준물질의 개발 및 활용의 구체적 수요 발굴
- (대상) 국내 반도체·디스플레이, 이차전지, 우주항공(지구환경), 첨단바이오 분야의 연구자 및 국내 분석 서비스·첨단소재 관련 기업 관계자
- (방법) 연구재료 후보물질 기술을 보유한 연구자 및 기업을 선별하여 온라인 수요조사 실시

■ (수요조사 결과) 연구장비 기준물질 개발 과제에 대한 수요 조사 결과, 총 61건의 수요가 취합되었으며, 분야별로 반도체·디스플레이 22건, 이차전지 14건, 우주항공(지구환경) 14건, 첨단 바이오 11건으로 나타남

- 특히, 국가전략기술 분야인 반도체·디스플레이, 이차전지, 우주항공(지구환경), 첨단 바이오 등의 특화되고 고부가가치가 높은 기준물질 개발을 우선적으로 지원할 필요성이 높다는 분석 결과가 도출됨

〈표 4〉 분야별 기준물질 개발 수요조사 결과(요약)

분야	수요건수	주요 수요 기준물질 사례	주요 분석장비
반도체·디스플레이	22건	SiC 전력반도체 미량원소 기준물질, GaN·Si 도펀트 기준물질 등	SIMS, ICP-MS, XRD, SEM 등
이차전지	14건	전고체전지 양극재 기준물질, 실리콘계 음극 기준물질 등	ICP-MS, XRD, SEM 등
우주항공(지구환경)	14건	암석·토양 분석 기준물질, 희토류 분석 기준물질 등	ICP-MS, TIMS, XRF 등
첨단바이오	11건	mRNA 백신용 표준 기준물질, 세포치료제 평가 기준물질 등	LC-MS, qPCR, HPLC, GC-MS 등

■ 반도체·디스플레이 분야 기준물질 개발 주요 수요처(일부 발췌)

- 연구자들은 반도체·디스플레이 분야의 분석 신뢰성 확보를 위한 기준물질 개발에 대해 가장 높은 수준의 수요를 제시함. 이는 최근 국가전략산업으로서 반도체·디스플레이 분야가 급성장함에 따라, 관련 고난도 분석기술 개발의 필요성이 크게 증가한 결과로 분석됨

〈표 5〉 반도체·디스플레이 분야 기준물질 개발 수요

연번	연구개발 수요	제안기관
1	Si 반도체용 도펀트 기준물질	S****스
2	GaN, SiC 소자 평가용 도펀트 기준물질	삼**자
3	GaN 소재의 도펀트 기준물질	에**로
4	SiC 전력반도체용 미량원소 기준물질	동*대
5	초전도 니켈계 산화물 박막 기준물질	부*대
6	HfZrOx 박막 및 2차원소재 기준물질	나*****원
7	전력반도체용 층간 절연막 기준물질	부******크
8	Y2O3, Er2O3 초수성 박막 기준물질	한********원
9	Ga2O3 전력반도체 기준물질	한*******원
10	IGZO, IGZO 산화물 박막 기준물질	삼*******이

■ 이차전지 분야 기준물질 개발 주요 수요처(일부 발췌)

- 최근 이차전지 산업의 급격한 성장과 함께, 고성능·고안정성 배터리 개발을 위한 고난도의 분석기술 수요가 지속적으로 증가하고 있어, 이차전지 분야에서도 연구장비 기준물질 개발에 대한 수요가 높은 것으로 나타남

〈표 6〉 이차전지 분야 기준물질 개발 수요

연번	연구개발 수요	제안기관
1	고용량·장수명 특성 실리콘 기반 음극 기준물질	한*********원
2	층상형 양극활물질 내 잔류 리튬 화합물 정량 분석용 기준물질	충***교
3	전고체전지용 양극재 기준물질	한*****원
4	고출력용 스피넬계 양극재 기준물질	서*******교
5	전고체전지용 황화물계 고체전해질 기준물질	포**********션

■ 우주항공(지구환경) 분야 기준물질 개발 주요 수요처(일부 발췌)

- 우주항공(지구환경) 분야 역시 분석 신뢰성 확보를 위한 기준물질 개발에 높은 관심과 수요를 보였으며, 이는 고난도 분석기술에 대한 수요가 지속적으로 증가하고 있는 최근의 연구 트렌드를 반영한 것으로 분석됨

〈표 7〉 우주항공 분야 기준물질 개발 수요

연번	연구개발 수요	제안기관
1	금형 열처리용 질화 산화물 기준물질	미****텍
2	초정밀 가공용 코팅소재 기준물질	와****이
3	인산칼슘 세라믹 생체재료 기준물질	휴****오
4	암석과 토양 기준물질	지*이
5	희토류 물질 분석용 기준물질	크**폼

■ 첨단 바이오 분야 기준물질 개발 주요 수요처(일부 발췌)

- 첨단 바이오 분야에서도 바이오의약품 및 생명과학 연구의 급성장에 따라, 세포치료제나 단백체 분석 등 고정밀 분석을 위한 신뢰성 있는 기준물질 개발 수요가 급격히 증가하고 있는 것으로 나타남

〈표 8〉 첨단바이오 분야 기준물질 개발 수요

연번	연구개발 수요	제안기관
1	GC-PID 센서 기반 폐암 검출용 표준 휘발성 유기화합물(VOCs) 기준물질	한*******원
2	mRNA 백신용 표준화된 mRNA 서열 및 정제된 mRNA 기준물질	알***팜
3	인간 유도만능줄기세포(iPSC) 표준 세포주 및 줄기세포 마커 발현 기준물질	한******원
4	코로나19 진단용 N단백질, S단백질 및 표준 RNA 서열 기준물질	에***드
5	독성물질 검출용 중금속(납, 카드뮴, 수은) 표준 용액 및 미세플라스틱 기준물질	충***교

소결

■ FGI 및 수요조사 결과, 국내 연구 및 산업현장에서의 분석 신뢰성을 확보하고 연구재료 산업의 경쟁력을 강화하기 위해, 분야별 특화된 기준물질의 개발의 시급성이 확인됨

- 국가전략기술 분야를 중심으로 연구장비 기준물질 개발 수요가 명확히 드러났으며, 반도체·디스플레이, 이차전지, 우주항공(지구환경), 첨단바이오 등 각 분야에서 구체적이고 전문화된 기준물질에 대한 수요가 높은 것으로 조사됨
- 산업현장과 연구기관은 현재 사용 중인 노후화된 기준물질의 한계, 해외 기준물질에 대한 높은 의존도로 인한 비용 부담 및 공급의 불안정성으로 인해 분석 신뢰성과 품질관리 확보에 어려움을 겪고 있는 것으로 확인됨
- 이에 따라 정부는 산업현장의 구체적인 수요를 기반으로 명확한 기준물질 개발 품목과 우선순위를 도출하고, 단계별 로드맵과 이를 실질적으로 지원할 수 있는 체계적 방안을 마련할 필요가 있음
- 또한 산·학·연 협력 기반의 기준물질 개발·보급 체계를 구축하고, 개발된 기준물질 정보를 체계적으로 공유·보급할 수 있는 온라인 플랫폼 및 데이터베이스 구축 등 실효성 높은 방안이 요구됨

V

결론 및 시사점

국내 연구재료 산업 경쟁력 강화를 위한 기준물질 개발 지원 방향

국가전략기술 분야 경쟁력 강화를 위한 연구장비 기준물질 개발

- 국가전략기술 분야(반도체·디스플레이, 이차전지, 첨단 바이오, 우주항공·지구환경 등)의 경쟁력 확보를 위해서는 신뢰성 높은 연구장비 기준물질 개발이 필수적이며, 이는 국내 연구재료 산업의 핵심 기반으로 작용함
- 첨단 산업 및 연구 분야는 높은 수준의 기술적 난제와 특수한 분석 수요를 가지고 있기 때문에 기초연구 및 선행연구를 토대로 한 단계적이고 체계적인 연구장비 기준물질 개발 지원이 필요함
- 현재 국내 주요 전략기술 분야에서 활용되는 기준물질의 상당 부분을 해외에 의존하고 있는 현실을 극복하고, 국내 연구재료 산업의 기술 자립을 실현하기 위해서는 국가 차원의 체계적이고 지속가능한 지원이 시급한 상황임

산업부 인증표준물질 사업과 차별화된 연구장비 기준물질 개발 체계 수립

- 산업통상자원부 중심의 인증표준물질(RM·CRM) 개발사업은 산업현장의 품질관리, 상용화 및 국제공인을 목적으로 추진되고 있어, 연구 현장에서의 분석 신뢰성 확보 및 초기 R&D 지원을 위한 연구장비 기준물질(ARM)의 개발 및 지원을 별도로 체계화할 필요가 있음
- 연구장비 기준물질은 첨단기술 분야의 초기 연구 및 분석 신뢰성 확보를 위한 용도로 개발되며, 산업부 인증표준물질의 후보물질로서 역할을 수행하여, 단계적이고 상호보완적인 연계가 가능함

〈표 9〉 표준물질 개발사업과 기준물질 개발사업의 차별성

구분	산업통상자원부 표준물질 개발사업	연구장비 기준물질 개발
목적	산업현장의 제품개발 및 품질관리	연구장비의 성능 검증 및 분석 정확도 향상
대상산업	반도체, 이차전지, 철강, 바이오 등 핵심 산업	기초과학, 소재분석, 나노기술, 생명과학 등
활용분야	제품의 성분 분석, 품질검사, 공정제어	연구장비의 교정, 실험 데이터 신뢰성 검증
주요 활용기관	산업체 및 연구기관	대학, 연구소, 공공기관 및 연구개발 기업
산업적 적용성	생산 공정 및 품질관리 시스템 적용	실험실 연구 및 첨단 분석기술 검증
국제협력	국제 표준물질 DB 등록 및 해외 유통 촉진	국제 연구소 및 표준기관과의 연구 협력 강화

산학연 협력 기반의 연구장비 기준물질 개발 체계 구축

- 효과적인 연구장비 기준물질 개발과 보급을 위해서는 산업계, 학계 및 연구기관이 상호 협력하는 전략적 개발 체계가 필요함
- 산학연이 협력하여 산업현장과 연구 현장의 수요를 선제적으로 발굴하고, 연구장비 기준물질의 기획·개발·성능평가·보급에 이르는 전 과정을 공동으로 추진할 수 있는 체계가 구축되어야 함
- 정부는 산학연 공동연구 프로젝트 확대, 기술 교류 및 인력 교류 프로그램 활성화 등을 통해 연구장비 기준물질 개발의 효율성을 제고하고 중복 투자를 방지할 수 있는 협력 환경을 적극적으로 마련해야 함

장기적 연구장비 기준물질 개발 및 보급 로드맵 수립

- 연구장비 기준물질 개발은 단발성·단기적 과제가 아닌 지속적이고 체계적인 장기 과제로 접근해야 하며, 분야별 우선순위와 세부 개발 일정을 명확히 제시하는 중장기 로드맵이 필요함
- 특히 국가전략기술 분야의 중장기 발전 방향과 산업 현장의 실제 수요를 반영하여, 구체적이고 실효성 있는 로드맵과 세부 실행계획을 체계적으로 수립하고 지원해야 함
- 이러한 장기 로드맵에 기반하여 연구장비 기준물질을 지속적이고 체계적으로 개발·보급하고, 온라인 플랫폼과 데이터베이스 등 실질적이고 지속 가능한 공급 인프라를 구축해야 함

연구장비 기준물질 개발 지원을 위한 제도적 기반 확충 및 정책적 연계 강화

- 국내 연구장비 기준물질 개발 지원은 관련 제도가 미비하여 정책적 뒷받침이 부족한 상황이며, 연구장비 기준물질의 정의와 범위를 포함한 제도적 기반을 명확히 정립할 필요가 있음
- 연구장비 기준물질 개발 사업이 국가 R&D 기획 단계부터 체계적으로 반영될 수 있도록 정책 연계를 강화하고, 개발된 기준물질이 연구 및 산업 현장에서 효과적으로 활용될 수 있도록 제도 개선이 이루어져야 함
- 연구재료 국산화 사업과 연구장비 기준물질 개발 사업 간의 상호 연계를 강화하고, 개발된 기준물질의 실질적으로 보급·산업화될 수 있도록 정책적 지원과 제도적 보완이 필요함

VI

참고문헌

1. 문헌자료

- 과학기술사업화진흥원(2025), 「연구재료 Value-up 프로젝트사업 기획보고서」.
- 국가기술표준원(2024), 『2023년 국가표준백서』.
- 국가기술표준원 표준정책과(2025.02.25). 「반도체 등 첨단전략산업 분야 표준물질 개발 돌입 – 국표원, '25년 국가전략기준물질개발사업 10개 신규과제 공고」, 국가기술표준원 보도자료.
- ISO(2015), 『Guide 30: Reference materials — Selected terms and definitions』, Geneva: International Organization for Standardization.
- ISO (2016), 『General requirements for the competence of reference material producers (ISO 17034:2016)』, International Organization for Standardization.
- Kie ł basa, A., Gadza ł a-Kopciuch, R., & Buszewski, B. (2015), "Reference Materials – Significance, General Requirements and Demand", *Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 46(3), pp. 224-235.
- Recknagel, S., Schröder, M., Richter, S., & Klose, J.(2025), "Powering precision: development of a certified reference material for elemental composition analysis of lithium nickel manganese cobalt oxide (Li-NMC) cathode material for lithium-ion batteries", *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 417, pp. 2643-2653.
- Jang, T., Byeon, M., Kang, M., Lee, S.-G., Lee, J. H., Lee, S.-G., Min, W. J., & Hong, T. E. (2024), "Investigating Structural and Surface Modifications in Ion-Implanted 4H-SiC for Enhanced Dopant Distribution Analysis in Power Semiconductors", *Materials*, 17(23), p.5734.

2. 웹사이트

- 독일 연방재료시험연구소(BAM) 공식 홈페이지: https://rrr.bam.de
- 미국 국립표준기술연구소(NIST) 공식 홈페이지: https://www.nist.gov
- 일본 국가측정표준종합센터(NMIJ) 공식 홈페이지: https://unit.aist.go.jp
- 후지필름 와코순약공업 공식 홈페이지: https://labchem-wako.fujifilm.com
- Frontiers 학술지 공식 홈페이지: https://www.frontiersin.org
- PubMed Central(PMC) 공식 웹사이트: https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov
- 한국표준과학연구원 표준성과한마당 홈페이지: https://eshop.kriss.re.kr/

필자소개 최문영
과학기술사업화진흥원 연구장비재료팀 선임연구원

연구산업 이슈·동향 페이퍼 2025-01(통권 제19호)

연구재료 산업 경쟁력 제고를 위한 기준물질의 역할과 과제

발행일 2025년 07월 01일

발행처 과학기술사업화진흥원 연구산업진흥본부
서울 강서구 양천로 570 17층, 20층
T. 02-736-0047 F. 02-736-9799

■ 본 이슈페이퍼의 내용은 필자의 개인적 의견이며, 진흥원의 공식적인 의견이 아님을 밝힙니다.