

미래소재산업 준비계획 수립을 위한 기획연구

연구기관 : 한국과학기술연구원

미 래 창 조 과 학 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 미래창조과학부의 공식견해가
아님을 알려드립니다.

미래창조과학부 장관 최 양 희

제 출 문

미 래 창 조 과 학 부 장 관 귀하

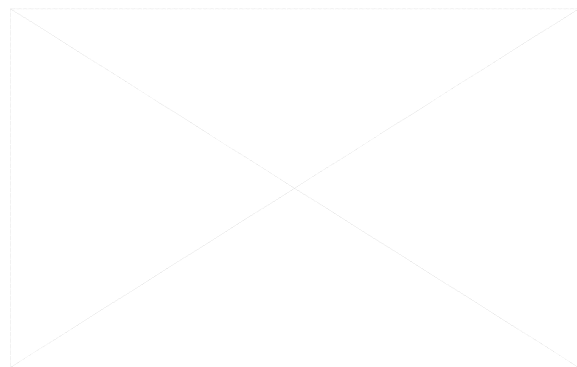
본 보고서를 “미래소재산업 준비계획 수립을 위한 기획연구”의 최종보고서로 제출합니다.

요 약

기획의 개요

■ 기획 추진의 필요성

- 첨단산업의 성장에 미치는 소재 기여도가 갈수록 증가하고 고부가가치 첨단소재의 시장규모도 확대되는 추세
 - 제조업의 부가가치에 소재 비중은 61.6%로 증대 (산기평, '13년 자료)
 - 첨단소재 시장규모는 2015년 195조원에서 2050년 1,428조원으로 확대될 것으로 추정



< 첨단산업 성장에 소재 기여율
(Sanford L. *et al*, 2009)>

- 소재의 혁신은 新산업 창출 및 산업구조의 혁명적 변화를 촉발하여 4차 산업혁명 및 지능정보사회 진입을 위한 필수 요소가 될 것으로 예상
 - 소재 자체가 새로운 산업을 만들고 경쟁력을 지배하는 시대가 도래
 - ※ GaN 청색 LED 소재의 개발로 디스플레이 뿐 아니라 형광등에서 LED로 조명산업의 혁명이 시작
 - 유연소재 및 에너지하베스팅 소재, 센서용 감지소재, 3D 프린팅 소재 등 새로운 개념의 미래소재 개발이 4차 산업혁명의 기반
- 소재 강국들이 글로벌 경쟁시대를 선도
 - 독일, 일본 등 전통적 소재강국은 소재를 기반으로 지배력을 강화하고 있고, 중국 등이 신흥소재 강국으로 등장하며 세계 경제를 선도
- 우리는 그간 따라잡기식 중/단기 개선 연구에 집중하여 첨단소재 분야의 기술 경쟁력이 부족하고, 관련 소재의 해외의존도가 지속되는 악순환이 반복

■ 미래신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안

- 이에 따라 2015년 제27차 국가과학기술자문회의에서는 미래 신시장 선점을 위한 범부처 합동의 소재기술 혁신방안을 제안하면서 ① 소재기술개발 혁신, ② 소재공정혁신, ③ 지속가능 소재산업 생태계 구축, ④ 소재 신뢰성 확보를 위한 인프라 확충 등의 4대 혁신방향을 제시
- 본 연구는 이에 대한 후속연구로서, 미래소재산업 육성을 위한 전략적 방향 설정과 구체적인 실행계획에 대해 심층적으로 연구하였음

■ 기획의 목표 및 내용

- 미래창조과학부가 주도할 소재 연구개발 프로그램 제안
 - 현 시점에서 대한민국 소재 산업 및 연구개발 역량 분석과 소재 연구개발의 글로벌 트렌드를 분석
 - 이를 바탕으로 소재산업의 경쟁력 향상을 위한 R&D 정책방향을 제시하고 미래소재 연구개발 프로그램의 제안
- 기획내용 1 : 미래소재산업 육성을 위한 국내외 협황분석
 - 해외 소재분야 정책의 특징과 대표적인 정책의 현황 조사·분석
 - 소재연구의 글로벌 트렌드 분석
 - 국내 소재분야 현황 조사를 통한 문제점 분석
 - 국내 소재분야 현황 분석의 시사점으로부터 미래소재 경쟁력 증진을 위한 소재 R&D 정책방향을 도출
- 기획내용 2 : 미래소재 국가경쟁력 강화 전략 도출
 - 소재강국의 비전과 정책목표 설정
 - 미래창조과학부 관점에서 미래소재 R&D 정책방향과 추진전략 도출
- 기획내용 3 : 미래소재기술 R&D 지원 프로그램 설계
 - 정책방향에 따른 프로그램 설계
 - 미래소재산업 육성을 위한 국가 인프라 혁신방안 모색

■ 기획 추진 방법

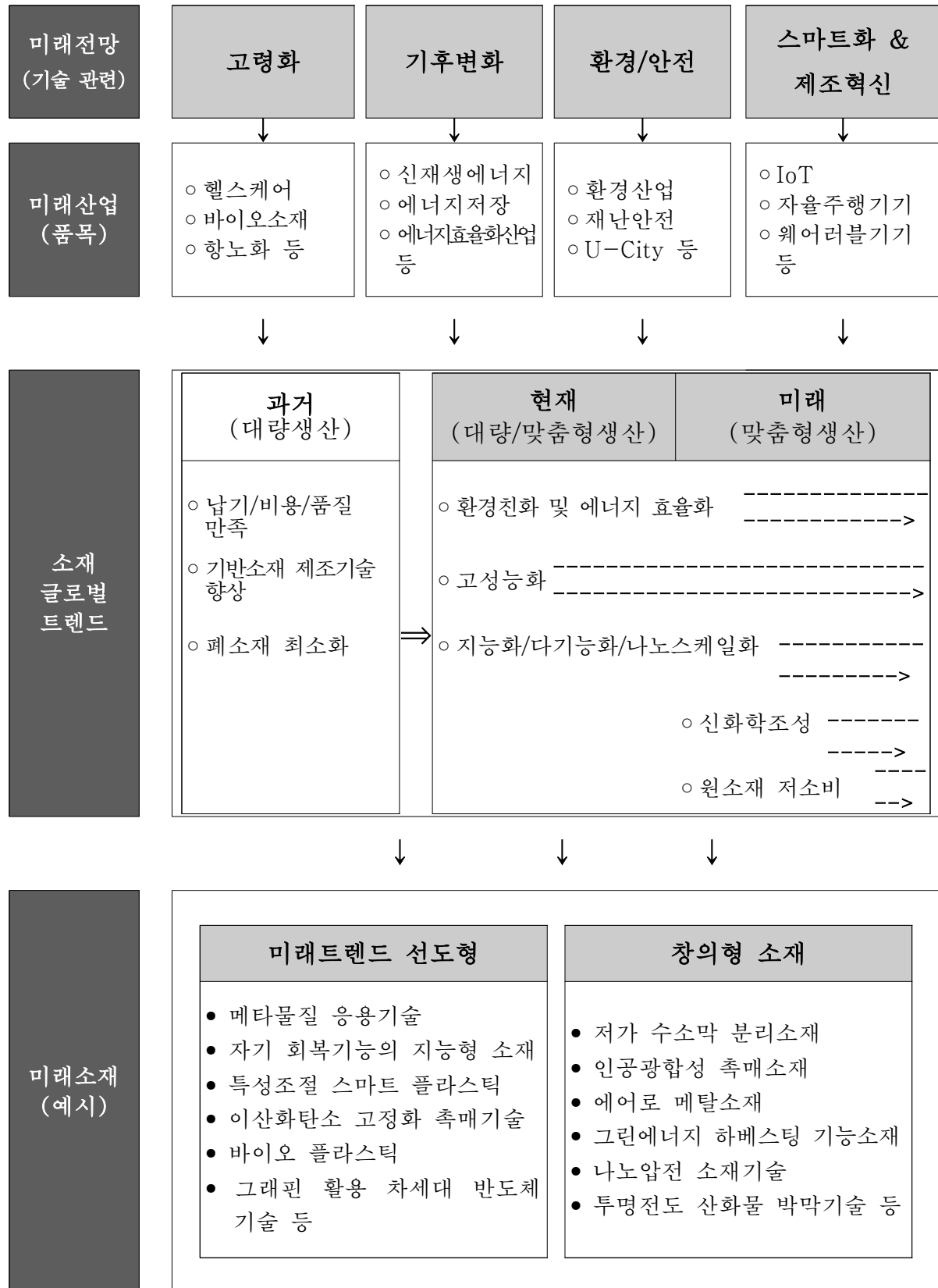
미래사회 변화와 미래소재

■ 미래소재의 개념 및 특징

- 정책대상으로서의 미래소재 개념 설정
 - 신산업을 창출하거나 기존 산업을 와해시킬 수 있는 잠재력을 가진 소재
 - 실험실 수준의 연구개발 완료(TRL6)까지 약 10년, 소재의 산업화까지는 20년 이상이 소요되는 소재
- 미래소재의 특징
 - 물리 화학 등 기초연구를 바탕으로 물질특허 확보, 아이디어 구현, 공정 개발 등을 통해 산업적 가치를 지닌 소재로 발전
 - 대표적인 High Risk, High Return 분야로 개발에 성공하면 파급력이 매우 높은 분야
 - 전문적이고 특화된 소재로서 강소형 전문기업이 주도적 역할
 - 소재기술의 해외 의존성을 탈파하기 위해 필수적인 소재로서 고위험성으로 인해 정부의 적극적 역할이 필요한 분야

■ 미래사회의 니즈와 미래소재

- 미래소재와 관련이 있는 미래사회의 메가트렌드
 - 인구구조 변화 (고령화)에 따른 노인 복지 수요 증가와 노동집약적 산업의 약화
 - 기후변화에 따른 에너지/환경 문제가 심화되고, 새로운 기후변화체제에서 우리나라 CO2 감축부담 등 산업경쟁력 약화 요인 심화
 - 하드웨어, 소프트웨어 등 정보통신기술이 급격하게 발전하면서 과학기술과의 융합이 심화
- 미래사회의 산업적 니즈에 대응할 미래소재 군은 다기능화, 지능화, 환경친화, 에너지효율화 관점에서 도출할 수 있으며 미래트렌드 선도형과 창의형 소재군으로 분류



국내외 현황 분석 및 시사점

▣ 해외현황 : 제조업 혁신을 위한 효율적 소재 개발 지향

- 선진국의 소재정책은 제조업 발전을 빠르게 뒷받침할 수 있도록 ICT 접목, 소재연구개발 기반 강화에 초점을 두고, 미래 유망 분야에 대한 전략적 투자를 통해 소재개발의 효율성을 높임

< 국가별 첨단소재 전략 >

국가	대표 정책	특징
미국	· Materials Genome Initiative · National Nanotechnology Initiative	에너지/환경 소재 및 우주항공/국방 소재 개발, 계산재료과학 인프라 구축에 중점
일본	· 新원소전략 · Materials Informatics	신소재 발견 보다 모델링이나 특성분석 툴을 이용한 기술의 개발에 초점
독일	· Materials Science and Engineering in Germany · WING(산업소재개발프로그램)	수요업체-소재업체-연구기관 간의 긴밀한 협력 및 첨단 소재의 개발기간 단축을 추진
EU	· European Technology Platform for Advanced Engineering Materials	특정 응용분야에 대한 관련 소재의 수와 연구 목표를 구체화한 로드맵 발표

- (미국) 소재 개발을 위한 R&D 프로그램과 함께 소재개발 효율성 증진을 위한 기반(측정·분석, 모델링 기술)의 강화를 강조

- 소재의 특정 응용과 기술지원에 초점을 맞추고 있으며, 기반기술의 개발을 통해 민간 부문이 R&D를 용이하게 수행하도록 지원
- 제조업 경쟁력 강화의 일환으로 첨단소재개발에서 상용화까지의 기간과 비용을 줄이기 위해 MGI (Materials Genome Initiative) 추진 (2011년~)

※ MGI (Materials Genome Initiative)는 미래사회를 변혁시킬 잠재성을 가진 신소재를 저비용으로 빠르게 활용할 수 있는 연구개발 방법을 모색. 소재 개발이 보다 빠르게 이루어지기 위해 개방형 혁신으로서, 데이터 교환을 통한 다학제간 협력, 물리적 실험을 보완하기 위해 모델링과 소재 형태 모델링을 위한 첨단 알고리즘의 개발이 강조

- IT 기술의 발전을 바탕으로 소재 빅데이터의 축적과 정보학을 이용한 효율적 소재 연구개발의 중요성 부각

※ 2015.2.15. 미국 백악관에서는 재료과학 data의 활용이 소재기술 혁신의 핵심요소라는 전략을 발표하고 국가적 차원에서 소재 빅데이터 구축과 활용 노력을 본격화



○ (일본) 신물질·신재료 개발을 통해 세계 선도 및 일본이 강점을 가지는 연구분야의 지속적 경쟁력 유지 추진

※ WPI (World Premier Institute) 프로그램의 MANA (International Center for Materials Nanoarchitectonics) 및 AIMR (Advanced Institute for Materials Research) 등을 통해 high risk high return 소재 분야의 다학제적 융합연구 지원

※ (원소전략) 희소금속 대체 및 사용량 저감 소재 개발, (구조재료 연구) 사회인프라의 노후화 대책을 위한 고기능 신재료, (소재인포메틱스) 정보과학과 재료과학 융합

- 소재연구에서 산학연 간 및 소재기업과 수요기업간의 긴밀한 협력생태계 확립

※ AIST(일본 산업기술종합연구소)는 소재-제조업-나노기술을 하나의 연구그룹으로 묶어서 연구 추진

※ 나고야 분말생산지원센터는 파쇄에 의한 분말제조의 종합적 지원체계를 갖추고 산학연의 모든 기술적 수요에 대응

- 기초기술을 발굴하고 실용화를 위해 신속하고 지속적인 지원 체계

- 나고야대학에서 시작한 청색 LED 연구는 일본 과학기술진흥기구(JST, Japan Science and Technology Agency)의 A-STEP 프로젝트를 통해 산업화의 꽃을 피움

* 성공 시 지원받은 전액을 이자 없이 JST에 지불, 실용화 프로젝트가 실패했을 때에도 지원 금액의 90%를 면제받고 10%만 REPAY하면 되는 제도로 기업체가 대학의 연구 성과를 기초로 하이리스크 프로젝트를 추진하는데 매우 유용한 프로그램

- JST는 청색 LED 개발 연구를 결정한 지 2년밖에 안됐을 때에도 신속하게 많은 예산을 책정

- JST는 지원자금 전액과 2013년까지 56억엔의 기술료 수입

- **(EU·독일)** 유럽연합 회원국의 산학연이 참여하는 소재연구 전략 기획 조직으로서 EuMat (<http://www.eumat.eu>) 을 설립하고 8개 working group을 중심으로 소재개발 전략을 수립하여 체계적인 소재 개발을 추진
 - EuMat Working Groups : ① Modeling and Multiscale ② Materials for Energy ③ Nanomaterials and Nano Assembled Materials ④ Knowledge-based Structural and Functional Materials ⑤ Life cycle, Impacts, Risks ⑥ Materials for Information and Communication Technologies ⑦ Biomaterials ⑧ Raw Materials
 - 7차 EU Framework 프로그램 (FP7) 과 이후 Horizon 2020 프로그램으로 이어지는 지속적인 소재개발 지원
 - ※ 2012년 7차 EU Framework 프로그램의 나노과학, 나노기술, 소재 및 생산기술에 관련한 NMP (Nanoscience, Nanotechnologies, Materials and New Production Technologies) 프로그램이 대표적인 사업
 - ※ FP7이 2013년 종료됨에 따라 EU가 새롭게 추진하는 Horizon 2020 (2014~2020년) 에서는 6대 ‘기반기술 및 산업기술 분야 리더십 강화’ 분야의 하나로 ‘첨단소재’가 선정하여 육성 (예: 부가가치가 높은 시장을 창출하기 위한 기능성 소재, 자체수리형과 생체적합성 소재, 다기능성 소재 및 구조재)
 - 소재강국인 독일은 WING framework 프로그램을 통해 17개 첨단기술 분야의 핵심소재에 중점 투자하고 있으며 최근 소재개발 플랫폼, 신소재 개발의 가속화를 위한 IT 융합, 소재기능의 복합화를 지향
 - ※ 독일 주력산업의 하나로서 세계최고의 기술력을 보유하고 있는 화학산업은 매년 80억 유로 이상의 연구개발 투자로 수요기업 맞춤형 솔루션을 제공
 - ※ 기초과학에 바탕을 둔 산업기술 개발의 전통 : 100년 이상의 역사를 가진 기초과학과 화학산업 간의 긴밀한 협력체제
 - ※ BASF등 거대기업뿐 아니라 2,000개 가까운 중소 중견 화학기업이 정밀화학산업 분야에서 글로벌 리더 역할을 맡는 ‘히든챔피언’
- **(중국)** 중국은 전례가 없는 속도와 규모로 과학기술에 대한 자원을 투입하여 현재 주요한 R&D Player로서 자리매김하고 있으며, 부가가치 제조업으로 산업구조 재편함에 따라 앞으로 미래성장동력 분야에서 치열한 경쟁이 예상
 - 「중국제조 2025」 정책을 수립하고 2025년까지 제조강국 진입을 추진중
 - ※ 한국의 19개 미래성장동력과 중국의 10대 중점산업은 12개 분야가 중첩이 되며, 일부 중첩업종은 6개 분야, 미중첩 1개 분야(안전산업)

구분	주요 내용
13차 5개년 (2016-2020) 계획 (2015)	- 경제성장률 : 6.5% 이상 목표 * 주요 연구기관은 중국의 잠재성장률을 6.2~6.8% 전망 - 산업발전전략 - 추진방향: 新성장동력 육성, 新산업체계 구축, 저탄소/순환산업 육성 등 제시 ① 新성장동력 육성 : 신흥산업* 발전, 인터넷경제**을 제시 * 신흥산업 : 에너지절약·환경보호, 바이오기술, 정보기술, 스마트제조, 첨단장비, 신에너지 등 ** 인터넷경제 : 국가 빅데이터 전략, 사물인터넷(IOT) 기술 응용, 차세대 인터넷 보급을 통해 인터넷 경제를 발전시킴 ② 新산업체계 구축 : ‘중국제조 2025’ 실시(아래 참조), 전략적(신흥) 산업 육성¹⁾, 스마트 제조 등 제시 ③ 저탄소·순환산업 육성 : 비화석 에너지 비중 제고, 저탄소 운송 및 건설, 탄소배출권 통제 등을 통한 저탄소·순환발전 추진
중국제조 2025 (2015)	- 목표 : 2025년까지 제조강국 진입 (세계 제조업 2강 대열) - 신소재 등 10대 중점산업²⁾ 육성 * 신소재산업 발전 방향 : 특수 금속 기능성 재료, 고성능 구조재료, 기능성 고분자재료, 특수 무기질 비금속재료, 첨단복합재료를 중점적으로 발전 - 산업구조 고도화를 위한 제조업 혁신 - 제조업 혁신센터(산업기술연구기지)를 설립 : 15개(‘20) → 40개(‘25) * 분야 : 차세대 정보기술, 지능형 생산 시스템, 3D 프린팅, 신소재, 바이오의약 등 - 추진내용 : 업종별 기초기술 및 핵심기술 연구개발, 연구 성과의 상용화, 인재육성 등 - 제조업의 기초 기술 및 역량을 강화 * 핵심 기초부품, 기초소재의 자급률 제고 : 40%(‘20) → 70%(‘25) ☞ 소재부품의 對중국 수출 감소가 불가피 ** R&D 규모 확대 : 4,570억 위안(‘08) → 1조 3,312억 위안(‘14) (3배 증가)
시사점	- 중국의 발전 및 대외 정책여건상 「중국제조 2025」는 성공할 가능성이 높으며³⁾, 미래성장동력 분야에서 양국 간의 경쟁이 치열해질 전망 * 한국의 19개 미래성장동력과 중국의 10대 중점산업은 12개 분야가 중첩이 되며, 일부 중첩업종은 6개, 중첩이 없는 업종은 1개(다음 페이지 표 참고) - 차세대 정보기술, IoT, 로봇, 3D 프린팅, 스마트 제조, 신에너지 자동차, 전력 장비 등 미래성장동력 산업에서 한-중간의 협력기회 확대

1) 중국정부는 2012년 에너지절약·환경보호, 신흥정보산업, 바이오 산업, 첨단장비, 신에너지, 신재료, 신에너지자동차 등 7대 전략성 신흥산업을 설정하고, 2020년 전략성 신흥산업의 GDP 대비 비중을 15%로 끌어올린다는 목표를 설정함(국무원 “12.5” 국가전략성 신흥산업 발전 계획 통지, 2012)

2) 10대 중점 육성 산업 : 차세대 정보기술, 고정밀 수치제어 및 로봇, 항공우주장비, 해양장비 및 첨단기술 선박, 선진 궤도교통설비, 에너지절약 및 신에너지자동차, 전력설비, 농업기계장비, **신소재**, 바이오의약 및 고성능 의료기기

3) KOTRA, 중국제조 2025 전략과 시사점, 2015

주요국의 소재기술혁신 특징 비교

	미국	일본	독일	유럽연합(EU)
주요 특징	- 소재 연구개발을 뒷받침하는 인프라기술(infrastructure technology) 개발 중심 - 부처별·기관별 미션 달성을 위한 소재 개발에 중점 - 제조업 리더십을 위해 소재 혁신이 중요하다고 여김 - 다부처 연계 R&D 활동	- 산업의 성공에 초점을 맞춤 - 소재 혁신을 사회·경제적 수요에 사용하고자 함 - 소재, 제조업, 나노기술의 연계 - 나노기술은 일본 정부의 특별 관심 분야 - 소재 연구와 관련된 기술 개발(시뮬레이션, 측정, 분석) 및 지원에 관심을 보임	- 산업계 지원 중심 - 소재 혁신을 사회·경제적 수요에 사용하고자 함 - 제조업 연계를 반드시 고려 - 연구개발을 지원하는 기술(시뮬레이션 등) 증진에 관심을 보임 - 신소재 뿐만 아니라 전통적인 소재의 연구개발도 중요하게 고려	- 소재 분야 2개의 대단위(large scale) 로드맵이 존재하나 특정 응용분야에 국한되어 있음 - 소재 R&D를 지원하는 기술 개발의 중요성을 강조 - 소재, 제조업, 나노기술의 연대(strong link)를 제안
주요 R&D 프로그램	Materials Genome Initiative National Nanotechnology Initiative	혁신적 신구조재료 기술개발 신소형재 산업비전	WING 프로그램 소재에서 혁신으로 (WING 후속)	Horizon 2020 Materials Value Initiative

■ 소재연구의 글로벌 트렌드

- 기초, 응용, 시스템 기술의 전주기적 R&D 강조
 - 소재의 합성 또는 물성 최적화만을 수행하는 단편적 소재연구에서 벗어나, 소재의 설계, 합성, 물성 최적화 및 응용기술의 각 단계가 유기적으로 연계되는 전주기적 R&D를 통해 효율적 소재 개발을 지향
- ICT 융합 및 소재 R&D 플랫폼 구축을 통한 연구 효율성 증진
 - 계산과학, 소재정보학 등을 소재탐색, 설계 등에 적극 도입하고, 나노랩 등 공공 인프라의 활용을 통해 개발 효율 증진 도모
 - 2015년 이후 소재 빅데이터에 기반한 소재개발의 중요성이 전 세계적으로 강조
- 소재 기술의 지속 가능성 고려
 - 소재의 성능·가격뿐 아니라 자원 고갈 및 유해 원소로 인한 환경파괴 등 문제를 고려하는 방향으로 패러다임 전환 추구
 - ※ EU SPIRE 프로그램 : '30년까지 화석 연료 사용 최대 30% 감소, 재생 불가능한 원소 사용 최대 20% 감소, CO2 효율성 최대 40% 향상 목표

■ 국내 소재 산업 현황

- (산업규모) 국내 소재산업은 제조업에서 부가가치액 기준 20.5%, 생산액 기준 16.3%의 비중을 차지('13년 기준)
 - 부가가치율이 높은 첨단소재 산업이 발전하지 못함에 따라 소재산업의 부가가치율은 '95년 이후 하락추세
 - ※ 부가가치율 : 29.6%('95) → 27.1%('00) → 24.7%('05) → 21.0%('10) → 19.6%('13)
- (무역수지) 한국 소재의 전체 무역수지는 흑자(224억불, '14년)이지만, 對일본 무역수지 적자(86억불)는 개선되고 있지 않은 상황
 - 반도체, 디스플레이 등 IT 분야 핵심소재는 대부분 일본에 의존
 - ※ 디스플레이 산업 관련 핵심소재 수입은 48억 달러로 2011년도 소재분야 대일무역적자 119억 달러의 40.7%
 - 범용소재는 중국 등의 생산 확대로 경쟁이 심화되고 있으며 對중국 무역흑자는 하락추세
 - ※ 對중국 수지(억불) : 73('05) → 85('10) → 38('14)

- (기술수준: 범용소재) 폴리실리콘, 자동차용 강판, 건축용 철강, 에틸렌, 합성수지, 동박 등 범용소재의 경우 세계 최고수준의 경쟁력을 확보
- (기술수준: 첨단소재) 기술 집약도가 높은 첨단 소재는 대부분 독일 혹은 일본으로부터 수입하는 등 기술수준이 낮은 상황

소재산업 기술수준 조사 결과 (단위: %, 건)

구 분	금속소재		화학소재		세라믹소재		섬유소재		전 체	
	기술수준	품목	기술수준	품목	기술수준	품목	기술수준	품목	기술수준	품목
범용소재	76.4	9	77.6	8	66.2	8	77.6	3	73.9	28
첨단소재	70.2	21	79.1	22	52.1	12	73.9	17	70.7	72
전 체	72.1	30	78.7	30	57.7	20	74.4	20	71.6	100

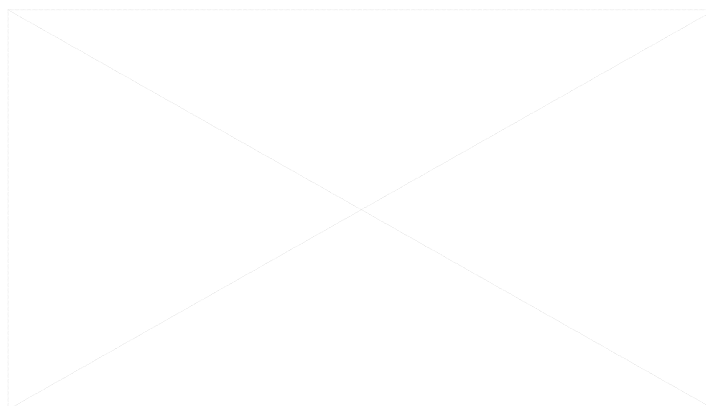
- (소재 무역수지) 소재기술 대일 무역수지는 지속 적자로 여전히 원천핵심 소재기술을 국내 R&D를 통해 확보하지 못하고 있음

대일 무역적자 중 소재 비중

자료 : 소재부품종합정보망

구분		'03	'07	'13	'14
對日 무역수지	전산업(역불) (A)	-190	-299	-254	-316
	- 소재(역불) (B)	-59	-106	-100	-86
	- 소재 비중 (B/A)	30.9%	35.4%	39.6%	39.7%

※ 소재분야 기술무역수지 적자의 대부분은 일본(60.8%), 미국(28%), 독일(4.3)에 집중



소재분야 기술무역수지 연도별 추이('08~'13년)

■ 국내 소재 연구개발 현황

○ (정부 R&D 투자) 양적으로 확대, 개발연구에 편중

- 2015년 국가연구개발사업 투자액 중 중 소재분야 총 투자액은 6,865억원으로 인문사회분야를 제외한 전체 투자액(17.5조원)에서 차지하는 비중은 3.92%
- 2011~2015년 기간에 대한 소재분야 국가연구개발사업 투자액의 연평균 증가율은 7.3%로 동기간 전체 평균(6.5%)을 상회

2011~2015년 전체 대비 소재분야 국가연구개발사업 투자액 현황

투자분야 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	연평균 증가율(%)
전체 분야(억원)	136,107	146,795	156,204	163,147	175,199	6.5
소재분야(억원)	5,174	5,619	6,024	6,474	6,865	7.3

- 2015년 부처별 투자비중은 산업통상자원부 50%, 미래창조과학부 31%, 중소 기업청 10%, 교육부 4%의 순

※ 산업부는 응용/개발연구를 중심으로 투자하고 있으며, 미래부는 기초/응용연구 중심을 투자를 진행하고 있음

※ 중기청의 경우 대부분이 개발연구이며 교육부의 경우 기초연구 비중이 높음



2015년 부처별 소재분야 연구개발 투자현황



2014년 연구개발 단계별/부처별 소재분야 투자현황

- 2011~2015년 기간에 대한 연구개발 단계별 소재분야 투자액 비중은 개발연구 비중이 가장 높았으며 그 뒤로 기초연구, 응용연구 순
 - ※ 2015년 개발연구 53.9%, 응용연구 18.2%, 기초연구 27.9%
 - ※ 2011~2015년 기간에 대해 개발연구 투자액의 연평균 증가율이 8.4%로 가장 높았으며 그 다음으로 응용연구(5.3%), 기초연구(5.0%) 순



2011~2015년 연구개발 단계별 소재분야 투자액 비중

- 소재분야 연구과제 중 2억원 미만의 소액과제가 전체의 60% 이상을 차지하며, 과제별 평균 연구기간은 3년에 불과하여 단기소액과제가 다수를 차지함
 - ※ 2014년 기준, 국가과학기술표준분류상 재료분야에 해당하는 2,608개 과제 중 1,569개 과제 (60.2%)가 2억원 미만 과제 (출처: NTIS (NTIS Cloud 원시 데이터 분석결과))
 - ※ 소재 연구개발 과제별 평균 연구기간은 3년 (출처: 국가과학기술자문회의 보고자료(미래 신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안, 2015))
- 미래부와 산업부는 각각 소재의 기초원천기술 영역과 응용산업화 기술 영역에서 소재 R&D 프로그램을 추진
 - **(산업부)** 주력산업의 경쟁력 강화 및 이머징산업의 시장선도 경쟁력 확보를 지향하고 있으며 소재 개발에 있어서도 관련 산업에 대한 목적성이 강함
 - ※ 주요사업인 소재부품기술개발사업의 경우 '15년 기준으로 기업(대/중견/중소)이 전체 수행과제의 92.29%를 차지하고 있음(출처: NTIS)
 - **(미래부)** 미래 신산업(챌린징산업) 창출을 지향하고 있으며 이를 위한 기반기술 확보 및 원천소재 개발을 지향
 - ※ (기초연구 강화) 대학 중심 소규모 씨앗뿌리기 기초연구 확대를 통한 창의 아이디어 육성, (미래소재디스커버리 사업) 신 연구방법론에 기반한 지속적 미래원천소재 발굴체계 확립



<그림 3.2-10> 국내 소재분야 정부연구개발사업의 TRL 단계별 분포

○ (연구 개발 성과) 정량적 성장에 비해 질적 수준은 미흡

- 논문 수 3위, 특허 수 4위로 양적 세계 최고수준
 - ※ SCI 논문 : 8위('01년, 1,638편) → 3위('14년, 5,776편)
 - ※ 미국등록 특허수 : 5위('01년, 124건) → 4위('14년, 466건)
- 논문의 인용빈도수, 특허의 영향력 지수, 소재 기술력 등 질적수준은 양적성장
에 못 미치고 있음
 - ※ 논문 인용 빈도수 : 논문 1편당 피인용 횟수는 0.38회로 세계 17위(독일 2.5)
 - ※ 특허의 영향력 지수(특허건수×영향력지수) : 107.4(미국 2,906.3)
 - ※ 소재 기술력(Technology Strength) : 163.7(미국 3,210.6, 일본 1,345.2)
- 특허의 질적 척도인 특허 건당 피인용수가 낮고, 최근 10년간('05-'24) 특허 출원
전 인용 자국 특허의 비율은 8.3%로 기술자립도 수준도 낮음
 - ※ 타 특허가 활용하는 정도로서 특허의 원천 정도를 나타냄 : 세계 평균은 2.05이나 한국은
1.56(미국 3.45, 독일 2.16, 일본 2.08, 스위스 3.03)
 - ※ 특허 출원 전 인용 자국 특허 비율 : 8.3%(미국 72.9%, 일본 49.6%, 독일 33.6%)

■ 국내 소재 기술의 문제점 분석

○ 미래를 대비하는 미래소재 기초원천 연구개발 미흡

- 소재 분야 기초연구에의 투자가 부족할 뿐 아니라, 대부분 단기간의 단타성 연
구에 그쳐 소재 원천기술의 성숙에 한계를 노출
 - ※ 소재분야 기초과제의 60%가 연구비 2억원 미만, 연구기간 3년 이하이며 과제 중복성 장벽으
로 계속연구의 어려움을 호소
 - ※ 미래소재 투자비가 소재분야 연구개발비 전체에서 차지하는 비중은 약 8.5% 수준 (531억원,
'14년)

기술수명주기별 연구단계별 연구비(억원)

기타	86	162	14	622	884
개발연구	363	943	114	1,451	2,871
응용연구	268	198	73	578	1,117
기초연구	531 (8.5%)	177	20	624	1,352

도입기 성장기 성숙기 기타²⁾ 합계

미래소재 부처별 연구비(억원)

기타	1	83	2	0	86
개발연구	153	148	2	59	363
응용연구	157	18	83	10	268
기초연구	400	48	44	39	531 (8.5%)

미래부 산업부 방사청 기타 합계

○ 원천특허 확보 시급

- 과제 수행시 특허보다 논문에 중점을 두어 물질특허, 원천특허 등 전략적인 특허 포트폴리오 구축 미흡

※ 건당 피인용수 및 자국특허 인용 비율 면에서 본 특허의 질적 수준은 선진국 대비 50% 미만

- 소재산업의 경쟁력 부족을 극복하고 소재분야 원천기술(특허) 확보를 통한 국가경쟁력 증진을 위해서는 소재분야 R&D 투자 포트폴리오의 질적 변화가 필요

○ 도전적 원천기술보다는 개선형 개발연구에 치중

- 미래소재를 위한 원천기술보다는 산업에서 당장 필요한 소재 국산화 및 공정 개선 연구에 치중

※ 소재분야 기술무역적자가 지속되고 있고 원천기술(특허) 부재로 특허소송 등 분쟁에 휘말리며 막대한 피해 (2013년도 정부연구개발 투자방향, 국가과학기술위원회 2012. 4. 12)

○ (사업화 연계성 부족) 기술단계별(기초, 응용, 개발) 다양한 프로그램이 있으나 기초연구성과의 사업화 연계를 위한 수단 부족

※ 대체적으로 미래부 사업은 TRL4 단계 이하에 머물고 있고, 산업부의 소재사업은 대부분 TRL 6단계 이상의 후방 연구사업을 지원

※ 나노융합 2020 사업단, 연구성과 실용화 진흥원이 연구개발 성과의 사업화를 추진하고 있으나, 현재 가시적인 시장성을 가진 소재 개발에 주력

■ 현황분석의 정책적 시사점

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 원천소재 기술 개발 추진 필요
- 소재 R&D 단계별 연계 강화를 통한 전주기적 소재연구 프로그램 개발 필요
- 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신 필요

○ 정책방향 I : 도전적 기초연구 강화

- 타게팅·목적 지향적 소재개발에서 벗어나 도전적 기초연구 비중을 확대하고 장기 연구 지원을 통해 미래소재 핵심역량을 강화

○ 정책방향 II : 소재 R&D 단계별 연계성 강화

- 소재 R&D의 단계별 연계 강화를 구현할 수 있는 국가 R&D 프로그램의 포트

폴리오 구축

○ 정책방향 III : 효율적인 소재 개발 인프라 구축

- 기 투자된 소재연구 인프라와 공공의 연구역량을 플랫폼 화하여 공개함으로써 산학연 소재개발 주체들의 연구개발 효율성을 증진

국내소재 R&D의 문제점 개선과 글로벌 트렌드를 반영한 정책방향

국내 현황의 문제점 및 핵심 글로벌 트렌드		해결책으로서의 정책방향
국내 소재 R&D 현황의 문제점	미래사회 이슈에 대응할 수 있는 소재 기초원천 R&D 미흡	도전적 기초연구에 바탕을 둔 원천소재기술 개발 적극 추진
	도전적 기초연구보다 개선형 개발연구에 치중	
	소재 R&D 성과의 양적 증가에 비해 질적 수준이 미흡	
	우수한 기초연구성과의 실용화/산업화 연계노력 부족	소재 R&D 단계별 연계 강화를 통한 전주기적 소재연구 프로그램 개발
	소재 전주기에 걸친 통합적 소재 R&D 전략 부재	
소재 R&D의 글로벌 트렌드	지식기반 R&D 플랫폼을 통한 연구개발 효율성 증진	효율적인 소재 개발을 위한 소재 R&D 인프라 구축
	IT 기술과 소재기술의 접목을 통한 소재연구의 혁신 추구	

미래소재 국가경쟁력 강화 전략

■ 비전 및 목표

- 비전 : 2025년 세계 3위권의 소재강국 실현
- 목표 : 소재개발의 전주기적 생태계 강화를 통한 미래소재 글로벌 경쟁력 확보
 - 독점적 지배력을 가진 원천소재 (물질특허) 30건을 확보하고 산업화를 달성
 - 이머징 산업을 실현할 미래소재 분야에서 글로벌 경쟁력의 확보를 통해 50조원 이상의 부가가치 창출

■ 미래소재 국가 경쟁력 강화를 위한 3대 정책방향

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 소재 원천기술 개발
- R&D 단계별 연계강화를 통한 전주기적 소재 연구프로그램 발굴 추진
- 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신

■ 추진 전략

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 소재 원천기술 개발
 - 미래소재 디스커버리 사업의 운영개선을 통한 성공적 운영
 - 창의적 소재 아이디어의 발굴 육성
 - 장기적 심화연구 지원을 통한 소재기술 장인그룹 육성
 - 지속가능한 소재원천기술 개발 지향
- R&D 단계별 연계강화를 통한 전주기적 소재 연구프로그램 발굴 추진
 - 멀티 TRL 연구를 지향하는 융합 연구사업을 적극 추진
 - 전주기적 소재 연구개발을 실현할 연구사업 포트폴리오를 바탕으로 부처 내 혹은 부처 간 징검다리형 연계 체계를 구축
- 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신
 - R&D 플랫폼을 통한 연구개발 효율성 증진
 - 기 투자된 R&D 인프라의 목표 지향적 운영 강화
 - 계산재료과학, 소재 빅데이터 등 IT 융합 소재연구 인프라를 강화
 - 지식기반 소재혁신 플랫폼 구축

비전	2025년 세계 4위권의 소재강국 실현
----	-----------------------

정책 목표	● 소재개발의 전주기적 생태계 강화를 통한 미래소재 글로벌 경쟁력 확보
	● 신산업 창출을 위한 창의소재 개발 : 물질특허 30건 ● 이머징산업 선점을 위한 소재기술 개발 : 관련매출 50조원

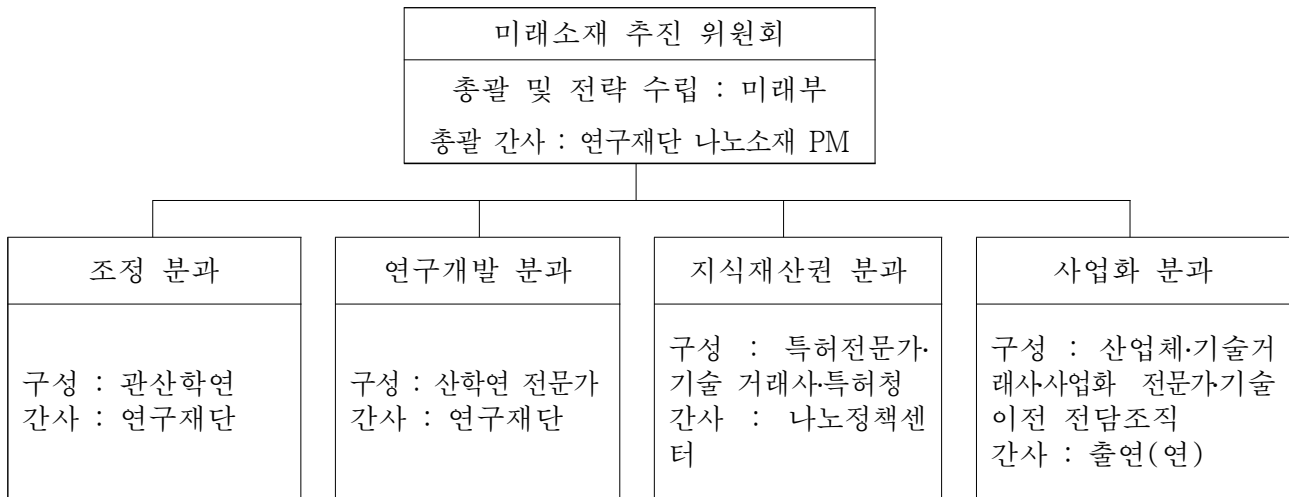


정책방향	추진 사업 (안)
도전적 기초연구 강화	① 미래소재디스커버리사업 (운영개선)
	② 자유형 소재 도전 프로젝트
	③ 미래소재 마스터 양성 사업
	④ 재료 생태기반 지속가능 소재 개발
소재 R&D 단계별 연계성 강화	① 이머징 산업 창출형 소재 개발 사업
	② 기초원천연구 연계기술 개발 사업
효율적 소재 개발 인프라 구축	① 소재 공정합성 플랫폼 구축 사업
	② 소재 분석 및 측정 플랫폼 구축 사업
	③ 소재 계산과학 플랫폼 구축 사업
	④ 소재 빅데이터 플랫폼 구축 사업

■ 추진체계

○ 미래소재사업의 체계적인 추진을 위해 미래소재 추진위원회 구성

- 역할 : 연구개발사업 관리, 기술 사업화 지원, 제도 개선 등
- 구성 : 분과별 약 5명씩은 고정 위원, 연구 분야에 따라 추가



미래소재 추진위원회 구성

○ 분과별 역할

- 조정분과 : 부처 간 협업 강화 및 이어달리기 연구 추진
- 연구개발 분과 : 신규과제 선정 시 또는 상시 산학연 의견수렴을 통해 미래소재기술·분야 발굴, 산업계 의견 수렴·반영 지원, 이머징산업 선정, 성과 교류회 개최 등 R&D 프로그램의 운영전반을 지원
- 지식재산권 분과 : 연구 기획·추진 과정에서 특허청·변리사 지원을 받아 특허 확보 집중 지원, 소재분야 R&D 사업의 지식재산권 확보 차원의 전략 수립, 미래소재 디스커버리 사업 등에서 창출된 특허성과의 가치 평가
- 사업화 분과 : 이머징산업 대응·기업 지원 연구사업 등 기업수요 도출, 미래소재 디스커버리 사업 수행 중 발생하는 시장 및 기술수요 변화를 반영하고, 소재 특성과 시스템 특성 양면에서 소재의 산업화 가능성 등을 검토

■ 기대효과

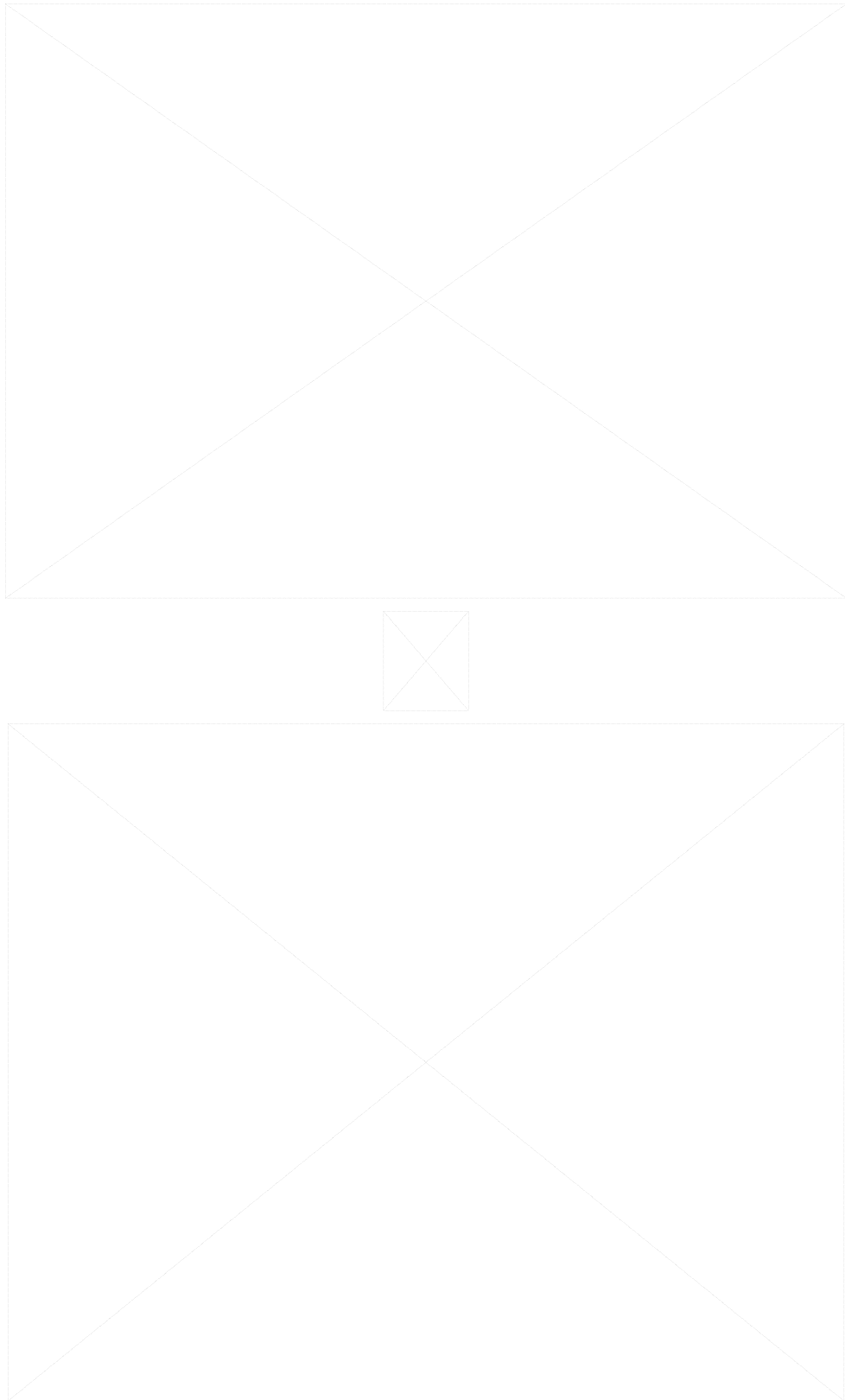
○ 소재 연구개발의 현재와 미래상

미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재 R&D의 변화

	현재	미래
정책 목표	·무역 적자 타개를 위한 수입 대체 ·퍼스트 무버형 소재개발(2011년 이후)	·퍼스트무버형 소재개발을 위한 연구개발 방식 변화
정책 특성	·타겟 소재 선정 및 기술 개발	·도전적 기초연구 강화 ·패스트트랙 기반 구축
기술 목표	·효율 향상·가격 경쟁력 등 성능 개선	·유망소재·원천소재 확보 ·친환경·인체 유해성 등 고려
기술개발 특성	·실험 중심의 소재개발	·빅데이터, 슈퍼컴을 통한 계산과학 기반 강화
	·개발 연구 편중	·도전적 기초 연구 강화
	·단편적 연구	·전주기적 연계형 연구개발
산업 성장	·현존하는 산업의 성장에 대응하는 소재 개발	·새로운 산업에서 독점적 지배력을 갖는 소재기술 확보

○ 소재분야 R&D 포트폴리오의 변화

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 창의적 원천소재 개발과 소재 R&D의 전주기적 프로그램의 도출에 따라 전주기적 소재 R&D 프로그램의 포트폴리오 완성



미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재 R&D 포트폴리오 변화

세부 추진사업 (안)

■ 미래소재 디스커버리 사업 운영개선 (기존)

○ 사업 개요

- 창의적 소재 아이디어와 계산과학 등 ICT 기반 新연구방법론에 의해 설계되어 기존 소재에서 볼 수 없었던 새로운 물성과 기능을 구현하는 소재를 효율적으로 개발하고 해당 원천특허를 확보

기존 소재연구	미래소재디스커버리
장기간에 걸쳐 경험/시행착오에 의해 제품의 성능향상을 위한 소재 개발	소재개발 기간 단축을 위한 신연구방법론(빅데이터 이용 등) 및 융합연구를 통해 신시장 창출형 소재 개발

- (목표) 원천소재에 의해 창출되는 신산업 분야에서 독점적 지배력을 가진 원천 소재기술 14건 확보

○ 추진 내용

- (사업규모) '15년~'24년(10년) 총 3,066억원(28개 연구단, 18억/년·연구단)
- (사업추진 절차) 선 기획연구(6개월) → 본 연구개발(3+3년)
- (사업의 특징) 기존의 소재 연구 개발과는 다른 신 연구방법론을 적극 활용하여 소재 개발 기간 단축 및 연구개발 비용 감축

○ 운영개선 방향

- (신산업 창출가능성 강조하는 평가지표) 기획연구 선정 시 평가 지표에 도전성·참신성·혁신성과 함께 신산업 창출 가능성 등에 높은 가중치 부여

당초	개선
연구진의 탁월성(30점) 계획, 전략의 타당성, 창의성(50점) 결과의 파급성 및 기대효과(20점)	⇒ 연구진의 탁월성(20점) 도전성·참신성·혁신성(40점) 신산업 창출 가능성 및 기대효과(40점)

- (전략성 강화) 상향식 (bottom-up) 과제 선정을 원칙으로 하되 전략성 강화를 위해 공모 분야를 구체화

당초	개선(예시)
극한물성 구조·환경 소재	극저온 고체 윤활 소재
양자 알케미 조성제어 소재	상온 화학공정 제어 소재
스케일링 한계극복 ICT 소재	3D 영상시스템 구현 소재
인간오감 증강소재	인공 혈액·근육소재

⇒

- (기술 확산 제고) 효과적인 기술 이전이 이루어질 수 있도록 미래소재추진위의 사업화 분과를 통해 기술이전 전략 수립
- ※ 사업 최종 목표는 TRL 6까지 소재의 실용성을 검증해 보이는 것이므로 기술 이전을 성공 과제
- 핵심 지표로 평가
- 1차 선정과제의 1단계 평가가 다가옴에 따라 원천 물질특허의 포트폴리오 확보 여부, 소재특성과 시스템 특성 양면에서 소재의 산업화 가능성 등을 면밀히 검토하여 2단계 진입을 결정하는 단계평가안의 준비가 필요

■ 자유형 소재 도전 프로젝트 (기존)

○ 사업의 개요

- 다양한 형태의 소재혁신 아이디어의 발굴을 통해 미래소재의 바탕이 되는 기초원천 연구를 지원
- 자신의 전문분야가 아닌 분야의 문제에 접근·해결하는 과정에서 소재혁신 아이디어를 도출하여 지원
- ※ 예 : 우주항공 소재 연구자 → 심해양 탐사 분야 혁신소재 개발

○ 추진 전략

- 제안 기술의 분야 간 교차성, 참신성, 우수성을 토대로 선정하고, 단계적 평가를 통해 우수 과제에 대한 연구기간, 연구비 지원을 확대
- 성실실패에 대한 인정 비율을 확대하여 도전적 연구를 유도하고, 우수 연구결과는 전문연구실로 연계 발전

○ 추진 방법

- (1단계) 도전적 과제에 대해 단기 소액 연구 다수 지원 (1년 1억)
분야간 교차성·도전성·참신성·혁신성 등에 높은 가중치 부여(80% 이상)
- (2단계) 1단계 과제 중 우수 과제를 30% 이내의 우수과제를 선정하여 2단계 진입
- (종료 후) 우수 연구는 전문연구실 사업이나 미래소재디스커버리 사업으로 연계하여 미래소재 개발의 융합연구로 지원

○ 추정예산

- 매해 20개의 과제 도출
- 연 20억 (총 200억원 '17~'26)

○ 기대효과

- 창의적 소재 아이디어 발굴을 지원함으로써 연구개발의 창의성 강조
- 과제 선정시 분야간 교차성을 강조함으로써 소재 융합연구의 토대를 강화

■ 미래소재 마스터 양성 사업 (신규)

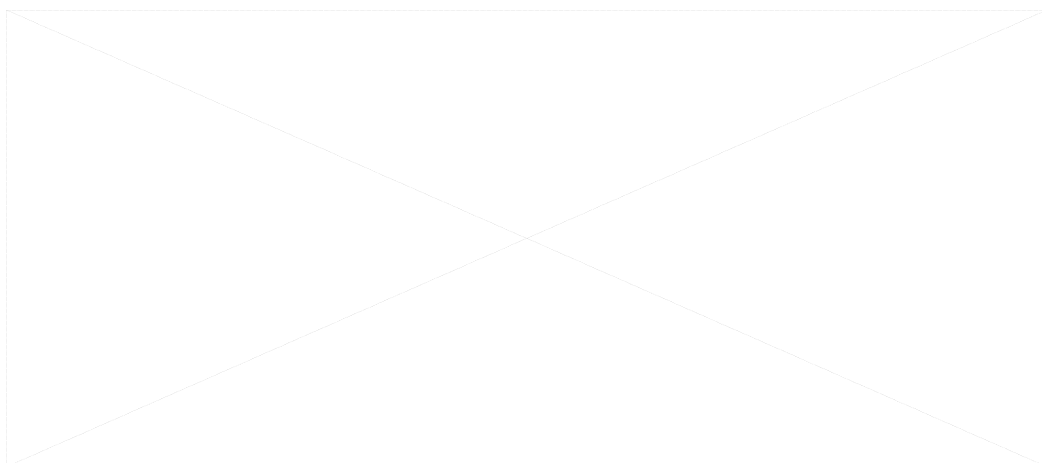
○ 사업의 개요

- 소재 분야는 소재의 구조와 물성, 제조공정에 따른 공정-구조-특성에 대한 전문적 지식에 기반한 장기간의 지속 연구가 필요
- 장기간의 지속적 연구에 의한 기술 성숙도 향상을 위해 소재의 핵심요소기술을 장기적으로 연구할 수 있는 연구 여건을 제공함으로써 핵심 요소기술의 전문가 집단과 인력 양성이 필요
- (MRL의 기능) (1) 소재 원천기술의 심화된 기술력 확보 (2) 소재기술의 컨설팅 및 공동연구를 통한 소재개발 (3) 핵심 소재인력 양성 배출

○ 추진 전략

- 소재 핵심 요소기술*에 전문성을 가지며, 산업체에서 필요한 범용소재 기술을 지원할 수 있는 연구자를 소재전문연구실(MRL)로 지정하여 소재 전문가로 양성
- 하향식으로 지원 분야를 선정하고 지정된 연구실에 소액의 연구비를 장기간 (3억 이하 5년 이상 지원, 1회 갱신 가능) 지원

○ 추진 방법



소재전문연구실 사업의 개념

- (핵심요소기술 도출) 미래소재추진위의 연구개발 분과에서 국가적 필요성에 기반하여 미래소재 핵심요소기술을 도출
- 적용분야가 다양한 단일유사 소재의 전문성을 목표로 하는 소재지정형과 여러 소재군에 적용되는 요소기술의 수월성 확보를 목표로 하는 기술지정형으로 추진

미래소재 마스터 양성사업의 소재전문연구실 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
소재지정형 소재전문연구실	• 구조용 내열합금 전문연구실 • 2차원 소재 전문연구실 • 페롭스카이트 소재 전문연구실 • 칼코제나이트 소재 전문연구실 • 비평형물질 전문연구실 • 수소기능재료 전문연구실 • 강상관계물질 전문연구실
기술지정형 소재전문연구실	• 저온물성 소재전문연구실 • 표면물성 소재전문연구실 • 결정결함물성 소재전문연구실 • 응고제어 소재전문연구실 • 확산제어 소재전문연구실 • 집합조직제어 소재전문연구실

- (1단계) 소재전문연구실 기반구축 및 시범사업 착수 (2017~2019)
- (2단계) 소재전문연구실 본격 추진 및 전문기술간 연계 (2019~2026)

○ 추정예산

- 21년까지 25개의 MRL을 발굴하여 지속적으로 지원
- 총 525억원 '17~'26

○ 기대효과

- 기업이 감당하기 어려운 기초원천기술 확보
- 주력 미래신산업의 기반기술
- 기초과학에 기반한 재료과학 역량 확보

■ 재료 생태기반 지속가능 소재개발 사업 (신규)

○ 사업의 개요

- 기존의 재료 소비 패턴이 계속 진행된다면 문명의 지속적 발전(sustainable development)은 보장하기 어려우며, 피할 수 없는 재료 소비의 증가를 충족시키면서 지속적인 발전을 할 수 있는 방법을 찾는 것이 현 시대 재료 연구의 중요한 이슈

- 환경, 기업, 및 사회적인 요구를 동시에 만족시킬 수 있는 지속가능한 발전을 위해 Critical material의 수요 및 공급을 관리할 수 있는 시스템 확립이 필요
- 기존의 “성능” 위주의 연구 및 개발에서 사용하는 원소, 공정 방법 등에 대해 “지속가능성 관점”에서 새롭게 재평가가 필요
- (목표) 지속성 향상을 위한 연구 주제를 체계적으로 개발할 수 있는 정량적인 지표로서 재료생태지수를 개발하고 지속 가능성 및 경제성을 고려하여 원자재 및 재료로부터 제품 생산까지, 최적의 공정 구조 조합을 연구

○ 추진 전략

- 전주기적 재료생태지수 개발 및 소재 R&D 정책 반영



재료생태지수 개발을 위한 재료생태 인자

- 지속가능성 관점에서 국가적 필요성이 부각된 4대 분야의 소재개발 추진
※ 4대 분야 : (1) 희유자원 대체 소재 (2) 유해소재 대체 소재
(3) 친환경 공정 개발 (4) 재활용 소재 :

○ 추진 방법

- (1단계) 지속가능 소재 연구센터 구축 및 시범사업 착수 (2016~2018)
 - * 재료생태지수 개발 및 지속가능소재연구센터 구축
 - * 예측합성 기반 희유자원 대체 촉매소재 개발 공정 플랫폼 구축
 - * 대기중 이산화탄소를 이용한 플라스틱 및 세라믹 소재 개발
- (2단계) 지속가능 소재 연구센터 운영 및 소재기술의 확대 (2019~2026)
 - * 지속가능 소재 연구센터 운영
 - * 예측합성기반 희유자원 대체 촉매 소재 개발 공정 플랫폼 구축

- * 대기중 이산화탄소를 이용한 플라스틱 및 세라믹 소재 개발
- * 희유자원 대체 소재 개발
- * 유해소재 대체 소재 개발
- * 친환경 공정 구축
- * 재활용 소재 개발

○ 추정예산

- 1단계 시범사업 : 60억원 (연 20억원)
- 2단계 본격 사업추진 : 416억원 (연 52억원)

○ 기대효과

- 지구적인 차원에서 문명의 영위와 환경충격의 감소를 이루기 위한 준비체제 마련
- 지속가능한 소재역량과 임계소재 문제에 대한 국가적 대응체제 마련
- 재료생태지수를 활용하는 재료 연구는 에너지-재료 환경의 기술적인 부분의 진보에 큰 역할
- 재료의 지속 가능성 향상 및 지속 가능성이 높은 재료를 활용하는 제품 설계
- 적정 재료의 개발과 이러한 재료를 지속적으로 공급할 수 있는 기술 개발

■ 이머징 산업 창출형 소재개발 사업 (신규)

○ 사업의 개요

- 소재 기술 선진국으로 도약하기 위해 시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술 개발에 선제적으로 투자하여야 하나 실패 위험이 커 기업의 선도적 추진이 어려운 상황
- 국가적으로 기술 개발의 필요성이 높은 분야에 대해 산학연 역량 결집을 통한 전략적 기술 개발 필요

○ 추진 전략

- 와해성 기술에 기반한 이머징 산업을 선도할 시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술 개발
- 우주, 원자력, 국방 분야 등 국가가 장기적 관점에서 추진해야 할 전략소재 기술의 개발
- 고위험 고소득(high risk & high return) MNM 기술의 특성을 감안한 중장기 R&D 사업으로 소재가치사슬 상의 산학연이 목표지향적으로 참여하는 융합형 연구단을 구성하여 추진 (Early Supplier Involvement 개념 구현)
- 미래소재추진위 연구개발 분과에서 잠재 수요기업의 수요를 반영하여 연구주제를

발굴하고 목표성능을 제시하는 하향식 연구개발 추진

○ 추진 방법



이머징산업 대응 미래소재 연구단의 운영개념도

- (유망 MNM 시스템 선정) 미래소재 추진위 연구개발 분과에서 산업계 수요 조사 및 미래 트렌드 분석을 통해 유망산업 및 대상 소재군 선정
 - ※ 세부과제(예시) : 미래 바이오산업 대비 인공뼈·인공 장기, 스마트 자동차웨어러블 디바이스용 센서, 미래 우주항공산업 시스템 기술, 환경산업(대기질, 수자원)용 소재 등
- (연구개발 사업) 원천기술형과 공정기술형으로 이원화하여 추진하되 미래부에서는 원천기술개발형 플래그십 사업에 집중
 - ※ 원천기술개발형 플래그십 사업단 : 원천소재기술 자체가 부족한 경우 소재↔부품↔시스템의 전주기적 가치사슬에 걸친 연구개발을 추진 (3+3년)
 - ※ 공정기술 개발형 플래그십 사업단 : 원천소재 기술은 확보되어 있으나 후방 기술이 결여되어 있을 경우 ‘공정’ 기술에 초점 (3년)

○ 추정예산

- 연 10억원 규모의 6년간 지속될 플래그십 사업단을 점진적으로 발굴
- 최대 20개의 원천기술 개발형 플래그십 사업단 운영
- 총 1,750억원 ('17~'26)

○ 기대효과

- 정부 주도의 선제적 투자에 의한 미래시장형 신소재(MNM) 기술 선점
- 10년 후 10대 국가 주력산업으로 자리 잡을 이머징 산업의 부가가치 극대화

- 와해성 기술 기반의 고부가가치 미래 핵심소재 시장 선점

■ 기초원천 연계 기술 개발 사업 (신규)

○ 사업의 개요

- R&D 활동의 산물인 논문 및 특허 실적은 세계 3-4위권의 우수한 성과를 보이고 있음에도 기술사업화(기술료 및 기술이전) 실적은 괄목할만한 성과를 나타내지 못하고 있음
- 대부분의 학연 기초 우수연구는 기술적 완성도에 주목하지 않고 소재 성능의 발견 및 발명에 집중
- 대학 혹은 연구기관의 기초연구 결과가 논문/특허로 그치지 않고, 기술이전/창업 등의 산업화로 이어질 수 있도록 학연의 연구 성과와 산업계가 요구하는 소재 기술 수준·수요간 불일치를 줄이는 사업

○ 추진 전략

- 기초원천 우수 연구 성과를 발굴하여 기술 사업화 전 단계까지 기술의 완성도 제고 연구를 단기간 (3년 이하) 에 집중 추진
- 인프라와 기술 역량을 가진 전문 연구기관을 중심으로 산학연 공동으로 산업화에 필요한 공정개발, 경제성 확보를 위한 원소재 다변화 연구, 자동화 연구 등을 추진하고 특허 포트폴리오를 완성하여 기술이전
- 기술수요 기업의 매칭 연구비 투자를 전제로 진행하여 개발 기술의 산업화 가능성을 제고

○ 추진 방법



기초원천 연계기술 개발사업의 진행 개념도

- (유망 기술 수요 매칭) 우수 기초연구 성과교류회를 통해 유망 기초원천기술과 수요기업을 매치
- (상세기획 및 RFP 도출) 미래소재추진위 연구개발 분과에서 매칭된 유망기술의 완성도 제고를 위한 추진 전략 및 특허 포트폴리오 구축 전략을 포함한 RFP 도출
- (연구개발 추진) 연구자-수요기업-장비/전문인력이 공동 참여하는 융합형 사업을 통해 기술 이전에 필요한 현장 맞춤형 성과 도출

○ 추정예산

- 2017년부터 매해 10개의 과제를 도출하여 2019년부터 최대 30개 과제를 지속적으로 발굴 지원
- 총 2,700억원 ('17~'26)

○ 기대효과

- 세계 3-4위권의 우수한 소재분야 논문/특허 성과를 기반으로 기술사업화 성과가 증가할 것임
- 소재특성개발에서 사업화까지의 소재연구개발 기간의 단축효과
- 연구자-수요자간의 정보공유 문화 정착과 노하우 축적효과

■ 소재 합성·공정 플랫폼 구축사업 (신규)

○ 사업의 개요

- 소량 다품종의 첨단소재 영역에서 중소/중견 소재기업과 스타트업 기업의 역할이 중요하나, 기업의 투자여력·인프라 및 전문 인력의 부족으로 기술 개발이 지체
- 그간의 지속적인 투자 결과, 첨단 공정의 공공 인프라 규모는 크게 증가하였지만* 운용 및 효율적 활용 체계 등 소프트 파워는 보완이 필요
- 이미 구축된 소재관련 인프라, 테스트베드, 특허맵 등을 활용하여 소재 응용 분야 또는 공동 활용 공정기술 별로 네트워크화하여 개발하고자 하는 첨단소재에 따라 소재개발을 효율적으로 지원할 수 있는 플랫폼으로 제공
- 소재군별 산업적 수요에 따라 체계를 구축하여 운영하고 목표를 달성하거나 산업적 수요가 사라질 경우 일몰형으로 운영되는 매트릭스 형태

○ 추진 전략

- (소재군별 특화 플랫폼 구축) 출연연, 나노랩, 소재종합솔루션센터, 지역거점센터 등에 기 구축된 공정장비를 테마 별로 네트워킹한 플랫폼
- (지식기반의 서비스) 플랫폼의 전문연구인력과 플랫폼 사용자들 이 공동으로 플랫폼의 장비를 이용한 공동연구를 통해 신속한 소재개발을 추진
- (지식기반 소재혁신 플랫폼의 허브) 소재공정플랫폼을 중심으로 계산재료과학 플랫폼

품, 소재 빅데이터 플랫폼, 소재 분석평가 플랫폼이 유기적으로 연계되는 소재혁신 플랫폼의 거점 플랫폼 역할



소재공정 플랫폼 중심의 지식기반 소재혁신 플랫폼의 개념

소재 합성·공정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
용액공정용 IoT 소재 합성·공정 플랫폼 구축	• 용액공정용 IoT 소재합성 기술 개발 • 기초소자 제조 및 성능평가 기술 개발 • 용액공정을 이용한 대면적 코팅공정 기술 개발 • 코팅, 패터닝 장비 기술 개발 • IoT 소자 설계 및 제조 기술 개발
광전에너지소재 합성·공정 플랫폼 구축	• 차세대 태양전지 소재 대량 합성 기술 개발 • 유연 태양전지 제조에 필요한 기판, 투명전극, 배리어 필름 기술 개발 • 태양전지 소재의 코팅을 위한 고균일, 고청정 코팅 기술 개발 • 광열화, 신뢰성 및 성능 평가 기술 개발
기능성 나노입자 시스템의 합성 공정 플랫폼 구축	• 기상화학합성 기술 개발 • 나노입자의 촉매 반응 측정 기술 개발 • 고표면적 하이브리드 나노 세공형 촉매 제조기술 개발 • 분쇄법에 의한 나노입자 제조기술 • 나노입자 분산 기술 • 나노에멀전 제조 기술 • 에너지 환경 촉매 기술 개발

○ 추진 방법

- (1단계 시범사업) 나노입자 촉매 시스템 공정 플랫폼(기반기술), 용액공정을 이용한 IoT 소재 합성·공정 플랫폼(산업), 광전에너지소재 합성·공정 플랫폼(응용) 구축과 운영을 시범사업으로 진행하여 사업의 추진방향의 타당성을 검증
- (2단계 플랫폼 구축 및 운영 착수) 주력 소재 군에서 활용도가 높은 플랫폼의 확대 및 전문성 향상을 위한 지원 본격화

○ 추경예산

- 1단계 : 총 63억원 ('17~'19) 3개 시범사업 운영
- 2단계 : 총 252억원 ('20~'26) 3개의 추가 플랫폼 구축

○ 기대효과

- 첨단소재의 개발 및 제품화를 위해 전문화된 합성·공정 기술을 단기간에 확보
- 중소/중견 소재기업 및 스타트업 기업은 개발한 첨단소재의 제품화에 성공해야만 지속가능한 성장이 가능
- 소재관련 인프라, 테스트베드, 특허맵 등의 유기적 연계를 통한 활용 가치 증대

■ 소재 분석 및 측정 플랫폼 구축 사업 (신규)

○ 사업의 개요

- 첨단 소재는 나노 공정체계로 진입하면서 급속히 분석 및 측정 한계에 다다름에 따라 기존의 한계를 넘어선 기술이 요구됨
 - ※ 예시 : 반도체 CMOS 트랜지스터-변형률(strain)에 따라 전기전도 특성이 달라지는 원리를 이용하는 측정(strain engineering), 2차원 소재-그래핀의 경우 semi-metal이지만 변형률을 부가하면 밴드갭이 열려 반도체 특성이 나타나는 현상 측정(bandgap engineering)
- 소재의 핵심물성을 찾기 위해 하나의 주제에 대해 입체적인 분석기술을 적용할 수 있는 테마형 소재분석 및 측정기술 개발이 필요
- 미래산업을 이끌 원천소재 개발에 필요한 테마형 분석 및 측정 플랫폼을 국가연구기관 주도로 개발하여 공개함으로써 원천소재 개발의 효율성을 증진

○ 추진 전략

- 차세대 소재개발 공정에서 직면하는 Multi-function/Multi-scale의 동시 분석이 가능한 기술을 개발하기 위해 단일장비에서 복합물성의 실시간 분석/측정이 가능한 고도의 장비 운용기술 개발
- 초대형/최첨단 분석 장비를 입체적으로 연계하여 하나의 소재분야를 고도 분석할 수 있는 체계구축
- 출연연/대학/나노랩의 기구축 장비를 활용하여 미래소재 복합물성 및 멀티스케일

분석을 위한 “실시간 복합측정/분석/해석기술 플랫폼”구축

○ 추진 방법

in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시) ⁴⁾
테마형 소재설계 고도 분석기술 개발	- 알켄 촉매의 전자구조 설계를 위한 분석기술 개발 - 전자 소재의 실시간 다중 정보의 분석기술 개발 - 에너지 소재의 다차원 특성평가 기술 개발 - 소프트 소재 설계를 위한 고해상도 이미징 기술 개발 - 플렉시블 다층박막 나노구조 특성평가 기술 개발
멀티스케일 기반의 복합물성 분석 및 측정기술 개발	- 기반의 실시간 고도 분석기술 개발 - 나노영역의 실시간 전기적 특성평가기술 개발 - 전자/이온/탐침현미경 융합기술 및 시스템 개발 - 공정/분석 융합 시스템 개발 - 멀티스케일 2D/3D 특성평가 기술 개발 - 극미세 영역에서 초극미량 성분 분석기술 개발

- 1단계 (시범사업) 촉매소재 첨단 분석 플랫폼 구축 사업 (2016~2018)
 - 출연연이 보유한 첨단장비를 입체적으로 연계하여 촉매소재를 고도 분석할 수 있는 분석기술 개발 및 분석 플랫폼 구축
- 2단계 : 소재분석 및 측정기술 고도화를 통한 실시간 복합측정/분석/해석기술 플랫폼 개발 (2019~2021)
 - 복합화된 하나의 장비에서 소재의 전반적인 특성을 측정하고 평가할 수 있는 실시간 복합측정/분석/해석 기술 개발 (장비활용기술 개발)

○ 추정예산

- 1단계 : 총 24억원 ('17~'19) 1개 시범사업 운영
- 2단계 : 총 203억원 ('20~'26) 4개의 추가 플랫폼 구축 + 1개의 허브사업

○ 기대효과

- 기초적 물성의 이해를 위한 in-situ 복합측정/분석기술이 복합된 새로운 패러다임의 해석기술 확립
- in-situ 복합분석 및 측정기술 개발의 두 번째 특이성은 새로운 소재에 대한 실시간 직접 관찰 및 측정을 통해 소재 설계에 대한 연구개발의 방향을 제시
- 테마형 소재분석기술을 통하여 소재 한 분야의 물성을 완벽히 해체하고 공정의 방

4) “나노기술산업화전략”의 7대 산업화 기술의 핵심소재군 (나노기술 산업화 전략, 2015.4.29., 부처종합)

향성을 제시하여 기술개발을 가속화함

- 기관별 기 구축된 고가의 첨단장비들을 조직화함으로써 미래소재의 원천 특성을 창출할 수 있는 테마형 인프라 활용 및 인력관리 체계를 구축

■ 소재 계산과학 플랫폼 구축 사업 (진행중)

○ 사업의 개요

- 소재 개발 기간 및 비용을 획기적으로 축소하기 위해 소재 개발에서 계산재료과학과 정보학의 보편적 활용의 필요성이 제기됨
- 또한, 이를 뒷받침할 첨단계산 방법론과 글로벌 스케일의 빅데이터 확보를 위해 세계적인 계산과학 네트워크와 연계 필요

○ 추진 전략

- 계산과학을 용이하고 효율적으로 활용할 수 있도록 실험연구자에 익숙한 웹기반의 테마형 가상실험 환경을 제공
- 가상실험의 결과를 소재물성 빅데이터와 연동하는 소재설계 플랫폼을 통해 계산과 데이터의 융합 연구개발 환경 제공
- 플랫폼의 기능을 강화하고 테마형 플랫폼의 효율적인 구축을 위한 플랫폼 선도·기반 기술 개발* (국제협력을 통한 글로벌 거점화)
- 주제별 계산재료과학 플랫폼 개발과 파급을 추진할 네트워크 조직으로서 “국가 계산재료과학 허브” 구축

○ 추진 방법



계산재료과학 플랫폼 구축사업의 개념

- 1단계 : 플랫폼 기반구축 및 시범사업 (2016~2018)

※ 나노소재원천기술개발 사업을 통해 ‘기능성 나노입자 설계 가상랩 : qCat’테마형 소재설계 가상랩의 시범사업 진행 (연구기간 5년 / 연 7.5억원)

※ 세계 우수 계산과학 기관과 네트워크 구축을 위해 ‘플랫폼 기능 고도화를 위한 핵심기반기술 개발’사업 착수 (연구기간 5년 / 연 7.5억원)

- 2단계 : 계산재료과학 및 정보학 플랫폼의 확대 (2019~)

계산재료과학 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
전략소재별 테마형 소재설계 가상랩의 구축 및 공개	• 수소경제용 철강소재 설계를 위한 가상랩 구축 • 탄소복합재료 설계를 위한 가상랩 구축 • 복합기능 차폐소재 설계를 위한 가상랩 구축 • 멤브레인 환경 소재 설계를 위한 가상랩 구축 • 웹기반 촉매 소재 설계를 위한 가상랩 구축 • 환경·식품안전 센서 설계를 위한 가상랩 구축 • 기능성 섬유 소재 설계를 위한 가상랩 구축
웹기반 계산재료과학 플랫폼의 핵심 기반 및 선도기술 개발	• 계산재료과학 플랫폼 용 Contents Management System 개발 공개 • 다양한 물질계의 시뮬레이션 파라미터 개발·DB화 • 빠르고 정확한 계산방법론 및 첨단 계산기법 개발 • 플랫폼을 통한 테마형 계산물성 빅데이터 구축 및 활용 정보학 기술 개발

○ 추정예산

- 1단계 : 총 45억원 ('16~'18) 1개 시범사업 + 1개의 기반사업

- 2단계 : 총 520억원 ('19~'26) 4개의 추가 플랫폼 구축 + 1개의 허브사업

○ 기대효과

- 실험적 방법에 의한 나노제품 개발은 시간, 비용 면에서 큰 위험요인을 가지고 있으므로 계산을 통해 개발 전 가능성을 확인하고 최적공정을 설계함으로써 연구개발 시간과 비용 그리고 위험요인을 50% 미만으로 획기적으로 감소

- 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기술과 정보학 기술을 통해 소재와 공정, 그리고 소재 시스템을 설계하며 예측하고 최적화하는 소재개발의 첨단 인프라를 구축

- 광범위한 소재개발 영역에서 계산재료과학의 효용성을 증진시킬 수 있는 첨단의 계산과학 기법 개발과 소재정보학과 접목 등 연구방법론에 대한 기술 확보

■ 소재 빅데이터 플랫폼 사업 (신규)

○ 사업의 개요

- 현대 초연결사회를 실현한 IT 기술의 비약적 발전은 연구개발 자료의 축적과 활용을 통한 소재개발이라는 소재연구의 새로운 장을 열고 있음
- 국내는 소재 데이터의 중요성에 대한 인식 부족과 취약한 인프라로 인해 빅데이터 구축과 활용 모두 낮은 수준
- 실험 데이터와 계산 물성 데이터의 체계적인 수집·가공·분류에 의한 소재 빅데이터 구축과 빅데이터 분석 기술개발과 활용을 통해, 가상으로 실험하여 기술개발의 효율을 높임

○ 추진 전략

- 기술적, 산업적 수요에 따라 선정된 전략 소재 별로 테마형 빅데이터 플랫폼 구축과 응용기술 개발
- 소재종합솔루션센터 소재정보은행의 기능 확장을 통한 소재 빅데이터 요소기술 개발
- (빅데이터 구축) 산재되어 있는 다양한 형태의 데이터 수집을 위한 자료수집 자동화기술 개발
- (빅데이터 기반 소재설계) 데이터 상관관계를 분석하여 소재를 설계하는 데이터 마이닝·머신 러닝 기술 개발
- (제도 정비) 데이터 공유를 유도하기 위해 데이터 소유자의 권리 보장에 관한 라이선싱 기준 설정 추진 (국내외 논의에 적극 참여)

○ 추진 방법

- 1단계 : 소재 빅데이터 플랫폼 기반 구축 및 시범사업 (2017~2019)
 - * 나노촉매 빅데이터 플랫폼 구축
 - * 소재정보은행의 기능확장을 위한 요소기술 개발 지원
 - * 국내 산학연 및 해외 연구기관과의 네트워크 구축
- 2단계 : 소재 빅데이터 플랫폼의 확장 및 빅데이터 통합관리 체계 구축 (2020~2025)
 - * 주력 응용분야에 따라 테마별 빅데이터 플랫폼 사업
 - * 소재 물성 예측을 위한 머신러닝 고도화 기술 개발
 - * 각 플랫폼에 분산된 빅데이터의 통합관리 포털 운영 및 활용 체계 구축
 - * 주력 소재 군에서 활용도가 높은 플랫폼의 확대 및 전문성 향상

테마형 빅데이터 플랫폼의 예시

추진방안	세부과제(예시)
소재 빅데이터 구축 및 활용을 위한 요소기술 개발	• 소재물성 메타 데이터 설계를 위한 한-미-일-유럽-아시아의 국제공조 • 소재 빅데이터 구축 및 관리 시스템 개발 • 소재정보학 요소기술(데이터 저장·관리, 데이터 해석 및 가시화) 개발 • 데이터마이닝, 머신러닝 활용기술 개발
테마형 소재 빅데이터 플랫폼 구축	• 나노촉매 빅데이터 플랫폼 • 에너지 하베스트 소재 빅데이터 플랫폼 • 수소생산·이송·저장용 소재 빅데이터 플랫폼 • 에너지 플랜트용 구조용 합금 빅데이터 플랫폼 • 구조용 고엔트로피 합금 빅데이터 플랫폼 • 수송기기용 탄소복합체 소재 빅데이터 플랫폼 • 복합기능 차폐소재 빅데이터 플랫폼 • 고내구성 표면 나노구조체 빅데이터 플랫폼 • 환경정화용 나노소재 빅데이터 플랫폼

○ 추정예산

- 1단계 : 총 30억원 ('17~'19) 1개 시범사업 운영
- 2단계 : 총 385억원 ('20~'26) 5개의 추가 플랫폼 구축 + 1개의 포탈사업

○ 기대효과

- “Data Driven Research“를 기반으로 하는 소재 개발의 새로운 패러다임 전개
- 국가 핵심자원으로서 소재 빅데이터의 체계 구축
- 소재 빅데이터를 활용한 데이터 마이닝 기술과 머신러닝 기술을 바탕으로 효율적인 소재개발 실현

1. 기획의 개요

1.1. 기획의 필요성	3
1.2. 기획의 목표 및 내용	8
1.3. 기획 추진 방법	10

2. 미래사회 변화와 미래소재

2.1. 미래소재의 개념 및 특징	17
2.1.1. 미래소재의 개념	17
2.1.2. 미래소재의 특징	17
2.2. 메가트렌드	19
2.2.1. 인구구조 변화 (고령화의 가속화와 저성장)	19
2.2.2. 기후변화 대응과 에너지/환경 문제 심화	20
2.2.3. 과학기술발달과 융복합화	20
2.3. 미래사회의 니즈와 미래소재	22
2.3.1. 인구구조 변화 (고령화의 가속화와 저성장)	22
2.3.2. 기후변화 대응과 에너지/환경 문제 심화	23
2.3.3. 과학기술발달과 융복합화	25

3. 국내외 현황 및 시사점

3.1. 해외현황	31
3.1.1. 미국	31
3.1.2. 일본	36
3.1.3. 독일	40
3.1.4. EU	44

3.1.5. 중국	47
3.1.6. 소재연구의 글로벌 트렌드	53
3.2. 국내 현황	58
3.2.1. 소재산업 현황	58
3.2.3. 소재연구개발 현황	64
3.2.2. 소재 기술수준	74
3.2.4. 국내 소재 기술의 문제점 분석	76
3.3. 현황 분석의 시사점	78

4. 미래소재 국가경쟁력 강화 전략

4.1. 비전 및 정책 목표	83
4.2. 추진전략	85
4.2.1. 정책방향 1 : 도전적 기초연구에 바탕을 둔 소재 원천기술 개발	85
4.2.2. 정책방향 2 : 소재개발 단계별 연계강화를 통한 전주기적 R&D 추진	86
4.2.3. 정책방향 3 : 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신	87
4.3. 추진체계	89
4.4. 기대효과	91
4.4.1. 소재 연구개발의 현재와 미래상	91
4.2.2. 소재분야 R&D 포트폴리오의 변화	93

5. 세부추진사업 (안)

5.1. 미래소재 디스커버리 사업 운영개선 (기존)	97
5.1.1 사업의 개요	97
5.1.2 사업의 추진현황 및 개선 필요성	100
5.1.3 사업 운영의 개선 방향	101
5.2. 자유형 소재 도전 프로젝트 (기존)	104
5.2.1 사업의 개요 및 필요성	104
5.2.2 추진 전략	104
5.2.3 추진 방법	105
5.2.4 추정예산	105
5.2.5 기대효과	105
5.3. 미래소재 마스터 양성 사업 (신규)	106
5.3.1 사업의 개요 및 필요성	106
5.3.2 추진 전략	110
5.3.3 추진 방법	112
5.3.4 추정예산	114
5.3.5 기대효과	114
5.4. 재료 생태기반 지속가능 소재 개발 사업 (신규)	117
5.4.1 사업의 개요 및 필요성	117
5.4.2 추진 전략	122
5.4.3 추진 방법	123
5.4.4 추정예산	124
5.4.5 기대효과	126
5.5. 이머징 산업 창출형 소재개발 사업 (신규)	128
5.5.1 사업의 개요 및 필요성	128
5.5.2 추진 전략	133
5.5.3 추진 방법	135

5.5.4 추정예산	137
5.5.5 기대효과	137
5.6. 기초원천 연계 기술 개발 사업 (신규)	139
5.6.1. 사업의 개요 및 필요성	139
5.6.2 추진 전략	140
5.6.3 추진 방법	143
5.6.4 추정예산	144
5.6.5 기대효과	144
5.7. 소재 공정합성 플랫폼 구축사업 (신규)	145
5.7.1. 사업의 필요성 및 개요	145
5.7.2 추진 전략	148
5.7.3 추진 방법	150
5.7.4 추정예산	155
5.7.5 기대효과	157
5.8. 소재 분석 및 측정 플랫폼 구축사업 (신규)	159
5.8.1. 사업의 필요성 및 개요	159
5.8.2 추진 전략	163
5.8.3 추진 방법	165
5.8.4 추정예산	167
5.8.5 기대효과	169
5.9. 소재 계산과학 플랫폼 구축사업	171
5.9.1. 사업의 필요성 및 개요	171
5.9.2 추진 전략	177
5.9.3 추진 방법	178
5.9.4 추정예산	181
5.9.5 기대효과	182
5.10. 소재 빅데이터 플랫폼 구축사업	185
5.10.1. 사업의 필요성 및 개요	185

5.10.2 추진 전략	191
5.10.3 추진 방법	192
5.10.4 추정예산	195
5.10.5 기대효과 (시나리오)	197

부 록

1. 기획경과	201
2. 국내 소재관련 인프라 구축 현황 (일부)	206
3. 산업통상자원부 소재기반 사업	243

표 목 차

<표 1.4-1> 주요 정책연구보고서 및 정부정책보고서 목록	11
<표 1.4-2> 외부 기획자문위원 명단	13
<표 2.3-1> 미래전망과 미래소재	27
<표 3.1-1> 미 연방 부처·기관별 MGI 전담 부서 또는 프로그램 현황(일부)	34
<표 3.1-2> 2015년 기준 PCA별 NNI 예산	35
<표 3.1-3> 독일의 단계별 소재부품산업 육성 프로그램	43
<표 3.1-4> Horizon 2020 통해 수행할 소재분야 연구주제 예시	46
<표 3.1-5> 국가별 소재분야 세계시장 점유율 (%)	47
<표 3.1-6> 한국의 미래성장동력과 중국의 중점산업 비교	48
<표 3.1-7> 주요국의 소재기술혁신 특징 비교	57
<표 3.2-1> 2014년 전체 제조업 상에서 소재산업 및 타 제조업의 현황	59
<표 3.2-2> 2010~2014년 전체 제조업 상에서 소재산업 및 타제조업 현황	59
<표 3.2-3> 2014년 사업체 1개당 및 종업원 1인당 생산성 현황	60
<표 3.2-4> 2010~2014년 사업체 1개당 및 종업원 1인당 생산성 현황	60
<표 3.2-5> 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 관련 무역현황	61
<표 3.2-6> 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 관련 기술무역현황	63
<표 3.2-7> 2011~2015년 전체 대비 소재분야 국가연구개발사업 투자액 현황	64
<표 3.2-8> 2012~2015년 소재분야 국가연구개발사업의 부처별 투자 현황	65
<표 3.2-9> 2011~2015년 연구개발 단계별 소재분야 투자현황	66
<표 3.2-10> 2010~2014년 전체 분야 및 소재분야에 대한 한국의 SCI 논문 현황 ...	69
<표 3.2-11> 2010~2014년 소재분야의 국가별 논문 1편당 피인용수 추이	70
<표 3.2-12> 2010~2014년 전체 분야 및 소재분야에 대한 한국의 미국등록특허 현황	71
<표 3.2-13> 2010~2014년 소재분야의 특허당 피인용수 추이(미국 특허청)	72
<표 3.2-14> 2010~2014년 소재분야의 특허영향지수 추이(미국 특허청)	72
<표 3.2-15> 2010~2014년 소재분야의 기술력지수 추이(미국 특허청)	73
<표 3.2-16> 2005~2014년 소재분야 특허출원 전 인용 자국특허비용 (미국 특허청)	73
<표 3.2-17> 범용소재/첨단소재 기술수준 조사결과	74

<표 3.2-18> 주요 산업소재(대분류)별 기술수준 및 기술격차 조사결과	74
<표 3.2-19> 주요 산업소재(중분류)별 기술수준 및 기술격차 조사결과	75
<표 3.2-20> 기술수명주기별 연구단계별 연구비(억원)	76
<표 3.2-21> 미래소재 부처별 연구비 (억원)	76
<표 3.3-1> 국내소재 R&D의 문제점 개선과 글로벌 트렌드를 반영한 정책방향	80
<표 4.4-1> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재분야의 변화	91
<표 4.4-2> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재연구 인프라의 변화	92
<표 5.1-1> 미래소재 디스커버리 사업이 지향하는 소재연구의 미래	99
<표 5.1-2> 공모 분야의 변경 예시	102
<표 5.1-3> 과제에 도전성 강화를 위한 개선방향	102
<표 5.3-1> 소재분야 주요사업별 미래 산업소재 R&D 투자현황 ('13년)	108
<표 5.3-2> 소재전문연구실(MRL)의 구성 및 역할	112
<표 5.3-3> 미래소재 마스터 양성사업의 소재전문연구실 (예시)	113
<표 5.4-1> 1단계 투자계획	124
<표 5.4-2> 2단계 투자계획	125
<표 5.5-1> 한국 주력산업 세계시장 점유율	128
<표 5.5-2> 주요 기초소재 생산규모(2012년)	129
<표 5.5-3> TFT-LCD 용 소재 대외의존 현황	130
<표 5.5-4> 이머징 산업 대응 미래소재 개발 예시	136
<표 5.6-1> 장비 및 기술역량 중심 전문연구기관 (예시)	141
<표 5.6-2> 소재의 제조성 지표	141
<표 5.7-1> 소재 합성·공정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)	149
<표 5.7-2> 1단계 투자계획	155
<표 5.7-3> 2단계 투자계획	156
<표 5.8-1> in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼의 구성 및 역할	164
<표 5.8-2> in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)	165
<표 5.8-3> 1단계 투자계획	167
<표 5.8-4> 2단계 투자계획	168
<표 5.9-1> 계산재료과학 허브의 구성 및 역할	178
<표 5.9-2> 계산재료과학 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)	180
<표 5.9-3> 개방형 계산나노과학 플랫폼 개발 추진(안)	180

<표 5.9-4> 1단계 투자계획	181
<표 5.9-5> 2단계 투자계획	182
<표 5.10-1> 소재 빅데이터 사이트 리스트	187
<표 5.10-2> 국내 소재 데이터베이스 구축 현황	190
<표 5.10-3> 테마형 빅데이터 플랫폼의 예시	191
<표 5.10-4> 소재종합솔루션센터 소재정보은행의 기능 확장	192
<표 5.10-5> 1단계 투자계획	195
<표 5.10-6> 2단계 투자계획	196

그림 목차

<그림 1.1-1> 무역규모 추이 및 경제 성장 기여율	3
<그림 1.1-2> 산업혁명기와 지식기반경제기의 산업가치 변화	4
<그림 1.1-3> 부품소재 수출액 및 무역수지 흑자액 추이	4
<그림 1.1-4> 소재산업의 기술무역수지 및 비중 연도별 추이	5
<그림 1.1-5> 소재기술혁신 비전	7
<그림 3.1-1> 소재계놈이니셔티브 출범 관련 오바마 연설문 일부	33
<그림 3.1-2> 미국의 Materials Genome Initiative 추진 계획	34
<그림 3.1-3> 신구조재료기술연구조합 과제구성 (www.isma.jp)	38
<그림 3.1-4> “소재에서 혁신으로” 프로그램의 지원 프레임워크	42
<그림 3.1-5> 소재분야 국가별 SCI 논문수(건)	47
<그림 3.1-6> 소재분야 국가별 논문1건당 피인용수의 세계 평균 대비 비율(%)	47
<그림 3.1-7> 소재분야 국가별 소재수출 (억불)	47
<그림 3.1-8> MGI가 추구하는 소재 R&D의 개념	53
<그림 3.1-9> NIMS-MANA의 연구개발 전략 및 비전	54
<그림 3.1-10> NIMS-CMII-I의 Data driven materials research의 개념도	55
<그림 3.2-1> 2014년 전체 제조업 상에서 소재산업의 현황	58
<그림 3.2-2> 2010~2014년 전체 산업수출 중 소재산업의 비중	61
<그림 3.2-3> 2010~2014년 소재분야 전체 무역수지 대비 對일본 무역수지	62
<그림 3.2-4> 2010~2014년 소재분야 전체 무역수지 대비 對중국 무역수지	62
<그림 3.2-5> 2010~2014년 전체 산업분야 기술도입액 중 소재분야의 비중	63
<그림 3.2-6> 소재분야 국가연구개발사업 투자액 및 비중	64
<그림 3.2-7> 2015년 부처별 소재분야 연구개발 투자현황	65
<그림 3.2-8> 2011~2015년 연구개발 단계별 소재분야 투자액 비중	66
<그림 3.2-9> 2014년 연구개발 단계별/부처별 소재분야 투자현황	67
<그림 3.2-10> 국내 소재분야 정부연구개발사업의 TRL 단계별 분포	68
<그림 3.2-11> 2010~2014년 전체 분야 대비 소재분야 SCI 논문 현황(한국)	69
<그림 3.2-12> 2010~2014년 전체 분야 대비 소재분야 미국등록특허 현황(한국) ...	71
<그림 4.2-1> 지식기반 소재혁신 플랫폼의 운영 개념도	88

<그림 4.3-1> 미래소재 추진위원회 구성	89
<그림 4.4-1> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재 R&D 포트폴리오 변화	94
<그림 5.1-1> 미래소재 디스커버리 사업의 추진절차	98
<그림 5.3-1> 미국 구조용 소재설계 연구개발 사업 연혁	108
<그림 5.3-2> 독일 고온재료 연구개발 사업 수행 조직체계 사례	110
<그림 5.3-3> 소재전문연구실 사업의 개념	112
<그림 5.3-4> 미래소재 마스터 양성 기대효과	114
<그림 5.4-1> 지속가능한 발전 및 이를 위한 6 분야	118
<그림 5.4-2> Critical materials의 종류 및 각 원소별 HHI index	119
<그림 5.4-3> 산업용 지속가능형 핵심 소재 예시	121
<그림 5.4-4> 재료생태지수 개발을 위한 재료생태 인자	122
<그림 5.5-1> POSCO의 철강생산량 추이 및 발전과정	129
<그림 5.5-2> 우리나라 에틸렌 생산량	129
<그림 5.5-3> 제조업의 가치사슬과 부가가치 관계	131
<그림 5.5-4> 시장을 형성하는 신소재의 구성요소	132
<그림 5.5-5> 기술발전과 죽음의 계곡	133
<그림 5.5-6> 소재강국을 향한 핵심추진 전략.	134
<그림 5.5-7> 이머징산업 대응 미래소재 연구단의 운영개념	135
<그림 5.6-1> 기초원천 연계 기술개발사업의 개념도	141
<그림 5.6-2> 기초원천 연계기술 개발사업의 진행 개념도	143
<그림 5.7-1> 소재종합솔루션센터의 제품 개발 단계에서의 포지션	146
<그림 5.7-2> 소재 합성·공정 플랫폼의 개요 <예시>	147
<그림 5.7-3> 소재공정 플랫폼 중심의 지식기반 소재혁신 플랫폼의 개념	150
<그림 5.7-3> 소재 합성·공정 플랫폼 구성 (1단계)	151
<그림 5.8-1> 나노화에 따라 반응속도 변화의 예	159
<그림 5.8-2> Pt 전자구조와 촉매반응	160
<그림 5.8-3> 미래부에서 “국가연구장비공동활용센터”로 지정한 KIST SEM 오픈랩	162
<그림 5.8-4> 전자현미경 기반의 in-situ 복합분석 및 측정 체계	163
<그림 5.9-1> 나노소재 설계를 위한 원자 및 분자시뮬레이션의 예시	172
<그림 5.9-2> 해외에서 개발되어 판매되고 있는 계산재료과학 상용제품의 예	173
<그림 5.9-3> 해외에서 개발되고 있는 웹기반의 계산재료과학 플랫폼	174

<그림 5.9-4> KIST에서 개발하고 있는 가상랩의 예	174
<그림 5.9-5> EDISON 플랫폼의 개념도	175
<그림 5.9-6> 범부처 나노기술 산업화 전략 (2015.4.29.) 의 개념도	176
<그림 5.9-7> 계산재료과학 플랫폼 구축사업의 개념	179
<그림 5.10-1> 선진국의 대표적인 소재 데이터베이스 포털 : 미국 (Materials Project), 일본 (Mat Navi), 독일 (NoMaD)	186
<그림 5.10-2> 일본의 정보통합형 물질-재료개발 이니셔티브	188
<그림 5.10-3> 소재 빅데이터의 머신러닝의 활용의 예시	189

1. 기획의 개요

1 기획의 개요

기획의 필요성

미래 국가 산업 경쟁력의 핵심인 미래소재산업의 경쟁력을 향상시키기 위해 소재기술 혁신방안의 구체적 정책방향 도출이 필요한 시점

■ 산업경쟁력의 핵심으로서 소재기술력의 증진 필요성

- 우리나라 산업은 해외의 소재나 부품을 수입한 후 조립하여 수출하는 방식으로 압축 성장 달성



<그림 1.1-1> 무역규모 추이 및 경제 성장 기여율

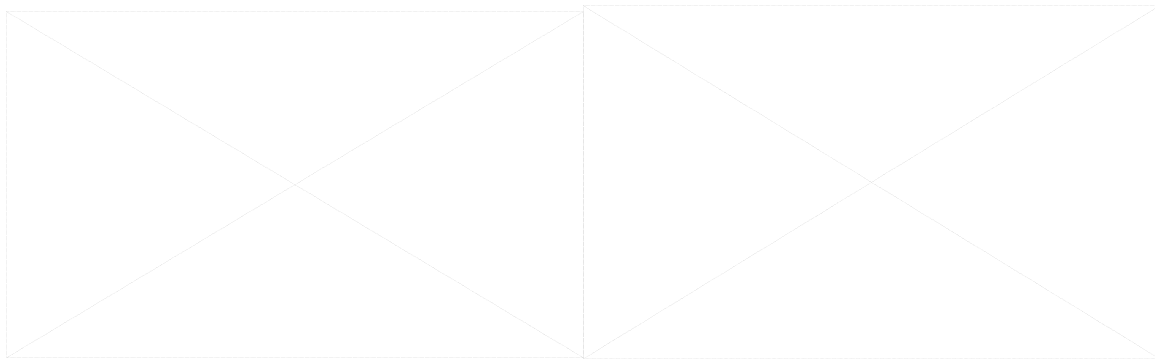
- 반면, 중국과 같은 값싼 노동력을 바탕으로 한 후발 국가들이 글로벌 산업구조에 편입됨에 따라 산업의 부가가치가 단순 조립영역보다는 소재나 부품 또는 판매나 서비스 영역에서 더 많은 부가가치가 발생하는 방향으로 전개

※ 제조업의 부가가치 구성(산기평, '13년) : 완제품(38.4%), 소재부품(61.6%)



<그림 1.1-2> 산업혁명기와 지식기반경제기의 산업
가치 변화

- 따라서 정부의 정책은 조립가공에서 소재·부품 또는 IT 기반의 서비스 영역으로 초점이 이동하고 있으며, 그 중 소재·부품은 민간 투자에 대한 위험도가 높기 때문에 정부의 중요한 정책적 대상으로 부상
- 우리 정부는 2000년 부품·소재전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법을 제정하고 부품소재 산업을 육성해왔으며, 그 결과 부품소재 산업의 경쟁력은 크게 성장하여 정책적 목표를 달성



<그림 1.1-3> 부품소재 수출액 및 무역수지 흑자액 추이
(출처: 소재부품산업 미래비전 2020 (지식경제부, 2011.10))

- 그러나 부품산업의 경쟁력은 어느 정도 상승한 반면 소재산업의 경우 여전히 경쟁력이 낮은 상태인 바, 2010년 부품·소재전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법을 연장하면서 소재·부품전문기업 등의 육성에 관한 특별조치법으로 변경하면서 소재 산업 육성의 필요성을 강조

※ 2010년 WPM (World Premier Materials) 사업 등 소재 산업 육성을 위한 R&D 지원 사업 본격 착수



<그림 1.1-4> 소재산업의 기술무역수지 및 비중 연도별 추이

- 우리는 그간 따라잡기식 중/단기 개선 연구에 집중하여 첨단소재 분야의 기술 경쟁력이 부족하고, 관련 소재의 해외의존도가 지속되는 악순환이 반복
 - 반도체·디스플레이·이차전지 등 첨단산업의 성장과 함께 일본산 핵심소재의 수입이 동반 증가함으로써 소재분야 대일무역 역조가 개선되지 못하고 있음
 - ※ 대일 소재무역 적자 : △31억불('95년) → △86억불('14년)
 - ※ '14년 대일 무역적자(316억 달러) 중 소재 분야(86억 달러) 39.7%에 해당

■ 소재기술에 대한 범부처 협력정책의 필요성이 대두

- 제조업의 경쟁력 확보를 위해, IoT·신에너지·융합바이오 등 미래 먹거리 산업에서 중요한 역할을 할 수 있는 미래소재 경쟁력의 확보가 시급
 - ※ LED 조명에서 핵심기술인 청색 LED 원가는 22% 차지, 삼성디스플레이가 OLED 핵심 원천기술을 보유한 UDC에 지불한 특허비용은 720억원으로 '15년 영업이익의 11%에 해당
- 이에 따라 2015년 제27차 국가과학기술자문회의에서는 미래 신시장 선점을 위한 범부처 합동의 소재기술 혁신방안을 제안하면서 ① 소재기술개발 혁신, ② 소재공정혁신, ③ 지속가능 소재산업 생태계 구축, ④ 소재 신뢰성 확보를 위한 인프라 확충 등의 4대 혁신방향을 제시
- 본 연구는 이에 대한 후속연구로서, 미래소재산업 육성을 위한 전략적 방향 설정과 구체적인 실행계획에 대해 심층적으로 연구하였음

<첨단산업 핵심소재의 대일 수입 현황>

□ 디스플레이

- 디스플레이 산업의 완제품(모니터, TV)의 경쟁력은 디스플레이 패널이 결정하며, 패널의 경쟁력은 제조장비와 소재의 기술력이 결정
- 소재분야 대일 적자를 구성하는 상위 100대 품목 중 디스플레이 관련 핵심소재의 수가 가장 많으며, 적자 점유율의 상위 부분을 차지
 - ※ 100개 품목 중 디스플레이 산업 관련 소재는 10개, 적자에서 차지하는 비중은 40.7%(48.5억 달러, '11년 기준)
- LCD 핵심 소재는 일본 의존성을 일정부분 극복했지만, 폴리이미드 등 고품위 핵심소재는 여전히 일본 의존도가 높음
- OLED 핵심소재는 일본과 한국이 양분하여 생산하고 있으며, 원편광판의 85%, 봉지재의 95%가 일본에서 생산

□ 이차전지

- 이차전지는 양극, 음극, 전해액, 분리막 등 소재가 큰 비중을 차지하는 산업이며, 리튬이온 이차전지용 소재는 빠르게 성장중
 - ※ 리튬이온 이차전지 소재시장 규모 추정(메리츠증권증권)
 - : 8.5조원('13) → 10.2조원('15) → 25.1조원('25)
- 고가의 소재는 일본기업, 저가의 소재는 중국기업이 주로 공급, 한국의 경우 국내 제조사를 대상을 양극소재, 전해액, 분리막 일부만 공급중

< 리튬이온 이차전지 핵심소재 주요기업별 시장점유율('13) >

구 분	1위	2위	3위	4위	5위
양 극	니치아 (日, 11.3%)	유미코아 (韓, 9.9%)	L&F신소재 (韓, 9.4%)	호남서상 (中, 7.9%)	미쓰이금속 (日, 6.6%)
음 극	BTR (中, 31.3%)	상하이상상 (中, 24.3%)	히타치화성 (日, 18.3%)	미쓰비시화학 (日, 5.8%)	일본카본 (日, 4.1%)
전해액	장가항 (中, 14.5%)	심천신저우방 (中, 9.7%)	천진금우 (中, 9.7%)	미쓰비시화학 (日, 8.1%)	우베흥산 (日, 7.7%)
분리막	아사히화성 (日, 21.0%)	SKI (韓, 15.9%)	셀가드 (美, 12.7%)	도레이 (日, 11.4%)	신향격서은신능원 (中, 10.3%)

※ 출처: 2013년 리튬이온 이차전지 부재 시장의 현재와 미래 전망 (야노경제)



<그림 1.1-5> 소재기술혁신 비전
(미래신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안, 2015.10.22.,
국가과학기술자문회의)

기획의 목표 및 내용

- 현 시점의 대한민국 소재 산업 및 연구개발 역량 분석과 소재 연구 개발의 글로벌 트렌드 분석
- 이를 바탕으로 소재산업의 경쟁력 향상을 위한 R&D 정책방향을 제시하고, 미래창조과학부가 주도할 소재 연구개발 프로그램을 제안

■ 정책대상으로서 미래소재의 개념 설정

- 미래소재의 개념적 정의와 특징 분석
- 소재와 밀접한 관련이 있는 메가트렌드를 바탕으로 한 미래소재의 범위 설정
 - 글로벌 트렌드와 한국의 트렌드를 함께 고려한 분석
- 미래사회의 니즈로부터 정책대상의 소재군 분석

■ 미래소재산업 육성을 위한 국내외 현황 분석

- 해외 소재분야 정책의 특징과 대표적인 정책의 현황 조사·분석
 - 미국 : Material Genome Initiative (MGI), National Nanotechnology Initiative (NNI), Materials Innovation Platform (MIP) Program
 - 일본 : 혁신적 신구조재료 기술개발, 신소재 산업비전, World Premier Institute Program, 신원소전략 프로젝트
 - EU : WING 프로그램, Research Road Mapping in Materials, Horizon2020 소재분야 프로그램
 - 중국 : 7대 전략적 신흥산업 육성정책, 중국 제조 2025 전략
- 소재연구의 글로벌 트렌드 분석
 - 소재 선진국의 정책동향의 분석과 학계 전문가의 의견수렴을 통한 트렌드 분석
- 국내 소재분야 현황 조사를 통한 문제점 분석
 - 소재산업의 위상과 생산성 분석 및 소재산업 관련 무역현황의 심층분석
 - 소재분야 연구개발 투자현황 분석을 통한 R&D 정책의 포트폴리오 분석
 - 객관적 자료를 바탕으로 한 소재분야의 기술수준 분석
 - 국내현황 분석을 바탕으로 전문가 의견 수렴을 통한 문제점 분석

- 국내 소재분야 현황 분석의 시사점으로부터 미래소재 경쟁력 증진을 위한 소재 R&D 정책방향을 도출

■ 미래소재 국가경쟁력 강화 전략 도출

- 소재강국의 비전과 정책목표 설정
- 미래창조과학부 관점에서 미래소재 R&D 정책방향의 주요 키워드 도출
- 정책방향에 따른 추진전략 수립

■ 미래소재기술 R&D 지원 프로그램 설계

- 미래소재기술 R&D 지원 프로그램 설계
 - 현재 지원되고 있는 미래소재 개발 R&D 지원 프로그램 간 연계 체계 검토
 - ※ 미래소재디스커버리 사업, 나노·소재기술개발사업, 나노융합 2020사업, 글로벌프론티어 사업 간의 상호연계 체계 도출
 - 중점육성 미래소재기술 연구개발 지원을 위한 기존 프로그램 활용 및 신규 프로그램 추진안 도출
- 미래소재산업 육성을 위한 인프라 혁신방안 모색
 - 효율적 소재개발을 위한 기구축 인프라의 플랫폼 화
 - 글로벌 트렌드를 반영한 소재혁신 플랫폼 구축안 도출

기획 추진 방법

다양한 관점의 소재정책 분석 자료와 현황 자료를 바탕으로 전문가 집단의 집단지성을 이용한 기획을 추진

■ 소재기술 및 산업에 대한 기존 정책연구결과 활용

- 미래소재산업 육성 전략방향의 신속한 도출을 위해 기초 데이터 분석은 최대한 다양하고, 기존 정책연구결과의 분석 결과를 최대한 활용
 - 주요 정책연구보고서 및 정부전략보고서 목록 첨부 (표 1.4-1)
- 국가과학기술자문회의 정책연구 결과와의 정합성 유지
 - 소재 고부가가치 신산업 창출을 위한 소재기술개발 전략 방안(2016.02)과의 정합성을 유지하면서 미래소재산업의 전략적 추진방향 설정

■ 전문가 집단의 집단지성을 이용한 전략적 추진방향 설정

- 전략적 추진방향 설정을 위해 산학연 전문가로 구성된 기획자문위원단 구성 (표 1.4-2)
- 기존 정책연구 분석 결과를 공유하고, 이를 기반으로 브레인스토밍 과정을 통해 미래소재의 범위 및 미래소재 산업 육성을 위한 전략적 추진방향 설정
 - 간담회 및 워크숍을 통해 전략적 추진방향 및 세부추진 계획 수립

<표 1.4-1> 주요 정책연구보고서 및 정부정책보고서 목록

연구보고서명	저자	발간기관	발간일시
부품 소재산업 활성화 방안		국가과학기술 자문회의	2000.3
부품·소재산업의 기술혁신역량 제고 : 중핵기업을 중심으로	배용호, 이광호, 황석원, 엄미정	STEPI	2005.12
부품 소재발전과정 조사분석보고서	한국부품소재산업 진흥원	국가과학기술 자문회의	2005.12
부품소재 중핵기업의 현황 및 시사점 (과학기술정책 통권 157호)	이광호	STEPI	2006.03
나노기술을 활용한 부품소재기업의 기술혁신 특성 분석	이광호, 서정화	STEPI	2006.10
소재산업의 경쟁력 강화를 위한 글로벌 네트워크체제 구축 전략	김주한, 정은미, 황윤진, 이임자, 이재덕, 윤동진	산업연구원	2006.11
부품소재 중핵기업의 GPN(Global Production Network) 참여유형 연구	김윤명	STEPI	2007.12
부품·소재산업의 세계 일류화전략과 정책과제	조 철, 김주한, 서동혁, 정만태, 황윤진	산업연구원	2007.12
부품소재산업의 기반 강화: 제조업 후방산업 육성 및 고도화 (과학기술정책 통권 168호)	이광호	STEPI	2008.02
부품소재기업의 연구개발 성공·실패 사례연구	김윤명	STEPI	2008.11
소재산업의 경쟁력 제고를 위한 수요산업과의 연계성 강화 방안	김주한, 남장근, 정은미, 황윤진, 이임자	산업연구원	2008.12
성장동력으로서의 주요 핵심소재 발전전략	남장근, 이임자, 강민성, 김성수, 박수진, 박호범	산업연구원	2010.12
미래사회 메가트렌드로 본 10대 미래기술 전망	김정미	한국정보화진 흥원	2011.6.
소재산업 Value Chain 분석 및 기술수준 조사		산기평	2011.12
한중일 부품소재산업의 분업구조 변화와 과제	사공목, 이문형, 신현수, 조철	산업연구원	2011.12
제4회 과학기술예측조사		국가과학기술 위원회	2012.02
소재분야 대일무역역조 개선을 위한 대응 방안 부제 : 미래유망기술과 기술수준조사에 입각한 소재분야 정부 R&D 역할	조성호, 용태석, 고재현 외 2인	KISTEP	2012.12
국가연구시설 장비의 운영 활용 고도화 계획	국가과학기술심의 회	미래창조과학 부	2013.4
창의소재 디스커버리 사업 기획보고서	이광렬 외	미래창조과학 부	2013.6
제3차 소재부품발전 기본계획		관계부처합동	2013.11
창조경제실현을 위한 융합기술 발전전략	국가과학기술심의 회	부처합동	2014.2
2015년 소재부품산업 R&BD 중점투자전략		산업통상자원 R&D 전략기획단	2014.08
미래산업소재 R&D 투자전략		미래부	2015.02
소재기술백서 2014		재료연구원	2015.04
나노소재분야의 신사업 창출 전략 수립	박종구 외	미래창조과학 부	2015.04
2016년 소재부품산업 산업기술 R&BD 전략		전략기획단	2015.08

대한민국 소재 R&D 현황과 문제점 및 발전방안	이광렬 외	미래창조과학부	2015.08
선진한국의 길 소재강국		소재강국연구회	2015.09
미래 신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안		국가과학기술자문회의	2015.10
미래산업 대응 소재의 정부 R&D 투자 방향	용태석, 이상남, 박주현	KISTEP	2015.12
산업 패러다임 변화에 따른 미래 제조업의 발전전략 - 미래형차, 소재, 바이오, 사물인터넷을 중심으로 -	서동혁, 최윤희, 김경유, 김상훈, 황원식, 최남희	산업연구원	2015.12
소재 고부가가치 신산업 창출을 위한 소재기술개발 전략방안	박종구 외	나노융합 2020사업단	2016.02
미래 한국을 열어갈 National Initiative 2025	이흥권 외	KISTEP	2015.03

2. 미래사회 변화와 미래소재

2 미래사회 변화와 미래소재

미래소재의 개념 및 특징

- 미래소재는 신산업을 창출하거나 기존산업을 와해하는 소재
- 미래소재는 실험실 수준의 연구개발 완료까지 10년, 소재의 산업화 실현까지는 20년 이상 소요되는 소재
- 미래소재는 기초과학기술 기반 소재로 장기적 관점의 선제적 투자 필요

2.1.1. 미래소재의 개념

■ 개념적 정의

- 신산업을 창출하거나 기존 산업을 와해시킬 수 있는 잠재력을 가진 소재로서 실험실 수준의 연구개발 완료(TRL6)까지 약 10년, 그리고 소재의 산업화까지 20년 이상이 소요되는 소재

■ 미래 사회·경제적 필요성에 대응하여 미래 소재를 다음과 같이 구분할 수 있음

- (창의형) 미래 수요를 현재 예측할 수 없으나 도전적·창의적 기술개발을 통해 향후 신산업 창출이 기대되는 소재
 - ※ 예시) 창의소재군, 그래핀 등
- (미래트렌드 선도형) 미래수요는 예측되나 높은 개발비용과 실패위험성 때문에 민간분야에서는 기술개발에 도전하지 않는 소재
 - ※ 예시) 에너지, 바이오 소재, 우주원자력 극한소재, 독성·희유소재 대체

2.1.2. 미래소재의 특징

■ 기초과학기술 기반의 소재

- 물질특허 확보가 핵심이 됨에 따라 물리, 화학 등 재료의 근원적 성질 이해를 위한 기초기술이 중요
 - 창의적 아이디어에 바탕을 둔 미래소재는 물리 화학 등 기초연구를 바탕으로 물질특허 확보, 아이디어 구현, 공정 개발 등을 통해 산업적 가치를 지닌 소재로 발전

- 현 시점에서 소재의 미래 시장이 불확실하더라도 장기적 관점에서 선제 투자가 필요한 분야

■ High Risk, High Return

- 미래소재는 장기적인 개발 노력과 장기 투자 등 위험요인이 많지만 개발에 성공하면 산업적 파급력이 매우 큰 분야
 - 원천소재 개발에서 상용화까지 20년 이상 소요되었으나 새로운 산업 전반에 파급
 - ※ 탄소섬유 개발기간은 34년이었으며, 님시대부터 항공기 동체까지 복합재 산업 전반을 변모시킴
 - ※ OLED 개발에는 20년 이상이 소요되었으나 디스플레이 산업의 패러다임을 변화 (저에너지 곡면 디스플레이 등)
- 기술을 선점한 국가가 특허장벽 구축을 통해 시장에서 장기간 독점적 지위를 유지하면서 이윤창출이 가능
 - ※ LCD액정(獨Merck 50%), TAC필름(日후지 75%), 아라미드섬유(美Dupont 50%)

■ 강소형 전문기업 주도

- 여러 산업에서 널리 활용되는 규모중심의 범용소재와 달리 특정 부품에 사용되는 전문적이고 특화된 소재
- 대량 설비 구축을 통해 가격경쟁력을 확보하는 ‘규모집중’에서 기술경쟁력을 기반으로 한 ‘전문제조’로 개념이 변화

■ 소재기술의 해외 의존성 탈피의 돌파구

- 첨단소재의 해외 의존적 구조를 탈피하고 소재강국으로 도약할 수 있는 디딤돌
 - 미래산업 분야에서 소재기술이 해외에 종속되는 악순환을 방지하기 위해 미래소재에 대한 과감한 선제적 투자가 필요

■ 정부의 적극적 투자가 필요한 분야

- 기술적 실현이 장기간인 소재일수록 특정 기업을 위한 사유성이 낮고 공공성이 강해 정부의 투자 분야로 적합

메가트렌드

- 미래소재 연구개발과 직접적 관련이 있는 미래 메가트렌드는 인구 구조 변화, 기후변화 및 에너지/환경 문제, 과학기술 발달과 융복합

2.2.1 인구구조 변화(고령화의 가속화와 저성장)⁵⁾

▣ (글로벌 메가트렌드) 기대수명 증가 등으로 고령화가 지속되어 늘어나는 노인복지 수요 대응이 위험요인으로 작용

- 기대수명 증가로 중위연령이 높아지는 등 고령화가 가속화
- 고령화로 인해 전체인구 대비 생산가능인구(15-64세) 비율은 줄고, 노인부양비는 증가하여, 복지수요 대응 문제가 대두될 전망

▣ (한국 트렌드) 세계적으로 낮은 출산율과 유례없이 빠른 고령화로 경제성장률이 점진적으로 하락 우려

- '00년 고령화사회(노인비중 7%) 진입후, '18년 고령사회(14%), '26년 초고령사회(20%)에 진입하며 생산가능인구(15~64세)도 감소
- ※ 주요 국가의 고령화사회에서 고령사회로의 소요연수 비교(소요연수) : 프랑스(115), 미국(73), 이태리(61), 독일(40), 일본(24), 한국(18)

<노년과 유연인구의 구성비 전망>
(단위 : %)



<총인구중 생산가능인구(15-64세) 비중 전망> (단위 : %)



- 향후 투자부진과 생산가능인구 감소가 생산성 정체와 맞물릴 경우 잠재성장률 하락이 고착화될 우려
 - 노동집약적 산업의 경쟁력이 약화되면서 제조업 등 수출 주력산업이 개도국으로 점

5) 대한민국 중장기 경제발전전략, 기획재정부(2015) 등을 참고하여 정리

차 이전될 우려

2.2.2 기후변화 대응과 에너지/환경 문제 심화⁶⁾

▣ (글로벌 메가트렌드) 기후변화는 생태계, 수자원, 식량 등 인간의 생활과 생존을 위협하는 글로벌 리스크로 작용할 전망

- 현 추세로 온실가스 배출시 현재(1986~2005) 대비 금세기말(2081~2100)까지 지구의 평균기온은 3.7℃, 해수면은 63cm 상승될 것으로 예측
 - 평균온도 2℃ 상승시 경제적 피해는 전세계 GDP의 0.2~2%에 이르고, 홍수 등으로 수억명이 이주할 것으로 추정⁷⁾
- 이에 지구 생태계 보호를 위해서는 2100년까지 기온상승을 2℃ 미만으로 억제 필요하며, 이를 위해 전세계는 2050년까지 2010년 대비 40~70% 온실가스 감축 필요
 - ※ 제21차 기후변화협약 당사국총회('15.12월)에서 Post-2020 온실가스감축목표 등에 대한 주요 내용을 합의⁸⁾

▣ (한국 트렌드) 한반도의 기온상승 속도는 온실가스 배출 등으로 다른 지역에 비해 빠른 수준*이며, 향후 폭염·열대야 등 이상기후 발생 증가

- ※ 과거 평균기온 상승 : (지구) 133년간(1880~2012년) 0.85℃,
(한반도) 30년간(1981~2010년) 1.2℃

- 온실가스 감축을 하지 않을 경우 한국의 2050년 기온은 3.2℃, 연강수량 15.6%, 해수면 27cm 증가할 것으로 전망⁹⁾되며, 한반도를 포함한 동북아 지역은 아열대화 기후변화, 홍수로 인한 사회기반시설의 파괴, 폭염으로 인한 사망 및 가뭄 등으로 인한 물과 식량부족 등과 같은 기후변화의 취약성이 세계 평균보다 높을 것으로 전망
 - ※ 한국 환경 정책 평가 연구원은 한국의 기후변화 취약성을 감안할 때 21세기 말까지 90년간 2,800조원의 경제적 손실이 누적될 것으로 전망
- 新 기후변화체제에서 우리나라의 감축부담이 증가할 가능성이 크며, 국제사회는 우리나라에 감축노력 강화를 지속 요구
 - ※ 우리나라의 국제적 위상, 배출량 수준 등을 고려해 기존보다 강화된 감축목표를 설정할 것을 주장

2.2.3 과학기술발달과 융복합화¹⁰⁾

6) Post-2020 온실가스 감축목표 설정 추진계획, 관계부처 합동(2016), 대한민국 중장기 경제발전전략, 기획재정부(2015) 등을 참고하여 정리

7) IPCC(Intergovernmental Panel on Climate Change)(2014)

8) UN, World Population Prospects: the 2015 Revision(2015)

9) 국립기상연구원

10) 대한민국 중장기 경제발전전략, 기획재정부(2015), 대한민국 국가미래전략2016, KAIST(2016) 등을 참고하여 정리

■ (글로벌 메가트렌드) 하드웨어, 소프트웨어 등 정보통신기술은 급격한 성장과 더불어 더욱 광범위하게 활용

- IoT(사물인터넷) 기술을 기반으로 사람과 사물, 정보와 디바이스가 네트워크를 통해 무한 통합됨으로써 스마트한 사회가 실현
- 자동화 및 제조 기술은 개발 도상국에 새로운 역량을 제공하고 기업들의 경쟁력을 한층 증대시킬 것
 - 로봇공학 : 원격조종 혹은 스스로 인간과 비슷하게 물리적 조작을 수행하는 기계를 개발하는 기술
 - ※ 단순한 제조 작업, 고위험 상황에서 인간의 역할을 대체할 것
 - ※ 로봇의 비용을 낮추고, 지능을 향상시켜야하는 과제에 직면
 - 자율 주행 차량 : 직접적인 인간의 조작없이 스스로 작동할 수 있는 이동 수단을 개발하는 기술
 - ※ 군사 작전, 분쟁 해결, 수송 및 탐사 등의 형태를 변화시키는 동시에 신종 안보 위협¹²⁾을 제기할 수 있음
 - ※ 자율 주행 차량이 얼마나 안전하고 정확하게 작동할 수 있느냐가 관건
 - 3D 프린팅 : 한 번에 재료 한 겹씩 쌓아올리는 방식으로 물건을 제작하는 기술
 - ※ 대량 맞춤 생산에 따른 부가가치 창출이 큰 제품의 생산 공정을 대체할 수 있음
 - ※ 품질 향상 및 비용 절감 문제가 첨삭가공 기술 수용의 주요 이슈가 될 것

■ (한국 트렌드) 기하급수적인 과학기술 진보는 첨단 ICT 기술과 우수 제조업을 보유한 우리나라에 기회이자 위협요인으로 작용

- 스마트 기술은 단순반복적인 업무뿐만 아니라 지적 업무까지 대체하며 제조업과 서비스업 구조변화 등 산업 전반에 영향
- (기회) 스마트기술을 새로운 성장동력으로 활용 가능
 - 세계최고 수준의 우리나라 ICT기술을 제조업과 서비스업에 접목시 생산성 향상은 물론 새로운 분야의 일자리 창출 가능
- (위협) 숙련노동자에 편향적인 기술변화(Skill-Biased Technology Change)로 제조업 고용비율이 감소하는 등 고용없는 성장을 심화시킬 우려

미래사회의 니즈와 미래소재

- 새로운 미래산업의 등장을 가시화하기 위해, 다기능화, 지능화, 환경친화, 에너지효율화 관점의 소재 개발이 부각
- 국가 단위의 경제·산업발전을 위한 소재개발에서 지구촌의 글로벌 이슈 혹은 사회적 문제를 해결하기 위한 연구주제로 확대

2.3.1 인구구조 변화(고령화의 가속화와 저성장)

■ 메가트렌드

- 고령화가 가속화되고 있고 건강장수에 대한 수요가 증가하고 있음. 특히, 개도국(중국 등)에서 고령화가 심화되고 있으며 소득이 낮은 상태에서 고령화가 진행

■ 과학기술적 니즈¹¹⁾

- (헬스케어) 그 동안의 의료사업이 고가, 선진국, 진단 및 치료중심이였다면 미래의 의료사업은 ‘중저가’, ‘개도국’, ‘유전자맞춤형 분석’이 키워드로 부상
 - 기존 헬스케어 사업에서 첨단 의료기기 개발과 서비스 경쟁이 핵심이었다면 앞으로는 여기에서 더 나아가 경쟁력있는 가격으로 의료서비스나 제품을 제공하는 일이 관건임
 - ※ U-헬스는 다양한 센서, 전자기기, 네트워크 기술을 활용해 언제 어디서나 의료서비스를 제공한다는 개념으로 현대 다양한 의료정보 수집을 위한 센서기술이 급속히 발전중
 - ※ 체내 이식이 가능할 정도의 초소형 칩을 개발하거나 변기와 속옷 등 생활용품 속에 의료센서를 내장하는 방법 등이 논의
- (항노화) 고령화가 진행될수록 건강한 삶에 대한 욕구가 증대되어 ‘어떻게 건강하게 오래사느냐(삶의질)’에 대한 더 많은 관심
 - 항노화 사업은 노화와 장애를 극복하게 해주는 기능보조장치 사업과 안티에이징사업(노화방지화장품 등)이 대표적
 - ※ 기능보조장치 : 신체에 부착해 불편한 부분을 해소해주거나 사람이 지니는 능력 이상을 발휘할 수 있도록 해주는 장치(예, 보청기, 근력보완장치, 만성질환관리장치 등)로 IT, 로봇, 센서, MEMS(미세전자기계시스템) 기술 등이 활용
- (건강관리) 건강한 상태를 유지시켜 질병으로부터 보호

11) 대한민국 국가미래전략2016, KAIST(2016), 더체인지(메가트렌드로 보는 미래비즈니스), 삼성경제연구소(2011) 등을 참고하여 정리

- 음식물의 오염을 막거나 오염된 물과 공기를 정화하는 기기 사업
- ※ 예시) 채소를 넣어두기만 해도 두세시간 만에 잔류 농약이 제거되는 냉장고

■ 미래소재(첨단소재 혁신)

- 인간과 전자기기간의 새로운 인터페이스 : 촉각, 청각, 광 증폭 및 피드백 기술
- 병원 외에서 고품질 건강관리를 제공할 진단, 모니터링, 치료 조치, 의료 기기 등에서 한계돌파(breakthrough) 기술
- 환자맞춤형 생분해성 인체조직 보강·대체·재생소재
- 환자맞춤형 구조/기능/물성 제어형 3D프린팅 소재
- 기능성 (항노화, 미백 등) 화장품용 나노 소재

2.3.2 기후변화 대응과 에너지/환경 문제 심화

■ 메가트렌드

- 신기후 협약(COP 21)을 통한 선진국 및 개도국이 모두 참여하는 신 기후체제 (Post-2020) 출범에 따른 온실가스 감축 목표 달성을 위한 전지구적 저탄소 경제 경쟁시대 개막
- 경제발전과 환경보전의 선택을 넘어 생물종으로서 인류 전체의 생존이나 멸망이나의 절박성은 경제 발전 패러다임의 변경을 요구 : 지속가능한 발전

■ 기술적 니즈

- (저탄소 소재 제조) 에너지 다소비형 철강, 비철 제조업은 이미 세계 최고 수준의 에너지 효율을 보유하므로 감축이 어려움.
 - 혁신형 저탄소 저에너지 소비형 소재 제조 공법 개발 필요 (예, 수소환원제철공법, 고체산화물멤브레인 마그네슘 제련법 등)
 - 신재생 에너지, 에너지 전환기술, 자원 재활용 기술 등 대체 기후변화 대응 기술 개발을 통해 해외 온실가스 배출권 거래 경제를 선점 필요
- (신재생 에너지 핵심소재) 화석 연료 에너지보다 낮은 신재생 에너지의 기술적, 경제적 경쟁력 및 더딘 발전 속도
 - 태양전지, 연료전지, 풍력 에너지 등 신재생에너지가 신기후체제 출범에 발맞추기 위해서는 획기적인 발전 계기가 필요

- 획기적인 효율, 성능, 수명 향상은 시스템 기술보다 새로운 핵심 소재의 출현에 기인함 (예, 이차전지 용량 향상, 태양전지의 효율 향상 등)

○ (효율향상 소재) 에너지 효율 향상을 위한 혁신 소재 기술

- 그린 홈, 그린 빌딩, LED 조명 등 에너지 소비분야에서의 고효율화를 통한
- 기존 화력 발전, 원자력 발전 분야에서 발전 효율성 향상
- 수송 분야에서 소재 경량화 및 마찰 손실 제거를 통한 에너지 효율 및 환경 부하 감소
- 전기에너지의 손실없이 장거리 송전 위한 초전도 소재 개발(품질)

■ 미래소재(첨단소재 혁신)

○ 혁신적인 저탄소 저에너지 소재생산 기술

- 고에너지 투입과 대량의 온실가스 배출이 발생하는 기존의 금속 소재 생산 공정을 저탄소 저에너지 투입 혁신 소재생산공정기술 등
 - ※ 철강 : 2.3, 알루미늄 : 22.4, 마그네슘 : 42, 타이타늄 : 35.7 kgCO₂/kg
- 기존 소재공정에서 재이용되지 않고 매립용으로 사용되는 저급 부산물(Slag, Ash)에 대한 저탄소 고부가가치 원소재 재이용화를 위한 소재 고급화 기술 (시멘트 원료, 환경소재, 건축자재화 이용)
- 석유화학공정을 사용하지 않는 친환경 플라스틱, 유기소재 등

○ 에너지 효율 향상을 위한 혁신 소재공정 기술

- 그린 수송을 위한 수송기기 경량화 및 고에너지효율화를 위한 소재기술의 토탈 솔루션화 설계(경량화 소재, 저마찰 동력전달 소재 등)
- 전기에너지의 손실없이 장거리 송전 위한 초전도 소재
- 전기자동차 확산에 따른 고안정성 이차전지 소재 및 정치용 고용량 에너지저장 소재(ESS)
- 신재생 에너지 소자, 설비 및 플랜트에 대한 최적화된 엔지니어링 소재
- 태양전지, 풍력 터빈, 이차전지 등에 사용이 되는 희유금속에 대한 리사이클링 및 대체 소재 등

○ 지속가능한 환경을 조성하기 위한 경제성 있는 맞춤형 소재

- 친환경 고효율 에너지 발생, 저장, 사용 효율 향상을 위한 외부 환경(광, 열, 전기, 공기, 물 등) 활성 에너지 나노소재 기술
- 환경(대기/수질/토양) 오염원(CO₂, 유해가스, 바이러스, 기름 등) 제거 및 확산 방

지를 위한 고효율 친환경 나노소재 기술

- 환경 정화를 통한 에너지 재생산 및 이용이 가능한 재자원화 나노소재 기술 등

○ 신재생 에너지용 신개념 혁신 소재 개발

- 저가 고에너지밀도 이차전지 전극소재
- 저가 고효율 연료전지소재
- 고효율 태양전지 소재
- 에너지 하베스팅 소재 등

2.3.3 과학기술발달과 융복합화

■ 메가트렌드

- 인공지능, 로봇, 사물인터넷 등을 기반으로 하는 제4차 산업혁명의 시대가 본격화
- 모바일 기기와의 연결성이 강조된 커넥티드카 등장(단순한 이동수단에서 오락 향유 및 오피스 공간화)
- 날아다니는 개인 비행체 (Personal Air Vehicle, PAV), 초음속 여객기, 초대형 항공기, 화성행 로켓, 유선형의 제트 전투기 등이 등장
- 3D 프린팅 기술 및 OEM 활용한 생산 방식 가속화
 - 항공 산업 분야에서 비용절감을 위한 생산 방식변화가 가속화 될 것으로 예상됨. 특히 3D 프린팅 기술이 본격적으로 활용되며, OEM 방식을 활용이 더욱 심해질 것으로 예상

■ 기술적 니즈

- (지능형 IT소재) 인공지능·사물인터넷·빅데이터 처리 기술 향상을 위한 IT소재기술 필요
 - 네트워크 발달과 정보량 급증에 따른 초고용량 기억소자 및 초저전력 정보처리 논리소자를 개발
 - 뇌기능을 모방한 뉴로모픽 시냅스형 반도체 소자 개발 및 SW기반의 인공지능 기술과 융합
- (신기능·신공정) 플렉서블 디스플레이 기술 구현을 위한 신기능 재료·소자의 연구와 더불어 생산단가 저감을 위한 공정 기술 개발 필요
 - 유연하면서도 안정성과 고기능을 갖춘 디스플레이를 제작하기 위해 부드러운 유기

물 기반의 유기전자(organic electronics) 기술을 바탕으로 한 새로운 재료·공정·소자 기술의 개발이 가속화

- 특히, Roll-to-Roll 연속공정과 같이 대량생산이 가능하고 필요한 재료만을 기관위에 선택적으로 추가함으로써 생산비용을 낮출 수 있고 환경친화적인 공정시스템에 대한 연구 확대

○ 첨단제조업을 위한 새로운 전자시스템

※ 예시) 결정을 내리기 위하여 외부 정보를 사용하고 피드백을 제공하기 위하여 감지기술을 이용하는 새로운 고성능 반도체 기술, 로봇, 상호응답형 응용, 인공지능, 스마트 솔루션

■ 미래소재 (첨단소재 혁신)

○ 능동형 정보사회를 위한 혁신적 IT소재

- 뇌기능을 모방한 인공지능기술, 사람과 사물, 공간, 데이터가 인터넷으로 공유되는 사물인터넷 기술, 빅데이터 처리 기술의 급속한 발전의 기본

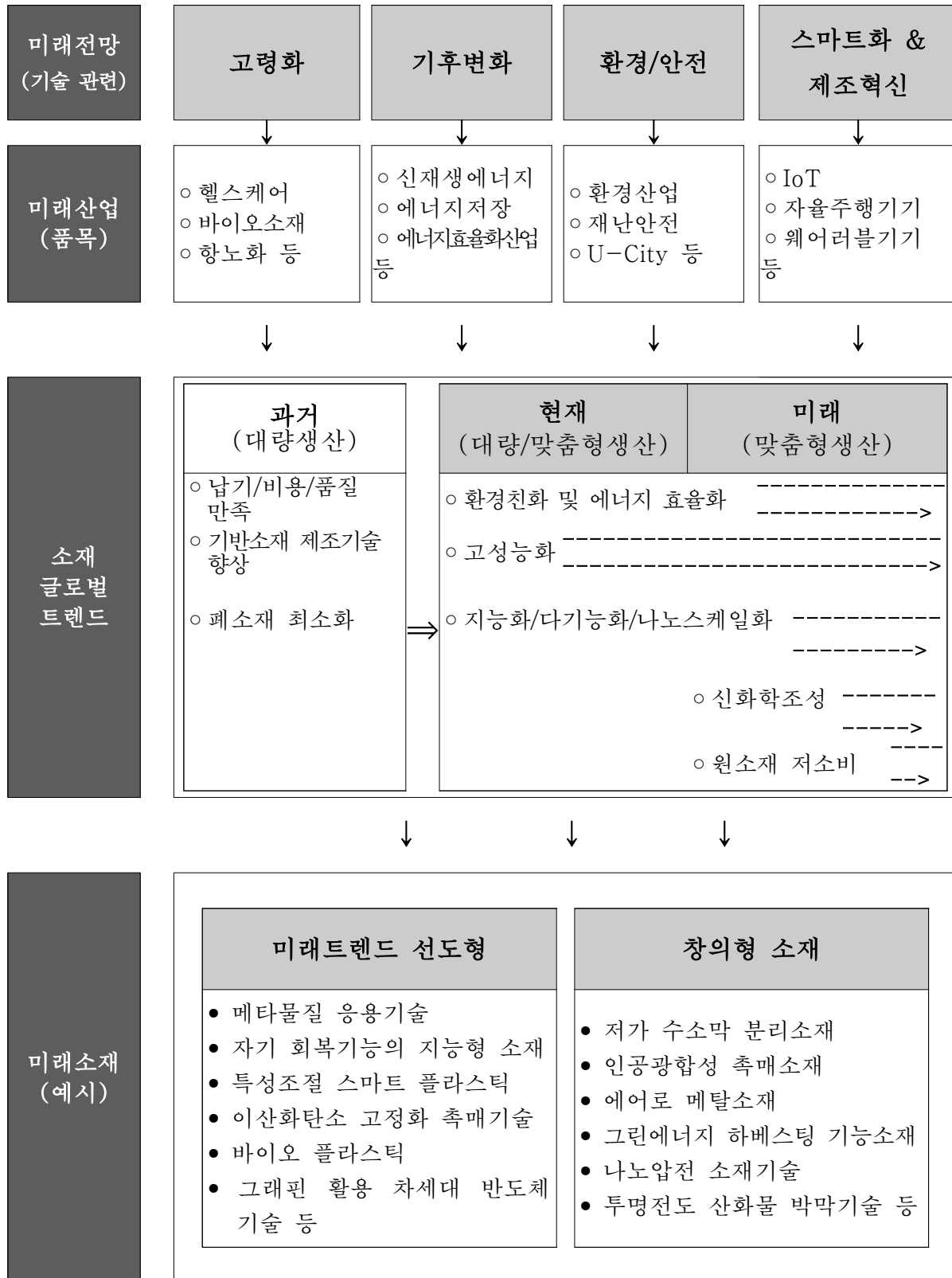
○ 고기능을 보유한 플렉서블 디스플레이용 소재

- 기존의 고정형·비변형 소자와 달리 가볍고, 형태가 자유자재로 변하며 휴대가 용이한 고성능 플렉서블 디스플레이를 위한 소재 필요

○ 초고강도, 초경량, 내구성의 구조적 물성이 뛰어난 소재

- 금속 혹은 세라믹 기지를 바탕으로 나노입자, 나노튜브, 나노선 및 그래핀 등을 강화재료로 이용한 복합체
- 금속, 세라믹, 고분자 등의 나노구조화에 따른 고강도화 및 초소성 확보, 비정질 복합화를 통한 새로운 나노소재의 개발 등이 핵심 이슈가 되고 있음

<표 2.3-1> 미래전망과 미래소재



3. 국내외 현황 및 시사점

3 국내외 현황 및 시사점

해외 현황

- 선진국의 소재정책은 제조업 발전을 빠르게 뒷받침할 수 있도록 ICT 접목, 소재연구개발 기반 강화에 초점을 두고, 미래 유망 분야에 대한 전략적 투자를 통해 소재개발의 효율성을 높임

3.1.1 미국¹²⁾

1) 소재 R&D 정책의 주요 특징

▣ 소재가 포함된 정부 차원의 로드맵이 존재하나, 새로운 기술을 위해 필요한 대상으로서 소재를 다루고 있음

- 미국의 중앙 부처 15개는 각각의 고유한 미션을 달성하기 위한 기관으로서의 성격이 강하며, 각 기관의 목적과 목표를 달성하기 위해 계획수립과 기술개발을 실행. 이에 소재특정계획을 만들기 보다는 소재개발을 큰 프로젝트의 한 부분으로 구성

▣ 소재 연구개발을 뒷받침하는 인프라기술 개발 중심

- 미국은 소재 자체를 위한 R&D 보다는 소재의 개발을 지원하는 R&D(측정기기, 표준기술 등)를 더 강조
 - 국립표준기술원(NIST)은“미국 측정시스템 평가”에서 측정을 위한 측정기구의 수요와 혁신의 중요성을 강조
 - 국가과학기술위원회(NSTC)는 MGI(소재게놈이니셔티브) 발표(2011년)
 - ※ MGI(Materials Genome Initiative) 정책 : 미국은 첨단 소재의 상업화 가속화를 위해 지식기반 데이터 공유 및 분석, 인프라 구축 등을 추진하는 추진
 - 수학물리자문회의(MPSAC)는“계측의 접근과 지속적인 혁신이 과학적 결과물이 방향을 이끌며 재료과학의 리더십에 필수적이며, 석 도구와 설비가 최첨단 소재 연구 발전에 다른 무엇보다 중요하다”라고 발표
 - MIP(Materials Innovation Platform) 프로그램 추진 : 새로운 혁신 소재의 개발에

12) 소재기술백서2015(4부, 주요국 소재혁신정책 특징 및 R&D 프로그램) 자료(2015)를 토대로 재가공

필요한 첨단 연구개발 기법들을 제공하는 중규모의 다학제간 융합연구 플랫폼을 구축하는 사업으로서, 특정 소재의 연구개발 아이디어를 구현할 재료의 합성, 분석, 이론 및 모델링의 연구가 closed-loop을 이루어 소재개발을 진행하는 사업 (5년간 10백만불~25백만불 규모의 과제로 지원)

■ 부처별·기관별 미션 달성을 위한 소재 개발에 중점

- 미국의 중앙 부처는 소재 유형에 따른 분류 보다는 그들이 수행하고자 하는 기능에 따라 소재 개발을 언급
 - 소재 특성(금속, 합금, 고분자, 복합재 등)과 반대로 소재 기능에 초점을 맞추고 있는 이유는 단순히 소재를 개발하는 것이 아니라 핵심기술(core technology)의 개발과 배치를 목표로 함
- ※ 항공우주국(NASA)의 우주기술로드맵 : NASA는 특정 응용에 기초한 관련 소재를 정의함으로써 수요를 만족시키는 소재의 개발을 요구

■ 미국의 소재 정책은 제조업 경쟁력 제고 및 제조업 혁신을 위한 노력과도 밀접한 관계

- 미국의 소재계눔이니셔티브와 국가나노기술계획은 모두 궁극적으로는 제조업 육성 정책의 일환임
 - 미국이 최근 몇 년간 발표한 제조업 정책과 관련된 자료들을 살펴보면, 미국 경제를 위해 ‘강한 제조업’이 중요하다는 것을 강조하고 있으며, 소재는 이러한 전략에서 중요한 역할을 담당하고 있으며, 4개의 중요한 축 중의 하나로 분류



<그림 3.1-1> 소재게놈이니셔티브 출범 관련 오바마 연설문 일부.
오바마 대통령은 첨단 제조업파트너십(Advanced Manufacturing Partnership) 발표(2011.6.)와 함께 ‘Materials Genome Initiative’의 착수도 함께 발표

2) 주요 연구개발 프로그램

① 소재게놈이니셔티브(MGI)

■ 범부처 이니셔티브 : 신소재 개발 및 상용화 가속화

- 제조업 경쟁력 강화의 일환으로 첨단소재개발에서 상용화까지의 기간과 비용을 줄이기 위해 MGI(Materials Genome Initiative) 추진 (2011년~)
 - (목적) 산학연 연구자 네트워크를 구축, 신소재 및 상품개발 정보를 효율적으로 공유하고 이를 기반으로 개발의 활성화 및 보급 촉진
 - (목표) 소재혁신인프라(Materials Innovation Infrastructure) 개발
 - 계산도구 : 예측모델링, 시뮬레이션, 디자인 등을 위한 소프트웨어 개발
 - 실험도구 : 합성 및 제조법, 특성 분석 장비, 빠른 프로토타이핑, 이론의 증명 및 보급을 위한 기술개발
 - 디지털 데이터 : 소재의 특성별 데이터 및 정보처리상호운용 기준, 첨단 데이터 마이팅, 독점적 데이터 저장소 개발
 - 협력적 네트워크 : 컴퓨테이션, 데이터 정보처리 및 실험 분야의 통합센터, 형식적/비형식적 네트워크를 통한 성공사례 공유, 차세대 인력양성을 위한 교육자료, 민관 파트너십 구축



<그림 3.1-2> 미국의 Materials Genome Initiative 추진 계획

- 소재게놈이니셔티브 역시 미국의 다른 과학기술 이니셔티브와 마찬가지로 국방부, 에너지부 등이 참여하는 범부처 R&D 이니셔티브 형식

<표 3.1-1> 미 연방 부처·기관별 MGI 전담 부서 또는 프로그램 현황(일부)

자료 : 소재게놈이니셔티브 홈페이지, www.mgi.gov

부처 /전담기관	주요 관계기관/부서 또는 프로그램	구분	참여
DOE	National Renewable Energy Laboratory	연구소	
	Lawrence Berkeley National Laboratory	연구소	
DOD	Rational Design of Advanced Polymeric Capacitor Films Multidisciplinary University Research Initiative (MURI)	프로그램	미 해군
	Automatic Flow for Materials Discovery (AFLOW)	컨소시엄	미 해군
	Integrated Computational Materials Science and Engineering (ICMSE)	프로그램	미 공군
	Multidisciplinary University Research Initiative: Managing the Mosaic of Microstructure	프로그램	미 공군
NSF	Division of Materials Research	부서	
	Designing Materials to Revolutionize and Engineer our Future (DMREF)	프로그램	
NIST	Center for Hierarchical Materials Design (CHiMAD)	센터	

- IT 기술의 발전을 바탕으로 소재 빅데이터의 축적과 정보학을 이용한 효율적 소재 연구개발의 중요성 부각

※ 2015.2.15. 미국 백악관에서는 재료과학 data의 활용이 소재기술 혁신의 핵심요소라는 전략을 발표 (It's Time to Open Materials Science Data <http://www.whitehouse.gov/blog/2015/02/06/its-time-open-materials-science-data>)하고 국가적 차원에서 소재 빅데이터 구축과 활용 노력을 본격화

② 국가 나노기술 이니셔티브(National Nanotechnology Initiative, NNI)

■ 범부처 이니셔티브

- 2001년 클린턴 대통령 재임시절 시작된 NNI는 미국이 대표적인 범부처 R&D 이니셔티브로서 물질의 물리적, 화학적, 생물학적 특성을 나노스케일 단위에서 다루고 이해하려는 노력을 통해 나노소재를 포함한 나노기술에 대한 연구개발 지원 프로그램

■ 나노스케일 단위의 나노기술 연구개발 지원 프로그램

- NNI 목표 달성을 위한 연구개발 활동이 포함된 프로그램의 구성 분야(Program Component Areas : PCA) 5개의 목록
 - (PCA 1) 나노기술 특징적 이니셔티브
 - (PCA 2) 기초 연구
 - (PCA 3) 나노기술을 활용한 응용, 장비, 시스템
 - (PCA 4) 연구 인프라 및 장비 구축
 - (PCA 5) 환경, 보건, 안전성

<표 3.1-2> 2015년 기준 PCA별 NNI 예산

(단위 : 백만불)

구분	PCA 1	PCA 2	PCA 3	PCA 4	PCA 5	합계
예산	291.3	530.4	363.0	239.8	112.4	1536.9
비율	19.0%	34.5%	23.6%	15.6%	7.3%	100%

주) PCA : Program Component Areas

3.1.2 일본¹³⁾

1) 소재 R&D 정책의 주요 특징

■ **신물질·신재료 개발을 통해 세계 선도* 및 일본이 강점을 가지는 연구분야의 지속적 경쟁력 유지 추진****

* WPI (World Premier Institute) 프로그램의 MANA (International Center for Materials Nanoarchitectonics) 및 AIMR (Advanced Institute for Materials Research) 등을 통해 high risk high return 소재 분야의 다학제적 융합연구 지원

** (원소전략) 희소금속 대체 및 사용량 저감 소재 개발, (구조재료 연구) 사회인프라의 노후화 대책을 위한 고기능 신재료, (소재인포메틱스) 정보과학과 재료과학 융합

■ **소재연구에서 산학연 간 및 소재기업과 수요기업간의 긴밀한 협력생태계 확립**

※ AIST(일본 산업기술총합연구소)는 소재-제조업-나노기술을 하나의 연구그룹으로 묶어서 연구 추진

※ 나고야 분말생산 지원센터는 파쇄에 의한 분말제조의 종합적 지원체계를 갖추고 산학연의 모든 기술적 수요에 대응

■ **기초기술을 발굴하고 실용화를 위해 신속하고 지속적인 지원 체계**

<대표적 예>

- 나고야대학에서 시작한 청색 LED 연구는 일본 과학기술진흥기구(JST, Japan Science and Technology Agency)의 A-STEP 프로젝트*를 통해 산업화의 꽃을 피움
- * 성공 시 지원받은 전액을 이자 없이 JST에 지불, 실용화 프로젝트가 실패했을 때에도 지원 금액의 90%를 면제받고 10%만 REPAY하면 되는 제도로 기업체가 대학의 연구 성과를 기초로 하이리스크 프로젝트를 추진하는데 매우 유용한 프로그램
- JST는 청색 LED 개발 연구를 결정한 지 2년밖에 안됐을 때에도 신속하게 많은 예산을 책정
- JST는 지원자금 전액과 2013년까지 56억엔의 기술료 수입

■ **민간이 추진하기에 위험도가 높은 첨단소재 분야 중점 지원**

○ 중앙부처인 경제산업성과 문부과학성이 소재 관련 정책을 주도하며 관련 연구를 관할

- 소재 연구는 일부 대학과 공공연구기관들(AIST, NIMS 등)이 주도적으로 수행

※ 일본 내 소재분야 논문수 상위 20개 기관 중 산업계는 1개 기관이며, 비중은 3%에 불과(¹³⁾년

13) 소재기술백서2015(4부, 주요국 소재혁신정책 특징 및 R&D 프로그램) 자료(2015)를 토대로 재가공

기준)

■ 소재 혁신을 사회·경제적 필요(수요)에 사용하고자 함

- 사회, 경제적 변화를 해결할 수 있는 기술 개발을 우선시 하며, 사회·환경적 변화에 대응하는 것을 소재 개발의 목표로 삼고 있음
 - (AIST) 노년인구 증가, 환경 문제 등에 대응할 수 있는 기술 개발을 위해 연구조직을 재편
- ※ 제 5차 과학기술기본계획의 주요 내용 중 하나로 ‘과학기술혁신을 통한 국내외 사회경제적 과제해결 도모’를 발표(제 8회 종합과학기술·이노베이션회의, `15.4.10)

■ 나노기술은 일본 정부의 특별 관심 분야

- 산업기술종합연구소(AIST)와 연구개발전략센터(CRDS) 등은 나노기술의 필요성에 대한 보고서를 지속적으로 발표하며 나노기술에 대한 일본 정부의 관심을 반영
- 제 4차 과학기술기본계획을 통해 ‘나노기술과 소재’를 4개 주요 연구 분야 중 하나로 선정
 - NIMS의 경우 2014년에 향후 5년간 집중연구 분야 20개를 선정, 발표했는데 그 중 4가 나노단위의 소재 조작(manipulation)과 관련이 있음

■ 소재 연구와 관련된 기술 개발(시뮬레이션, 측정, 분석) 및 지원에 관심을 보임

- 제 4차·제 5차 과학기술기본계획을 통해서 기반기술 구축과 관련 인재육성의 중요성을 강조
 - 소재의 새로운 특성을 알아내는 것 대신 모델링과 분석기술을 활용하여 요구되는 특성에 적합한 소재를 디자인하는 방향으로 변화
 - 시뮬레이션 기술이 나노기술의 혁신을 주도하고 발전을 지원하는데 중요한 역할을 하는 것으로 인식

2) 주요 연구개발 프로그램

① 혁신적 신구조재료 기술개발

■ 주요 연구방향

- 자동차를 중심으로 한 수송장비의 경량화 향상
- 복합재료 사용의 활성화를 위한 접합기술 개발
- 철강, 비철, 탄소섬유강화수지(CFRP) 등 수송기기의 주요 구조재료 고강도화

■ 연구조합 설립(기업, 대학)

- 신구조재료기술연구조합(ISMA) 설립, 1개 대학과 26개 기업 참여(2013년 설립 시)
 - 이후 1개 대학과 17개 기업이 추가로 가입



<그림 3.1-3> 신구조재료기술연구조합 과제구성 (www.isma.jp)

- 개별 과제(강재, 알루미늄, 타이타늄 등)별로 소재 업체 및 운송장비 제조업체 등이 협력
- 2022년까지 개발된 새로운 구조재료기술을 활용하여, 자동차를 중심으로 한 수송 기기의 경량화에 적용 및 보급(사업화 추진)

② 신소형재 산업비전

■ 뿌리산업 육성

- 일본의 소형재 산업*을 위한 정부의 정책 방침(`13년 경제산업성 발표)
 - ※ 소형재 산업 : 주·단조, 금형, 절삭 등 소재의 성형 및 가공을 통해 자동차, 산업기계, 전기통신기기 등에 공급하는 생산기반이 되는 산업을 뜻하며 우리나라에서는 뿌리산업이라고 지칭함

■ 연구 개발부터 산업전반에 이르는 다양한 이슈들을 다룸

- 기술 이슈에 대한 국가 규모의 프로젝트 운영, 인재 육성 등 산업 전반에 이르는 이슈들을 해결하는 것을 소재 산업의 지향점으로 제시

- 세계 최고의 기술력 확보
- 사업 영역을 넓혀 부가가치 향상
- 모노즈쿠리 현장에서 우수한 인재 육성
- 건전한 거래 관행으로 강력한 공급체인 구축
- 사업 홍보를 강화
- 해외 수요를 흡수, 글로벌 기업으로 발전

■ 건전한 거래 관행 확립 등 사회적 영향력 고려

- 건전한 공급망 구축 및 거래 관행 확립을 통한 경쟁력 강화 지향
- 소형재산업의 여성인력 활용전략 수립을 통해 인력난 해소 및 여성인력의 적극적 활용을 유도

3.1.3 독일¹⁴⁾

1) 소재 R&D 정책의 주요 특징

■ 산업계 지원 중심

- 제조업 강국인 독일은 제조업의 경쟁력을 높일 수 있는 기술개발에 관심을 보이며, 산업계 수요에 대응하는 연구개발을 중심으로 수행
 - 프라운호퍼와 같은 산업기술 중심 연구기관을 운영하며, 산업계의 수요를 지원하기 위한 bottom-up 방식의 연구를 우선함
 - 제조업 분야를 지원하기 위해 소재 R&D에 우선순위를 두고 있으며, 소재와 관련된 산업계의 문제를 해결하기 위해 프라운호퍼 IFAM(제조기술 및 첨단물질 연구소)과 같은 산업계 중심 연구기관을 활용

■ 상위 레벨의 연구개발 조정활동

- 교육연구부는 소재혁신프로그램인(WING)*을 국가적 주요 이니셔티브로 수립
 - ※ WING : 산업과 사회를 위한 소재 혁신
 - 산업계 중심의 소재 연구를 증진시킴으로써 산업계를 위한 소재 혁신을 이끌어내는 것을 목적으로 함
 - 기술지원과 중소중견기업의 소재 개발을 지원
 - 기술적·연구적 측면 모두를 발전시킬 수 있는 교육프로그램의 개발
- 민간 기관과 협력하여 소재와 관련된 문제점을 해결하기 위해 매우 구체적으로 계획을 수립하고 운영하는 것이 특징
 - 교육연구부는 WING 프로그램을 통해 예산과 자원을 분배하기 위해 10개 특정 분야의 목록을 작성하여 발표

■ 소재 혁신을 사회·경제적 필요(수요)에 사용하고자 함

- 소재 연구를 통한 사회·경제적 수요나 대변화(교통, 기반시설, 건강, 환경)에 대응하기 위한 소재 연구를 추진
 - 지속가능한 발전을 위해 소재를 활용하는 것에 초점을 맞추고 있음

■ 제조가능성(manufacturability)에 관심을 보임(제조업 연계를 반드시 고려)

14) 소재기술백서2015(4부, 주요국 소재혁신정책 특징 및 R&D 프로그램) 자료(2015)를 토대로 재가공

○ 소재 개발과 동시에 소재의 제조가능성을 강조

- 산업계 중심의 위원회와 협력을 통해 산업계에 이익이 되는 소재 개발에 집중
- 소재의 가치가 최종 제품가치의 일부만 차지함에도 불구하고 소재 가치를 발굴하는 것과 소재 생산이 중요하다는 것을 강조

■ 신소재 뿐만 아니라 전통적인 소재의 연구개발도 중요하게 고려

○ 신소재의 개발 못지않게 전통 소재의 가능성에 대해서도 균형 잡힌 시각을 유지

- 대다수의 소재 전략에서 전통 소재 또한 산업계에 중요한 역할을 한다는 것을 강조하며 전통 소재의 가치를 높게 평가
- 나노, 바이오 소재 등을 중심으로 하는 과제에 정부 연구비가 쏠리는 현상을 우려

2) 주요 연구개발 프로그램

① WING 프로그램

■ 산업 중심의 소재연구를 통해 산업계를 위한 소재 혁신을 주도

○ ‘산업과 사회를 위한 소재 혁신’이라는 목표가 곧 프로그램명임

- 기업의 혁신 능력 강화, 사회적 수요의 고려, 지속가능한 개발을 위한 연구와 기술의 활용을 지향
- 전통적 소재 연구와 사회적 수요가 높은 소재 중심의 나노기술 융합으로 상용화 소재의 원천기술을 중점적으로 지원

■ 사회경제적 변화에 대응하는 소재 개발

○ 소재개발을 통한 사회공헌을 중시

- 사회적 이익을 위한 새로운 제품과 공정의 개발, 사회적 문제 해결에 기여 등을 달성하고자 하는 목표로 삼고 추진

2) 소재에서 혁신으로(Vom Material zur Innovation)

■ WING 프로그램 후속으로 소재를 통한 혁신 선도력 강화

○ 소재가 다양한 산업군의 혁신을 위한 동인(動因)의 역할을 한다는 것을 강조하며 소재를 통한 혁신 선도력 강화를 추구

- WING 프로그램 후속으로 발표(2015년 3월)

- 독일 내 소재의 역할 및 중요성이 저평가되어 있음을 언급하며, 소재 분야에서 우위를 점하는 것이 산업계 혁신을 위한 기초임을 강조
- 소재가 다양한 산업군의 혁신을 위한 동인(動因)의 역할을 한다는 것을 강조하며 소재를 통한 혁신 선도력 강화를 추구

■ 기초기술 지원을 통한 소재 플랫폼 개발 및 응용 분야를 위한 소재 혁신

- 다양한 분야의 기초기술 지원을 통해 소재 기반의 제품 및 공정 혁신, 사회적 수요에 대응하는 소재 개발을 추구
 - 광범위한 산업 환경에서 제품과 생산 공정의 혁신을 선도할 수 있는 생산기술 연계 소재 플랫폼 구축.
 - 에너지, 교통, 의료 등 주요 응용 분야에서의 소재 혁신 지원



<그림 3.1-4> “소재에서 혁신으로” 프로그램의 지원 프레임워크
(출처 : 독일, BMBF, Vom Materials zur Innovation)

<표 3.1-3> 독일의 단계별 소재부품산업 육성 프로그램

구분	주요 내용
제1기 (`85 ~ `93년)	◦기초연구 중심 MATFO(Material for schungs programm des BMFT)
제2기 (`94 ~ `03년)	◦응용연구 중심 MATECH(BMFT-Forderprogramm Neue Materialien fur Schlusstechnologien des 21. Jahrhunderts) - 1기(MATFO)와 2기(MATECH)은 유사한 개념으로 추진되었으며, 국제적인 기술경쟁력 우위 확보와 지속가능한 혁신사슬의 수단으로서 '소재'를 선택 - 기초연구 단계부터 상용화 과정까지의 기술이전 과정을 포함하고 있으며 연구개발 과정에서 기업참여, 특히 중소기업 참여를 장려
제3기 (`04 ~ `13)	◦산업화 기술 중심 WING(Werstoffinnovation fur Industrie end Gesellechaft) - Wing 프로그램은 `04년부터 `13년까지 10년 간 약 1.2조 원 투자 계획
제4기 (`15 ~ 현재)	◦소재에서 혁신으로(From material to innovation)는 WING 프로그램과 연계되어 장기적으로 추진 - 원재제 기반 제품혁신 및 공정혁신을 통한 산업 경쟁력 증대 - 원재자 개발에 대한 사회적 수요 고려 - 기업의 R&D 증대를 위한 인센티브 조성 - 산업 및 연구 분야를 이루는 소재 및 제조능력 확정(후진양성)

3.1.4 EU¹⁵⁾

1) 소재 R&D 정책의 주요 특징

■ 연구실에서 산업과 시장으로(From Lab to Industry to Market) 연결되는 것을 최우선

- 유럽 연합은 과학과 특허 활동에서 세계 우위를 점하고 있는 것은 장점이나, 주요 기술분야와 제조업 간의 간극을 해결해야 할 문제로 인식
 - Horizon 2020 세부 내용에서도 첨단소재 분야는 산업적 리더십을 위한 전략 중 하나-기반기술 및 산업기술분야 리더십-로 분류

■ 소재 R&D를 지원하는 기술 개발의 중요성을 강조

- EU의 소재 R&D 계획과 전략은 소재개발을 위한 다양한 지원기술 분야를 다루고 있음
 - 탄소저감기술 구현을 위한 소재로드맵의 경우 연구 인프라에 대한 부분을 단독으로 다루었고, 여기에는 소재개발을 지원하는데 필수적인 시뮬레이션과 모델링, 소재 분석 등이 포함

■ 소재, 제조업, 나노기술의 연대(strong link)를 제안

- 유럽 연합은 유럽의 산업과 혁신에 파급력이 있는 총 6개의 핵심가교기술에 첨단소재(Advanced materials)를 포함시킴으로써 소재가 타 산업군 및 기술의 발전에 중요한 역할을 한다는 점을 강조
- FP7이 지원하는 유럽기술플랫폼(ETP)¹⁶⁾은 소재 분야 논의를 위해 “첨단소재공학을 위한 유럽기술플랫폼(EuMaT)”¹⁷⁾을 구축
 - ETP는 공공과 민간 자금을 의해 지원되는 유럽연합과 국가 차원의 활동을 위한 단-장기 연구 및 혁신 아젠다와 로드맵을 개발하는 산업계 중심의 이해당사자들을 위한 플랫폼
 - EuMaT는 첨단소재기술을 위한 유럽연합의 계획, 의사결정, 투자 등을 지원한다. 특히 EuMaT 로드맵은 특정 극한 환경에서 사용될 수 있는 하이브리드 소재와 개발 목표에 대해서 자세히 다루고 있으며, 기초과학 연구 분야와 지원기술(정보통신, 시뮬레이션 시스템, 소재생산기술의 개발)에 대해서도 다루고 있음

15) 소재기술백서2015(4부, 주요국 소재혁신정책 특징 및 R&D 프로그램) 자료(2015)를 토대로 재가공

16) ETP : European Technology Platform

17) EuMaT : European Technology Platform for Advanced Engineering Materials and Technologies

2) 주요 연구개발 프로그램

① Horizon 2020

■ Horizon 2020을 통해 추진하고자 하는 첨단소재분야 (예시)

- 소재 기반 기술(Cross-cutting and Enabling Materials Technologies)
- 소재 개발과 변환(Materials Development and Transformation)
- 소재 요소 관리(Management of Materials Components)
- 지속가능한 산업을 위한 소재(Materials for a Sustainable Industry)
- 창조적 산업을 위한 소재(Materials for Creative Industries)
- 계측, 분석, 표준, 품질관리(Metrology, Characterization, Standardization and Quality Control)
- 소재 활용 최적화(Optimization of the Use of Materials)

■ 유럽연합 내 소재 관련 주요 단체들인 EuMaT¹⁸⁾, E-MRS¹⁹⁾, FEMS²⁰⁾은 소재 연구의 분야별로 토론킴을 구성하여 Horizon 2020을 통해 수행할 총 8개 분야, 27개 연구주제를 도출하고 우선순위를 정해 발표

18) EuMaT : 첨단소재공학을 위한 유럽기술 플랫폼(European Technology Platform for Advanced Engineering Materials)

19) E-MRS : 유럽재료연구학회(European Materials Research Society)

20) FEMS : 유럽 재료학회 연합(Federation of European Materials Societies)

<표 3.1-4> Horizon 2020 통해 수행할 소재분야 연구주제 예시

연구 분야	주제
모델링 및 멀티스케일	첨단소재와 제조업 공정 디자인을 위한 수학모델 및 실험 하드웨어 등의 통합 소프트웨어 시뮬레이션 환경 개발
	제품 디자이너와 소재 가공업자들을 위한 표준 인터페이스 개발
	유용성과 표면, 마찰, 마모, 부식 등의 상호작용에 초점을 맞춘 소재 디자인
	신소재 구성과 공정의 연결을 위한 대용량 멀티스케일 시뮬레이션
에너지 소재	기능, 제조, 운용 등의 요구조건을 포함한 에너지 디자인을 위한 성과 기반 통합 소재
	석출 경화 기반의 새로운 고성능 금속 소재
	리튬이온 배터리를 활용한 에너지 저장용 첨단소재
	고성능 태양전지를 위한 저비용 무기-다종 나노소재 개발
나노소재	다종-다기능 소재 및 시스템을 포함한 기능성 나노코팅기능 강화를 위한 첨단 산업 연구
	공정산업을 위한 플라스마 처리를 포함하는 대규모, 저비용 나노소재 개발
	첨단 나노표면 및 표면기능기술을 위한 파일럿 라인의 공유
	적층제조시스템의 개발
	나노소재의 효과적인 사용을 위한 성공사례 공유 및 네트워크 구축
지식기반 구조소재 및 다기능소재	경량, 고성능금속 기반 구조 소재 개발
	첨단 다기능 표면처리기술 개발
	경량 탄소섬유 구조를 위한 새로운 열경화성 수지 및 열가소성 고분자 개발
	첨단 기능성 고분자 표면 기능화
생활주기, 영향력, 위험성	전통소재와 혁신소재의 통합을 위한 유럽기능센터
ICT를 위한 소재	저비용, 녹색소재, 재활용소재 등을 위한 기술
	디바이스 및 시스템을 위한 스마트하고 안전한 플랫폼으로써의 저비용 신소재 종이 개발
	다기능 압전 소재
	기능성 가변구조형/비선형 소재, 광결정/포논결정
바이오 소재	진단과 치료를 위한 바이오 소재
	뼈조직 보수를 위한 다기능성 바이오 소재
	생체활성 임플란트(심혈관계 질환용)
기타	순환경제를 위한혁신적인 소재 재활용 접근법
	폐기물에서 제품으로 소재 재활용 기술

3.1.5 중국²¹⁾

▣ 중국은 전례가 없는 속도와 규모로 과학기술에 대한 자원을 투입하여 현재 주요한 R&D Player로서 자리매김

- 중국의 소재분야 SCI 논문수는 압도적인 세계 1위이며, 논문 1편당 피인용수도 한국에 비해 높은 수준임



<그림 3.1-5> 소재분야 국가별 SCI 논문수(건)

자료 : 소재기술백서2015



<그림 3.1-6> 소재분야 국가별 논문1건당 피인용수의 세계 평균 대비 비율(%)

자료 : 소재기술백서2015

- 2013년부터 중국은 세계 1위의 소재수출국(2,525억달러)으로서 부상

※ 중국의 소재분야 수출(억달러) : 751('05) → 1,643('10) → 2,525('14)



<그림 3.1-7> 소재분야 국가별 소재수출 (억불)

자료 : 소재기술백서2015(한국산업진흥협회)

<표 3.1-5> 국가별 소재분야 세계시장 점유율(%)

독일		미국		일본		중국		한국	
2005	2014	2005	2014	2005	2014	2005	2014	2005	2014
11.2	9.3	9.6	9.5	6.5	4.7	6.0	11.0	3.5	3.8

자료 : 소재기술백서2015

- 최근 막대한 재정 지원을 통해 저위 기술 분야 뿐만 아니라 첨단 소재 분야에서 중국이 한국의 가장 큰 경쟁자로 부상

21) 소재기술백서2015(4부, 주요국 소재혁신정책 특징 및 R&D 프로그램) 자료(2015)를 토대로 재가공

※ 한-중 나노·소재분야 기술격차 : 2.5년('10) → 1.2년('12) → 1.1년('14)

※ 중국의 리튬이온 이차전지 배터리 소재 시장점유율(2014) : 양극제 55.2%, 음극제 70%, 전해제 67%, 분리막 37.6%

■ 중국은 고부가가치 제조업으로 산업구조 재편하고 있으며, 미래성장동력 분야에서 한중간 치열한 경쟁이 예상

○ 「중국제조 2025」 정책을 수립하고 2025년까지 제조강국 진입을 추진중

※ 한국의 19개 미래성장동력과 중국의 10대 중점산업은 12개 분야가 중첩이 되며, 일부 중첩업종은 6개 분야, 미중첩 1개 분야(안전산업)

<표 3.1-6> 한국의 미래성장동력과 중국의 중점산업 비교

분야	한국의 미래성장동력 (19대 분야)	중국의 중점 육성분야 (10대 중점산업)	중복 여부	구분
미래 신산업	지능형 로봇	고급 디지털 선반 및 로봇	○	공
	착용형 스마트기기	차세대 정보기술	△	공
	실감형 콘텐츠	차세대 정보기술	△	성
	스마트 바이오생산시스템	생물의약 및 고성능 의료기기	○	엔
	가상훈련시스템	차세대 정보기술	△	엔
주력산업	스마트자동차	에너지 절감 및 신에너지 자동차	△	공
	심해저 해양플랜트	해양공정장비 및 고기술 선박	○	공
	5G 이동통신	차세대 정보기술	○	성
	수직이착륙 무인기	항공우주장비	○	엔
공공복지· 에너지산업	맞춤형 웰니스케어	차세대 정보기술	○	공
	신재생 하이브리드	에너지 절감 및 신에너지 자동차	○	성
	재난안전시스템	-	X	성
	직류 송배전시스템	전력장비	△	엔
	초소형 발전시스템	전력장비	△	엔
기반산업	융복합소재	신소재	○	공
	지능형 반도체	차세대 정보기술	○	성
	사물인터넷	차세대 정보기술	○	성
	빅데이터	차세대 정보기술	○	성
	첨단소재 가공시스템	신소재	○	엔

주) (성) : 미래성장동력 단독분야(미래부) / (엔) : 산업엔진 단독분야 (산업부) / 공) : 공동추진분야 (미래부, 산업부)

자료 : 「미래성장동력 종합실천계획」 (산업통상자원부·미래창조과학부(2015),
「중국제조 2025 전략과 시사점(KOTRA, 2015)」

○ 신소재 산업 육성, 핵심 기초 소재·부품의 자급률* 향상을 추진하고 있어 한국의 소재분야 산업의 위기감이 고조

※ 소재·부품의 자급률 목표 : 40%('20) → 70%('25)

<중국 소재부품 자급률 향상이 국내 경제에 미치는 영향>

○ 최근 중국의 중간재(소재·부품, 장비 등) 제조 역량 강화로 중국경제의 China Inside* 현상이 가속화되고 있으며, 향후 對중국 수출 부진 우려 확대**

* 완제품 제조에 사용되는 중간재 부문에서 중국산 비중이 증가하는 현상

** 중국의 중간재 투입 자급률이 1%p 상승할 경우 한국의 對중국 수출은 8.4%, GDP는 0.5% 감소하는 것으로 나타남(출처 : 현대경제연구원, 2015)

<참고 1> 중국의 소재분야 정책, 기술 및 산업동향²²⁾

① 신소재 정책동향

- (목표) 기술혁신을 통해 소재의 '공업대국'에서 '공업강국'으로 전환 추진
 - (2015년) 신소재 산업 시스템 구축 및 핵심소재와 기술 확보
 - (2020년) 신소재 산업을 국가경제 주력산업으로 발전
- (추진내용) 혁신역량 제고 및 성과의 산업화 추진을 위한 '10대 신소재 프로젝트' 추진
- (국가 전략적 산업화) 7대 전략적 신흥사업 육성 정책
 - 신소재 산업을 포함한 7개 분야를 국가 신성장동력으로 선정하여 집중 육성·발전
 - (목표) 신소재, 복합재료, 기초재료 연구 및 산업화를 통해 소재산업의 대외 의존도 탈피하고 시장경쟁력 강화
 - (2015년) 독자적 기술력 확보를 통한 신소재 자급률 제고
 - (2020년) 세계 수준의 대량 생산 기술확보 및 시장 경쟁력 확보
 - (추진내용) 새로운 소재, 첨단 소재, 복합소재의 기술 경쟁력 향상을 통해 산업의 고도화 추진
- (혁신국가 건설) '국가 13차 5개년 계획'
 - (목표) 첨단기술을 통한 산업 혁신 및 신 성장동력 확보
 - 기초소재의 국산 자급률 제고와 스마트 공정을 통한 제조업 경쟁력 강화
 - (중점 추진 분야) '중국제조 2025'의 10대 핵심산업인 신소재, 반도체 등 하이테크 산업 중점 육성
 - 4대 공업기초(원료, 기초부품, 기초소재, 기초 가공기술) 공정계획 추진
 - (추진내용) 중국의 풍부한 지원을 활용한 소재산업 개선과 첨단산업을 위한 그래핀 등 신소재개발 중점 추진

② 신소재 기술 동향

- (기술역량) 기술제휴 및 인수합병, 정부의 적극적 투자 등을 통해 세계적 수준에 근접할 정도로 빠르게 성장
- (R&D투자) 중국 정부의 R&D 투자 확대를 통해 기초과학 역량 강화
 - '00년~'14년 중 연평균 21.2%증가(GDP대비 비중이 0.9%에서 2.1%로 상승)
 - 2019년 미국을 제치고 R&D투자 1위가 될 것으로 예측(참고2-1 참조)

- 기초·응용 연구보다 개발연구(84.5%)에 대한 투자비중이 절대적으로 높음
- (SCI논문) 중국 연평균 증가율(14.3%)로 세계 평균(6.4%)보다 2배 정도 높음
 - (논문순위) 중국(22,381편), 미국(10,279편), 한국(5,404편), 인도(4,644편), 일본(4,321편)순으로 나타남(2013년기준)
 - 중국이 1위인 기술분야는 금속, 세라믹, 고분자, 융복합소재, 표면기술
 - 미국은 나노기술, 생체소재, 특성평가 분야 기술에서 1위를 나타냄
- (미국등록특허) 중국 특허는 2010년까지 미비하다가 '제12차 5개년 계획' 기간('11~15)부터 급증 추세
 - (특허순위) 미국(3,244), 일본(2,045), 독일(781), 한국(345), 중국(126)
 - (기술력지수²³) 미국(4,370), 일본(1,796), 독일(122), 한국(132), 중국(31)
 - (시장확보지수²⁴) 독일(6.9), 일본(5.1), 미국(5.0), 한국(4.1), 중국(3.5)

③ 신소재 산업 동향

- (기반: 신소재 산업 체계 구축) 신소재 기술발달은 국방분야에서 시작되었고, 정부의 꾸준한 정책추진으로 여러분야에 확대·응용되어, R&D, 생산, 응용 등을 포함한 산업체계 형성
- (분포: 소재산업 지역 분업화) 기존 소재공업 현황, 인력조달 환경, 시장수요 및 자원분포 등에 근거하여 지역 특색에 맞는 신소재 산업 발전
- (융합: 다양한 학문, 산업과 교류·결합) 다양한 학문과의 융합을 통해 신소재 기능 강화와 산업에 활용, 신소재와 기초소재 산업간 연계가 강화되고 기술과 부품제조 산업이 통합되어 발전
- (인프라: 소재산업의 경쟁력 확보) 풍부한 자원과 거대한 내수시장 및 정부의 적극적인 지원 정책을 통해 희토류, 유기실리콘, 특수알루미늄, 유리섬유 및 복합소재 등 생산량 세계 선두
- (산업규모) 21세기 들어 신소재 산업규모 지속 확대
 - ※100억위안 미만('00년) → 5500억위안('10년) → 2조위안('15년 예측)
 - ※신소재 총 생산액 중 전자정보 소재(22.7%), 신에너지 소재(18%), 화학공업 소재(3.6%), 바이오 소재(27.7%), 기타 신소재 28% 차지

<참고 2> 중국13차 5개년 계획 및 중국제조 2025와 시사점²⁵⁾

- 중국의 제조강국 도약을 목표로 한 정책 추진은 한-중 간에 경쟁구도를 형성하는 동시에 협력 기회를 창출

구분	주요 내용
13차 5개년 (2016-2020) 계획 (2015)	- 경제성장률 : 6.5% 이상 목표 * 주요 연구기관은 중국의 잠재성장률을 6.2~6.8% 전망 - 산업발전전략 － 추진방향: 新성장동력 육성, 新산업체계 구축, 저탄소/순환산업 육성 등 제시 ① 新성장동력 육성 : 신흥산업* 발전, 인터넷경제**을 제시 * 신흥산업 : 에너지절약·환경보호, 바이오기술, 정보기술, 스마트제조, 첨단장비, 신에너지 등 ** 인터넷경제 : 국가 빅데이터 전략, 사물인터넷(IOT) 기술 응용, 차세대 인터넷 보급을 통해 인터넷 경제를 발전시킴 ② 新산업체계 구축 : ‘중국제조 2025’ 실시(아래 참조), 전략적(신흥) 산업 육성²⁶⁾, 스마트 제조 등 제시 ③ 저탄소·순환산업 육성 : 비화석 에너지 비중 제고, 저탄소 운송 및 건설, 탄소배출권 통제 등을 통한 저탄소·순환발전 추진
중국제조 2025 (2015)	- 목표 : 2025년까지 제조강국 진입 (세계 제조업 2강 대열) - 신소재 등 10대 중점산업²⁷⁾ 육성 * 신소재산업 발전 방향 : 특수 금속 기능성 재료, 고성능 구조재료, 기능성 고분자재료, 특수 무기질 비금속재료, 첨단복합재료를 중점적으로 발전 - 산업구조 고도화를 위한 제조업 혁신 － 제조업 혁신센터(산업기술연구기지)를 설립 : 15개(‘20) → 40개(‘25) * 분야 : 차세대 정보기술, 지능형 생산 시스템, 3D 프린팅, 신소재, 바이오의약 등 ** 추진내용 : 업종별 기초기술 및 핵심기술 연구개발, 연구 성과의 상용화, 인재육성 등 － 제조업의 기초 기술 및 역량을 강화 * 핵심 기초부품, 기초소재의 자급률 제고 : 40%(‘20) → 70%(‘25) ☞ 소재부품의 對중국 수출 감소가 불가피 ** R&D 규모 확대 : 4,570억 위안(‘08) → 1조 3,312억 위안(‘14) (3배 증가)
시사점	- 중국의 발전 및 대외 정책여건상 「중국제조 2025」는 성공할 가능성이 높으며²⁸⁾, 미래성장동력 분야에서 양국 간의 경쟁이 치열해질 전망 * 한국의 19개 미래성장동력과 중국의 10대 중점산업은 12개 분야가 중첩이 되며, 일부 중첩업종은 6개, 중첩이 없는 업종은 1개(다음 페이지 표 참조) - 차세대 정보기술, IoT, 로봇, 3D 프린팅, 스마트 제조, 신에너지 자동차, 전력 장비 등 미래성장동력 산업에서 한-중간의 협력기회 확대

자료 : 「중국 13차 5개년 계획의 주요내용과 시사점」(대외경제정책연구원, 2015), 「중국제조 2025」(산업연구원, 2015),

「13차 5개년 계획으로 본 중국 경제의 방향」(현대경제연구원, 2015) 자료를 참고하여 정리

23) 기술력 지수 : 미국특허청에 등록된 특허의 양·질적 측면 모두 고려한 지표로 클수록 기술력이 높음

24) 시장확보지수 : 미국특허청에 등록된 소재분야 특허 패밀리수로 특허의 경제적 가치를 평가

25) 국가나노기술정책센터(2016) 정리

26) 중국정부는 2012년 에너지절약·환경보호, 신흥정보산업, 바이오 산업, 첨단장비, 신에너지, 신재료, 신에너지자동차 등 7대 전략성 신흥산업을 설정하고, 2020년 전략적 신흥산업의 GDP 대비 비중을 15%로 끌어올린다는 목표를 설정함(국무원 “12.5” 국가전략성 신흥산업 발전 계획 통지, 2012)

27) 10대 중점 육성 산업 : 차세대 정보기술, 고정밀 수치제어 및 로봇, 항공우주장비, 해양장비 및 첨단기술 선박, 선진 케도교통설비, 에너지절약 및 신에너지자동차, 전력설비, 농업기계장비, **신소재**, 바이오의약 및 고성능 의료기기

28) KOTRA, 중국제조 2025 전략과 시사점, 2015

3.1.6 소재연구의 글로벌 트렌드

■ 기초기술과 소재, 시스템 기술의 전주기적 R&D 강조

- 소재자체의 합성과 물성 최적화만을 수행하는 단편적 소재연구에서 벗어나 소재의 설계에서 합성, 최적화 및 응용기술 개발 등 각 단계가 유기적으로 연계되는 전주기적 R&D를 통한 효율적인 소재개발을 지향
- 미국 MGI(Materials Genome Initiative)는 기초연구, 개발연구, 물성 최적화, 시스템 적용, 검증, 양산, 제품출시 등 순차적으로 진행되던 소재의 R&D 과정을 ICT 인프라를 통해 유기적으로 진행되도록 추진



<그림 3.1-8> MGI가 추구하는 소재 R&D의 개념

- 유럽 EMMC(European Materials Modeling Council)에서는 산업체에서 필요로 하는 컴퓨터 모델링 이슈를 발굴하고 컴퓨터 모델링에 의한 연구개발 결과의 의미를 산업체에 전달하는 역할을 수행하는 소위 translator를 양성함으로써 소재 R&D 단계의 유기적 진행을 촉진
- 일본은 WPI(World Premier Institute) NIMS-MANA (International Center for Materials Nanoarchitectonics, <http://www.nims.go.jp/mana>) 등은 모델링과 컴퓨터 시뮬레이션부터 소재응용의 핵심기술 개발까지 하나의 유기적 조직내에서 연구하는 체제



<그림 3.1-9> NIMS-MANA의 연구개발 전략 및 비전

■ ICT와의 융합과 R&D 플랫폼을 통한 효율적 소재연구

- 계산과학, 소재정보학 등을 소재탐색, 설계 등에 적극 도입하고, 나노랩 등 공공 인프라의 활용을 통해 개발 효율 증진 도모
 - 미국 MGI, Molecular Foundry, EU Horizon2020, 5+1 Program 등
- 2015년 이후 소재 빅데이터에 기반한 소재개발의 중요성이 전세계적으로 강조
 - 미국 “Rise of Data in Materials Research’ Forum, NIST materials data center, 독일 Novel Materials Discovery (NoMaD) COE 사업, 일본 NIMS Center for Materials Research by Information Integration (CMII-I) 등



<그림 3.1-10> NIMS-CMII-I의 Data driven materials research의 개념도

- 소재공정, 특성분석, 모델링 및 소재이론이 융합된 소재개발 플랫폼의 구축과 활용을 통한 효율화
 - MIP(Materials Innovation Platform) program 등
 - ※ MIP 프로그램 : 새로운 혁신 소재의 개발에 필요한 첨단 연구개발 기법들을 제공하는 중규모의 다학제간 융합연구 플랫폼을 구축하는 사업으로서, 특정 소재의 연구개발 아이디어를 구현할 재료의 합성, 분석, 이론 및 모델링의 연구가 closed-loop을 이루어 소재개발을 진행하는 사업 (5년간 10백만불~25백만불 규모의 과제로 지원)

<참고 3> 미국 소재혁신 플랫폼 사업



- NSF Division of Materials Research의 사업으로 2016년 착수
 - 5년간 10M~25M\$ 범위에서 지원하고 1차례 갱신 가능 (최대 10년)
 - 2016년 현재 Penn State Univ. (<https://mip.psu.edu>) 와 Cornell 대학 컨소시엄 (<http://paradim.cornell.edu/>) 이 선정
- 고성능의 장비와 기술개발 역량을 결합한 중규모의 국가적 R&D 인프라를 구축 제공하는 사업
- 특정 핵심 소재 (grand challenge materials) 분야에서의 성과도출을 목표로 하고 있으며 합성과 분석 그리고 이론적 연구가 유기적으로 연동되었을 때 효과적으로 연구성과를 도출할 수 있는 분야를 선정하여 지원
- MIP는 특정 소재의 연구와 관련된 첨단 장비와 함께 각종 데이터 시뮬레이션 기법, 시편들을 활용할 수 있는 공용시설이면서 동시에 첨단 기법들의 개발을 수행하는 연구조직으로 기능
- MIP 추진전략 5 요소
 1. 국가적 중요성을 가진 소재에 대한 목표지향적 플랫폼
 2. 합성, 분석, 이론/모델링 3 영역의 유기적 융합 연구를 통한 발전 추구
 3. 장비, 전문가, 데이터 및 신소재를 공개하는 사용자 facility
 4. 자체연구와 외부사용자에 의한 연구를 통한 시너지 창출
 5. 새로운 소재연구에 대한 교육과 파급

■ 소재 기술의 지속 가능성 고려

- 소재의 성능·가격뿐 아니라 자원 고갈 및 유해 원소로 인한 환경파괴 등 문제를 고려하는 방향으로 패러다임 전환 추구

※ EU SPIRE 프로그램 : '30년까지 화석 연료 사용 최대 30% 감소, 재생 불가능한 원소 사용 최대 20% 감소, CO2 효율성 최대 40% 향상 목표

<표 3.1-7> 주요국의 소재기술혁신 특징 비교

	미국	일본	독일	유럽연합(EU)
주요 특징	- 소재 연구개발을 뒷받침하는 인프라기술(infra-technology) 개발 중심 - 부처별·기관별 미션 달성을 위한 소재 개발에 중점 - 제조업 리더십을 위해 소재 혁신이 중요하다고 여김 - 다부처 연계 R&D 활동	- 산업의 성공에 초점을 맞춤 - 소재 혁신을 사회·경제적 수요에 사용하고자 함 - 소재, 제조업, 나노기술의 연계 - 나노기술은 일본 정부의 특별 관심 분야 - 소재 연구와 관련된 기술 개발(시뮬레이션, 측정, 분석) 및 지원에 관심을 보임	- 산업계 지원 중심 - 소재혁신을 사회·경제적 수요에 사용하고자 함 - 제조업 연계를 반드시 고려 - 연구개발을 지원하는 기술(시뮬레이션 등) 증진에 관심을 보임 - 신소재 뿐만 아니라 전통적인 소재의 연구개발도 중요하게 고려	- 소재 분야 2개의 대단위(large scale) 로드맵이 존재하나 특정 응용분야에 국한되어 있음 - 소재 R&D를 지원하는 기술 개발의 중요성을 강조 - 소재, 제조업, 나노기술의 연대(strong link)를 제안
주요 R&D 프로그램	Materials Genome Initiative National Nanotechnology Initiative	혁신적 신구조재료 기술개발 신소형재 산업비전	WING 프로그램 소재에서 혁신으로 (WING 후속)	Horizon 2020 Materials Value Initiative

국내 현황

- 소재산업은 고부가가치 미래산업이나 국내산업은 담보상태에 있음
- 소재분야 국가연구개발은 양적 성장에 비해 질적 성장이 미흡
- 범용소재 기술수준은 높으나 첨단소재에 대한 해외의존도 높음

3.2.1. 소재산업 현황

▣ 전체 제조업에서 소재산업의 위치

- 2014년 기준 소재산업과 소재산업을 제외한 타 제조업 전체를 살펴보면 국내 소재산업은 사업체수와 종업원수에 비해 높은 생산액과 부가가치액을 창출
 - 사업체수(11.0%)와 종업원수(13.3%)가 차지하는 비중에 비해 생산액(17.7%) 및 부가가치액(19.9%) 비중이 높으며, 이는 소재산업이 타 제조업 평균 대비 생산기여 및 부가가치 창출이 높은 고부가가치 기술산업임을 알려줌



<그림 3.2-1> 2014년 전체 제조업 상에서 소재산업의 현황

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

○ 2014년 기준 소재산업의 생산액 대비 부가가치율은 타 제조업 대비 높은 수준

- 소재산업 생산액은 263조원에 달하며, 부가가치율은 96조원으로 생산액 대비 부가가치율이 36.7%인 반면 타 제조업 평균은 31.6%에 불과함

<표 3.2-1> 2014년 전체 제조업 상에서 소재산업 및 타 제조업의 현황

산업분류		구분	사업체수 (개)	종업원수 (천명)	생산액 (조원)	부가가치액 (조원)	생산액 대비 부가가치액(%)
제조업			68,640	2,905	1,489	484	32.5
	소재산업		7,549	386	263	96	36.7
	타 제조업		61,091	2,519	1,226	388	31.6

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

○ 2010~2014년에 걸친 분석결과, 소재산업의 사업체수/생산액/부가가치액의 연평균 증가율은 타 제조업 평균에 미달함

- 타 제조업 평균의 사업체수(2.5%)/생산액(3.0%)/부가가치액(3.0%) 연평균 증가율 대비 소재산업의 사업체수(1.5%)/생산액(1.6%)/부가가치액(1.8%)의 연평균 증가율이 상대적으로 낮아 타 제조업 대비 성장 추세가 떨어짐

<표 3.2-2> 2010~2014년 전체 제조업 상에서 소재산업 및 타제조업 현황

산업/항목		연도	2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
제조업	사업체수(개)		62,376	63,407	63,097	65,389	68,640	2.4
	종업원수(천명)		2,636	2,695	2,754	2,814	2,905	2.5
	생산액(조원)		1,335	1,502	1,511	1,496	1,489	2.8
	부가가치액(조원)		435	480	481	479	484	2.7
소재 산업	사업체수(개)		7,112	7,105	7,298	6,872	7,549	1.5
	종업원수(천명)		351	358	376	363	386	2.4
	생산액(조원)		247	289	282	244	263	1.6
	부가가치액(조원)		90	99	106	98	96	1.8
타 제조업	사업체수(개)		55,264	55,942	55,799	58,517	61,091	2.5
	종업원수(천명)		2,285	2,337	2,377	2,450	2,519	2.5
	생산액(조원)		1,088	1,213	1,230	1,252	1,226	3.0
	부가가치액(조원)		345	381	375	381	388	3.0

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

■ 소재산업의 생산성

- 소재산업은 타 제조업 대비 사업체·종업원 당 생산 및 부가가치 창출 수준이 높음
 - 소재산업의 사업체 당 생산액(348.5억원)은 타 제조업 평균(200.7억원)의 1.7배에 달하며, 종업원 당 생산액(6.8억원)도 타 제조업 평균(4.9억원) 보다 높음
 - 소재산업의 사업체 당 부가가치액(127.7억원)은 타 제조업 평균(63.5억원)의 2배에 달하며, 종업원 당 부가가치액(2.5억원)은 타 제조업 평균(1.5억원) 보다 높음

<표 3.2-3> 2014년 사업체 1개당 및 종업원 1인당 생산성 현황

구분 산업분류	사업체 1개당			종업원 1인당	
	종업원수 (명)	생산액 (억원)	부가가치액 (억원)	생산액 (억원)	부가가치액 (억원)
제조업	42	217.0	70.6	5.1	1.7
소재산업	51	348.5	127.7	6.8	2.5
타 제조업	41	200.7	63.5	4.9	1.5

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

- 2010~2014년에 걸친 소재산업 및 타 제조업 평균에 대한 생산성 추이를 살펴보면, 소재산업은 생산성의 연평균증가율이 타 제조업 평균에 미달함
 - 소재산업의 생산성에 대한 연평균증가율 분석 결과, 일부 항목(종업원당 생산액/부가가치액)에서 생산성이 정체되거나 오히려 감퇴하는 경향을 보임

<표 3.2-4> 2010~2014년 사업체 1개당 및 종업원 1인당 생산성 현황

산업/항목		연도	2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
제조업	사업체당 생산액(억원)		214.0	238.3	236.5	228.7	217.0	0.3
	사업체당 부가가치액(억원)		69.8	76.2	75.2	73.3	70.7	0.3
	종업원당 생산액(억원)		5.1	5.6	5.5	5.3	5.1	0.3
	종업원당 부가가치액(억원)		1.7	1.8	1.8	1.7	1.7	0.2
소재 산업	사업체당 생산액(억원)		347.5	406.9	385.6	355.0	348.5	0.1
	사업체당 부가가치액(억원)		126.4	139.2	144.6	143.1	127.7	0.3
	종업원당 생산액(억원)		7.1	8.1	7.5	6.7	6.8	- 0.8
	종업원당 부가가치액(억원)		2.6	2.8	2.8	2.7	2.5	- 0.6
	사업체당 생산액(억원)		196.8	216.9	220.4	213.9	200.7	0.5
	사업체당 부가가치액(억원)		62.5	68.2	67.2	65.1	63.5	0.4
	종업원당 생산액(억원)		4.8	5.2	5.2	5.1	4.9	0.6
	종업원당 부가가치액(억원)		1.5	1.6	1.6	1.6	1.5	0.5

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

■ 소재산업 관련 무역현황

- 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 무역현황 분석결과, 전체 산업수출에서 소재산업이 차지하고 있는 비중이 줄어들고 있음
 - 2011년 전체 수출액 대비 소재산업 수출액의 비중은 16.5%에 달했으나 2014년에는 15.4%로 감소함
 - ※ 2015년에도 14.6%로 지속적 감소 추세



<그림 3.2-2> 2010~2014년 전체 산업수출 중 소재산업의 비중

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

- 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 무역현황 분석결과, 수출/수입에 있어 소재산업은 타 사업보다 연평균 성장률이 낮아 성장이 둔화되고 있음

<표 3.2-5> 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 관련 무역현황

연도		2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
수출	전체 산업(억불)	4,664	5,552	5,478	5,596	5,727	5.3
	소재산업(억불)	739	916	878	855	880	4.5
	타 산업(억불)	3,925	4,636	4,600	4,472	4,847	5.4
수입	전체 산업(억불)	4,252	5,244	5,196	5,156	5,255	5.4
	소재산업(억불)	618	714	659	635	656	1.5
	타 산업(억불)	3,635	4,531	4,536	4,521	4,599	6.1
무역수지	전체 산업(억불)	412	308	282	440	472	3.4
	소재산업(억불)	121	202	218	220	224	16.7

		)						
		타 산업(억불)	291	106	64	220	247	- 4.0

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

- 소재분야 대일 무역수지는 지속적인 적자에 있으나 점차 적자폭을 줄이고 있음
 - 2010년 대일 무역수지는 142억불 적자였으나 2014년에는 86억불로 적자폭 감소※
 - 2015년 무역수지는 -66억불로 적자폭 지속 감소 추세



<그림 3.2-3> 2010~2014년 소재분야 전체 무역수지 대비 對일본 무역수지

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

- 소재분야 대중 무역수지는 지속적인 흑자에 있으나 점차 흑자폭이 줄고 있음
 - 2010년 대중 무역수지는 85억불 흑자였으나 2014년에는 38억불로 흑자폭 감소※
 - 2015년 무역수지는 +31억불로 흑자폭 지속 감소 추세



<그림 3.2-4> 2010~2014년 소재분야 전체 무역수지 대비 對중국 무역수지

※ 출처 : 산업통상자원부(소재·부품종합정보망 <http://www.mctnet.org>) 통계자료('16.8.3)

▣ 소재산업 관련 기술무역현황

- 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업에 대한 기술무역현황 분석결과, 전체 기술도입액 중 소재분야의 비중이 점차 감소하고 있음
- 2010년 전체 기술도입액 대비 소재산업의 비율이 8.0%에 달했으나 2014년에는 전체의 1.9%로 지속적으로 감소하고 있음



<그림 3.2-5> 2010~2014년 전체 산업분야 기술도입액 중 소재분야의 비중

※ 출처 : 미래창조과학부/한국산업기술진흥협회(2012~2014년도 기술무역통계보고서)

- 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 무역현황 분석결과, 소재분야의 기술수출은 미진한 반면 기술도입액이 지속적으로 감소함으로 인해 기술무역수지 적자폭이 줄어드는 추세에 있음

<표 3.2-6> 2010~2014년 전체 산업 및 소재산업 관련 기술무역현황

항목/산업		연도	2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
기술수출	전체 산업(백만불)		3,345	4,032	5,311	6,846	9,765	30.7
	소재산업(백만불)		2	1	13	10	21	73.6
	타 산업(백만불)		3,343	4,031	5,298	6,36	9,744	30.7
기술도입	전체 산업(백만불)		10,234	9,901	11,052	12,038	15,540	11.0
	소재산업(백만불)		821	443	227	255	291	- 22.8
	타 산업(백만불)		9,413	9,458	10,825	11,783	15,249	12.8
기술무역 수지	전체 산업(백만불)		- 6,889	- 5,868	- 5,741	- 5,193	- 5,775	- 4.3
	소재산업(백만불)		- 478	- 820	- 430	- 218	- 291	- 11.6
	타 산업(백만불)		- 6,411	- 5,049	- 5,311	- 5,193	- 5,775	- 3.8

※ 출처 : 미래창조과학부/한국산업기술진흥협회(2012~2014년도 기술무역통계보고서)

3.2.2. 소재연구개발 현황

■ 소재분야 국가연구개발 투자현황

- 2015년 국가연구개발사업 투자액 중 중 소재분야 총 투자액은 6,865억원으로 인문사회분야를 제외한 전체 투자액(17.5조원)에서 차지하는 비중은 3.92%
- 전년도 대비 소재분야 투자액은 6.0%(391억원)이 증가하였으며 전체 대비 소재분야 투자 비중은 0.05% 감소



<그림 3.2-6> 소재분야 국가연구개발사업 투자액 및 비중

※ 출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2011~2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 2011~2015년 기간에 대한 소재분야 국가연구개발사업 투자액의 연평균 증가율은 7.3%로 동기간 전체 평균(6.5%)을 상회하고 있음

<표 3.2-7> 2011~2015년 전체 대비 소재분야 국가연구개발사업 투자액 현황

투자분야 \ 연도	2011	2012	2013	2014	2015	연평균 증가율(%)
전체 분야(억원)	136,107	146,795	156,204	163,147	175,199	6.5
소재분야(억원)	5,174	5,619	6,024	6,474	6,865	7.3

※ 출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2011~2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 2015년 부처별 소재분야 투자액은 산업통상자원부가 3,430억원(50.0%)와 함께 미래창조과학부가 2,151억원(31.3%)로 전체의 81.3%로 대부분을 차지함
- 다음으로 중소기업청(669억원, 10%), 교육부(253억원, 4%), 방위사업청(246억원, 3%), 기타(116억원, 2%) 순임



<그림 3.2-7> 2015년 부처별 소재분야 연구개발 투자현황

※ 출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 2012~2015년 기간에 대한 부처별 소재분야 투자현황 분석결과, 미래부 투자액의 연평균 증가율이 10.2%로 가장 활발하게 투자를 확대하고 있음

<표 3.2-8> 2012~2015년 소재분야 국가연구개발사업의 부처별 투자 현황

구분		2012	2013	2014	2015	연평균 증가율(%)
투자액	산업통상자원부	2,963	3,177	3,501	3,430	5.0
	미래창조과학부	1,608	1,679	1,850	2,151	10.2
	중소기업청	508	533	549	669	9.6
	교육부	263	253	237	253	- 1.3
	방위사업청	159	228	237	246	15.7
	기타	118	155	122	116	- 0.6
	합계	5,619	6,024	6,474	6,865	6.9
비중	산업통상자원부	52.7	52.7	54.1	50.0	-
	미래창조과학부	28.6	27.9	28.6	31.3	-
	중소기업청	9.0	8.8	8.5	9.7	-
	교육부	4.7	4.2	3.7	3.7	-
	방위사업청	2.8	3.8	3.7	3.6	-
	기타	2.1	2.6	1.9	1.7	-
	합계	100.0	100.0	100.0	100.0	-

※

출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 2011~2015년 기간에 대한 연구개발 단계별 소재분야 투자액 비중 확인 결과, 개발연구 비중이 가장 높았으며 그 뒤로 기초연구, 응용연구 순

※ 기타 분류는 제외한 상태에서 단계별 비중 확인



<그림 3.2-8> 2011~2015년 연구개발 단계별 소재분야 투자액 비중

※ 출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 2011~2015년 기간에 대해 개발연구 투자액의 연평균 증가율이 8.4%로 가장 높았으며 그 다음으로 응용연구(5.3%), 기초연구(5.0%) 순

<표 3.2-9> 2011~2015년 연구개발 단계별 소재분야 투자현황

구분		2011	2012	2013	2014	2015	연평균 증가율(%)
투자액	기초연구(억원)	1,354	1,335	1,335	1,335	1,643	5.0
	응용연구(억원)	871	1,051	1,197	1,217	1,071	5.3
	개발연구(억원)	2,302	2,575	2,766	2,954	3,178	8.4
	기타(억원)	646	658	726	968	974	10.8
	합계(억원)	5,174	5,619	6,024	6,474	6,865	7.3
비중	기초연구(억원)	26.2	23.8	22.2	20.6	23.9	—
	응용연구(억원)	16.8	18.7	19.9	18.8	15.6	—
	개발연구(억원)	44.5	45.8	45.9	45.6	46.3	—
	기타(억원)	12.5	11.7	12.1	15.0	14.2	—
	합계(억원)	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	—

※ 출처 : 미래창조과학부/한국과학기술평가원(2015년도 국가연구개발사업 조사·분석보고서)

- 산업부는 응용/개발연구를 중심으로 투자하고 있으며, 미래부는 기초/응용연구 중심을 투자를 진행하고 있음
 - 중기청의 경우 대부분이 개발연구이며 교육부의 경우 기초연구 비중이 높음



<그림 3.2-9> 2014년 연구개발 단계별/부처별 소재분야 투자현황
※ 출처 : NTIS (NTIS Cloud 원시 데이터 분석결과)

- 미래부와 산업부는 각각 소재의 기초원천기술 영역과 소재 응용산업화 기술 영역에서 소재 R&D 프로그램을 추진
 - (산업부) 주력산업의 경쟁력 강화 및 이머징산업의 시장선도 경쟁력 확보를 지향하고 있으며 소재 개발에 있어서도 관련 산업에 대한 목적성이 강함
 - ※ 주요사업인 소재부품기술개발사업의 경우 '15년 기준으로 기업(대/중견/중소)이 전체 수행과제의 92.29%를 차지하고 있음(출처 : NTIS)
 - (미래부) 미래 신산업(챌린징산업) 창출을 지향하고 있으며 이를 위한 기반기술 확보 및 원천소재 개발을 지향
 - ※ (기초연구 강화) 대학 중심 소규모 씨앗뿌리기 기초연구 확대를 통한 창의 아이디어 육성, (미래소재디스커버리 사업) 신 연구방법론에 기반한 지속적 미래원천소재 발굴체계 확립



<그림 3.2-10> 국내 소재분야 정부연구개발사업의 TRL 단계별 분포

- 소재분야 연구과제 중 2억원 미만의 소액과제가 전체의 60% 이상을 차지하며, 과제별 평균 연구기간은 3년에 불과하여 단기소액과제가 다수를 차지함
 - 2014년 기준, 국가과학기술표준분류상 재료분야에 해당하는 2,608개 과제 중 1,569개 과제가 2억원 미만 과제(60.2%)
 - ※ 출처 : NTIS(NTIS Cloud 원시 데이터 분석결과)
 - 소재 연구개발 과제별 평균 연구기간은 3년에 불과
 - ※ 출처 : 국가과학기술자문회의 보고자료(미래 신시장 선점을 위한 소재기술 혁신방안, 2015)

■ 소재분야 논문성과 현황

- 2010~2014년 기간에 대한 한국의 SCI 논문 현황 분석 결과, 소재분야는 전체 분야 대비 높은 세계 순위와 세계 점유율을 나타내고 있음
- 2014년 기준으로, 한국은 전체 분야(순위 12위, 점유율 3.3%)보다 소재분야(순위 3위, 점유율 7.1%)에서 높은 연구수준을 보유
- 최근 5년간 연평균 증가율에 있어서도 소재분야(12.6%)로 전체분야(7.1%) 대비 성장 추세에 있음

<표 3.2-10> 2010~2014년 전체 분야 및 소재분야에 대한 한국의 SCI 논문 현황

구분		2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
전체 분야	한국 논문수(건)	414,99	45,708	49,897	51,294	54,691	7.1
	세계 순위(위)	11	11	10	12	12	—
	세계 점유율(%)	3.0	3.2	3.5	3.4	3.3	—
소재 분야	한국 논문수(건)	3,592	4,484	4,846	5,461	5,776	12.6
	세계 순위(위)	5	4	3	3	3	—
	세계 점유율(%)	6.9	7.5	7.6	7.5	7.1	—

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)



<그림 3.2-11> 2010~2014년 전체 분야 대비 소재분야 SCI 논문 현황(한국)

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

○ 한국의 소재분야 SCI논문은 양적으로는 높은 순위를 나타내고 있으나 논문의 인용빈도수와 같은 질적 지표상으로는 이에 못 미치고 있음

- 주요국 및 세계 평균과 한국의 논문 1편당 피인용수 추이를 살펴보면, 한국은 세계 평균과 유사하거나 약간 상회하는 수준에 머무르고 있음

<표 3.2-11> 2010~2014년 소재분야의 국가별 논문 1편당 피인용수 추이

국가명	2010	2011	2012	2013	2014	순위 (2013)
미국	19.7	14.4	9.4	4.8	1.0	1
영국	15.4	11.2	8.0	4.2	0.9	2
독일	15.1	10.5	6.7	3.7	0.8	3
프랑스	11.8	9.2	6.3	3.2	0.7	4
한국	12.1	9.0	6.3	3.1	0.6	6
대만	10.4	7.9	6.3	2.8	0.6	7
중국	11.1	9.0	6.8	3.4	0.7	5
일본	10.4	8.2	5.8	2.8	0.6	7
인도	8.4	6.6	4.7	2.6	0.5	8
러시아	4.0	2.8	2.3	1.4	0.3	9
전세계	11.2	8.6	6.0	3.1	0.6	-

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

■ 소재분야 특허성과 현황

- 2010~2014년 기간에 대한 한국의 미국등록특허 현황 분석 결과, 소재분야는 전체 분야와 유사한 세계 순위와 세계 점유율을 나타내고 있음
 - 2014년 기준으로, 한국은 전체 분야(순위 4위, 점유율 5.5%)와 소재분야(순위 4위, 점유율 4.8%)에서 유사함
 - 최근 5년간 연평균 증가율에 있어서는 소재분야(21.8%)로 전체분야(9.0%) 대비 두 배 이상 빠른 성장 추세에 있음

<표 3.2-12> 2010~2014년 전체 분야 및 소재분야에 대한 한국의 미국등록특허 현황

구분		2010	2011	2012	2013	2014	연평균 증가율(%)
전체 분야	한국등록특허(건)	11,671	12,262	13,233	14,548	16,469	9.0
	세계 순위(위)	4	3	4	4	4	—
	세계 점유율(%)	5.3	5.5	5.2	5.2	5.5	—
소재 분야	한국등록특허(건)	212	259	292	345	466	21.8
	세계 순위(위)	4	4	4	4	4	—
	세계 점유율(%)	3.2	3.9	4.0	4.3	4.8	—

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)



<그림 3.2-12> 2010~2014년 전체 분야 대비 소재분야 미국등록특허 현황(한국)

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

- 한국의 미국등록특허는 양적으로는 높은 순위를 나타내고 있으나 특허의 피인용수, 영향력지수, 기술력지수와 같은 질적 지표상으로는 이에 못 미치고 있음
- (피인용수) 주요국 및 세계 평균과 한국의 특허 피인용수 추이를 살펴보면, 한국은 세계 평균보다 낮은 피인용수를 나타내고 있음

<표 3.2-13> 2010~2014년 소재분야의 특허당 피인용수 추이(미국 특허청)

국가명	2010	2011	2012	2013	2014	평균
미국	2.42	1.76	1.22	0.6	0.24	3.45
일본	1.52	1.02	0.65	0.3	0.12	2.08
독일	1.75	0.99	0.66	0.24	0.08	2.16
한국	1.53	0.77	0.68	0.27	0.07	1.56
프랑스	1.6	0.81	0.57	0.31	0.08	1.49
영국	1.19	1.35	0.9	0.2	0.09	1.76
중국	1.56	1.07	0.42	0.21	0.05	2.04
전 세계	1.89	1.47	0.8	0.69	0.25	2.05

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

- (특허영향지수) 주요국 및 세계 평균과 한국의 특허영향지수 추이를 살펴보면, 한국은 세계 평균보다 낮은 수준에 머무르고 있음

<표 3.2-14> 2010~2014년 소재분야의 특허영향지수 추이(미국 특허청)

국가명	2010	2011	2012	2013	2014	평균
미국	1.26	1.33	1.39	1.46	1.52	1.33
일본	0.79	0.77	0.74	0.73	0.74	0.77
독일	0.91	0.74	0.75	0.58	0.48	0.75
한국	0.79	0.58	0.78	0.65	0.45	0.61
프랑스	0.83	0.61	0.65	0.75	0.48	0.6
영국	0.62	1.01	1.02	0.49	0.58	0.72
중국	0.81	0.81	0.48	0.52	0.34	0.71
전 세계	0.98	1.11	0.91	1.67	1.57	0.98

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

- (기술력지수) 주요국 및 세계 평균과 한국의 기술력지수 추이를 살펴보면, 한국은 세계 평균보다 낮은 수준에 머무르고 있음

<표 3.2-15> 2010~2014년 소재분야의 기술력지수 추이(미국 특허청)

국가명	2010	2011	2012	2013	2014	평균
미국	3,614	3,677	3,899	4,211	4,864	3,444
일본	1,460	1,538	1,622	1,684	2,041	1,383
독일	555	389	539	598	790	455
한국	116	163	212	214	376	156
프랑스	63	85	124	170	209	93
영국	36	66	55	70	115	53
중국	12	36	54	102	101	45
전 세계	190	180	187	190	219	191

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

- (특허출원 전 인용 자국특허비율) 미국/일본/독일 등 소재분야 강국들은 높은 자국특허 인용 비율을 보이는 반면 한국은 8.3%에 불과함

<표 3.2-16> 2005~2014년 소재분야 특허출원 전 인용 자국특허비율(미국 특허청)

국가	미국	일본	독일	한국	프랑스	영국
비율(%)	72.9	49.6	33.6	8.3	22.2	10.3

※ 출처 : 재료연구소(소재기술백서 2015)

3.2.3. 소재 기술수준

▣ 소재 분야 기술수준 현황(기존 조사결과 요약)

○ 소재산업 Value Chain 분석 및 기술수준 조사(한국산업기술평가관리원, 2011)

- (범용소재) 폴리실리콘, 자동차용 강판, 건축용 철강, 에틸렌, 합성수지, 동박 등 범용소재의 경우 세계 최고수준의 경쟁력을 확보(기술수준 73.9%)

※ 리튬이차전지, LCD 기판유리 등은 정부 및 민간의 적극적 투자로 국내 업체가 글로벌 시장을 선도 (2015년 소재부품 산업 R&BD 중점투자전략, 전략기획단, 2015)

- (첨단소재) 기술 집약도가 높은 첨단 소재는 대부분 독일 혹은 일본으로 부터 수입하는 등 기술수준이 낮은 상황(기술수준 70.7%)

※ 차세대 플렉서블 디스플레이에 사용되는 PEDOT/PSS 전극 폴리머는 독일에서, 고부가가치 전자소자 및 연료감응형 태양전지에 사용되는 TiO_2 는 일본에서 전량 수입

<표 3.2-17> 범용소재/첨단소재 기술수준 조사결과

구 분	금속소재		화학소재		세라믹소재		섬유소재		전 체	
	기술 수준	품목	기술 수준	품목	기술 수준	품목	기술 수준	품목	기술 수준	품목
범용소재	76.4	9	77.6	8	66.2	8	77.6	3	73.9	28
첨단소재	70.2	21	79.1	22	52.1	12	73.9	17	70.7	72
전 체	72.1	30	78.7	30	57.7	20	74.4	20	71.6	100

※ 출처 : 한국산업기술평가관리원(소재산업 Value Chain 분석 및 기술수준 조사, 2011)

○ 2013년 산업기술수준조사(한국산업기술평가관리원, 2013)

- 소재 전체분야에 대한 조사결과는 없으며, 대분류 및 중분류 별로 조사결과 수록
- (대분류) 세라믹소재/금속재료/화학공정소재에 대한 기술수준 및 기술격차 조사결과, 일본이 최고수준의 기술을 보유하고있으며 미국/유럽/한국/중국 순

<표 3.2-18> 주요 산업소재(대분류)별 기술수준 및 기술격차 조사결과

국가 분류	한국		미국		일본		유럽		중국	
	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차
세라믹소재	83.9	1.7	97.9	0.2	100	0	93.5	0.7	73	2.8
금속재료	82.6	1.9	98.1	0.2	100	0	97.8	0.2	73.8	2.8
화학공정소재	84.1	1.6	98.6	0.1	100	0	95.9	0.3	72.7	2.7

※ 출처 : 한국산업기술평가관리원(산업기술수준조사 보고서, 2013)

- (중분류) 세라믹소재/금속재료/화학공정소재 외에 나노 및 반도체 일부 분야에 대한 소재 기술수준/기술격차 조사결과 전체 16개 분야 중 12개 분야에서 일본이 최선진국으로 나타났으며, 그 뒤로 미국(3개), 유럽(1개) 순으로 나타남

<표 3.2-19> 주요 산업소재(중분류)별 기술수준 및 기술격차 조사결과

구분		한국		미국		일본		유럽		중국	
대분류	중분류	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차	기술 수준	기술 격차
세라믹소재	기계.구조 세라믹	79.9	2.5	97.3	0.4	100	0	93	0.8	74.5	3.2
세라믹소재	나노세라믹 소재	87.5	1.4	95.4	0.6	100	0	90	1.1	75	2.6
세라믹소재	바이오세라믹 소재	84.7	1.4	99.7	0	96.4	0.3	100	0.1	70.2	3.1
세라믹소재	에너지.환경 세라믹소재	83.9	1.6	97.3	0.1	100	0	92.6	0.7	74.5	2.6
세라믹소재	전자 세라믹소재	80.6	1.7	96.4	0.2	100	0	88.9	0.9	68.4	3
금속소재	Energy -Infra metal	81.6	2	100	0	98	0.1	97.9	0.2	72.1	2.9
금속소재	green process	78	2.1	96	0.3	100	0	99.9	0	66.9	3.2
금속소재	moving metal	86.8	1.6	94.6	0.7	100	0	96.5	0.4	76.2	2.8
금속소재	smart metal	82.5	1.9	99.8	0	100	0	94.9	0.5	78.2	2.3
화학공정소재	고분자소재	84.3	1.8	98.3	0.2	100	0	98.1	0.2	70.8	3.2
화학공정소재	에너지자원 효율공정산업	79.1	2.1	100	0	94.4	0.5	94.3	0.5	73.5	2.8
화학공정소재	정보전자소재	86.2	1.1	89	0.7	100	0	83.3	1.2	69.6	2.5
화학공정소재	표면기능소재	84.3	1.6	96.3	0.3	100	0	97.7	0.1	73.5	2.7
화학공정소재	환경에너지 화학소재	78.5	2.3	100	0	96.2	0.4	97.5	0.3	69.5	3.5
나노	나노소재	82.2	1.7	98.3	0.1	100	0	88.7	1	73.3	2.5
반도체	반도체소재 /PCB	81.7	1.5	93.1	0.7	100	0	86.4	1.3	71.7	2.8

※ 출처 : 한국산업기술평가관리원(산업기술수준조사 보고서, 2013)

3.2.4. 국내 소재 기술의 문제점 분석

▣ 국내현황의 문제점 해결을 통해 차별화된 국제경쟁력 확보가 필요

- (선진국) 미국/일본/독일 등 소재분야의 주요 선진국들은 기존에 보유하고 있던 앞선 기술을 바탕으로 한 혁신으로 소재시장의 주도권을 잡고 있음
 - (후발주자) 중국/인도 등 후발주자들은 가격경쟁력을 기반으로 한 빠른 성장과 함께 기술경쟁력 확보를 통해 소재시장에서 입지를 넓혀가고 있음
 - (한국) 첨단소재에선 선진국에 비해 기술력이 떨어지고, 범용소재에서는 후발주자에 비해 가격경쟁력이 떨어지고 있음
- ※ 2010~2014년에 걸친 기간 동안 소재분야 대일 무역적자의 감소율(-39.4%)보다 대중 무역흑자 폭의 감소율(55.3%)이 더 높음

▣ 미래를 대비하는 미래소재 기초·원천 연구개발 투자 미흡

- (기초연구 투자 미흡) 소재 분야 기초연구에의 투자가 부족할 뿐 아니라, 대부분 단기간의 단타성 연구에 그쳐 소재 원천기술의 성숙에 한계를 노출
- 미래소재 투자비*가 소재분야 연구개발비 전체에서 차지하는 비중은 약 8.5% 수준 (531억원, '14년)
- * 기술수명주기 도입기, 연구단계 기초연구로 구분함

<표 3.2-20> 기술수명주기별 연구단계별 연구비(억원)1)

기타	86	162	14	622	884
개발연구	363	943	114	1,451	2,871
응용연구	268	198	73	578	1,117
기초연구	531 (8.5%)	177	20	624	1,352
	도입기	성장기	성숙기	기타 ²⁾	합계

<표 3.2-21> 미래소재 부처별 연구비(억원)

기타	1	83	2	0	86
개발연구	153	148	2	59	363
응용연구	157	18	83	10	268
기초연구	400	48	44	39	531 (8.5%)
	미래부	산업부	방사청	기타	합계

주1) 소재분야 연구비 : 과학기술표준분류 '대분류' - 재료, 1순위 기준

- 소재분야 기초과제의 60%가 연구비 2억원 미만, 연구기간 3년 이하이며 과제 중 복성 장벽으로 계속연구의 어려움을 호소

- (원천특허 확보 시급) 과제 수행시 특허보다 논문에 중점을 두어 물질특허, 원천특허 등 전략적인 특허 포트폴리오 구축 미흡
 - 소재산업의 경쟁력 부족을 극복하고 소재분야 원천기술 (특허) 확보를 통한 국가 경쟁력 증진을 위해서는 소재분야 R&D 투자 포트폴리오의 질적 변화가 필요

■ 도전적 원천기술보다는 개선형 개발연구에 치중

- 지난 10년간 소재 관련 정부의 R&D 투자는 꾸준히 증가하여 왔으나, 미래소재를 위한 원천기술보다는 산업에서 당장 필요한 소재 국산화 및 공정 개선 연구에 치중
 - ※ 우리나라는 지난 10년간 약 2조원을 소재 R&D에 투자했으나 전방 (Upstream) 원천기술 보다는 당장 기업이 필요한 후방 (Downstream) 기술에 치중
 - ※ 소재분야 기술무역적자가 지속되고 있고 원천기술(특허) 부재로 특허소송 등 분쟁에 휘말리며 막대한 피해 (2013년도 정부연구개발 투자방향, 국가과학기술위원회 2012. 4. 12)

■ 소재분야 R&D의 양적 성장에 비해 질적 수준 미흡

- (정량성과 우수) 소재분야 논문 수 세계 3위, 특허 수 세계 4위로 양적으로는 세계 최고 수준에 도달
 - ※ SCI논문 : 3위('14년, 5,776편), 미국등록 특허수 : 4위('14년, 466건)
- (질적수준 미흡) 논문/특허의 피인용횟수, 특허의 영향력지수/기술력지수와 같은 질적수준은 양적 성장에 못 미치고 있음
 - ※ 주요 질적지표 들은 세계 평균수준 또는 평균을 하회하는 수준에 머무르고 있음

■ 다양한 기초 연구 성과의 실용화/사업화 연계 노력 미흡

- (사업화 연계성 부족) 기술단계별(기초, 응용, 개발) 다양한 프로그램이 있으나 기초연구성과의 사업화 연계를 위한 수단 부족
 - ※ 미래부 사업은 상당 부분 TRL4 단계 이하에 머물고 있고, 산업부 사업은 대부분 TRL 6단계 이상의 후방 연구사업을 지원하고 있음. 나노융합 2020 사업단/연구성과 실용화 진흥원이 연구 개발 성과의 사업화를 추진하고 있으나 주로 가시적 시장성을 가진 소재 개발에 주력

■ 통합적 소재 R&D 추진전략의 부재

- 소재개발 생태계 (기술개발/공정/인프라) 전반을 유기적으로 아우르는 통합적인 장기 추진전략 마련이 필요

현황 분석의 시사점

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 원천소재 기술 개발 추진
- 소재 R&D 단계별 연계 강화를 통한 전주기적 소재연구 프로그램 개발
- 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신

■ 정책방향 I : 도전적 기초연구 강화

타게팅·목적 지향적 소재개발에서 벗어나 도전적 기초연구 비중을 확대하고 장기 연구 지원을 통해 미래소재 핵심역량을 강화

- 소재연구 투자 확대로 범용소재 분야는 상당한 기술 경쟁력을 확보하였으나 여전히 한국발 원천 소재기술은 전무
 - 그간 압축성장 정책으로 소재 개발도 fast follow형으로 후단 연구·단기 과제에 집중
 - ※ '14년 기초(24.3%), 응용(22.1%), 개발(53.7%)연구
 - 연구의 도전성 보다는 안전한 연구성과 도출 위주의 사업운영으로 도전적 연구에 대한 지원 부족
 - ※ 도전적 소재 기초연구의 장기적 지원 필요성
 - 미래소재 경쟁력 관점에서의 장기적 연구개발보다 트렌디한 연구주제에 집중함으로써 원천연구개발체계 구축 미흡
- 성능 개선·향상, 경제성 위주의 소재 개발에 치중하여 환경 영향·인체 유해성에 대한 고려 부족 ⇒ 선진국의 준비에 뒤떨어지지 않도록 지속가능성을 고려할 필요

■ 정책방향 II : 소재 R&D 단계별 연계성 강화

소재 R&D의 단계별 연계 강화를 구현할 수 있는 국가 R&D 프로그램의 포트폴리오 구축

- 소재 기초연구에 6,673억원 ('10~'14)이 투자되어 우수한 기초연구의 성과가 도출되었으나, 산업적 가치 창출을 위한 후속사업으로의 연계는 부족

- 산업계의 수요를 바탕으로 우수기초 연구를 발굴하여 사업화 기술로 성숙시킬 수 있는 연구개발 프로그램간의 연계 전략 강화가 필요
- 기초연구 성과의 기술적 수준과 소재 산업화를 위한 산업계의 수요간 불일치를 극복하기 위한 징검다리 연구개발 전략이 필요

■ 정책방향 III : 효율적인 소재 개발 인프라 구축

기 투자된 소재연구 인프라와 공공의 연구역량을 플랫폼 화하여 공개함으로써 산학연 소재개발 주체들의 연구개발 효율성을 증진

- 빠르게 변하는 산업수요에 대응할 수 있도록 소재개발의 기간과 비용을 단축할 수 있는 소재개발 연구 환경구축 노력이 필요
 - 소재공정 및 분석 측정 인프라의 목표 지향적 네트워크와 지식기반의 서비스를 통해 연구개발의 경제성과 신속성 증진을 추구
 - 계산과학·빅데이터 등 IT 기술과의 융합 플랫폼 구축을 통한 효율적 소재연구 기반 강화가 필요
- 공공의 연구역량과 국가 R&D 인프라를 활용한 중소/중견 소재기업의 경쟁력 강화 정책이 요구됨
 - 재정과 기술력의 부족으로 소재연구개발에 장기간 투자하기 어려운 중소 중견기업의 소재경쟁력 증진이 필요

<표 3.3-1 국내소재 R&D의 문제점 개선과 글로벌 트렌드를 반영한 정책방향>

국내 현황의 문제점 및 핵심 글로벌 트렌드		해결책으로서의 정책방향
국내 소재 R&D 현황의 문제점	미래사회 이슈에 대응할 수 있는 소재 기초원천 R&D 미흡	도전적 기초연구에 바탕을 둔 원천소재기술 개발 적극 추진
	도전적 기초연구보다 개선형 개발연구에 치중	
	소재 R&D 성과의 양적 증가에 비해 질적 수준이 미흡	
	우수한 기초연구성과의 실용화/산업화 연계노력 부족	소재 R&D 단계별 연계 강화를 통한 전주기적 소재연구 프로그램 개발
	소재 전주기에 걸친 통합적 소재 R&D 전략 부재	
소재 R&D 의 글로벌 트렌드	지식기반 R&D 플랫폼을 통한 연구개발 효율성 증진	효율적인 소재 개발을 위한 소재 R&D 인프라 구축
	IT 기술과 소재기술의 접목을 통한 소재연구의 혁신 추구	

4. 미래소재 국가경쟁력 강화 전략

4 미래소재 국가경쟁력 강화 전략

비전 및 정책 목표

■ (비전) 2025년 세계 3위권의 소재강국 실현

- 미래소재의 기초연구 단계부터 응용산업화 기술개발에 이르는 전주기적인 연구 개발 능력을 강화함으로써 소재산업 분야에서 미국, 독일, 일본과 함께 세계 4위권 이내의 소재강국으로 도약

■ (정책목표) 소재개발의 전주기적 생태계 강화를 통한 미래소재 글로벌 경쟁력 확보

- 독점적 지배력을 가진 원천소재 (물질특허) 30건을 확보하고 산업화를 달성
- 이머징 산업을 실현할 미래소재 분야에서 글로벌 경쟁력의 확보를 통해 50조원 이상의 부가가치 창출

■ (정책방향) 국내 소재산업의 문제점 분석과 소재연구의 글로벌 트렌드를 반영하여 미래소재 경쟁력 강화를 위한 3대 정책 추진방향을 수립

- 도전적 기초연구에 바탕을 둔 소재 원천기술 개발
- R&D 단계별 연계강화를 통한 전주기적 소재 연구프로그램 발굴 추진
- 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신

비전	2025년 세계 4위권의 소재강국 실현
----	-----------------------

정책 목표	● 소재개발의 전주기적 생태계 강화를 통한 미래소재 글로벌 경쟁력 확보
	● 신산업 창출을 위한 창의소재 개발 : 물질특허 30건 ● 이머징산업 선점을 위한 소재기술 개발 : 관련매출 50조원



정책방향	추진 사업 (안)
도전적 기초연구 강화	① 미래소재디스커버리사업 (운영개선)
	② 자유형 소재 도전 프로젝트
	③ 미래소재 마스터 양성 사업
	④ 재료 생태기반 지속가능 소재 개발
소재 R&D 단계별 연계성 강화	① 이머징 산업 창출형 소재 개발 사업
	② 기초원천연구 연계기술 개발 사업
효율적 소재 개발 인프라 혁신	① 소재 공정합성 플랫폼 구축 사업
	② 소재 분석 및 측정 플랫폼 구축 사업
	③ 소재 계산과학 플랫폼 구축 사업
	④ 소재 빅데이터 플랫폼 구축 사업

추진 전략

4.2.1. 정책방향 1 : 도전적 기초연구에 바탕을 둔 소재 원천기술 개발

■ 미래소재 디스커버리 사업의 성공적 운영

- 원천소재에 의해 창출되는 새로운 산업 영역에서 우리나라가 독점적 지배력을 갖는 원천 소재기술 개발을 목표로 하는 융합형 소재연구사업
- 성공적 사업 수행을 위해 선정분야의 전략적 설정과 선정기준, 단계별 평가기준 및 지원 체계를 정비 보강

■ 창의적 소재 아이디어의 발굴 육성

- 분야간 융합을 통한 창의적 소재아이디어를 발굴하여 적극 지원함으로써 혁신적 미래소재 기술의 토양을 강화
- 주제간 중복 지원을 허용하고 경쟁을 통한 우수기술 개발을 유도
- 광범위한 연구주제의 연구진을 꾸준히 육성할 수 있는 씨뿌리기식 사업 운영

■ 장기적 심화연구 지원을 통한 소재기술 장인그룹 양성

- 미래소재산업에 요구되는 원천기술을 확보하고 전문인력을 양성하기 위해 소재의 핵심요소기술 각 분야에서 전문성을 가진 소재기술 장인을 양성
- ‘소재전문연구실(Materials Research Laboratory, MRL)’을 지정하여 요소기술력을 축적 강화할 수 있도록 장기적으로 지원 (5년, 최대 10년)

■ 지속가능한 소재원천기술 개발 지향

- “성능향상” 관점 뿐 아니라 “지속가능성” 원소와 공정을 사용하는 지속가능한 미래소재 R&D 정책의 기반을 구축하고 미래의 에너지 환경 문제를 해결할 수 있는 소재를 개발

4.2.2. 정책방향 2 : 소재개발 단계별 연계강화를 통한 전주기적 R&D 추진

▣ 멀티 TRL 연구를 지향하는 융합 연구사업을 적극 추진

- 한 과제 내에서 멀티 TRL 단계의 연구들이 연계되어 소재기술의 성숙도를 높여 가는 단계 융합형 소재 연구사업 추진 (예: 미래소재 디스커버리 사업 / 이머징 산업 창출형 소재개발 사업)
- 와해성 기술에 기반하는 이머징 산업을 선도할 신소재 (Matured New Materials, MNM) 기술 개발
- 발견·발명 수준의 소재연구 성과를 기업이 직접 활용할 수 있는 수준으로 향상시켜 기술사업화 장벽을 해소할 소재기술 징검다리 연구 추진

▣ 전주기적 소재 연구개발을 실현할 연구사업 포트폴리오를 바탕으로 부처 내 혹은 부처 간 징검다리형 연계 체계를 구축

- 특정 단계의 연구 성과를 지향하는 단계별 소재기술 개발 사업의 성과를 다음 단계의 연구 사업으로 진행
- 부처 사업간 연계성을 확보하기 위해 소재 R&D의 효율성을 높일 수 있는 관련기관 네트워크 강화를 추진 (3차 소재부품 발전 기본계획)

— < 기초연구-상용화 R&D 연계 방안(예시) > —

- ◆ 미래부의 기초연구사업에서 우수한 평가를 받은 연구프로젝트를 대상으로 응용·실용화 기술 개발 추진
 - ▷ 미래부-산업부 공동으로 '응용·실용화 TF'를 구성하고 TF에서 실용화 타당성이 높은 신규 프로젝트를 발굴·선정
 - * 바이오, 우주항공 등 국가 전략성이 강하고 원천기술 확보가 중요한 분야 우선 고려
- ◆ 소재·부품 분야 우수 기초연구 결과를 사업화 하도록 지원하는 후속 R&D (follow-up R&D) 지원 강화
 - ▷ 대학, 연구소 등에서 보유하고 있는 우수 논문이나 특허기술을 발굴하여 기업과 공동으로 추진하는 후속 사업화 R&D 지원

4.2.3. 정책방향 3 : 효율적인 소재개발을 위한 소재 R&D 인프라 혁신

■ R&D 플랫폼을 통한 연구개발 효율성 증진

- 학연산의 혁신적 소재 아이디어를 빠르게 구현할 수 있는 플랫폼을 통한 연구개발 효율성 증진은 21세기의 중요한 글로벌 트렌드로 선진국에서는 합성, 분석, 이론·모델링의 유기적 융합이 가능한 연구개발 플랫폼 구축을 적극 추진
 - ※ (해외사례) 미국의 소재혁신플랫폼 (Materials Innovation Platform) 사업, 일본의 World Premier Institute Program내의 소재 관련 연구센터 (NIMS의 MANA 및 Tohoku 대학의 AIMR) 사업
- 학연의 효율적 소재개발 환경 구축과 중소/중견 소재기업의 연구개발 경쟁력 강화를 위한 소재분야 R&D 인프라의 지원 및 운영체제 개편

■ 기 투자된 R&D 인프라의 목표 지향적 운영 강화

- 기 투자된 국가 소재 R&D 인프라의 목표 지향적 운영을 통해 중소/중견 소재기업의 자체 소재개발 능력을 제고하고 학연의 소재연구 아이디어를 빠르고 효과적으로 구현할 수 있는 플랫폼을 제공
 - 공공의 R&D 역량과 인프라 서비스를 전략소재별로 테마형 플랫폼화 하여 지식기반의 공동연구 체제를 구축
 - 소재종합솔루션센터, 나노랩 및 출연연, 대학의 공정 인프라와 전문 인력을 활용
 - 구축대상 플랫폼 영역 : ① 소재공정 플랫폼 ② 소재분석평가 플랫폼 ③ 계산재료 과학 플랫폼 ④ 소재빅데이터 플랫폼

■ 계산재료과학, 소재 빅데이터 등 IT 융합 소재연구 인프라를 강화

- 테마형 계산재료과학 플랫폼과 소재 빅데이터 플랫폼의 구축 및 공개를 통한 소재 연구의 효율성 증진
 - 테마형 계산재료과학 플랫폼을 통해 계산재료과학 및 정보학의 활용을 촉진
- 실험 데이터와 계산 물성 데이터의 체계적인 수집·가공·분류에 의한 소재 빅데이터 구축과 활용을 위한 소재 빅데이터 플랫폼 기술 개발
- 플랫폼과 계산물성 DB의 체계적 개발, 운영 및 활성화를 주도할 출연연 융합조직으로서 국가 계산재료과학 허브를 구축

■ 지식기반 소재혁신 플랫폼 구축

- 소재공정 플랫폼은 지식기반 소재혁신 플랫폼의 거점으로서 소재분석평가 플랫폼, 계산재료과학 플랫폼, 소재빅데이터 플랫폼과 연계하여 주제별 소재연구의 total solution을 제공

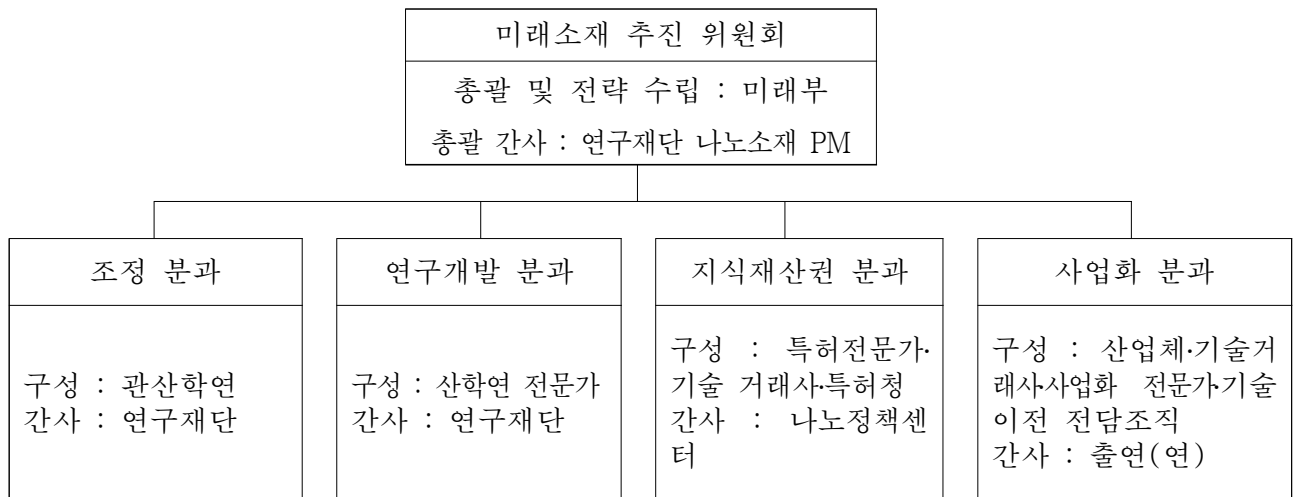


<그림 4.2-1> 지식기반 소재혁신 플랫폼의 운영 개념도

추진체계

■ 미래소재사업의 체계적인 추진을 위해 미래소재 추진위원회 구성

- 미래소재사업의 중점 추진 분야, 연구과제 선정부터 연구성과 평가 등 전 사업영역에서 체계적인 소재 R&D 정책을 지원
 - 역할 : 연구개발사업 관리, 기술 사업화 지원, 제도 개선 등
 - 구성 : 분과별 약 5명씩은 고정 위원, 연구 분야에 따라 추가



<그림 4.3-1> 미래소재 추진위원회 구성

■ 분과별 역할

- 조정분과
 - 구성 : 정부(미래부·산업부 국장), 각 분과장 등
 - 역할 : 부처 간 협업 강화 및 이어달리기 연구 추진
- 연구개발 분과
 - 구성 : 산학연 전문가
 - 역할 :
 - (유망 분야·과제 선정 단계) 신규과제 선정 시 또는 상시 산학연 의견수렴을 통해 미래소재기술·분야 발굴
 - (연구개발 단계) 산업계 의견 수렴·반영 지원, 성과 교류회 개최
- 지식재산권 분과

- 구성 : 특허전문가·기술 거래사·특허청

- 역할 :

연구 기획·추진 과정에서 특허청·변리사 지원을 받아 특허 확보 집중 지원
소재분야 R&D 사업의 지적재산권 확보 차원의 전략 수립
미래소재 디스커버리 사업 등에서 창출된 특허성과의 가치 평가

○ 사업화 분과

- 구성 : 대기업·중소기업 등 산업체(스타트업 일부 포함), 경제학자

- 역할 :

이머징산업 대응·기업 지원 연구사업 등 기업수요 도출
미래소재 디스커버리 사업 수행 중 발생하는 시장 및 기술수요 변화를 반영하고,
소재 특성과 시스템 특성 양면에서 소재의 산업화 가능성 등을 검토

기대효과

4.4.1 소재 연구개발의 현재와 미래상

■ 본 사업의 추진을 통해 기대되는 소재분야의 변화

<표 4.4-1> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재분야의 변화

	현재	미래
정책 목표	·무역 적자 타개를 위한 수입 대체 ·퍼스트 무버형 소재개발(2011년 이후)	·퍼스트무버형 소재개발을 위한 연구개발 방식 변화
정책 특성	·타겟 소재 선정 및 기술 개발	·도전적 기초연구 강화 ·패스트트랙 기반 구축
기술 목표	·효율 향상·가격 경쟁력 등 성능 개선	·유망소재·원천소재 확보 ·친환경·인체 유해성 등 고려
기술개발 특성	·실험 중심의 소재개발	·빅데이터, 슈퍼컴을 통한 계산과학 기반 강화
	·개발 연구 편중	·도전적 기초 연구 강화
	·단편적 연구	·전주기적 연계형 연구개발
산업 성장	·현존하는 산업의 성장에 대응하는 소재 개발	·새로운 산업에서 독점적 지배력을 갖는 소재기술 확보

■ 본 사업의 추진을 통해 기대되는 소재개발 국가적 인프라의 변화

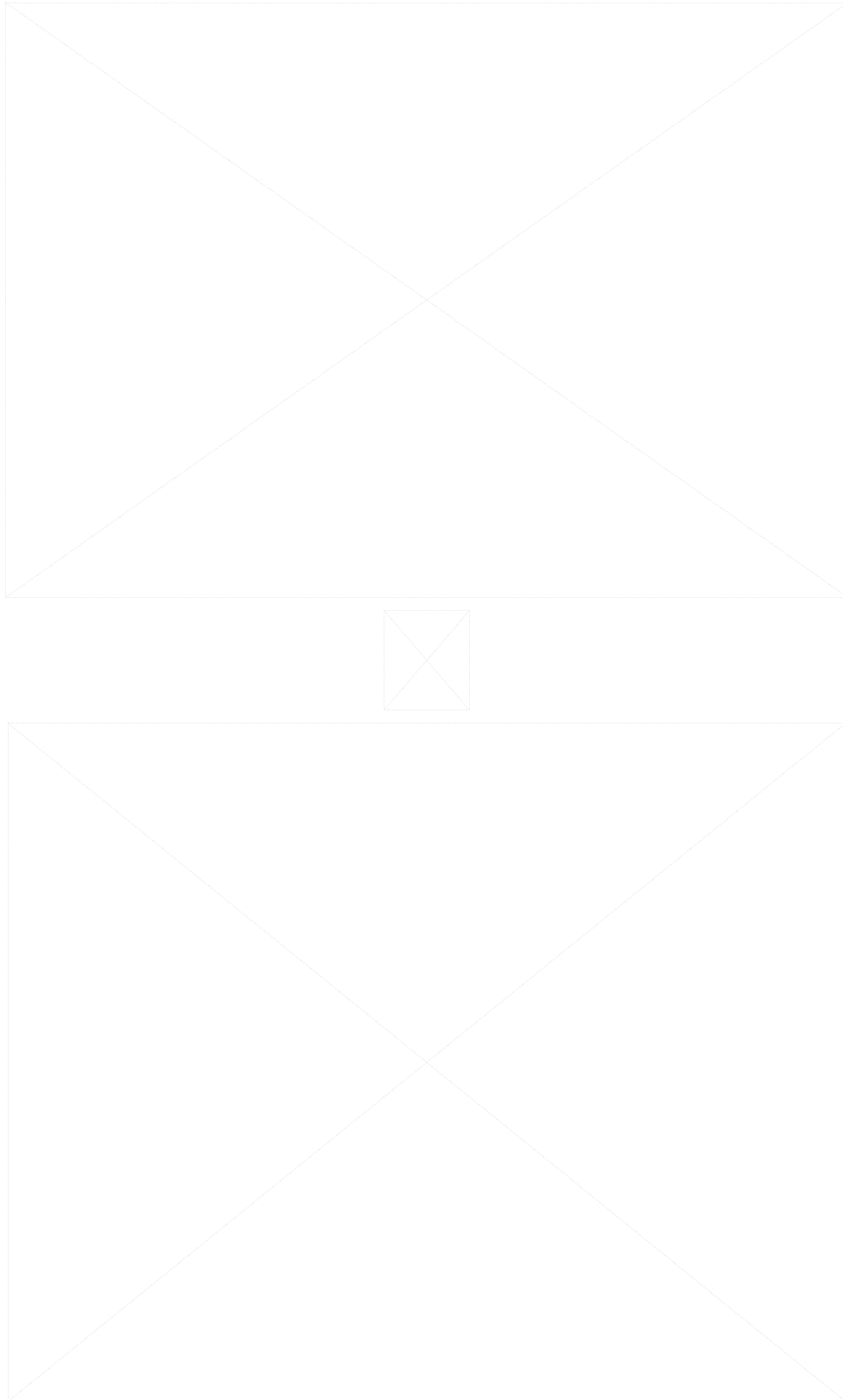
<표 4.4-2> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재연구 인프라의 변화

	현재	미래
소재공정 인프라	- 장비별 공정서비스여서 사용자가 장비 보유기관을 찾아 활용	- 주제별 플랫폼을 통한 해당분야 소재공정의 토탈 솔루션 제고
	- 전문가 부족에 따른 공정 서비스 질의 저하	- 응용주제별 지원을 통한 지식기반의 공정기술 제공
	- 장비보유 기관별 운영에 따른 자립활용 효율성의 한계	- 주제별 공정 장비의 네트워킹을 통한 활용효율 향상
	- 소재 공정에만 국한된 서비스	- 주제별로 분석, 계산과학, 소재 정보 플랫폼과 연계된 서비스
소재분석 인프라	- 나노랩, 출연연, 대학의 분석센터 중심의 운영	- 분석장비의 주제별 네트워킹을 통한 토탈 솔루션 제공
	- 단순한 장비제공 서비스 수준	- 전문가와의 협업을 통한 지식기반의 분석기술 제공
	- 단편적인 분석서비스 제공	- 실시간 복합분석 등 첨단 분석기술 제공
계산과학 인프라	- 계산전문가와의 개별적 협력을 통한 연구개발	- 주제별 웹기반 플랫폼을 통한 자체연구 가능
	- 계산과학을 활용하기 위해서는 개별 연구진이 장비 및 인력을 확보	- 개별 연구진이 계산과학 장비(수퍼컴) 및 전문성을 확보할 필요없이 플랫폼을 통해 첨단 연구를 수행
	- 외국에서 개발된 방법론을 활용한 응용기술 중심의 연구	- 계산과학 전문 연구진은 원천기술 개발에 집중함으로써 국제 경쟁력 향상
소재 빅데이터 인프라	- 산재되어 있는 소재 데이터의 관리 부재	- 주제별 분산형 빅데이터 구축 및 활용체계 확립
	- 소재종합솔루션 센터의 역할 미미	- 새로운 국가적 빅데이터 관리 운영체계 구축
	- 소재정보학 기술 부재	- 주제별 소재정보학 기술을 바탕으로 한 소재설계 플랫폼 구축

4.4.2. 소재분야 R&D 포트폴리오의 변화

▣ 도전적 기초연구에 바탕을 둔 창의적 원천소재 개발과 소재 R&D의 전주기적 프로그램의 도출에 따라 전주기적 소재 R&D 프로그램의 포트폴리오 완성

- 국내 소재연구의 주요 이슈인 우수한 나노기술 및 소재 기초연구 성과의 산업화 부진 해소
- 창의적인 개념의 미래소재 원천기술의 확보를 통해 국내 소재 역량의 질적 수준 증진



<그림 4.4-1> 미래소재 경쟁력 강화방안에 따른 소재 R&D 포트폴리오 변화

5. 세부 추진사업 (안)

5 세부 추진사업(안)

미래소재 디스커버리 사업 운영 개선 (기준)

5.1.1. 사업의 개요

■ (사업의 목표) 원천소재에 의해 창출되는 새로운 산업 영역에서 우리나라가 독점적 지배력을 갖는 원천 소재기술 14건 확보

- 실험분야 창의적 아이디어와 계산과학 등 ICT 기반 新연구방법론에 의해 설계되어 기존 소재에서 볼 수 없었던 새로운 물성과 기능을 구현하는 소재를 개발 (물질특허 확보)

※ 중점 추진분야 : ① 극한물성 구조·환경소재, ② 양자알케미 조성제어소재, ③ 스케일링 한계 극복 ICT소재, ④ 인간오감 증강소재

- 투입예산 및 추진계획 : '15년~'24년(10년) 총 3,066억원 (28개 연구단, 18억/년·연구단)

■ 사업의 성격

- 공공 주도의 과학기술 기반 소재사업으로서 미래소재 원천특허의 기업이전을 통해 기업 주도의 제품화 소재사업으로 연계하는 사업
 - 새로운 개념의 소재를 설계·제작하고 그 응용가능성을 검증하는 사업
- 소재 R&D 사슬의 단절된 연결 고리를 연결하여(Death Valley 극복) 강소형 소재 중핵기업 육성을 위한 기초 역할
 - 창의적 아이디어에서 시작하여 소재의 설계, 발굴과 지식재산권의 확보를 통해 산업화로 이어지는 강한 협업체계 구축

■ 사업의 특징

- (창의적 소재 물질특허 확보) 기존 소재의 분류와 한계를 뛰어 넘는 소재로서 지금까지 구현이 불가능했던 부품 혹은 시스템을 실현함으로써 새로운 산업을 창출할 수 있는 창의적 소재의 물질특허 포트폴리오 구축

- **(학제간 융합연구)** 소재의 발명에서 산업화 가능성 검증단계에 이르는 멀티 TRL (전주기적) 연구개발 과정을 수행할 융합연구단을 구성하여 수행
- **(창의적 아이디어 발굴)** 이론 및 실험분야 연구자들의 창의적 아이디어 발굴을 위해 하향식(top-down)으로 도출된 4대 중점 추진소재군 내에서 상향식(bottom-up) 제안기술 공모와 선기획을 거쳐 연구단을 선정
- **(첨단 소재개발 방법론의 적극 수용)** 전산재료과학, 재료정보학, 조합실험법, 다중분석법 등을 망라한 新연구방법론들을 소재 설계와 프로토타입 성능검증에 적극 활용하여 연구효율성 증진

■ 사업추진 절차



출처 : 창의소재디스커버리 사업 기획보고서 (2013. 6.)

<그림 5.1-1> 미래소재 디스커버리 사업의 추진절차

- 창의적 아이디어를 3배수로 발굴하여 6개월간 선기획을 통해 아이디어의 타당성과 구현가능성을 검증한 뒤 3+3의 본 과제 착수

■ (사업의 지향점) 창의적, 융합적, 지식재산권 중심의 소재 R&D 체계구축

<표 5.1-1> 미래소재 디스커버리 사업이 지향하는 소재연구의 미래

As-Is		To-Be	
R&D기간	[장기간] - 발명부터 제조까지 10~20년 예) Teflon, Li-전지, GaAs, 비정질 자성체 등	[개발가속] - Lab에서 제조 현장까지 5~7년 내 달성 - 설계기반 소재발굴	
R&D방식	[경험위주] - 기술적 경험과 시행착오에 기반 - 과다한 인적, 물적 투자가 소요 [단독기술] - 금속, 세라믹, 고분자 단위분야 기술자 - 실험위주	[창의연구] - 새롭게 부각한 혁신적인 방법론들의 적극적 활용 - 연구효율성 제고 [융합기술] - 기초과학과 공학의 모든 학제를 동원 - 이론과 실험의 양수검장	
R&D주체	[선단형] 정부주도 Top-Down 결정 & 민간기업 주도	[학익진형] - 공공분야 연구주체들의 Bottom-Up 혁신역량 강화 - 산학연 소재 생태계 구축	
R&D지향	[가치사슬 상 Downstream] 제품성능 향상을 위한 소재기술 개발	[가치사슬 상 Upstream] - 실속 있는 강한 특허기술 - 신산업의 씨앗 제공	
R&D효과	산업화시대를 견인	창조경제시대를 견인하여 30년후 1인당 GDP 8만 달러 시대를 여는 소재강국 구현	

5.1.2. 사업의 추진현황 및 개선 필요성

- 2015년 11월 1차 4개 과제를 선정하였으며, 2016년 4월 2차 6개 과제가 선정된 상태
- 1차 선정과제 현황 (2015년 11월 선정)

과제명	연구책임자	주관기관
격자간전자(InterstitialElectron) 배열의 차원 제어를 통한 신기능성 전자화물(Electride) 창조	김성웅	성균관대학교
Logic-in-Memory 구현을 위한 Spin-Orbitronics 소재개발	김영근	고려대학교
멀티레벨 전도도를 가지는 금속-반도체 변환 소재 개발	성명모	한양대학교
휴리스틱스 전산기반 기능성 무기소재 창제 연구	손기선	세종대학교

- 2차 선정과제 현황 (2016년 4월 선정)

과제명	연구책임자	주관기관
기능면역체기술 기반 생분해성 피부재생소재 개발	조대호	숙명여자대학교
양자/구조 알케미 기반 프랙탈 촉매 개발	한상수	KIST
Multi-Physics Full-Scale 통합형 모델링 기반 극한환경용 다기능 고엔트로피합금 창제	김형섭	포항공과대학교
레이저 상호작용 기반 초망막 입체 디스플레이 핵심소재 개발	최성율	KAIST
초저전압 mV 구동 멤리스터용 분자운동성 이온결정 소재 개발	박남규	성균관대학교
스핀전자 밀도 제어에 의한 High Clark Number 기반 Super-magnet 개발	최철진	KIMS

- 국가적 필요성을 고려한 사업 추진의 전략성 증진 필요
 - 현재까지 선정된 10개 과제가 극한물성 구조환경 소재 분야에 1개, 양자 알케미 조성제어 소재 분야에 4개, 스케일링 한계극복 ICT 소재 분야에 4개, 인간오감 증강소재에 1개 등 분야별 편차가 심함
- 산업단 선정의 평가지표에 신산업창출 가능성이 충분히 고려되지 못하는 문제가 대두
 - 선정의 평가지표로서 연구진의 탁월성, 계획, 전략의 타당성, 창의성, 결과의 파급성이 설정되어 있으나, 성과의 파급성 개념이 모호
 - 구체적인 성과의 파급성으로서 본 사업의 궁극적 목표인 신산업 창출 가능성에 대한 평가지표 설정이 필요
- 단계 평가의 평가기준과 성실실패 인정 기준 설정이 시급
 - 1차 선정과제의 단계평가가 다가옴에 따라 단계 평가기준과 단계 종료 기준, 성실 실패 기준 등의 설정이 필요
 - 단계 평가 시 기술이전 및 기술 확산을 위한 평가절차의 확정이 필요한 시점

5.1.3. 사업 운영의 개선 방향

■ 연구 분야의 전략성 강화

- 상향식 (bottom-up) 과제 제안을 원칙으로 하되 사업의 전략성 강화를 위해 공모 분야를 구체화
 - 개발 소재의 유망성과 국가적 중요성 및 전략성을 강화하기 위해 포괄적 4개 분야에서 다소 구체화된 공모 분야를 제시
 - 공모 분야는 매년 신규과제 선정 시 미래소재추진위원회 연구개발 분과에서 분야를 도출하여 공모

<표 5.1-2> 공모 분야의 변경 예시

당초	개선(예시)
극한물성 구조·환경 소재	극저온 고체 윤활 소재
양자 알케미 조성제어 소재	상온 화학공정 제어 소재
스케일링 한계극복 ICT 소재	3D 영상시스템 구현 소재
인간오감 증강소재	인공 혈액·근육소재

■ 신산업 창출 가능성을 강조하는 평가지표

- 기획연구 선정 시 평가 지표에 도전성·참신성·혁신성과 함께 신산업 창출 가능성 등에 높은 가중치 부여

<표 5.1-3> 과제의 도전성 강화를 위한 개선방향

당초	개선
연구진의 탁월성(30점) 계획, 전략의 타당성, 창의성(50점) 결과의 파급성 및 기대효과(20점)	연구진의 탁월성(20점) 도전성·참신성·혁신성(40점) 신산업 창출 가능성 및 기대효과(40점)

■ 기술 확산 제고

- 효과적인 기술 이전이 이루어질 수 있도록 미래소재추진위의 사업화 분과를 통해 기술이전 전략 수립
 - ※ 사업 최종 목표는 TRL 6까지 소재의 실용성을 검증해 보이는 것이므로 기술 이전을 성공 과제의 핵심 지표로 평가
 - 1단계 연구 후에도 수요기업이 있는 경우 수요기업으로 기술이전을 적극 추진하고, 응용분야의 확대를 위해 지속적으로 과제를 지원

■ 1단계 평가안 도출

- 1차 선정과제의 1단계 평가가 다가옴에 따라 원천 물질특허의 포트폴리오 확보 여부, 소재특성과 시스템 특성 양면에서 소재의 산업화 가능성 등을 면밀히 검토하여 2단계 진입을 결정하는 단계평가안의 준비가 필요
 - 미래소재 추진위의 지식재산권 분과를 통해 원천 물질특허 확보에 관한 전문적인 평가기준 마련

- 미래소재추진위의 사업화 분과에서 신산업 창출 가능성의 관점에서 연구수행과제 및 성과에 대한 심층적 평가
- 도전적 연구를 독려하기 위해 2단계 진입에 실패한 과제도 성실 수행여부만을 판단하여 과제를 종료할 수 있는 성실실패의 명확한 기준을 마련

자유형 소재 도전 프로젝트 (기준)

- 분야간 교차를 통한 우수한 소재 아이디어를 발굴 지원
- 단계별 우수과제를 선별하여 미래소재개발의 융합연구로 발전

5.2.1. 사업의 개요 및 필요성

■ 필요성

- 다양한 형태의 소재혁신 아이디어의 발굴을 통해 미래소재의 바탕이 되는 기초원천 연구를 지원
- 소재혁신 아이디어의 도출을 적극 유도하여 미래소재 기반을 강화하고, 분야간 교류를 통해 융합적 개념의 소재 R&D 생태계를 구축

■ 사업의 개요

- 자신의 전문분야가 아닌 분야의 문제에 접근·해결하는 과정에서 소재혁신 아이디어를 도출하여 지원
 - 예 : 우주항공 소재 연구자 → 심해양 탐사 분야 혁신소재 개발

5.2.2. 추진전략

- 제안 기술의 분야 간 교차성, 참신성, 우수성을 토대로 선정하고, 단계적 평가를 통해 우수 과제에 대한 연구기간, 연구비 지원을 확대

- 성실실패에 대한 인정 비율을 확대하여 도전적 연구를 유도하고, 우수 연구결과는 전문연구실로 연계 발전

※ 미래소재 디스커버리 사업은 다학제간 융합연구단을 선발하여 6년 동안 TRL 2~6단계의 연구를 수행하는데 반해 동 사업은 소액으로 아이디어를 검증하고 성과에 따라 단계적 지원을 확대

5.2.3. 추진방법

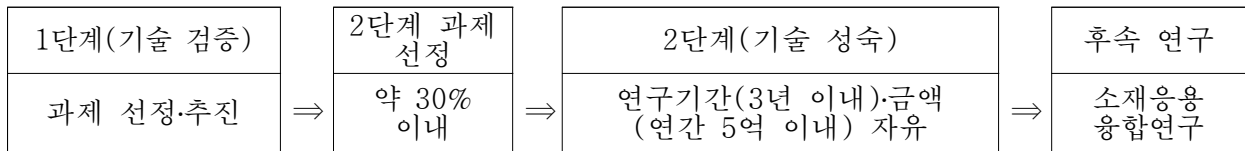
■ (1단계) 도전적 과제에 대해 단기 소액 연구 다수 지원 (1년 1억)

- 분야간 교차성·도전성·참신성·혁신성 등에 높은 가중치 부여(80% 이상)
- 초기의 시범과제 도출을 거쳐 매년 80개 이상의 과제를 선정

■ (2단계) 1단계 과제 중 우수 과제를 30% 이내의 우수과제를 선정하여 2단계 진입

- 도전성·혁신성(40%), 연구 우수성(30%) 및 성공 가능성(30%)을 평가하여 지원
- 연구자가 자유롭게 기간과 연구비 규모제안 (연 5억 3년 이내)

■ (종료 후) 우수 연구는 전문연구실 사업이나 미래소재디스커버리 사업으로 연계하여 미래소재 개발의 융합연구로 지원



5.2.4. 추정예산

연도	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	계
과제수	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	
예산	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	200

5.2.5. 기대효과

■ 창의적 소재 아이디어 발굴을 지원함으로써 연구개발의 창의성 강조

■ 과제 선정시 분야간 교차성을 강조함으로써 소재 융합연구의 토대를 강화

미래소재 마스터 양성 사업 (신규)

- 소재 핵심요소기술을 장기간 지속적으로 연구하여 소재기술 기초체력을 확보
- 소재전문연구실 지정을 통한 소재 마스터 양성
- 전문기술 향상, 전문인력 배출 및 도전적 기초연구를 수행하고, 소재산업의 기술혁신을 지원

5.2.1. 사업의 필요성 및 개요

▣ 소재 연구개발에는 장기간 축적된 기초원천 기술이 필요

○ 소재 분야는 물리·화학 및 야금학 등 다학제간 영역의 지식에 기초하여 소재 제조공정에 따른 구조-공정-특성의 상호관계 이해에 대한 전문적 지식 축적이 요구되어 장기간의 지속적 연구 필요

- 소재 개발은 기본적으로 아날로그 기술이기 때문에 부품조립과 같이 일률적인 프로토콜의 적용보다는 복잡한 파라미터들을 다루는 소재설계 및 공정 노하우나 경험을 체화한 소재 마스터 존재 여부에 따라 성공여부가 좌우되는 분야

- 소재 선진국인 일본, 독일 등은 한 분야에 대한 장기·지속적 연구과제 지원을 통해 연구 장인을 육성하고 이를 바탕으로 한 산학연 연계 연구 활발. 신기술이 등장하면 기존 기술이나 사업의 구조조정부터 생각하는 국내 연구문화, 산업풍토와 크게 대별

※ 편광판 세계 점유율 1위인 日東電工(Nitto Denko)는 1918년 전선피복 테이프의 국산화를 목표로 출발하여, 고유의 ‘점착(粘着)’ 기술 개발에 매진. 1980년대 고객사로부터 액정기관에 점착재를 붙여달라는 요구에 대응하면서부터 편광판 분야의 강자로 부상 (일본은 어떻게 소재강국이 되었나?, 포스코경영연구소 보고서, 2013.11)

※ “이곳에서 뽑지 못하는 실은 아무데서도 못 뽑는다”, 1934년 설립된 아헨공대(RWTH Aachen) 섬유연구소(Institut für Textiltechnik)는 80여년간 쌓아온 섬유직조기술을 바탕으로 1930년대에 도입된 장비를 사용하면서도 전기가 통하는 스마트(전자회로)섬유, 멤브레인, 섬유강화콘크리트 등 첨단 섬유소재 기술 선도 (“신기술은 없다”...아헨공대 섬유소재연구소를 가다, KINEWS, 2016.05)

▣ 정부 소재 R&D 투자방향에 장기적 기초원천연구 확대 필요

○ 국내 학연의 소재연구는 영향력 지수가 높은 논문발표를 위한 트렌디한 주제의 연구가 단속적으로 수행되어 소재 원천기술의 성숙도가 낮음. 연구주제의 빈번한 변

경으로 인하여 연구수행을 위한 연구장비의 중복투자 및 과제종료 후 장비가동을 저하를 초래

※ 산업계 VOC : 국내 연구과제의 목표는 실리콘표면처리 기술 확보 및 관련 전문가 양성 보다 “태양광 효율향상”등 최종 소재부품의 정량적 지수를 달성하는 형태이며, 중복성 검토 단계에서 동일 주제에 대한 지속적인 연구는 배제되기 쉬움. 관련 기업에서 범용소재 생산 시 전문가를 구하기 어렵다는 의견.

○ 정부 R&D 투자를 부처별로 구분할 때 소재 전 분야에서 산업부가 가장 큰 비중을 차지하며, 과제 수 기준으로는 중기청이 가장 큰 비중을 차지하고 있으며, 연구개발 단계별로 구분하면 개발연구가 가장 큰 비중을 차지하고 있음.

- 소재 개발은 기본적으로 아날로그 기술이기 때문에 부품조립과 같이 일률적인 프로토콜의 적용보다는 복잡한 파라미터들을 다루는 소재설계 및 공정 노하우나 경험을 체화한 소재 마스터 존재 여부에 따라 성공여부가 좌우되는 분야

※ 정부의 R&D 정책적 기초가 사업화 장려에 맞추어 지고 있으나 소재분야의 경우 장기적인 연구를 통한 실질적인 원천기술 보유와 산업경쟁력 확보가 중요하다는 점을 고려하면 단기적인 사업화와 성과발생을 최우선으로 진행하는 것이 소재분야의 지식축적과 체질강화에 기여할 수 있는 투자인가에 대한 구체적인 고민 필요 (금속산업의 재도약 발판 마련을 위한 금속소재 분야 정부 R&D 투자 방안, KISTEP 보고서, 2015)

- 미래산업 대응 소재의 정부 R&D 투자방향을 연구단계별로 살펴보면 14개 미래 산업소재 투자가 대부분 단기 상용화 중심의 개발연구에 치우쳐 장기 기초연구 뒷받침이 미흡

※ 미래산업소재 : 현 정부의 대표적인 전략기술분야 (13대 미래성장동력, 13대 산업엔진, 3D 프린팅 등)을 뒷받침하기 위한 소재

※ 미래산업소재 연구단계별 비중 (%) : 기초연구(25.9), 응용연구(19.3), 개발연구(46.1)
(참고) 전체소재 투자비중 (%) : 기초연구(22.6), 응용연구(18.3), 개발연구(48.8)

- 국가 연구비가 일부 과제에 편중 지원되어 기술개발의 기반이 되는 전통적인 요소 기술 연구는 현실적으로 연구비 확보가 어려운 상황이며, 특정 소재분야 핵심기술 군에 집중적인 투자 시 장기적인 연구를 통해 실질적인 원천기술 보유와 산업경쟁력 확보가 가능하다는 점을 고려하면 현재의 소재 R&D 투자방향은 기초체력 확보에 한계

※ 탄소나노튜브 개발 ('00~'11년 1,426억원), 그래핀 개발 ('11~'13년 1,637억원)

<표 5.3-1> 소재분야 주요사업별 미래 산업소재 R&D 투자현황 ('13년)

- 장기간의 지속적 연구에 의한 기술 성숙도 향상을 위해 소재의 핵심요소기술을 장기적으로 연구할 수 있는 연구 여건을 제공함으로써 핵심 요소기술의 전문가 집단과 인력양성이 국가적으로 필요

※ 산학연 사이의 인력유동과 연구테마와 연구집단의 생성·소멸이 활발한 미국도 소재연구의 테마가 변할 뿐 이에 적용되는 소재 기초원천기술의 연구개발 기조는 장기적으로 유지



<그림 5.3-1> 미국 구조용 소재설계 연구개발 사업 연혁

※ 포스코는 독일 아헨공대(IEHK) 및 막스플랑크 철강연구소(MPIE)와 유사한 형태의 철강대학원 설립 및 국내외 10여개 대학에 철강전문연구실을 운영하여 국내 철강소재 관련 기초연구를 활성화 하고 관련 인력을 양성. 독일 아헨공대 철강연구소는 1871년 초대소장 부임 이래 현재까지 단

7명의 연구소장이 평균 20년 이상 재임하여 연구정책 기초를 일관적으로 유지

- ※ 국내 뿌리산업의 위기는 산업적 수요의 감소가 아닌 뿌리산업의 기반을 이루는 소재 및 소재 제조공정 기초연구 및 관련 연구인력 감소에 기인

■ 소재 R&D 기초체력 확보를 위한 소재기술 및 전문가 양성 필요

- 소재선진국으로 분류되는 미국, 일본, 독일 등은 예외 없이 백년 이상 오랜 기간 축적해온 소재기술을 무기로 첨단소재 시장을 장악하고 특허·표준장벽으로 후발주자의 신규진입을 봉쇄하며 세계산업을 주도하고 있음

※ 탄소섬유의 경우 1971년 일본 Toray사가 개발에 성공하였으나 당시 높은 가격으로 인하여 시장에서 외면되었으나, 특화된 영역(70년대 낚시대, 80년대 골프채, 90년대 건축자재, 산업용 기기)으로 응용분야를 넓히고 기술개발을 지속하여 보잉과 에어버스 등 항공기 동체 소재로 적용되면서 '21세기 소재산업의 쌀'로 인식되기에 이름

- 국내 대기업의 경우에도 장기간의 연구와 막대한 투자비가 소요되는 소재원천 기술개발을 주저하고 있어, 소재원천기술에 대한 정부의 적극적인 육성정책이 요구됨.
- 미래 산업소재의 경우에도 대부분 상용화 중심의 개발연구에 치우쳐 장기 기초연구에 대한 뒷받침이 부족하므로, 재료공학의 기반으로부터 형성된 본연의 소재기술에 초점을 맞춘 연구개발 정책 수립이 필요

※ 국내 정부출연연구소의 연구조직도 소재기술 보다는 소재군에 의하여 편성되어 선진국 정부연구소의 연구조직 분류 및 임무수행과는 대비되며, 대학의 경우에도 재료공학의 기초이론에 대한 학과목이 폐지되고 응용이 강조되고 있으나 실제로는 산업체에서의 소재연구개발 및 문제해결 능력 확보에는 부족

※ 전 세계적으로 연간 1조 달러 이상의 경제적 손실을 야기하는 부식(corrosion)에 관련한 연구를 수행하는 국내 전기화학 연구자 및 연구그룹은 연료전지, 태양전지 등 상용화 제품 연구로 전환

- 소재 핵심 요소기술에 전문성을 가지며 뿌리기술을 비롯한 산업체에서 필요한 범용 소재 기술을 지원하고 문제점을 해결할 수 있는 미래소재 연구자 양성이 필요

※ 뿌리산업은 나무의 뿌리처럼 겉으로 드러나지 않으나 최종 제품에 내재되어 소재 및 제조업경쟁력의 근간을 형성한다는 의미에서 명명되어, 주조, 금형, 소성가공, 용접, 표면처리, 열처리 등 공정기술을 활용하는 산업을 의미

※ 본 연구사업에서의 핵심 요소기술은 뿌리기술의 기초가 이룰뿐만 아니라 미래 첨단산업에 범용적으로 적용되는 응고, 상변태, 재료역학, 표면물성, 입계제어 기술 등 기초원천 기술을 의미

※ 무연솔더(Pb free solder)개발을 위한 EU 연구개발 프로그램 COST 531('02-'07)은 3개의 기초연구분야(신물질 탐색, 열역학 데이터베이스 구축, 산화거동), 1개의 제조공정분야(물질제조), 2개의 응용분야(신뢰성 평가, 패키징 적용)으로 구성되어 기초원천연구에 50% 이상을 배분

■ 소재 핵심요소 기술 간 융합화에 의한 소재개발 가속화 전략

- 소재 개발은 구조-공정-특성의 상호관계에 대한 전문적 지식 축적이 요구될 뿐만 아니라 전산재료과학, 공정기술과 분석평가 인프라의 세가지 요소가 유기적인 연계

를 가지고 개발되어 재료과학에서 공학으로 진화되어 산업적 성과를 달성

- 소재 전문연구실은 소재분야를 망라하여 소재 미세구조, 소재 공정, 소재설계 및 공정 시뮬레이션 관련 요소기술에 장기적으로 집중할 수 있도록 지원

※ 소재기술은 전후방산업에 미치는 효과가 지대하므로 범용적 소재기술이지만 기초원천기술 및 관련 인력확보 부족은 중소중견기업형 뿌리산업 뿐만 아니라 미래산업의 선점을 위한 미래소재 기술에도 동일한 영향을 미침



<그림 5.3-2> 독일 고온재료 연구개발 사업 수행 조직체계 사례

5.2.2. 추진전략

■ 소재전문연구실(Materials Research Laboratory, MRL) 선정지원

- 특정한 소재 핵심 요소기술에 전문성을 가지며, 산업체에서 필요한 범용 소재 기술을 지원할 수 있는 연구그룹을 소재전문연구실(MRL)로 지정하여 장기간의 지속적 연구를 수행하고 소재 전문가 양성

※ 소재 핵심 요소기술 : 전기화학, 표면물성, 고온 기계적 거동 등 소재내에서의 현상, 거동 및 물성 발현 등 소재에 대한 근본적 이해를 바탕으로한 소재 기초 기술로 TRL 단계로 구분되는 소재개발 단계에서의 개념정립 및 기초 데이터 확보와는 차별화 되는 기술

- 하향식으로 지원 분야를 선정하고 지정된 연구실에 장기간(단계별 최소 5년 이상, 단계평가 후 계속지원 여부 결정) 안정적으로 연구개발을 수행할 수 있도록 지원
- 지원 대상 테마는 기능소재, 구조소재 등 최상위 분류단계, 응용분야 및 적용제품에 의한 소재분류를 지양하고, 소재기술에 초점을 두고 선정
- 특정 소재 및 소재기술에 대한 ‘요람에서 무덤까지’ 전문성을 구비한 전문가 집단 양성 즉, 소재설계에서 적용부품의 수명에 이르는 전주기적 관점에서 지식 축적을 목표

- (사업의 성격) 기존의 집단연구지원사업(선도연구지원센터사업(ERC, SRC) 및 기초연구실육성사업(BRL))과 차별화된 소재 핵심요소기술의 지속적 향상을 목표로 하는 개인 또는 단일 연구실을 대상
- 소재전문연구실의 사업목적은 소재성능향상 등 정량적 목표달성, High IF 논문게재 등 연구결과의 수월성 확보가 아닌 소재개발 전반에 범용적으로 적용되는 핵심요소기술의 지속성과 고유성 확보를 지향
 - 소재개발을 위한 하드웨어 및 인프라 투자를 최소화하고 소재개발에 요구되는 범용적 핵심 요소기술의 지식기반화에 중점을 두고 선정 지원
 - ※ 선도연구지원센터사업: 창의성과 탁월성을 보유한 우수 연구집단 발굴 육성을 통해 세계적 수준의 경쟁력을 갖춘 핵심연구분야 육성 및 국가 기초연구 역량 향상 및 집단연구를 통해 차세대 창의 융합인재를 양성하고, 젊은 연구자를 대상으로 양질의 일자리 제공
 - ※ 기초연구실육성사업: 특정 연구주제를 중심으로 대학 학과/학부단위 기초연구 그룹을 지원·육성하여 대학의 잠재적 연구응집력 및 연구역량 강화. 대학 내 연구 기본단위인 교수의 개인 연구실을 학과/학부단위의 기초연구실로 육성시켜 대학의 잠재적 우수연구집단 양성
- (MRL의 기능) (1) 소재 원천기술의 심화된 기술력 확보 (2) 소재기술의 컨설팅 및 공동연구를 통한 소재개발 (3) 핵심 소재인력 양성 배출
- 미래 산업소재 개발에 요구되는 원천기술에서부터 산업현장의 제조공정에서 발생하는 문제점을 해결할 수 있는 심화된 소재 핵심 요소기술 확보
 - 이론 및 실험을 망라하여 특정 소재기술에 대한 문제해결 및 방법 제시 능력 등 컨설팅 능력을 확보하고 다양한 소재 연구개발에 참여가 가능한 연구자 또는 연구실 육성
 - 소재 연구개발과 관련 산업이 존재하는 한 지속적으로 기술수요가 발생하고 인력수요가 발생하는 연구분야를 선정하고 인력을 양성
 - ※ 일본, 독일 대학의 경우 슈퍼저널에 게재되는 기초원천연구에서 원천특허에 의한 응용연구 및 산업체 애로기술의 지원까지 단일 연구실에서 수행하며 산학연 및 전문집단 사이의 견고고한 네트워크 형성
 - ※ ‘한우물 파기’식 연구는 실험실 연구결과의 spin-off에 의한 R&BD 영역으로 용이하게 확장되는 결과
 - ※ 소재분야의 기초영역인 재료열역학 활용 기술은 구조용 소재(철강, 비철 및 세라믹), 반도체 및 3D 프린팅용 분말소재 등 소재군을 초월하고 자동차산업, 항공우주산업에서 에너지 변환, 핵연료 폐기물 처리에 이르기 까지 범용적으로 적용.
 - ※ 스웨덴 왕립공과대학의 물리야금학연구실은 전통적인 학문인 재료열역학 및 상변태연구를 40년 이상 지속하여, 전세계 1,000여개 이상의 연구기관에서 사용하는 전산열역학 소프트웨어(ThermoCalc) 상용화 개발 및 통합전산재료공학(Integrated Computational Materials Engineering)의 핵심요소로 자리매김

<표 5.3-2> 소재전문연구실(MRL)의 구성 및 역할

구성	미션	역할
소재전문연구실 (소재지정형/ 기술지정형)	소재 핵심요소기술 개발	- 미래산업 및 기간산업을 아우르는 소재 핵심 요소기술의 기술력 확보 - 소재 핵심 요소기술 컨설팅, 교육 및 지원 - 소재 핵심 요소기술 마스터 인력 양성

5.2.3. 추진방법

■ 미래소재 추진위원회의 연구개발 분과에서 장기적 전략 수립에 기반하여 미래 소재 핵심 요소기술을 도출

○ 단기 기업수요대응 및 공급자 중심의 연구과제 주제를 지양하고 미래산업을 활성화 시키고 전략산업 및 기반산업 수요에 지속적으로 대응할 수 있는 소재 핵심 요소기술 도출

※ 9대 전략산업 : ① 스마트 자동차, ② 5G 이동통신, ③ 심해저 해양플랜트, ④ 지능형 로봇, ⑤ 착용형 스마트 기기, ⑥ 실감형 콘텐츠, ⑦ 맞춤형 웰니스 케어, ⑧ 재난안전관리 스마트 시스템, ⑨ 신재생에너지 하이브리드 시스템

※ 4대 기반산업 : ① 지능형 반도체, ② 빅데이터, ③ 융복합소재, ④ 지능형 사물인터넷



<그림 5.3-3> 소재전문연구실 사업의 개념

- 적용분야가 다양한 단일유사 소재의 전문성 확보를 목표로 하는 소재지정형과 여러 소재군에 공통적으로 적용되는 핵심요소기술의 범용성, 수월성, 지속성 확보를 목표로 하는 기술지정형으로 구분하여 추진
- 소재지정형의 경우 미래산업의 전략소재군의 범위에서 기술지정형의 경우 소재군과

기술(공정기술, 모델링기술, 분석기술)을 초월한 핵심 요소기술을 선정

<표 5.3-3> 미래소재 마스터 양성사업의 소재전문연구실 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
소재지정형 소재전문연구실	• 구조용 내열합금 전문연구실 • 2차원 소재 전문연구실 • 페롭스카이트 소재 전문연구실 • 칼코제나이트 소재 전문연구실 • 비평형물질 전문연구실 • 수소기능재료 전문연구실 • 강상관계물질 전문연구실
기술지정형 소재전문연구실	• 저온물성 소재전문연구실 • 표면물성 소재전문연구실 • 결정결함물성 소재전문연구실 • 응고제어 소재전문연구실 • 확산제어 소재전문연구실 • 집합조직제어 소재전문연구실

※ (소재지정형 예시 : 칼코제나이드 소재전문연구실) 칼코제나이드 물질은 주로 반도체에 적용되기 위해 연구되어 왔지만 직접천이형 소재는 광전자소재로 응용이 가능. 차세대 광전자소재로 유기물이나 유무기 하이브리드 형태의 물질이 연구되어 왔으나 신뢰성 문제로 인하여 안정성이 높은 칼코제나이드 물질이 검토

※ (기술지정형 예시 : 응고제어 소재전문연구실) 응고제어기술은 대표적인 뿌리산업인 소규모 주물부품제조에서 차세대 가스터빈엔진, IT 산업용 사파이어단결정 및 3D 프린팅용 분말소재에 이르기까지 소재부품산업에 걸쳐 광범위하게 적용되는 소재기술

○ (소액 장기지원) 안정적으로 소재 핵심요소기술의 전문성을 축적할 수 있도록 단일연구실을 대상으로 소액의 연구비를 장기적으로 지원하여, 기존의 집단형 연구개발사업(선도연구지원센터사업 및 기초연구실육성사업)과 차별화

※ 취약·소외 연구 분야에 대해서는 장기적 보호·육성을 위해 유행을 따르는 연구가 아닌 평생 한 분야 연구에 매진할 수 있도록 ‘한우물 파기 연구’ 지원을 강화하고, 출연연 등의 기초연구 플랫폼 지원 역할 강화 (제27차 국가과학기술자문회의)

○ (소재전문연구실 평가) 연구성과의 수월성 보다는 장기적 산업적 수요, 공백 및 취약기술 등을 고려한 정성적인 평가지표를 바탕으로 평가

- 장기적 수요 및 주제의 지속성 : 소재 연구개발에 있어서 항시적으로 필수불가결한 핵심요소기술임에도 확보되지 않았거나 마스터가 부재인 기술
- 산학연 네트워크 및 협력실적 : 소재 및 공정개발에서 해당 소재기술을 활용한 문제 해결 능력 구비 여부
- 국제학회에서의 위상 (초청강연 및 국제학회 주관실적 등)

- 해당분야 전세계 전문가의 peer 리뷰

○ 1단계 : 소재전문연구실 기반구축 및 시범사업 착수 (2017~2019)

- 이머징산업 창출형 소재 개발 및 기초원천연구 연계 기술 개발 사업(신규사업)을 통해 소재지정형 소재전문연구실 시범사업 진행 (연구기간 5년 / 연 3억원)
- 재료과학적 성격이 강하고 선진국 대비 기술축적도가 낮은 핵심요소기술을 선정하여 기술지정형 소재전문연구실 시범사업 진행 (연구기간 5년 / 연 2억원)
- 미래소재추진위원회 연구개발 분과에서 산업계 수요조사를 수행하고 이 중에서 장기적으로 원천기술 확보가 가능한 소재기술을 선정, 지원

○ 2단계 : 소재전문연구실 본격 추진 및 전문기술간 연계 (2019~2025)

- 1단계 종료 후 소재지정형과 기술지정형 사업간의 비율 조정 및 융복합기술 등 수요산업 중심의 관점변화를 고려한 소재전문연구실 사업 수행
- 구조-공정-분석 전문기술간 연계를 시도하여 신소재 개발을 위한 연구체계 구축 및 산업현장 문제해결을 담당할 수 있는 연구집단 형성

5.3.4. 추정 예산

	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	계	비고
과제수	5	10	15	20	25	25	25	25	25		21년까지 25개 MRL
예산	15	30	45	60	75	75	75	75	75	525	

5.3.5. 기대효과



<그림 5.3-4> 미래소재 마스터 양성 기대효과

■ 시나리오 1 : LiB 음극소재 연구 분야

N사에서 근무하는 S연구원은 지방대 출신으로 석사를 수료한 후 중소기업에 취직하게 된다. 입사 후 S연구원은 N사가 주변의 정부출연연구소로부터 나노소재 합성 기술을 이전 받아 LiB 음극용 Si 나노입자를 개발하는 프로젝트에 투입되었다.

그 기술은 곧 바로 상용화(양산화)를 시작할 정도의 수준이 아니어서 추가 개발이 필요한 상황이었다. 또한 N사는 자본금 및 인력이 충분하지 않아 장기적인 개발에 어려움이 있었다.

S연구원은 N사 대표와 함께 밤낮을 잊으며 장비 및 공정 개발에 매진하면서 수요기업 발굴에 힘썼다. 그러던 중 2차전지 개발을 진행하던 A사와의 연구/개발 협력이 이뤄지고 대형 정부수탁 과제를 통해 N사로부터 기술 및 장비를 도입하기로 결정되었다.

N사는 이미 S연구원과 함께 지속적인 개발을 통해 우수한 특성의 LiB용 음극재 제조를 위한 기본 기술을 확보한 상태였다. 하지만 N사의 자금력 부족으로 타사와의 협력이나 추가 투자가 없으면 지속적인 개발이 힘든 상황에 봉착하게 되었고, A사와도 문제가 생기게 되어 추가 개발이 여의치 않은 상황에 봉착되었다. 대부분의 장비는 확보가 된 상황이지만 지속적인 개발이 요구되는 상황에서 최근 정부가 지원하는 ‘미래소재 마스터 양성 사업’을 통해 S연구원의 LiB 음극소재에 대한 독보적인 기술을 지속적으로 심화시킬 수 있는 계기를 마련하게 된다.

이로써 중소기업인 N사에게도 전문인력인 S연구원을 계속 확보할 수 있게 되었고 S연구원 또한 본인의 전문성(마스터쉽)을 지속적으로 키울 수 있도록 지원 받을 수 있게 되었다. 이를 통해 중소기업 및 연구개발자의 연구개발 지속성 및 안정성을 확보하는데 도움이 될 수 있었다.

■ 시나리오 2 : 플라즈마 기술을 이용한 트라이볼로지 코팅 연구 분야

에너지 저감, 고속 가공 위하여 다양한 트라이볼로지 플라즈마 코팅 기술이 응용되고 있다. 절삭 공구를 주로 제작 판매하고 있는 W사는 이런 절삭공구를 현재 산업에서 요구하는 고속가공, 난삭재 가공에 응용하고자 플라즈마 코팅이 가능한 장비를 10억여원을 주고 외국 선진사로부터 도입해 왔다.

국내의 플라즈마를 이용한 산업의 근간이 되는 tribology 코팅 기술은 지난 90-2000년 초반을 거치면서, 신재생에너지, 미래 먹거리인 IT 산업의 연구개발의 명목화에, 대학 및 연구소에서는 연구기반이 거의 무너져 내린 상황에서, 새롭게 도입된 플라즈마 코팅 장비는 W사에서는 선진사에서 장비를 도입하면서 배워온 레시피 이외에는 활용할 수 없는 상황이다. 소위 반쪽자리 장비형태.

현재 W사는 항공/우주용 복합소재와 같은 난삭재 가공을 위하여 제작된 공구에 특수한 tribology 코팅 기술을 적용하고 싶으나, 십 수억원을 주도 도입된 장비의 기능 및 레시피등의 분석 기법이 이루어지지 않아, 새로운 공정 개발을 추진하고 있지 못하는 실정이다.

K연구소의 K모 박사는 지난 30여년간 꾸준히 tribology 코팅을 위한 플라즈마 소스 연구, 이를 이용한 플라즈마 코팅 공정 연구를 실시해 왔으며, 다양한 정부의 지원에 힘입어, 이 분야에 대한 독보적인 기술을 확립하고 있다.

W사의 김부장은 이에 K모 박사를 방문하여 선진사 장비를 공개하고, 이를 분석하여 새로운 레시피 개발을 할 수 있었다,

재료 생태기반 지속가능 소재개발 사업 (신규)

- 재료의 지속가능성에 대한 정량적 지표인 재료생태지수를 전주기적으로 개발
- 지속가능 연구센터를 구축하여 재료생태지수가 높은 물질 기반으로 지속가능형 핵심 소재 및 공정 기술개발을 도모

5.4.1. 사업의 개요 및 필요성

▣ 급속한 재료 소비 증가에 따라 자원 및 재료 공급의 지속성 위협

- 1900년에서 2005년까지 약 100년 동안 자원 소비량은 8배 증가²⁹⁾. 자원 사용량의 증가는 인구 증가 이상으로 급격하게 증가하고 있으며, 이는 각종 문명의 이기들에 대한 수요의 확산과 소비 증가가 원인
 - 산업 시스템은 자연 생태계와 달리 열린 구조(open system)이며 순환을 위해서 새로운 자원과 에너지가 투입되어야 하며, 폐기물도 발생
- 원소의 대부분을 구성하는 금속 원소들은 한정된 매장량 이내에서 사용할 수 있으며 많은 원소들의 매장량은 큰 차이를 보이기에 모든 자원이 언젠가는 고갈될 것이며, 특히 일부 자원은 빠른 시일에 고갈될 가능성이 농후³⁰⁾
- 기존의 재료 소비 패턴이 계속 진행된다면 문명의 지속적 발전(sustainable development)은 보장하기 어려우며, 피할 수 없는 재료 소비의 증가를 충족시키면서 지속적인 발전을 할 수 있는 방법을 찾는 것이 현 시대 재료 연구의 중요한 이슈

▣ 환경, 기업, 및 사회적인 요구를 동시에 만족시킬 수 있는 지속가능한 발전이 화두

- (지속 가능한 발전, sustainable development의 정의) 미래 후손들의 필요에 피해를 주지 않으면서 현 시대의 요구에 부응하는 발전으로 환경, 기업, 및 사회적인 요구를 동시에 만족
 - 최근 옥시 사태를 통해 알 수 있듯이 성능 향상 위주 물질 개발은 환경, 사회적으로 문제를 발생
- ※ 아웃도어 재료인 과불화화합물은 방수·발수 기능을 하지만 발암물질

29) F. Krausmann, S. Gingrich, N. Eisenmenger, K.-H. Erb, H. Haberl, M. F.-Kowalski, Growth in global materials use, GDP and population during the 20th century, Ecological Economics (2009).

30) M. F. Ashby, Materials and Sustainable Development, ELSEVIER, Cambridge, UK (2016).

※ 비스페놀 A는 뛰어난 성능으로 플라스틱에 쓰였으나 내분기교란물질

- 유럽연합(EU)에서는 2012년부터 SPIRE (Sustainable Process Industry through Resource and Energy Efficiency)라는 프로그램을 통하여 공사(公私) 업체간 협력을 통해서 지속 가능한 성장을 도모³¹⁾

- 지속 가능한 발전은 여섯 개의 분야의 균형적인 발전과 협력이 요구되며, ‘재료’는 에너지와 환경에 직접적인 영향을 미치기 때문에 지속 가능한 발전을 위해 가장 중요한 분야
- 재료 분야 지속 가능 기술의 중요한 방향은 재료의 지속 가능성 향상, 지속 가능성이 높은 재료를 활용하는 제품 설계, 그리고 이를 구현할 수 있는 적절한 재료의 개발과 이러한 재료를 지속적으로 공급할 수 있는 기술 개발 등이며, 이러한 기술을 확보할 수 있는 미래 재료 개발 전략이 필요



<그림 5.4-1> 지속가능한 발전 및 이를 위한 6 분야 (Ashby, 2016)

■ Critical material의 수요 및 공급을 관리할 수 있는 시스템 확립이 필요

- (Critical material의 정의) 제한된 매장량으로 인해 국가의 경제 및 안보에 큰 영향을 끼치는 물질
 - HHI Index는 critical materials 여부를 판단할 수 있는 정량적인 지표
- 재료독과점에 의한 국가 간 심각한 갈등이 발생하며, 각국의 정부는 이러한 critical 재료들의 목록을 만들고 공급을 확보하기 위해 독점 공급 계약을 협상하고 새로운 원천을 찾거나 또는 비축을 하는 등 다양한 전략을 개발
- 지속적인 기술 및 경제발전을 위해서 전 세계적인 측면에서 critical materials의 수요 및 공급을 지속적으로 감시 및 조절이 필수

31) <http://www.spire2030.edu>



<그림 5.4-2> Critical materials의 종류 및 각 원소별 HHI index (Ashby, 2016)

■ 지속적인 발전을 위한 전주기적 재료생태지수 확립이 필요

- 지구적인 차원에서 문명의 영위와 환경충격의 감소를 이루기 위해서 종합적인 관점을 가지고 재료 기술을 발전시켜 환경 물질 수지에서 이득이 되는 재료개발이 필수
- (재료생태지수의 정의) 재료순환의 관점에서 재료의 절대적인 가치를 평가할 수 있는 새로운 지표
- 13개 인자를 고려하여 전주기적 재료생태지수 확립이 필요
 - 자원량 지수: 매장량, 연간 소비량, 자원 집중도, 사용량 증가속도
 - 환경충격지수: 생산에 관련되는 물질량, 인체 독성, 자원피폐가속도
 - 공정 및 에너지지수: 자원의 존재형태, 공정 난이도, 투입 에너지
 - 재활용 지수: 재료회수 난이도, 재활용 난이도, 재활용률
- 재료생태지수가 높은 재료들로 만들어진 제품들을 소비하며, 재활용이 원활하게 할 수 있는 제품 설계 및 사용 종료된 제품을 잘 회수하고 재활용할 수 있는 시스템을 갖추는 것이 중요하며, 생활 방식도 재료의 소비가 최소화하는 형태로 운영되는 것이 필요
- 재료생태지수를 활용하는 재료 연구는 에너지-재료 환경의 기술적인 부분의 진보에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 전망
- 재료 생태기반 기술 지속 가능한 발전을 위한 재료 개발 기술은 새로운 패러다임을 제시할 수 있는 기술로서 단기간에 축적할 수 있는 기술이 아니며, 국가차원의 투자를 통해 안정적인 연구 인프라 조성 및 지원이 필요한 사업
- 본 미래 선점을 위한 재료에 필수적인 재료 생태 지수 개념 정립 및 지속 성장 기술을 개발하여 재료 공정의 로드맵을 제시할 수 있고, 이를 활용하여 에너지, 환경과 같은 다양한 응용 분야에 적용 가능성을 확보

■ 지속가능형 발전을 위한 핵심 소재 개발이 필수

- 향후 시장이 커질 지속 가능한 발전에 필요한 필수 소재에 대한 주도권을 가지는 것은 국가 경쟁력 확보를 위해 매우 필요
- 기존의 “성능” 위주의 연구 및 개발에서 사용하는 원소, 공정 방법 등에 대해 “지속 가능성 관점”에서 새롭게 재평가가 필요
- (국내 현황) 지속 가능성을 고려하지 않고 오직, 세계 최고수준의 10대 핵심소재 (World Premier Materials, 세계시장 10억불, 시장점유율 30%이상 가능한 신소재) 개발을 최우선 목표로 하는 자세³²⁾는 해외시장 및 경제 강국에서 계획하고 있는 R&D 전략과 맞지 않음.
- 산업용 지속 가능형 핵심 소재로 Critical material은 풍부하면서도 환경충격 지수가 적을 물질로 대체하는 것이 필요
 - 백열전구는 LED, OLED 의 방향으로 발전하면서 성능은 좋아졌으나 Critical material의 사용 증가로 지속가능성은 감소
 - 미래의 조명은 Critical material 을 대체(예를 들어 Ir을 대체하는 발광물질, 희토류가 없는 Carbon based magnet)할 수 있는 소재를 개발함으로써 성능을 유지, 혹은 진보시키되 지속가능성을 높이는 방향으로 소재를 개발하는 것이 필요
- 현재, 에너지, 환경과 같은 기술은 국가 주력산업의 근간으로서 우리나라의 산업발전에 기여해왔으며, 향후 우리나라의 신 성장 동력이 될 다양한 산업 분야의 핵심. 하지만, 재료의 고갈에 따라, 지속 발전 가능한 재료를 통해 주력산업을 이어나가, 혁신을 유도한다면 우리나라가 세계 산업을 선점하여 지대한 수익모델이 창출 가능
- 주력산업뿐만 아니라 다양한 범위에 적용 가능한 지속 발전 재료를 개발할 수 있는 기술의 확보를 통하여, 보다 많은 연구자들의 참여를 유도할 수 있도록 하고, 큰 규모의 국제시장에서 우위를 차지
- 재료 생태 지수 활용을 통해 지속 발전 가능하면서 산업적으로 요구되는 재료를 찾아낼 수 있으며, 산업 및 친환경적인 면에서 비약적인 발전을 이룩
- 미래 산업으로 평가받는 지속 발전을 위한 미래 재료 산업의 활성화를 통해 고용 증대 효과를 누리게 하고 관련 분야에 큰 파급효과를 일으켜 국가의 전반적인 산업 경쟁력을 확보
- 지속 발전을 위한 미래 재료를 찾아냄으로서, 범용적인 제어기술 개발과 나아가, 공

32) 용태석, 이상남, 박주현, 미래 산업 대응 소재의 정부 R&D 투자 방향, 한국과학기술기획평가원, ISSUE PAPER 19호 (2015).

정비용을 감소시켜 양산화와 경제적 당위성을 만족시키게 된다면, 첨단융합 산업들의 비약적 성장이 기대



<그림 5.4-3> 산업용 지속가능형 핵심 소재 예시

■ 재료 생태기반 지속가능 소재 개발 사업의 개요

- 지속성 향상을 위한 연구 주제를 체계적으로 개발할 수 있는 정량적인 지표로 사용할 수 있는 재료생태지수를 개발
 - 다양한 연구 기관들이 조사한 자료를 활용하여 정량적인 재료생태인자 데이터베이스를 확보하고, 재료생태지수를 개발
- 기존의 “성능” 위주의 소재 개발에서 벗어나, 재료생태지수를 바탕으로 “지속 가능성” 관점에서 우수한 소재를 개발하는 기술을 확보.
 - 우리나라의 자원 공급 혹은 통일 후의 자원 공급 상황 등을 체계적으로 고려고, 기존에 사용되는 critical materials(자석에 쓰이는 희토류 금속, 리튬이온전지의 리튬, 태양전지나 전지에 쓰이는 인듐 등)을 재료생태지수가 높은 재료로 대체하는 연구를 진행
- 지속 가능성 및 경제성을 고려하여 원자재 및 재료로부터 제품 생산까지, 최적의 공정 구조 조합을 연구
 - 제조 공정 중 폐기물 발생을 원천적으로 차단하는 공정(청정 공정 기술)과 제품 수명주기를 효과적으로 확대할 수 있는 제조공정(녹색제품 생산기술)을 포함
- 성능 및 가격 중심의 재료개발 전략을 “지속 가능 발전”관점의 재료 개발 전략으로 전환하여 기존의 공정과 달리 대한민국의 상황에 최적화 된 국가 차원의 체계화된 원소 전략을 제시

5.4.2. 추진 전략

■ 전주기적 재료생태지수 개발

- 장기적인 정책 연구를 통해 가채 매장량, 재료 독성도, 제련 난이도, 재활용 공정 난이도 등 13가지 인자를 고려한 재료생태지수 개발
 - 재료생태인자 별 특성을 분석하고 상호 연관성을 도출
 - 자원량 지수는 매장량, 가채 년 수, 자원 집중도를 기준
 - 환경 충격 지수는 생산 시 발생하는 유해물질량을 기준
 - 재활용 지표는 기술의 난이도, 비율, 이득 및 누적 축적량을 기준
 - 다양한 재료생태 인자를 통합하는 새로운 지표를 설계
 - 개발된 지표를 주요 재료에 적용하여 각각의 재료에 대한 재료생태지수를 도출
- 연구의 지속성을 위하여 장기지원(3+3)을 통한 정책 연구 추진
- 재료생태지수를 바탕으로 소재 R&D 정책에 반영 및 소재 개발·생산 시 활용



<그림 5.4-4> 재료생태지수 개발을 위한 재료생태 인자

■ 4대 분야 지속가능형 핵심 소재 개발

- 지속가능성 관점에서 국가적 필요성이 부각된 4대 분야의 소재개발 추진
 - 미래소재추진위 연구개발 분과에서 재료생태지수 및 국가 소재 R&D 정책을 고려하여 개발대상 소재기술을 도출

※ 4대 분야 : (1) 희유자원 대체 소재 (2) 유해소재 대체 소재

(3) 친환경 공정 개발 (4) 재활용 소재

- ‘지속가능한 발전’을 핵심 내용으로 지속가능형 핵심 소재 개발에 있어 향상된 생산성을 갖는 공정을 구축
- 원자재 및 재료로부터 제품 생산까지 Sustainability 및 경제성을 고려하고 선택 가능한 최적의 공정 구조 조합을 탐색
 - 제조 공정 중 오염물질의 사용 및 발생을 원천적으로 차단하는 청정 공정 기술과 제품 수명 주기를 획기적으로 확대할 수 있는 제조공정인 녹색제품 생산기술을 포함

5.4.3. 추진방법

■ 1단계 : 지속가능 소재 연구센터 구축 및 시범사업 착수 (2016~2018)

- 금속 소재의 재료생태지수를 구성하는 재료 생태 인자 데이터베이스 확보 및 1 단계(재료특성표) 및 2 단계(3차원화) 재료 생태 지수 개발
- 지속 가능 소재 연구센터를 설립하여 안정적인 재료생태지수 개발 및 지속 가능형 핵심 소재와 공정 방향 설정
- 대학과 국가 출연 연구소의 협력을 통한 개방형 센터로 운영하며 소재 연구자 및 소재 관련 기업에 대한 연구 개발 방향 자문 및 정보 제공
- 재료생태지수 활용하여 지속 가능한 소재 개발 방향 설정 및 연구 주제 도출 → 2 단계 연구 주제 선정에 활용

■ 2단계 : 지속가능 소재 연구센터 운영 및 소재기술의 확대 (2019~2025)

- 3단계 재료생태지수(단일 지수화) 개발 및 재료생태인자 데이터베이스의 지속적인 업데이트 → 2년 주기로 재료생태지수 업데이트
- 재료생태지수 적용 대상 확대(비금속 재료 및 복합 재료 포함)
- 재료생태지수를 활용하여 국가 차원의 소재 R&D 전략 수립, 지속 가능 과제를 도출하고 핵심 R&D 에 대해 꾸준히 모니터링하고 피드백을 주는 역할을 수행
 - 재료생태지수를 활용한 지속가능성 평가기준의 도입 타당성 조사
 - 지속가능형 핵심 소재 및 공정 기술의 홍보와 교육
- 1단계(3년) 진행 후 연구 성과의 기술이전 혹은 소재산업 참여여부에 따라 2단계 진입

5.4.4 추정예산

■ 1단계 (2016~2018) : 시범사업

○ 투자액 : 60 억원 (연 20억원)

<표 5.4-1> 1단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
재료생태지수 개발 및 지속가능소재 연구센터 구축	4	6	- 재료생태인자 데이터베이스 개발 및 확보 - 1단계 및 2단계 재료생태지수 개발 - 재료생태지수 활용한 지속 가능형 재료 개발 전략 도출
예측합성 기반 희유자원 대체 촉매 소재 개발 공정 플랫폼 구축	8	8	- 예측 합성을 위한 계산과학 기반 기체-고체 반응 공정변수 개발 - 양자효과가 극대화된 나노스케일에서의 다중원자 상변화 도표 개발 - 무기물 촉매 활성점 설계 및 촉매 반응 기작 예측
대기 중 이산화탄소를 이용한 플라스틱 및 세라믹소재	8	8	- 나노입자의 결정지수 조절을 통한 이산화탄소 분해기술 개발 - 양자점 기반의 이산화탄소 분해 기술 개발
계	20		

■ 2단계 (2019~2026) : 본격 사업추진

○ 투자액 : 416억원 (연 52억원)

<표 5.4-2> 2단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
지속 가능 소재 연구센터 운영	4	6	- 3단계 재료생태지수 개발 및 업데이트 - 재료생태지수 확대(비금속 및 복합 재료 포함) - 재료생태지수 적용(국가 전략 및 정책 도출, 관련 과제 모니터링, 산업체 및 연구자 자문 등)
예측합성 기반 희유자원 대체 촉매 소재 개발 공정 플랫폼 구축	8	8	- 열역학 계산과학 및 반응속도론 이론 기반 다중원자 소재의 상 및 구조 변화 예측 기술 개발 - 활성도, 선택성, 내피독성을 동시에 충족할 수 있는 촉매 후보 재료군 제시 - 활물질/담체 복합소재 상 및 산화수 정밀 제어 기술 개발
대기 중 이산화탄소를 이용한 플라스틱 및 세라믹소재 개발	8	8	- 플라스틱/세라믹 하이브리드 소재 기반의 이산화탄소 연료전환 기술 개발
희유자원 대체 소재 개발	8	5~10	추후 기획
유해소재 대체 소재 개발	8	5~10	추후 기획
친환경 공정 구축	8	5~10	추후 기획
재활용 소재 개발	8	5~10	추후 기획
계	52		

5.4.5. 기대효과

■ 시나리오 1 : 지속 가능 소재 연구센터 분야

어떤 재료를 선택할 것인가?

니켈, 코발트는 성질이 유사해서 활용 분야(양극 재료나 철강의 합금 원소 등)에서 경쟁 재료이다. 이 중에서 경쟁력 있는 재료를 선정하여 기술 개발하는 것은 투자의 효율성 뿐 아니라 기업의 생존에 영향을 미칠 수 있는 중요한 선택이다.

많은 상황에서 가격이 가장 중요한 기준이 되어왔다. 예를 들어서 2000년대 초에는 코발트 자원의 보유 및 생산이 가장 많은 콩고의 내전 등에 의한 불안정으로 코발트 가격이 매우 비쌌다. 이 때 니켈을 사용한 코발트 대체 연구가 많이 진행되었다. 하지만 그 이후 니켈과 코발트의 가격차이가 줄어들면서 니켈을 사용한 코발트 대체 연구는 크게 성과를 거두지 못하고 있다.

최근에는 망간 또한 전극 재료로 사용가능하다는 것이 밝혀져서 연구가 진행되고 있다. 또한 이 세 재료는 철강의 합금 원소로도 경쟁하는 재료이다. 전기차의 확대나 고급 철강 재료의 수요 증가에 따라 이러한 분야에서 경쟁력을 가지게 될 또는 지속성을 갖는 재료를 선정하여 필요한 연구 개발을 선점하는 것은 매우 중요하다.

하지만 앞에서 설명한 바와 같이 가격을 가지고 선택하는 것은 상황의 변화에 따른 변동이 크기 때문에 위험이 크고, 지속성을 보장할 수 없다. 재료생태지수를 활용하면 경쟁하는 재료들 사이의 지속성에 대해 쉽게 평가할 수 있기 때문에 미래에 사용될 재료에 대한 기술 개발을 선제적으로 진행함으로써 경쟁력의 우위를 가져올 수 있을 것이다.

예를 들어서 현재까지 확보된 데이터베이스를 통해서 코발트, 니켈, 망간의 재료생태지수 비교표를 만들어보면 세 재료의 지속성 우선순위는 “코발트 $\approx$ 니켈 < 망간”의 순서이다. 따라서 재료의 성능이 유사한 철강의 합금 원소 분야는 망간이 우위에 있고, 전극재료 분야에서는 망간 전극의 성능이 어느 수준 이상이 되면 망간이 사용될 것이라고 예측할 수 있다.

■ 시나리오 2 : 예측합성 기반 희유자원 대체 촉매 소재 개발 공정 플랫폼

국내외에 잘 알려진 소재 전문가 K연구원의 하모 박사는 최근 독일 V사에서 큰 화두가 되어 전세계적에 충격을 안겼던 디젤 자동차 배출가스의 질소산화물 (NOx)을 제거하기 위한 연구를 진행 중이다. 이러한 디젤 자동차에서 배출되는 배연가스에 포함된 질소산화물의 경우 처리조건이 까다로워 선진국의 촉매회사도 적절한 촉매를 개발하지 못하여 수십 년 동안 난제로 여겨져 왔다. 최근 들어 환경규제는 더욱 엄격해져서, 질소산화물을 점점 낮은 온도에서 처리해야 하거나 선박엔진과 같이 coking 및 피독 문제 등을 극복해야하는 등 극한조건에서 다양한 양상으로 소재 관점에서 해결해야할 문제가

발생하고 있다.

종래에는 탈질촉매개발이 V_2O_5/TiO_2 계를 중심으로 W, Mo 등을 조촉매로 사용하거나 Fe, Cu등이 이온 교환된 제올라이트계 촉매 등이 사용되어 왔다. 최근에 그는 220℃ 영역에서 작동하는 촉매 개발에 성공하여 이를 선박엔진용 2세대 탈질촉매에 성공적으로 적용하였다. 하지만 구동온도를 150℃로 낮추고 미래형 자동차용 burner free 3세대 탈질촉매를 개발하기 위해서는 촉매표면의 원자 배열 구조 및 전자가 매우 정밀하게 설계되어야 한다. 즉 초산점 (super acid) 및 다중산화가를 갖는 redox반응을 극대화 시킬 수 있는 촉매개발 필요한데, 이러한 다중 원자로 구성된 복합 촉매의 실제 제조를 구현하기 위해서는 설계의 시간과 실험적인 한계를 극복할 수 있는 예측합성법이 필요하다.

그는 설계된 촉매의 실제 제조를 구현하기 위하여 고상-기상 공정과 계산과학을 기반으로 하는 예측합성 플랫폼에서 도출된 공정변수를 통해 다양한 조합의 표면구조를 성공적으로 구현한다. 특히 양자효과가 극대화된 원자단위 활물질을 대량생산하기 위해서는 나노스케일에서 재료의 구조 및 상 안정성을 열역학적으로 예측할 수 있는 엘링검 도표 및 상 도표 구축이 필요하다. 이러한 시스템에서 제시되는 소재 내 각 원소의 반응 화학포텐셜 및 고용화도를 고려하여 선택적으로 원소의 산화, 환원 반응을 유도할 수 있다. 이는 기상에 존재하는 분자와 고상 소재의 상호작용을 통해 원자의 자가 확산 및 자가 조립을 발현한다. 즉 계산과학에서 도출된 물질조성 및 공정변수를 통해 산화물 기반 복합 담체의 porosity, vacancy를 미세하게 제어함으로써 균일한 크기의 활물질을 대량생산하는데 성공하였다.

하모 박사는 150℃ 이하에서도 활성을 갖는 저온·고내구성 촉매 개발은 초고연비 엔진 자동차의 구동을 가능하게 할 뿐만 아니라 환경 촉매 시장의 패러다임 자체를 바꿀 것이라는 본인의 생각을 말했다. 특히 이러한 예측합성 기반 배출가스 정화 촉매 관련 원천 기술의 플랫폼 확보를 통해 향후 20년 이상 자동차 산업의 주류를 차지할 것으로 예상되는 내연기관의 배출가스 정화에 있어 지속적으로 강화되고 있는 국제적 환경 규제에 효율적으로 대처할 수 있다.

이와 더불어 다양한 촉매 소재의 개발 공정 원천 기술을 확보함으로써 나노 소재의 물성 데이터베이스를 수립하고 이를 바탕으로 한 최적 소재 구조 설계 기준을 제시할 수 있다. 특히 현재 촉매의 디자인 원칙인 d-band 이론은 금속 촉매의 d-band 중심 에너지의 위치를 기반으로 촉매 표면 반응성을 설명하고, 예측할 수 있다는 이론이다. 하지만 차세대 다기능 나노소재에서는 촉매 효율 향상을 위해 d-band를 뛰어넘는 원자단위 스케일의 소재 제어 기술력이 필요한데, 이러한 예측합성 플랫폼은 이에 요구되는 필수적인 다양한 복합 나노소재의 상 및 구조제어 기술을 개발하는데 큰 도움이 된다. 앞으로 이러한 기술을 활용하여 소재 합성의 공정제어 로드맵을 제시할 수 있고, 에너지, 환경 응용 분야에의 요구되는 다양한 촉매로의 적용 가능성을 확보할 수 있다.

이머징 산업 창출형 소재개발 사업 (신규)

- 10년 후 10대 국가 주력산업으로 자리 잡을 이머징산업의 부가가치를 극대화할 수 있는 와해성 기술 기반 미래시장형 신소재 (Matured New Materials, MNM) 기술 개발

5.5.1. 사업의 필요성 및 개요

■ 소재산업은 산업경제의 뿌리

- 세계 10위권의 제조업 기반 수출주도형 무역국가를 견인해 온 핵심 주력산업은 세계 최상위권의 경쟁력을 갖는 범용·기초소재 기술에 그 근간을 두고 있음
- 우리 경제를 이끌고 있는 주력산업들은 대형 선박과 해양구조물(1위), 자동차(5위)와 관련 부품, ICT 제품(2위), 반도체 소자(1위), 대형 디스플레이(1위), 스마트 폰(1위), 철강(6위) 및 석유화학 산업(8위) 등

<표 5.5-1> 한국 주력산업 세계시장 점유율

품 목	세계 시장 점유율(%)	세계 순위
ICT 기기	7.3	2
반도체 메모리('14)	70.5	1
대형 LCD('13)	48.1	1
스마트 폰('14)	29.0	1
조선('13)	25.8	1
자동차	5.8	5
자동차 부품	6.4	
철강	4.8	6
석유화학	5.7	8

- 이들 주력산업의 뿌리인 철강과 비철 등 금속소재, 각종 합성수지 등 화합물을 포함하는 화학소재, 고무, 합성피혁, 플라스틱, 시멘트, 유리, 내화물, 도자기 등 세라믹 소재, 그리고 방직과 직물 등 기초소재는 2012년 생산규모가 총 281.6조원으로 제조업의 18.6% 그리고 소재·부품의 42.1%에 달하며 미국, 독일, 일본 등과 대등한 규모의 생산 인프라를 갖추고 있어 원가경쟁력 면에서는 소재 선진국

<표 5.5-2> 주요 기초소재 생산규모(2012년)

구분	기업 수(개)	인력(명)	생산액(조원)	비고
제조업(A)	63,907	2,753,684	1,511.5	
소재·부품(B)	24,837	1,419,122	668.3	
기초 소재(C)	7,298	376,282	281.6	
1차 금속	1,651	100,724	118.6	금속소재
비금속광물	529	27,669	11.6	세라믹소재
화합물/화학제품	1,429	90,947	102.7	화학소재1
고무/플라스틱	2,496	114,790	37.7	화학소재2
섬유제품	1,193	42,152	11.0	섬유소재
소재 비중(C/A)	11.4%	13.7%	18.6%	
기초소재 비중(C/B)	29.4%	26.5%	42.1%	



<그림 5.5-1> POSCO의 철강생산량 추이 및 발전과정



<그림 5.5-2> 우리나라 에틸렌 생산량

■ 고부가가치 핵심소재에 대한 기술혁신 역량 확충이 당면과제

- 하지만 고부가가치의 핵심소재 시장은 미·일·독 등 소수의 기업들이 독과점하고 있으며 국내 기술이 세계 수준 대비 70% 선에 머물러 있어 중요 핵심소재의 대외의존도를 개선할 필요성이 매우 큼
- 대표적인 예로 주요 수출 품목으로 세계 시장의 48.1%를 차지하는 대면적 LCD TV를 살펴보면 소재가 생산원가의 55%를 차지하는데, 핵심소재인 액정, 얼라이언트 필름, 편광필름은 100% 그리고 컬러 필터, 포토레지스트도 70% 이상 수입에 의존

<표 5.5-3> TFT-LCD 용 소재 대외의존 현황

Major Element	Foreign Dependence	Supplier
Liquid Crystal	100%	Meck, Chissco
Alignment Layer Film	100%	Nissan, JSP, Chissco
Polarizer Film	100%	Nitto Denko
Color Filter	77%	JSR, Tokyo Ink, Sumitomo
Photoresist	73%	AZEM, TOK, Zeon
Black Matrix	74%	TOK, MCSC
Spacer	71%	JSR
Over Coat	62%	JSR, Chissco

- 리튬 이차전지와 실리콘 태양전지의 경우도 제품 원가에서 소재가 차지하는 비중이 각각 53%와 82%를 차지하는데 역시 핵심소재는 대부분 수입에 의존
- ※ 2014년 OECD와 국제무역기구(WTO)의 보고서에 의하면 한국이 수출로 벌어들인 돈의 40%가 다시 외국으로 빠져나감. 전체 GDP 중 서비스 산업이 37%에 지나지 않는 산업구조에서 많은 양의 핵심 소재와 부품을 수입에 의존하기 때문
- 원료부터 소재·부품, 설계, 조립, 유통, 마케팅, 판매·서비스까지 이어지는 산업의 가치사슬에서 생성되는 부가가치를 비교했을 때, 일반 제조업의 경쟁력은 규격 제품을 값싸게 대량으로 제조하여 경쟁력을 높이기 때문에 조립단계에서 대부분의 부가가치를 창출해 내지만 첨단 제조업의 경우 가장 부가가치가 높은 단계가 원료와 소재·부품, 설계 그리고 브랜드 관리를 통한 판매·서비스 및 마케팅임



<그림 5.5-3> 제조업의 가치사슬과 부가가치 관계

- 20-30년에 걸친 부단한 노력으로 설계, 외관 디자인 및 제조 품질에서 얻을 수 있는 부가가치는 상당부분 달성했으며 마케팅과 S/W 부문에 개선의 여지가 있기는 하나 무엇보다도 고부가가치 소재와 부품을 개발해서 첨단제조업의 부가가치를 높임으로써 찡그린 모습(crying curve)을 벗어나 웃는 얼굴(smile curve)로 가치사슬을 혁신시키지 않으면 우리 주력산업의 미래가 불투명
- 부가가치가 높은 첨단 핵심 소재에 대한 기술적 비교 우위를 확보하는 것이 당면과제

■ 정부 주도의 선제적 투자에 의한 미래시장형 신소재(MNM) 기술을 선점

- 이는 우리나라의 핵심 주력산업이 조기 진입형 투자에 의한 원천기술 개발로 세계 시장을 선도하였다기 보다는 시장형성 직전 또는 시장확대 시점에 즈음한 중간 진입형 투자로 fast-follower형 기술경쟁력을 확보할 수밖에 없었던 시대적 상황에 기인
- 조선산업의 예로부터도 보듯이 세계적인 산업트렌드의 변화와 “신넛크랙커” 상황으로 현재의 핵심 주력산업이 10년 후에 그 자리를 지키고 있을 수 없다는 것이 자명한 현 시점에 소재분야 국가 R&D 차원에서 10년 후 국가 주력산업으로 자리 잡을 이머징산업군을 발굴하고 그 뿌리가 될 미래시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술에 선제적으로 투자함으로써 미래 기술 주도권을 확보할 필요

※ 이머징 산업 : 아직 구체적인 산업의 모습을 갖추지 않았으나 사회적/정책적 수요가 지대하여 10년 후 시장이 폭발적으로 확장될 것으로 예상되는 산업

○ 미래시장형 신소재 (Matured New Materials, MNM) 기술이란 재료 물성, 부품 성능 등이 기존 소재에 비해 월등하면서도 생산성, 경제성 등이 수요 기업에서 수용할 수준의 가용성이 있어 개발만 되면 관련 시장의 전개가 용이한, 소재의 시스템 적용성까지 포함하는 소재 기술로 정의

- 화학조성 - 미세조직 - 공정 - 물성의 상호 관계에 대한 과학적 이해와 인위적 제어라는 패러다임으로 발전해 온 재료공학에 기반해서 물성을 향상시킨 신소재일지라도 제조 공정(manufacturing)의 재현성, 안정성 및 생산성과 설계(design) 요건을 충족시키기에는 미흡한 경우가 대부분
- 신소재에 대한 연구개발 내용과 범위를 재료과학의 한 축에서 소재제조와 부품제조 기술을 포함한 세 축으로 넓힘으로써 신소재에 대한 market pull 환경이 조성될 때 technology push 역할을 극대화하여 조기에 신산업 창출이 가능



<그림 5.5-4> 시장을 형성하는 신소재의 구성요소

- 상용화까지 회임기간이 매우 긴, 그러나 기술개발이 성공할 경우 그 파급효과가 매우 큰 고위험 고소득(high risk & high return) R&D의 전형인 MNM 기술 개발의 특성을 감안하여 중장기 R&D 투자기간을 설정하고 소재↔부품↔시스템 가치사슬 구현을 위한 연학산 플래그십 형태의 기술 개발을 추진함으로써 신소재 기술 개발 투자 위험에 대한 불확실성을 낮추고 수요기업과 정보 비대칭성도 줄여 “죽음의

계곡”을 넘는 기술 혁신이 용이하도록 정부 주도의 선제적인 장기 투자가 필요



<그림 5.5-5> 기술발전과 죽음의 계곡

5.5.2. 추진전략

■ 이머징 산업군 발굴

- 사익을 배제할 수 있는 각계각층의 책임 있는 국내 전문가가 글로벌 메가트렌드와 국가 전략, 사회적/정책적 수요를 고려하여 10년 후 10대 국가 주력산업으로 자리 잡을 수 있는 또는 잡아야 할 이머징 산업군을 발굴하고 그 부가가치를 극대화할 수 있는 미래시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술 개발을 추진

■ 와해성 기술 기반 시장형 신소재 기술 개발

- 발굴된 이머징 산업군을 10년 후 10대 주력산업으로 발전시킬 수 있는 핵심 소재기술을 개발
 - 기존 기술의 연장선상이 아닌 패러다임 전환에 의해 기존 기술의 한계 돌파가 가능한 와해성 기술 개발
 - 소재간 정합성 등을 고려하지 않은 일차원적 재료 기술이 아닌 재료 물성, 부품 성능, 생산성, 경제성 등이 기존 기술에 비해 획기적으로 우수하여 신시장 창출에 결

정적 역할을 할 수 있는 고부가가치 시장형 신소재 (Matured New Materials, MNM) 기술을 개발

■ 추진 형태 - 중장기 소재개발 생태계 활성화

- 10년 후를 내다보는 중장기 R&D 사업으로, 소재가치사슬을 형성하는 산학연이 참여하는 플래그십 형태의 기술 개발을 추진
 - market pull과 technology push가 유기적으로 이루어질 수 있는 수요 지향적 기술 혁신을 위하여, 10년 후 10대 국가 주력산업화의 주체가 될 잠재적 수요기업군이 컨소시엄에 참여하는 ESI(Early Supplier Involvement) 개념을 적극 도입
 - ※ 기업 참여를 유도하기 위해 개발기술의 기술 이전시 컨소시엄 참여기업을 우선
- 현재 존재하지 않는 이머징 산업을 대상으로 소재기술을 개발하는, 회임기간이 매우 긴 high risk & high return R&D의 특성상 필연적으로 도래할 “죽음의 계곡”을 최대한 좁혀 넘을 수 있도록 징검다리 연구(translational R/D)를 임계규모 이상의 융·복합 연구개발 집단이 주도
 - 장기적인 소재기술 혁신 과정에서 국내 산·학·연 각 섹터가 고유 영역에서 역량을 발휘하고 시너지를 극대화하기 위하여 대학은 와해성 기술, 공공연구소는 미래 수요를 겨냥한 징검다리 연구(translational R/D)에 집중하고 산업체는 개발되는 미래 시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술이 10년 후 10대 국가 주력산업의 고부가가치 핵심기술이 될 수 있도록 적극 요구하는 중장기 소재개발 생태계 활성화를 추진



<그림 5.5-6> 소재강국을 향한 핵심추진 전략.

5.5.3. 추진방법



<그림 5.5-7> 이머징산업 대응 미래소재 연구단의 운영개념도

■ 미래소재 추진위원회의 연구개발 분과에서 이머징 산업군을 지속적으로 발굴

- 사익을 배제하면서도 책임 있는, 인문-사회-이공계열을 아우르는 대학 및 출연연 전문 연구진을 중심으로 정부기관 및 관련 산업체 전문위원들을 포괄하는 각계각층의 전문가로 하기 사항을 고려한 이머징산업군을 선정
 - 국가 전략, 사회적/정책적 수요
 - 국내 기술 수준과 환경
 - 10년 후 10대 국가 주력산업으로 자리 잡을 가능성, 당위성, 수용성
- 선정된 산업군을 수정, 보완함으로써 글로벌 메가트렌드와 동기화
 - 미래사회와 미래산업 예측 등 메가트렌드 분석을 통해 선정하며 미래부의 미래준비 위원회와 협업
 - 기존에 각 정부부처/위원회로 분산 운영되었던 범국가적 미래성장동력 전략 도출 과정을 일원화하여, 이머징 산업 전반에 걸친 선제적 전망과 적극적 대응전략을 수립
- 10년 이내 산업화가 기대되는 이머징 산업을 예측, 분류하고 이와 관련한 이머징 산업 개발 로드맵을 구축

- 수시로 예측 전망을 점검, 수정, 보완하여 로드맵을 현실화

■ 원천기술 성숙도에 따른 이원화된 사업단

- (원천기술 개발형 플래그십 사업단) 관련 원천소재 기술의 성숙도가 현격히 떨어질 경우 소재↔부품↔시스템의 전주기적 가치사슬에 걸친 연구개발을 추진하여 6년 후 신산업 창출을 도모함.
 - 2단계 3+3년
- (공정기술 개발형 플래그십 사업단) 관련 원천소재 기술의 성숙도는 충분히 높지만 후방(down-stream) 기술이 결여되어 있을 경우 ‘공정’ 기술에 초점을 맞춘 MNM 기술 개발을 추진하여 3년 후 신산업 창출을 도모함.
 - 1단계 3년

<표 5.5-4> 이머징 산업 대응 미래소재 개발 예시

추진방향	세부과제(예시)
이머징산업 대응형 미래소재 발굴	• 와해성 기술 기반 이머징산업군 선정, 수정, 보완 • 이머징산업별 MNM 기술 선정, 개발 로드맵 구축, 수정, 보완
이머징산업 대응형 MNM 기술 개발	• 신기후체제 대응형 CO2 전환 MNM 기술 개발 • 스마트 자동차 MNM 기술 개발 • eco-ship MNM 기술 개발 • 대용량 에너지저장 MNM 기술 개발 • 차세대 원전 MNM 기술 개발 • 착용형 IT기기 MNM 기술 개발 • 무인이동체 MNM 기술 개발 • 신재생에너지 MNM 기술 개발 • 인공지능 MNM 기술 개발 • 미래 바이오산업 MNM 기술 개발 • 미래 우주항공산업 MNM 기술 개발 • 가상현실 기기 MNM 기술 개발

- 이중 미래부는 원천기술 개발형 플래그십 사업에 집중

■ 세부 추진 계획

- 1단계 : 이머징산업 대응형 미래소재 발굴 (2016~2017)
 - 미래 수요기업, 산학연 소재 전문가, 정부 및 인문-사회계열 인사
 - 기술 개발 로드맵 구축, 수정, 보완

- 세계 우수 연구기관 및 기업과의 네트워크 구축을 통해 컨소시엄 활성화, 성과 고도화, 글로벌 메가트렌드 동기화 도모

○ 2단계 : 1단계 플래그십 사업 (2017~2021)

- 이머징 산업군별 목표지향형 MNM 기술 개발

○ 3단계 : 2단계 플래그십 사업 (2021~2024)

- 이머징 산업군별 목표지향형 MNM 모듈화 기술 개발

○ 4단계 : 3단계 플래그십 사업 (2024~2027)

- 이머징 산업군별 소재↔부품↔시스템 가치사슬을 연계하는 MNM 시스템기술 개발

5.5.4. 추정 예산

	'17	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	계	비고
과제수	5	10	20	20	20	20	20	20	20	20		원천기술형 20개 과제 (연10억 6년)
예산	50	100	200	200	200	200	200	200	200	200	1,750	

5.5.5. 기대효과

■ 시나리오 1 : 온실가스 전환 MNM 기술 개발

화력 발전 및 철강, 시멘트 등 산업으로부터 배출되는 온실가스인 CO₂ 포집 기술을 보유하고 있는 환경기업인 A사는 자사의 기술 부가가치 제고를 위해 포집한 CO₂를 고부가가치 합성연료로 전환하는 기술이 미래 먹거리인 것으로 확신하고 있었지만 국내외 관련 기술은 산업화하기에는 현실성이 떨어지는 실험실 수준의 연구를 위한 연구 수준의 기술밖에 검색되지 않아 애를 태우고 있었다.

한편 석탄 화력발전을 주업종으로 삼고 있는 B사, 세계굴지의 철강회사인 C사, 동양 최대의 시멘트 제조회사인 D사 등은 공히 다가올 신기후체제에 대비하기 위한 대용량의 효과적 온실가스 저감 기술을 탐색해 왔으나 해외에서도 Mt급 온실가스 전환기술은 존재하지 않음을 확인하고 현실적인 타개책으로 동남아 국가들과 온실가스 배출권 협상에 돌입하였다.

위 A ~ D사 모두 신기후체제가 도래함에 따라 이산화탄소 전환기술 확보가 필수적임은 절실히 느끼고 있었으나 관련된 국내외 기술의 성숙도로 보아 10년여의 장기 R&D 프로그램으로도 해결된다는 보장도 없는 기술 개발에 선뜻 투자 결정을 내리기란 쉽지

않았다. (high-risk)

하지만 위 A ~ D사는 미래창조과학부 주도의 이머징산업 발굴위원회 및 이머징산업 대응형 미래소재 발굴단에 참여하여 온실가스 전환기술이 10년 후 10대 국가 주력산업으로 자리 잡을 당위성, 가능성, 필요성을 국내 학연에 전파하고 해당 소재기술에 대한 공공 R&D 필요성과 기술개발 로드맵을 설정, 목표성능을 제시하는 하향식 연구개발 형태의 플래그십 사업단 구성 및 출범에 기여함으로써 국내 학연 최고 전문가들로 하여금 정부의 R&D 자금으로 자신들이 절실히 필요로 하는, 그러나 위험 회피 수단의 부재로 자신들은 직접 R&D 투자에 나서지 못한 기술 개발에 몰입할 수 있도록 환경을 조성하는데 성공하였다.

10년의 연구기간 동안 위 A ~ D사는 플래그십사업단의 연구진행 상황을 예의 주시, 수요 기업 입장에서 파급효과가 크면서도 보다 현실적인 방향으로 연구 진행을 지속적으로 요청하였고, 결과적으로 총 10년 후 플래그십 사업단에서 개발한 관련 핵심 기술을 바탕으로 A사는 대용량 온실가스 전환 기술 실증에 성공하여 B ~ D 사에서 배출되는 온실가스를 고부가가치의 합성연료로 전환하는 시스템에 적용할 수 있는 기술 개발에 성공하였다.

A사는 이 MNM 기술로 연간 3조원에 해당하는 신규 산업을 선점하여 국가 주력산업화에 크게 기여하였으며 B ~ D사는 A사의 이 기술을 도입함으로써 연간 10조원이 넘는 뺀탄소세 부담액을 1/3 이하의 비용으로 획기적 절감이 가능하였다. A사는 내년에 이 기술을 현재 온실가스 배출 규모 세계 최대인 중국 철강회사 E사에 15조원에 납품하기 위한 계약도 진행하고 있다. (high-return)

이와 같은 신규의 국가 주력산업 창출을 가능케 한 미래시장형 신소재(Matured New Materials, MNM) 기술 개발은 미래창조과학부의 ‘이머징산업 대응형 플래그십 사업(원천기술형)’의 재정적 지원 하에 이루어 졌다.

기초원천 연계 기술 개발 사업 (신규)

- 기초연구결과가 사장되지 않고 기술사업화 되도록 지원하는 사업
- 발견 발명 수준의 소재 기초연구 성과를 기업이 직접 활용할 수 있는 수준으로 향상시켜 기술사업화 장벽을 해소
- 기업의 참여를 통해 수요자 기반의 기술적 완성도를 제고

5.6.1. 사업의 개요 및 필요성

■ 기초원천 연계 기술개발사업은 기초연구-산업화를 연결하는 브릿지 역할

- 대학 혹은 연구기관의 기초연구 결과가 논문/특허로 그치지 않고, 기술이전/창업 등의 산업화로 이어질 수 있도록 지원하는 사업임

■ 소재분야 세계 3위의 논문강국이지만, 기술사업화 실적은 미약한 실정

- R&D 활동의 산물인 논문 및 특허 실적은 세계 3-4위권의 우수한 성과를 보이고 있음
 - 2014년도 기준 소재분야 한국의 논문 수는 5,776편으로 중국, 미국 다음으로 많은 세계3위 수준이며, 세계 논문 점유율은 7.1%에 해당함
 - 최근 10년(2005-2014)년 동안 미국 특허청에 등록된 한국의 소재기술분야 특허 수는 2,232건으로 세계 4위 수준임
- 반면에 기술사업화(기술료 및 기술이전) 실적은 괄목할만한 성과를 나타내지 못하고 있음
 - 2013년도 국가연구개발사업에서 소재분야 기술료 징수 건수는 249건(전체 건의 4.58%), 징수액은 136.9원에 불과하며 2010년 이후 하락하는 추세임
 - 소재분야의 사업화 건수는 1,003건으로 2013년도 국가연구개발사업의 7.04%에 수준임

■ 대부분의 학연 기초 우수연구는 기술적 완성도에 주목하지 않고 소재 성능의 발견 및 발명에 집중

- 소재 연구개발의 특성상 연구목표가 소재의 특성에 기반한 성능목표(Spec.) 중심으로 수립되고 있음.

※ 성능목표 : 강도, 연성, 전기전도도, 나노사이즈 등

- 우수한 성능목표를 달성하더라도, 소재의 제조성(Manufacturability) 혹은 부품·시스템에 적용성(adaptability)이 떨어지는 사례가 많음
 - ※ 제조성(Manufacturability) : 기능, 품질, 비용, 재연성의 특정한 기준을 만족하면서 산업현장에서 기술적인 제품을 생산하는 능력
 - ※ 적용성(adaptability) : 소재를 특정한 부품으로 생산하거나, 시스템 체결에 적용시의 우수성
- 연구 성과의 대부분은 SCI 논문출판에 역점을 두어, 관련 특허의 기술 보호도가 낮음
 - 기술보호 목적의 패밀리특허, 적용분야를 확대할 수 있는 응용특허, 주변특허 등 특허 포트폴리오 취약

■ 학연의 연구 성과와 산업계가 요구하는 소재 기술 수준·수요간 불일치를 줄여야 함.

- 소재의 우수한 특성 향상과 신 기능 발현을 위한 학문적 탐구 집중으로 산업계가 요구하는 소재특성과 기능과는 동떨어져 연구하는 사례가 있음
- 소재 수요기업들도 영업비밀이라는 이유로 미래에 요구되는 소재특성의 공개를 꺼리거나, 공동 연구개발을 외면하는 경우도 많음
- 연구자와 수요자간의 정보 공유를 통해 상호 니즈 파악을 확대하고, 이를 지원할 수 있는 공공기능이 필요로 함

■ 소재관련 기초 원천 기술의 산업화를 촉진하기 위해 기업이 활용 가능한 수준으로 기술 업그레이드 필요

- 산업화에 필요한 제조 공정을 확보하고, 신뢰성과 경제성을 검증

5.6.2. 추진 전략

■ 기초원천 우수 연구 성과를 발굴하여 기술 사업화 전 단계까지 기술의 완성도 제고 연구를 단기간에 집중 추진

- TRL 1~3 단계의 우수한 연구성과를 범부처적으로 발굴하여 TRL 7단계로 신속히 진입할 수 있도록 연구개발 지원을 강화
- 기초원천에 해당하는 우수 기술 발굴을 위해 부처별 전담관리기관을 위한 정보를 상호 교류하고 범부처 차원에서 추진



<그림 5.6-1> 기초원천 연계 기술개발사업의 개념도

- 인프라와 기술 역량을 가진 전문 연구기관을 중심으로 산학연 공동으로 산업화에 필요한 공정개발, 경제성 확보를 위한 원소재 다변화 연구, 자동화 연구 등을 추진하고 특히 포트폴리오를 완성하여 기술이전
- 기술의 스케일업 혹은 검증을 위한 인프라 및 연구개발 시설을 갖춘 기존의 연구기관을 적극 활용함으로써 중복투자를 방지하고 기술적 노하우를 축적

<표 5.6-1> 장비 및 기술역량 중심 전문연구기관 (예시)

	인프라 지원형 전문기관	소재 특성화 전문기관
학계	연세대(태양전지) 성균관대(분석/평가) 서울대 (반도체)	KAIST-EEWS(에너지 소재) 성균관대 (반도체 소재)
연구계	표준과학연구원(계측/진단) 한국과학기술연구원(분석/평가) 기초과학지원연구원(분석/평가)	재료연구소(구조용 금속소재) 세라믹기술원(세라믹소재) 화학연구원(고분자 화학소재)
산업계(민간)	(재)철원플라즈마(제조)	(재)포항산업기술원(금속소재)

- 특히, 공정 개발을 비롯한 제조성은 소재, 공정, 생산, 시설, 마케팅, 파트너 등다음의 다양한 관점에서 검토함으로써 기술적 완성도를 제고시켜 나감

<표 5.6-2> 소재의 제조성 지표

대분류	세분류
Technology and industrial base	- Industrial base - Manufacturing technology development
Design	- Productability Programme - Design maturity
Cost and funding	- Production cost knowledge(cost modeling) - Cost analysis - Manufacturing investment budget

Materials (Raw materials, components, sub-assemblies, and sub-systems)	◦ Maturity ◦ Availability ◦ Supply chain management ◦ Special (materials)handling
Process capability and control	◦ Modeling and simulation (product and processes) ◦ Manufacturing process maturity ◦ Process yields and rates
Quality management	◦ Quality management (system) ◦ Product quality ◦ Supplier quality management
Manufacturing workforce(engineering and production)	
Facilities	◦ Tooling, Special Test Equipment(STE), and Special Inspection Equipment(SIE) ◦ Facilities
Manufacturing management	◦ Manufacturing planning and scheduling ◦ Materials planning
Legal, regulatory and standardization	
Market and customer requirements	
Technical functionality	
Partners	

자료) Charles Featherston and Eoin O'sullivan, "Challenges on the Pathway to Manufacturing : a Case Study in the Manufacturability of advanced functional materials", R&D Management Conference 2016.

■ 기술수요 기업의 매칭 연구비 투자를 전제로 진행하여 개발 기술의 산업화 가능성을 제고

- 기업의 니즈를 소재개발에 적극적으로 반영하기 위해 기업 참여를 필수적으로 추진 함
- 기업이 요구하는 니즈를 기반으로 하는 연구개발을 통해서 소재의 산업화 가능성을 높여 나감

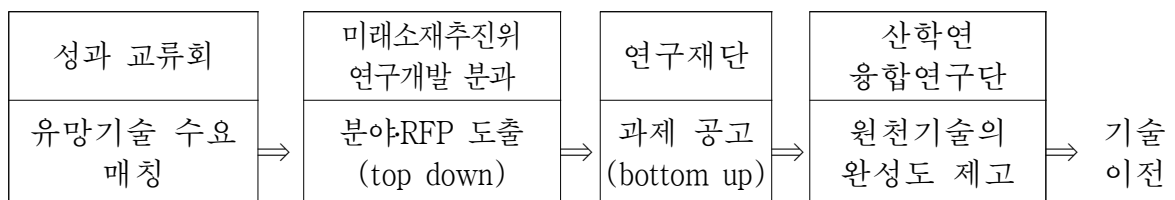


<그림 5.6-2> 기초원천 연계기술 개발사업의 진행 개념도

5.6.3. 추진 방법

- **(유망 기술 수요 매칭)** 우수 기초연구 성과교류회를 통해 유망 기초원천기술과 수요기업을 매치
 - 나노융합2020사업에서 운영하는 성과교류회를 모델로 연구재단이 연구재단 기초연구과제 연구자와 잠재 수요기업을 대상으로 운영
- **(상세기획 및 RFP 도출)** 미래소재추진위 연구개발 분과에서 매칭된 유망기술의 완성도 제고를 위한 추진 전략 및 특허 포트폴리오 구축 전략을 포함한 RFP 도출
- **(연구개발 추진)** 연구자-수요기업-장비/전문인력이 공동 참여하는 융합형 사업을 통해 기술 이전에 필요한 현장 맞춤형 성과 도출
 - 제안기술에 대한 수요기업의 연구 참여와 매칭 연구비 투자를 전제로 진행
 - 특허·공정 기반의 완성도 제고 연구를 단기간(3년 이내)에 집중 추진

<추진 체계>



5.6.4. 추정 예산

연도	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
과제수 (개)	10	20	30	30	30	30	
예산 (억원)	100	200	300	300	300	300	

※ 산출근거 : 연구기간 3년, 신규과제 연10개, 과제당 10억원

5.6.5. 기대효과

▣ 세계 3-4위권의 우수한 소재분야 논문/특허 성과를 기반으로 기술사업화 성과가 증가할 것임

- 연간 기술료 징수는 200억원(300건)을 상회 것으로 예상되며, 국가연구개발사업의 전체 건수에서 소재분야의 기술료 징수 건수는 현 4.58%에서 5.52% 수준으로 증가할 것임
- 소재분야의 기초연구 결과로부터 기술이전 건수는 2013년 기준 소재분야 전체의 6.8%에서 향후 10% 이상 상회할 것으로 기대됨

▣ 소재특성개발에서 사업화까지의 소재연구개발 기간의 단축효과

- 기초연구 결과물 산출 단계에서부터 기업의 니즈를 반영함으로써 연구개발기간의 단축될 가능성이 높아짐
- 수요자 기반의 연구개발은 응용과정의 시행착오를 줄이거나, 연구방향을 명확히 설정할 수 있어 연구개발 기간을 단축할 수 있음

▣ 연구자-수요자간의 정보공유 문화 정착과 노하우 축적효과

- 유망기술에 대한 수요자 매칭을 통해 연구개발에 필요한 소재특성을 상호 공유하고 공동 대처하는 문화가 확산
- 기존의 스케일업 연구시설을 공동활용/집중활용함으로써 기술실용화 과정에서 비롯된 실패와 성공의 노하우를 축적하는 효과가 기대됨

소재 합성·공정 플랫폼 구축사업 (신규)

- 기 투자된 소재공정 및 실용화 테스트베드와 공공의 R&D 역량을 소재군 별로 특화하여 플랫폼화 함으로써 미래소재 혁신아이디어를 빠르게 구현할 수 있는 공정 인프라 구축 제공

5.7.1. 사업의 필요성 및 개요

■ 소량 다품종의 첨단소재 개발 지원을 위한 플랫폼 필요

- 소량 다품종의 첨단소재 영역에서 중소/중견 소재기업과 스타트업 기업의 역할이 중요하나, 기업의 투자여력·인프라 및 전문 인력의 부족으로 기술 개발이 지체
 - 그간의 지속적인 투자 결과, 첨단 공정의 공공 인프라 규모는 크게 증가하였지만* 운용 및 효율적 활용 체계 등 소프트 파워는 보완이 필요
 - 기 구축 소재 인프라의 효율적 활용을 위한 방안 마련 시급
 - 미래첨단산업에서는 다양한 융·복합화 소재기술이 요구되므로 이를 공급하기 위한 소재 합성·공정 인프라가 다변화됨에 따라 하나의 인프라에서 대응하기에 많은 투자와 인력을 필요
 - 출연연, 나노 FAB, 소재종합솔루션센터 뿐 아니라 대학의 공정 R&D 장비들이 세계적 수준에 도달하였으며 전문인력도 일부 확보되어 있어 이를 더욱 효율적으로 활용할 수 있는 인프라 활용 체계의 구축이 필요
- ※ 나노인프라 구축에 총 805억 투자(출처 : 나노인프라협의체)
- ※ 소재종합솔루션센터 : 중소 소재기업 대상으로 소재 개발 기획에서 사업화에 이르는 전주기 지원을 위해 인프라 구축, 4개 분야에 대하여 재료연(금속), 화학연(화학), 세라믹기술원(세라믹), 다이텍연(섬유)에 '07년부터 소재정보은행·시뮬레이션·테스트베드 구축을 위한 지원 중



<그림 5.7-1> 소재종합솔루션센터의 제품 개발 단계에서의 포지션

■ 미래 첨단소재 개발에서의 합성·공정 기술의 중요성 대두

- 중소/중견 소재기업 및 스타트업 기업은 개발한 첨단소재의 제품화에 성공해야만 지속가능한 성장이 가능
- 첨단소재의 개발 및 제품화를 위해서는 기존 소재에 적용되는 합성·공정 기술을 뛰어넘는 더욱 전문화된 합성·공정 기술이 요구되나 합성·공정 기술은 단기간에 확보되는 것이 아닌 장기간에 걸친 투자가 필요
- 전문화된 합성·공정 기술 확보를 위해 전문인력의 양성 및 경험 누적, 공정 데이터 베이스 구축과 같은 소프트 파워에 대한 관심 및 투자 필요
 - ※ 내화학성 진공펌프 개발시 기계 파트는 선진국 (독일, 일본 등) 수준에 도달했으나 소재 및 이를 가공하는 공정 기술에서 큰 격차를 보이므로 내구성 등에서 문제가 발생되고 있음

■ 소재 인프라간 네트워크화를 통한 소재 합성·공정 플랫폼 구축

- 이미 구축된 소재관련 인프라, 테스트베드, 특화팩 등을 활용하여 소재 응용 분야 또는 공동활용 공정기술별로 네트워크화하고 개발하고자 하는 첨단소재에 따라 유연하게 대응함으로써 소재개발을 효율적으로 지원할 수 있는 플랫폼으로 제공
- 기존에 구축된 공공 인프라의 경우 하나 이상의 소재 합성·공정 플랫폼을 구성할 수 있는 활용 체계 중심의 구조
- 소재군별 산업적 수요에 따라 체계를 구축하여 운영하고 목표를 달성하거나 산업적 수요가 사라질 경우 일몰형으로 운영되는 매트릭스 형태



<그림 5.7-2> 소재 합성·공정 플랫폼의 개요 <예시>

■ 기존 기반구축 사업과의 차별성

- 기존 사업의 경우 장비 및 설비 구축, 테스트베드 등 하드웨어 위주의 기반구축 중심으로 소프트 파워 (전문인력, 경험, 데이터베이스, 기술 등) 강화가 거의 이루어지지 않아 첨단 소재 개발에 필요한 기술적 지원이 어려운 실정이며, 기반 활용을 통한 성과 창출로 미연결
- 소재 합성·공정 플랫폼의 경우 기존 장비 및 인력을 최대한 활용함으로써 하드웨어 구축을 위한 신규투자는 최소화하고, 기 구축된 장비 및 설비, 인력을 소재군별로 네트워킹화하여 활용도를 극대화
 - 첨단소재 테마별 대응 가능한 플랫폼 내 조직을 구성하여 지원
- 따라서 하드웨어 구축에 소요되는 막대한 투자 없이 네트워크 구축 및 운영에 필요한 효율적인 투자를 통하여 중소/중견 소재기업과 스타트업 기업의 연구개발 수요를 충족
- 미래 첨단소재별 단순한 소재 합성공정 인프라간 연계 뿐만이 아니라 출연연 등에서 기 구축된 관련 소재기술과 전문가가 결합된 접목된 하드웨어 인프라-축적 기술의 종합지원 체계 구축

5.7.2. 추진전략

■ 소재군별 특화 플랫폼 구축

- 공공의 소재공정 인프라를 활용하여 개발 소재군 혹은 공정기술 별 소재공정 플랫폼을 구축 공개함으로써 산학연의 미래소재 혁신 아이디어를 빠르게 구현할 수 있는 환경 구축
- 출연연, 나노팹, 소재종합솔루션센터, 지역거점센터 등에 기 구축된 공정장비를 테마 별로 네트워킹한 플랫폼
 - ※ 예시 : IoT 소재 합성·공정 플랫폼, 광전에너지소재 합성·공정 플랫폼, 기능성 나노입자 공정 플랫폼, 소재 표면처리기술 플랫폼, 그래핀 전자소재기술 플랫폼, 형광체 화학공정 실용화 플랫폼 등
- 하드웨어 인프라의 신규 투자는 최소화하고 기투자된 소재 인프라를 활용한 기관간 융합 플랫폼의 구축을 유도
 - 플랫폼별 연계 가능한 장비 분류 및 전문인력 간 네트워크 구축
- 플랫폼은 하드웨어 개선 및 전문인력 양성 지원 포함
 - 독립적인 신규 하드웨어가 아닌 기존 공정 장비간 연계에 필요한 장비를 중심으로 구축하거나 기존 하드웨어 개선 중심으로 투자
 - 공정 전문인력의 전문성 확보 및 유지를 위한 교육 및 훈련 확대
- 미래 첨단 산업용 소재의 합성공정 기술 개발 종합지원 체계 구축
 - 미래 첨단 산업 소재는 융복합화, 나노 미세화, 초박막화, 고신뢰화, 저가격 등이 필요하므로 이를 구현하기 위한 설계, 소자화, 정밀분석/평가 등과의 연계 네트워킹 구축

<표 5.7-1> 소재 합성·공정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
용액공정용 IoT 소재 합성·공정 플랫폼 구축	• 용액공정용 IoT 소재합성 기술 개발 • 기초소재 제조 및 성능평가 기술 개발 • 용액공정을 이용한 대면적 코팅공정 기술 개발 • 코팅, 패터닝 장비 기술 개발 • IoT 소자 설계 및 제조 기술 개발
광전에너지소재 합성·공정 플랫폼 구축	• 차세대 태양전지 소재 대량 합성 기술 개발 • 유연 태양전지 제조에 필요한 기판, 투명전극, 배리어 필름 기술 개발 • 태양전지 소재의 코팅을 위한 고균일, 고정정 코팅 기술 개발 • 광열화, 신뢰성 및 성능 평가 기술 개발
기능성 나노입자 시스템의 합성 공정 플랫폼 구축	• 기상화학합성 기술 개발 • 나노입자의 촉매 반응 측정 기술 개발 • 고표면적 하이브리드 나노 세공형 촉매 제조기술 개발 • 분쇄법에 의한 나노입자 제조기술 • 나노입자 분산 기술 • 나노에멀전 제조 기술 • 에너지 환경 촉매 기술 개발

■ 지식 통합 기반의 서비스

- 플랫폼의 전문연구인력의 전문지식과 플랫폼 장비 관련 합성·공정 기술을 통합하여
사용자와의 공동연구를 통해 신속한 소재개발을 추진
 - 플랫폼 정보 공개 시스템 구축을 통한 사용자의 접근성 향상
- 지식기반 소재혁신 플랫폼의 허브 기능 수행
 - 소재공정플랫폼을 중심으로 계산재료과학 플랫폼, 소재 빅데이터 플랫폼, 소재 분석
평가 플랫폼이 유기적으로 연계되는 소재혁신 플랫폼의 거점 플랫폼 역할
 - 연계 서비스를 통한 첨단소재 합성, 공정 및 분석평가의 시간 및 비용 단축
- 소재 정보의 중요성과 연계성이 커짐에 따라 소재정보은행과의 협력 확대
 - 기 구축된 소재정보은행의 소재 합성공정의 기본 정보에 기반한 합성공정 지원 뿐
만 아니라 본 사업에서 도출된 합성공정 정보를 데이터베이스화하여 빅데이터베이
스를 구축함으로써 향후 기술개발 지원에 활용

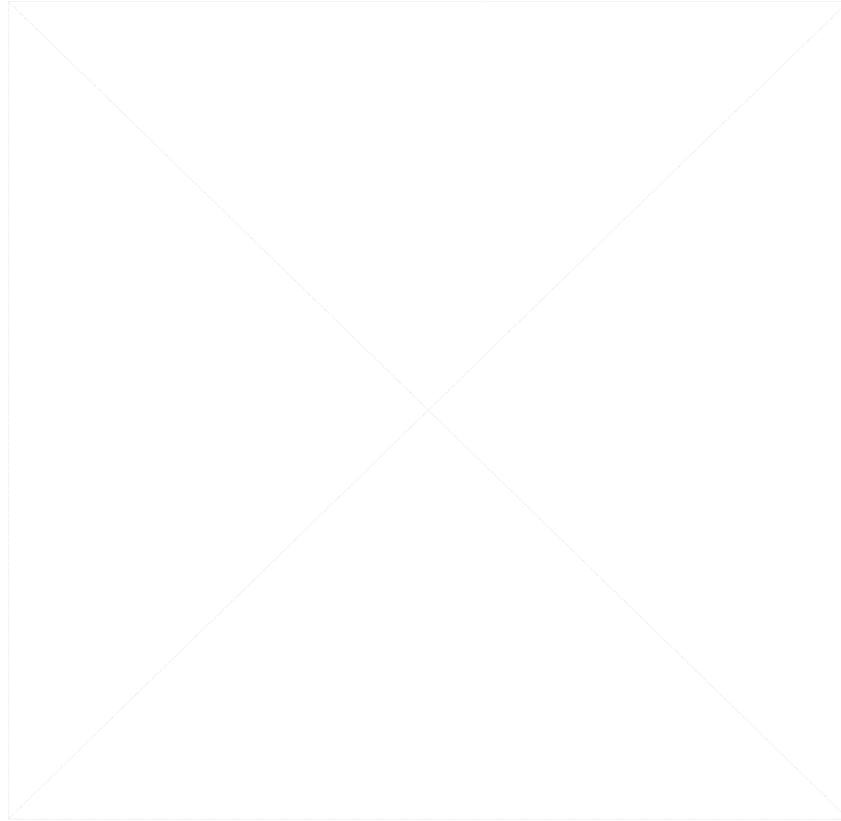


<그림 5.7-3> 소재공정 플랫폼 중심의 지식기반 소재혁신 플랫폼의 개념

5.7.3. 추진방법

■ 1단계 : 시범 플랫폼 구축 및 공개 (2016~2017)

- 나노입자 촉매 시스템 공정 플랫폼(기반기술), 용액공정을 이용한 IoT 소재 합성·공정 플랫폼(산업), 광전에너지소재 합성·공정 플랫폼(응용) 구축과 운영을 시범사업으로 진행하여 사업의 추진방향의 타당성을 검증
- 주력 소재 군에서 공통적으로 필요한 첨단 공정과 분석 기술 파악을 통해 구체적 추진안 마련
- 플랫폼간 협력을 위한 장비 연계 표준화 및 정보 교환 체계 구축
- 사용자의 접근성을 향상시키기 위한 정보 공개 시스템 구축



<그림 5.7-3> 소재 합성·공정 플랫폼 구성 (1단계)

■ 2단계 : 플랫폼 구축 및 운영 착수 (2018~)

- 주력 소재 군에서 활용도가 높은 플랫폼의 확대 및 전문성 향상을 위한 지원 본격화
- 기업 수요가 높은 분야를 추가 선정하여 플랫폼 신규 구축
- 수요 소재기업과 플랫폼 연구진의 협력연구 지원
- 소재 합성공정과 관련된 해외의 우수 기관과의 협력 확대
 - 예 : 독일의 프라운호퍼 연구소, 네델란드의 TNO, 일본의 AIST, 핀란드 VTT 등 소재의합성공정 연구소와의 협력 체계 구축 및 인력 교류 확대
 - 소재합성 공정기술은 첨단 소재개발에 있어서 기본 요소기술임에도 국내에서는 단순 인프라 구축에 그치고 있으나 상기의 해외 연구소 들은 합성공정기술개발에 장기간의 경험 보유

<시범사업 계획안 1 >

○ 사업목표

- 용액공정용 IoT 소재 합성·공정 플랫폼 구축

○ 사업내용

- 프린팅, 코팅 등의 용액공정을 이용하여 IoT (사물인터넷) 실현에 필수적인 전도성, 반도체성, 절연성 화학소재 합성, 소자공정, 성능평가 플랫폼 구축

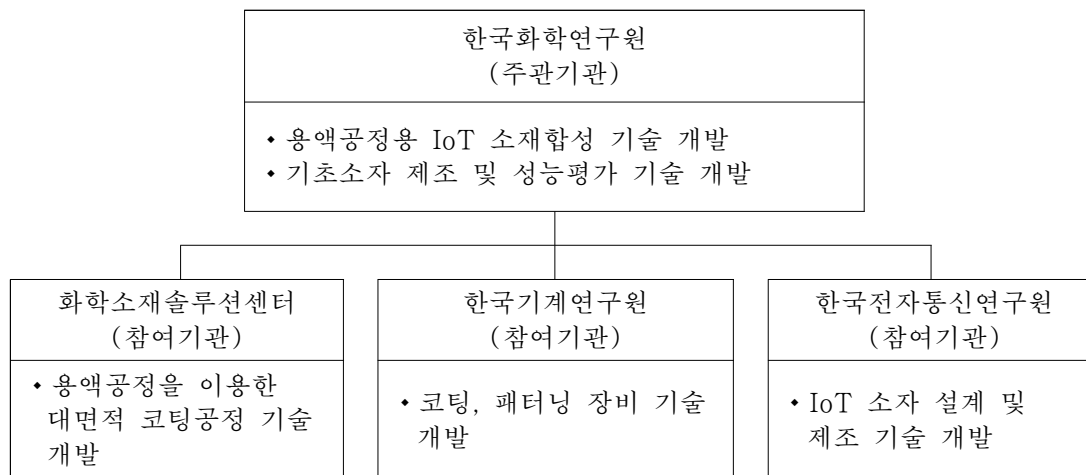
※ 화학소재솔루션센터의 Kilo-lab의 화학소재 스케일 업 기술, 코팅 테스트베드의 공정기술, 소자 전문연구기관의 소자화기술의 네트워킹을 통한 플랫폼 구축

- 나노소재 및 그 제조기술, 적용 제품에 대해 원천특허 도출함

○ 연구기간 : 2016년 ~ 2018년 (3년)

○ 연구비 : 7억원/년 (총 21억원)

○ 추진체계 (예시) :



<시범사업 계획안 2 >

○ 연구목표

- 광전에너지소재 합성·공정 플랫폼 구축

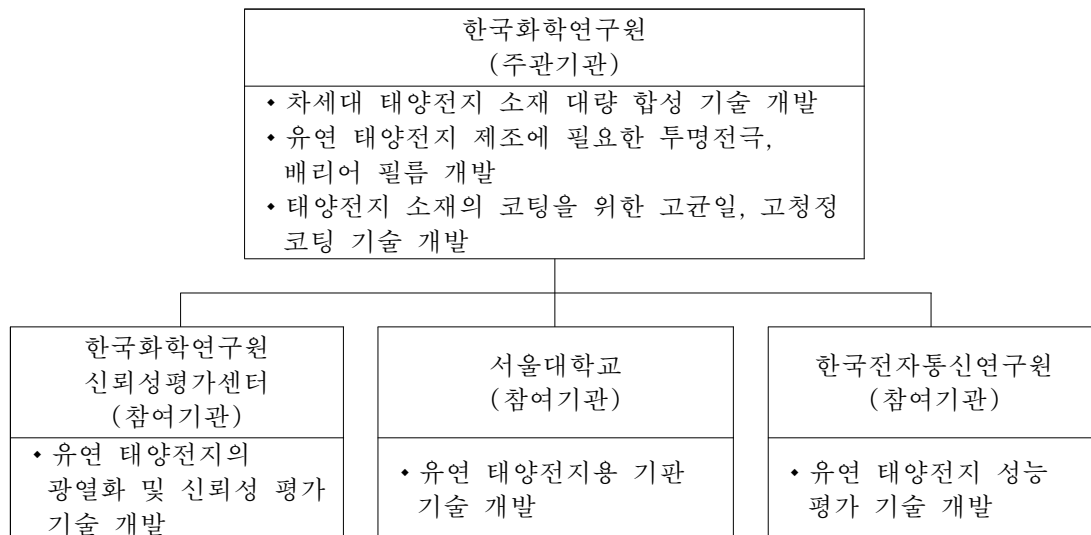
○ 연구내용

- 차세대 유연 태양전지 (유기태양전지, 페로브스카이트 태양전지 등)의 대면적화에 필요한 소재 및 제조 공정 플랫폼 구축
 - ※ 화학소재솔루션센터의 Kilo-lab의 화학소재 스케일 업 기술, 코팅 테스트베드의 공정기술, 신뢰성평가센터의 광열화 평가기술, 소자 전문연구기관의 소자 평가기술의 네트워크를 통한 플랫폼 구축
- 태양전지 소재 및 공정 기술에 대한 원천 및 응용특허 도출함

○ 연구기간 : 2016년 ~ 2018년 (3년)

○ 연구비 : 7억원/년 (총 21억원)

○ 추진체계 (예시) :



<시범사업 계획안 3 >

○ 연구목표

- 첨단 촉매의 아이디어를 구현할 수 있는 기능성 나노입자 시스템의 합성 공정 플랫폼 구축

○ 연구내용

- 화학반응제어용 나노입자의 합성 제조 공정을 개발하고, 활용에 적합한 물성을 제공할 수 있는 최적의 양산 공정으로 연계할 수 있는 화학반응 제어용 나노입자의 합성 플랫폼 구축

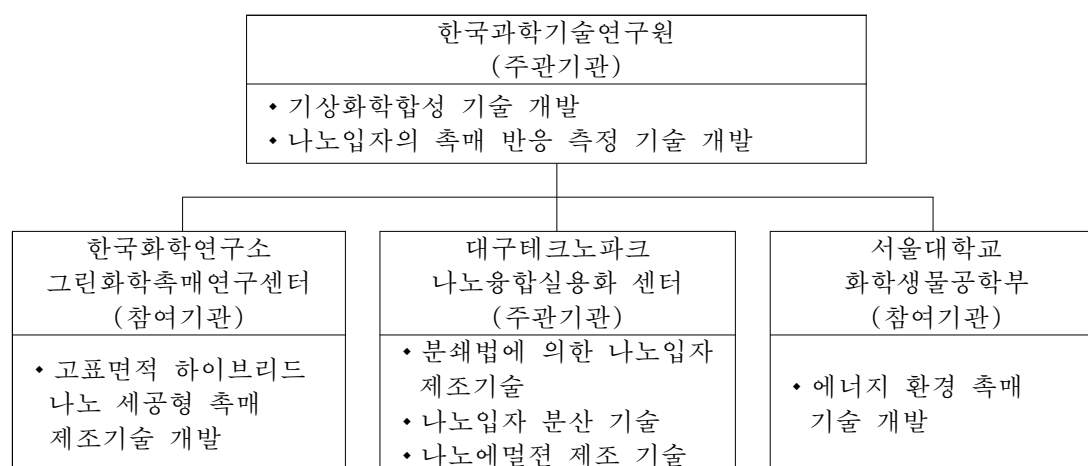
※ 화학반응제어용 나노입자 합성 기술개발에 필요한 1) top-down 방식의 기계적 분쇄 및 분말 성형 기술 개발, 2) bottom-up 방식의 고상, 기상, 액상의 합성법 구축, 2) 각 합성법에서 물성제어법 설계 3) 양산화를 위한 공정 설계, 4) 제품화를 고려한 입자 분산, 표면개질, 나노에멀전 제조 기술 등을 체계화하고 고도화하여 화학반응제어용 나노입자 합성 구현

- 나노소재 및 그 제조기술, 적용 제품에 대해 원천특허 도출함

○ 연구기간 : 2016년 ~ 2018년 (3년)

○ 연구비 : 7억원/년 (총 21억원)

○ 추진체계 (예시) :



5.7.4. 추정 예산

■ 1단계 (2016~2018) : 시범사업

○ 투자액 : 63 억원 (연 21억원)

<표 5.7-2> 1단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
용액공정용 IoT 소재 합성·공정 플랫폼 구축	7	10	- IoT 소재 합성 기술 개발 - IoT소재 제조 및 성능평가 기술 개발 - 대면적 연속 소자 제조기술 개발
광전에너지소재 합성·공정 플랫폼 구축	7	10	- 차세대 태양전지용 활성물질 합성 기술 - 차세대 태양전지용 기관 및 기능성 코팅 기술 개발 - 고신뢰성 확보 소재 및 공정 기술 개발
첨단 촉매 합성·공정 플랫폼 구축	7	10	- 나노촉매 합성 기술 개발 - 촉매 성능평가 기술 개발 - 촉매 응용 기술 개발
계	21	30	

■ 2단계 (2019~2026)

○ 총 투자액 : 252억원 (연 36억원)

<표 5.7-3> 2단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여연구진 수 (PI급)	추진 연구내용
용액공정용 IoT 소재 합성·공정 플랫폼 운영	5	5	- 1단계 개발 플랫폼의 운영
광전에너지소재 합성·공정 플랫폼 운영	5	5	- 1단계 개발 플랫폼의 운영
첨단촉매 합성·공정 플랫폼 운영	5	5	- 1단계 개발 플랫폼의 운영
소재 표면처리기술 플랫폼 구축	7	5~10	추후 기획
탄소소재 합성·공정 플랫폼 구축	7	5~10	추후 기획
형광체 합성·공정 플랫폼 구축	7	8~10	추후 기획
계	36		

5.7.5. 기대효과

■ 주제별 공정 플랫폼의 효과

■ 시나리오 1 : 용액공정용 IoT 소재 연구분야

국내외에 잘 알려진 소재 전문가인 S사의 김모 박사는 프린팅, 코팅 등의 용액공정으로 유연한 기관 상에 IoT용 센서어레이를 제조하여 상업화하는 과제를 수행 중이다. 유연하고 늘어날 수 있는 센서를 저가로 대량생산하여 상업화함으로써 IoT 사회를 실현시키는 데에 기여하는 것이 목적이다.

과제수행에는 합성전문기관, 대면적 코팅 테스트베드, 연속공정용 장비 개발기관, 소자 전문기관 등의 네트워크 형태 이루어진 “용액공정용 IoT소재 합성·공정 플랫폼”을 활용하고 있다.

용액공정용 전도성, 반도체성, 절연성 소재의 합성 조건은 공공연구기관인 K연구소로부터 기술이전 받은 후, S사 개발팀에서 이미 실험실규모의 재현성 테스트 및 최적화가 이루어졌다. 이를 바탕으로 소재 합성·공정 플랫폼의 스케일업 인프라인 Kilo-lab에 의뢰하여 200L급 반응조건 최적화를 수행중이다. 이 스케일업 연구에는 실험실규모의 합성기술을 개발한 K연구소의 정모박사가 함께 참여하고 있다. 스케일업이 어느 정도 안정화되면 생산된 용액공정용 IoT소재는 대면적화, 연속공정 개발 단계를 거칠 예정이다.

소재 합성·공정 인프라에서는 스케일업의 진척도에 따라 이 소재를 이용한 대면적 소자의 연속 제조공정 솔루션을 함께 제공할 수 있다. 정부 투자로 설립 운영 중인 소재통합솔루션센터의 용액공정용 코팅 및 패터닝 테스트베드 설비에 개발된 용액공정용 소재를 적용하여 IoT센서의 대면적, 연속 제조공정을 개발할 수 있기 때문에 가능한 일이다. 이 때에는 대면적 용액공정용 코팅 및 패터닝 장비 뿐만 아니라 많은 경험이 축적된 전문연구인력도 함께 지원되기 때문에 상업화를 위한 소자 생산기술 개발이 매우 효과적으로 이루어질 수 있다.

이러한 기술이 완성되면 장비관련 전문기관이 S사에 양산라인을 설치하기 위한 기술적인 지원이 이루어질 예정이라서 신규 양산장비에 대한 기술적 검토 등의 부담도 덜게 된다. 센서 소자의 설계, 성능평가 등은 소재 합성·공정 플랫폼의 소자전문 기관에서 지원하게 된다.

S사의 김모 박사는 IoT용 소재 합성·공정 플랫폼과 같은 소재 합성·공정 플랫폼이

생겨서 기존 구축장비, 설비 등의 하드웨어의 네트워킹을 통하여 최소의 신규투자만으로 소재군별 연구개발을 효율적으로 지원할 수 있고, 소재군별로 산업적 수요에 따라 플랫폼을 유연하게 구축 운영하고 일몰형으로 운영되는 매트릭스 형태이므로 빠르게 변화되는 산업적 수요를 충족할 수 있으며, 많은 예산을 투입하여 구축한 기존 인프라의 활용도를 극대화하고, 소량 다품종 특성인 소재관련 중소/중견, 스타트업 기업의 소재개발 R&D를 효율적으로 지원함으로써 첨단소재 산업의 글로벌 경쟁력을 강화하고, 소재산업 발전에 따른 양질의 고용 창출도 기대되며, 미래 첨단소재 합성공정의 플랫폼을 구축함으로써 고기능화, 고집적화, 저가격화, 친환경화가 요구되는 다양한 미래소재의 공급 토대를 마련하는데 크게 기여하고 있다고 본인의 생각을 말했다.

전에는 소재가 개발되면 소재 양산, 부품 적용, 제품 생산 등을 지원하는 인프라를 일일이 찾아다니며 사업화를 준비해야 했으나, 소재 합성·공정 플랫폼이 생긴 후로는 연구실 규모에서 소재개발이 완료되면 그 이후의 과정이 체계적이고 효율적으로 연계된 시스템의 지원을 받을 수 있어 신규소재의 상업화가 훨씬 수월하게 이루어지고 있다는 생각에 S사의 김모 박사는 다음 아이템인 탄소소재에 대한 소재 합성·공정 플랫폼을 적극적으로 활용하기로 마음먹는다.

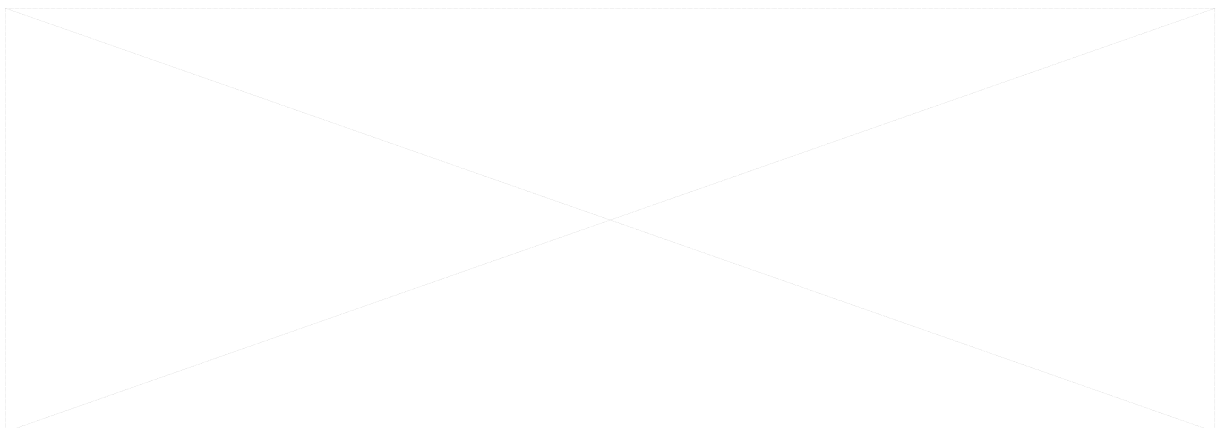
소재 분석 및 측정 플랫폼 구축사업 (신규)

- 미래소재의 첨단 복합분석 및 측정평가 환경을 제공할 수 있는 “미래소재 in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축”
- 소재의 원천 특성 규명 및 소재의 가치를 연결할 수 있는 새로운 패러다임의 “in-situ 복합측정/분석/해석기술” 확립

5.8.1. 사업의 필요성 및 개요

■ 미래소재 개발을 위한 분석 및 측정기술의 패러다임 전환

- 최근 소재는 극소화된 크기와 구조적 복잡성 때문에 통상의 분석 및 측정 기술의 한계 이상을 요구하고 있음. 따라서 미래소재 개발을 위해서는 기존의 측정 한계를 넘어선 분석 및 측정 기술이 요구됨
- ※ 미래소재는 고성능과 고효율을 극한으로 지향하고 있어 i)계면의 화학적 혼합, ii)새로운 구조, iii)표면에너지의 극대화(표면 원자간 장력), iv)빠른 반응속도, v)전자기적 구조의 변화에 의한 전기적 특성 등을 분석하고 측정할 수 있는 고도분석기술이 필수적임
- ※ 소재개발 및 응용산업을 위해서는 원자분자 스케일에서의 나노측정기술 뿐만 아니라 매크로스케일의 복합물성의 측정 및 측정값의 신뢰성이 중요



<그림 5.8-1> 나노화에 따라 반응속도 변화의 예. 배터리의 음극소재로 사용되는 Si에 Li를 접촉시켰을 경우 나노물질에서 1/1000배의 초고속 반응속도를 보여줌. 이것은 배터리의 급속 충전에 대한 하나의 해법이 될 수 있는 설계 방안을 제시하는 것임.

- 기초적 물성의 이해를 위한 in-situ 복합측정/분석기술이 복합된 새로운 패러다임의 해석기술 확립이 필요함
- 첨단 소재는 나노 영역의 공정체제로 진입하고 있는 가운데 급속히 분석 및 측정의 한계점에 다다르고 있음.

- 실험적 방법에 의한 나노제품 개발은 시간, 비용 면에서 큰 위험요인을 가지고 있으므로 계산을 통해 개발 전 가능성을 확인하고 최적공정을 설계할 수 있다면 연구개발 시간과 비용 그리고 위험요인을 획기적으로 감소할 수 있음.
- ※ 미국, 독일, 일본 등은 한 번의 실험으로 다양한 물성을 종합적으로 도출할 수 있는 전자현미경 기반의 실시간 복합측정/분석/해석기술이 소재개발의 핵심으로 자리 잡고 있음



<그림 5.8-2> Pt의 전자구조와 촉매반응. 왼쪽의 Pt 전자구조는 왜 Pt가 좋은 수소분해 촉매가 될 수 있는지에 대한 이유를 제시하고 있음. 오른쪽은 전자현미경 내부에서 촉매를 관찰하면서 분위기를 진공에서 수소가스로 전환했을 때 촉매의 원자간 거리가 멀어지는 것을 보여줌. 이것은 촉매 반응이 발생하는 조건에서 촉매의 원자간 거리가 변하는 것을 보여주는 확실한 in-situ 분석결과임. 우리가 개발하는 많은 소재는 온도, 가스, 액체, 압력 등의 사용 환경에 노출되지만 실제 소재 개발 및 분석 등은 상온, 상압 등에서 행해지고 있어 소재개발의 정확성을 떨어트리는 것이 사실이다.

- 상기 촉매의 예와 같이 in-situ 복합분석 및 측정기술 개발의 첫째 역할은 재료현상의 이해를 돕기 위해 기존의 장비들을 플랫폼화하여 실제 사용 환경과 동일한 조건에서 관찰하고 측정하는 체계를 갖추는 것이며 이를 통해 미래소재에 대한 새로운 아이디어를 도출이 가능함
- in-situ 복합분석 및 측정기술 개발의 두 번째 특이성은 새로운 소재에 대한 실시간 직접 관찰 및 측정을 통해 소재 설계에 대한 연구개발의 방향을 제시함
 - 기존 분석 및 측정은 연구자들이 실험한 후에 소재의 특성을 이해하기 위해 적용되는 기초적인 역할 또는 보조적인 역할을 수행하였음. 그러나 실시간 복합 분석 및 측정기술의 개발 및 시스템화된 플랫폼을 이용하면 소재 연구를 위해 관찰, 측정, 실험, 이해 등이 동시에 진행되어 종합적이고 사용 환경에 맞는 결과를 도출할 수 있는 미래 지향적인 연구 패러다임을 갖추게 됨

■ 미래소재 응용기술을 지향한 in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼의 구축 필요성 대두

○ 기초적 물성의 이해를 위한 in-situ 복합측정/분석기술이 복합된 새로운 패러다임의 해석기술 확립이 필요함

※ 현재 첨단 산업은 나노 영역의 공정체제로 진입하고 있는 가운데 급속히 분석 및 측정의 한계점에 다다르고 있음. 따라서 한 번의 실험으로 다양한 물성을 종합적으로 도출할 수 있는 전자현미경 기반의 in-situ 복합측정/분석/해석기술의 확립이 필수적임

○ 새로운 물성을 나타내는 소재를 시장성이 높은 미래산업 원천소재로 발전시킬 수 있는 테마형 분석 및 측정 기반의 플랫폼을 국가연구기관 주도로 선도적으로 개발하고 공유하여 미래소재 해석의 원천 분석기술을 확보

○ 기관별 기 구축된 고가의 첨단장비들은 산발적 기술개발 수요에 대응하면서 저사양 모드로 활용되고 있으며 분석 및 측정인력은 단순 장비운영에 급급한 현실임. 따라서 미래소재의 원천 특성을 창출할 수 있는 테마형 인프라 활용 및 인력관리를 위한 국가적인 중장기 지원이 필요

※ 삼성SDI 분석실의 경우 배터리 전극재료의 분석을 위해 모든 분석장비, 측정장비, 인력이 집중되어 있음. 배터리라는 하나의 주제를 갖는 테마형 분석기술을 개발함으로써 한 분야의 소재기술에 대한 주도권을 유지함.

※ KIST 특성분석센터는 기관이 보유하고 있는 장비들을 테마별로 집적화하여 오픈랩으로 운영함으로써 2016년 7월에 미래부로부터 “국가연구장비공동활용센터”로 지정되었음. <http://aac.re.kr> 를 통해 장비 구축, 활용, 교육에 대한 연구장비 플랫폼의 공유 환경을 제공

※ KBSI, 나노기술원 등의 국가 대형연구시설 보유기관 등은 연구자에게 분석장비를 공동으로 활용할 수 있는 역할을 수행하고 있지만 어떤 주제를 놓고 분석장비간의 집적화 및 고도화된 분석 또는 in-situ 분석을 위해서는 단일 기관 또는 여러기관의 장비보유 현황을 고려한 플랫폼 형태의 네트워크 구축이 필요함



<그림 5.8-3> 미래부에서 “국가연구장비공동활용센터”로 지정한 KIST SEM 오픈랩. 전자현미경 기반의 관찰에 더해서 가열 및 냉각 상태, EDS에 의한 조성분석, 결함분석에 필요한 CL측정, 시편의 기계적 특성 평가 및 TEM 관찰 시편 제조 등이 가능함. 심지어는 시편의 전기적 특성을 동시에 측정할 수 있는 통합분석환경을 제공함.

■ in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼의 구축의 개요

- 소재기술 개발에서 in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼을 일반 연구자가 갖추고 운영하는 것은 불가능한 일이므로 이를 가능케 할 수 있도록 장비 활용에 대한 완성도를 높이고 장비간 네트워크를 완성하는 플랫폼을 구축함. 이때 2 가지 필요한 사항으로 in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼이 모든 소재의 연구를 지향할 경우 실패할 가능성이 있으므로 특성화된 연구주제를 갖는 것이 필요함. 또한 여러 분석장비를 자유롭게 다룰 수 있는 분석 전문가를 보유하는 것이 중요함. 이러한 형태의 플랫폼을 국내외 모든 소재연구진에 개방함
- in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼에서 실험, 관찰, 해석된 데이터와 소재에 대한 설계인자의 추출 등을 세계 선도 연구진과의 협력 네트워크를 구축하여 이 분야의 국제적 위상을 제고함



<그림 5.8-4> 전자현미경 기반의 in-situ 복합분석 및 측정 체계. 장비간 네트워크 시스템의 구축이 핵심요소임. 하나의 예로써 대기 중에서 반응성이 높은 재료를 in-situ 복합분석 및 측정을 하고자 할 경우, 한 종의 고급 장비만 보유하고 있는 것으로 목표를 달성하는 것은 어렵거나 불가능함. 장비간 이동시에도 대기를 완벽하게 차단할 수 있는 시편 전달 시스템이 구축되는 것이 중요함.

5.8.2. 추진전략

■ in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축

- (in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 개념) in-situ 복합분석 및 측정을 통해 소재의 설계, 소재공정의 최적화, 소재 시스템의 성능예측을 구현할 수 있는 미래형 소재연구 환경의 제공
 - 연구자는 여러 장비를 사용하기 위해 여러 분석장비를 이해해야 하고, 심지어 여러 기관의 분석실의 문을 두드리면서 자신들이 필요로 하는 설계인자의 방향성을 찾으려는 노력을 수행하고 있음.
 - 만약 특정 기관 또는 하나의 소재 연구주제를 함께 공유하는 기관들이 협력하여 in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼을 구축한다면 연구자들의 많은 시간을 절약함은 물론 한 번의 실험으로 일관성 있는 소재의 특성을 분석하는 것이 가능함. 즉, 진입장벽이 거의 없이 최첨단이고 고가인 분석 및 측정장비를 소재기술 개발에 활용할

수 있는 국가적 연구개발 인프라임

- 차세대 소재개발 공정에서 직면하는 고도분석 및 측정기술 난제를 종합적으로 해결하고 Multi-function/Multi-scale의 동시 분석이 가능한 “in-situ 복합측정/분석/해석 원천기술”을 개발

※ “분석 및 측정 고도화 융합연구단”의 공유활용을 통해 소재 및 제품의 특이성을 발견하고 특허화함으로써 국가차원에서 소재산업의 지적재산권을 확보할 수 있는 시스템 구축

■ 초대형/최첨단 분석장비의 연구자 활용시스템을 구축하고 공유

- 초극미세 영역에서 극미량 분석을 통해 원천소재의 새로운 테마형 복합분석 패러다임을 구현하기 위해 초대형/최첨단 분석장비의 연구자 활용시스템을 구축하고 공유함

※ 기존의 나노스케일 측정기술기반 분석 및 가공기술 개발을 강화 나노형상측정, 성분분석, 나노물성 측정, 등 나노측정기술이 연동된 복합나노물성 분석 및 측정기술 환경을 확보를 위한 플랫폼 구축 및 활용

<표 5.8-1> in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼의 구성 및 역할

구성	미션	역할
소재지향적 플랫폼 기술 구축	in-situ 복합 분석 및 측정 플랫폼 구축	- 기구축된 첨단 고도분석장비를 활용한 분석과학 플랫폼 구축 (소재의 응용분야를 타겟한 목적 지향적인 플랫폼) - 플랫폼 구축을 위한 기반기술 개발 (하나의 장비를 실시간 장비로 운영할 수 있는 기반기술 및 장비간 이동이 필요한 경우 네트워크를 구축함) - 플랫폼 기능강화를 위한 국제협력 허브
in-situ 복합 분석 및 측정 플랫폼 운영	통합된 환경의 분석과학 인력 양성 및 기술개발	- 장비를 100% 활용할 수 있는 운영자 양성 - 복합분석 및 측정 결과에 대한 해석 인력 양성 - 플랫폼의 국제적 리더쉽을 이끌어 낼 수 있는 분석과학기술 개발 - 플랫폼 활용자 확보를 위한 국내외 연구자 그룹 구축

5.8.3. 추진방법

■ 나노 및 소재기술 산업화 추진전략과 전문가 자문회의를 통해 우선 추진대상 플랫폼을 결정

- 소재 연구에서 특히 미래소재는 공정, 분석 및 측정, 계산, 빅데이터 활용을 동시에 진행할 수 있는 국가만이 선점할 수 있는 가능성이 높음. 따라서 소재 공정합성 플랫폼, 소재분석 및 측정 플랫폼, 소재 계산과학 플랫폼, 소재 빅데이터 플랫폼 분야의 구축팀들이 서로 동일한 소재에 대해 함께 연구하는 것이 시너지를 극대화
- 이들 플랫폼 구축팀들은 “나노기술 산업화 전략”의 7대 전략분야에 본 기획과제의 플랫폼을 적용하는 것이 바람직하다고 생각하고 있으며 특히 4 개 분야인 IoT 적용 환경 나노센서, 식품안전 나노센서, 탈키금속 촉매용 나노소재, 탈 희유원소 산업용 나노소재 설계 플랫폼을 우선 추진을 계획
- 따라서 플랫폼 구축팀들이 함께 소재분야 전문가 자문회의를 구축하고 플랫폼 개발을 위한 전략소재군(테마형 소재)을 선정하여 추진하는 것이 바람직함. 이때 타겟하는 전략소재는 산업적, 경제적, 기술적 중요성을 확보해야 하며 또한 현재 기술수준에서 in-situ 복합 분석 및 측정 장비로 가능한 경우 등에 대한 검토가 필수

<표 5.8-2> in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시) ³³⁾
테마형 소재설계 고도 분석기술 개발	• 알캠 촉매의 전자구조 설계를 위한 분석기술 개발 • 전자 소재의 실시간 다중 정보의 분석기술 개발 • 에너지 소재의 다차원 특성평가 기술 개발 • 소프트 소재 설계를 위한 고해상도 이미징 기술 개발 • 플렉시블 다층박막 나노구조 특성평가 기술 개발
멀티스케일 기반의 복합물성 분석 및 측정기술 개발	• 기반의 실시간 고도 분석기술 개발 • 나노영역의 실시간 전기적 특성평가기술 개발 • 전자/이온/탐침현미경 융합기술 및 시스템 개발 • 공정/분석 융합 시스템 개발 • 멀티스케일 2D/3D 특성평가 기술 개발 • 극미세 영역에서 초극미량 성분 분석기술 개발

33) “나노기술산업화전략”의 7대 산업화 기술의 핵심소재군 (나노기술 산업화 전략, 2015.4.29., 부처종합)

■ 시범 사업을 통해 개발 플랫폼의 기능 검증 후 본격 추진

- 출연연의 첨단 분석 및 측정장비를 기반으로 차세대 소재의 핵심 테마를 도출하여 미래소재 기술 분야별 고도 분석기술 개발
- 1단계 : 플랫폼 기반구축 및 시범사업 착수 (2016~2020)
 - (in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼 구축) 출연연/대학/나노팜 등이 기구축한 첨단장비를 입체적으로 연계하여 전략소재군(테마형 소재)를 고도분석할 수 있는 분석과 학기술 개발 및 분석 플랫폼 구축함 (연구기간 3년 / 연 5억원)
 - (플랫폼 장비활용기술 개발) 복합화된 하나의 장비에서 소재의 복합물성 및 멀티 스케일 분석과 같은 전반적인 특성을 측정하고 평가할 수 있는 테마형 미래소재 실시간 복합측정/분석/해석 기술 개발 (연구기간 3년 / 연 3억원)
 - (세계 우수 분석 및 측정기관과 네트워크 구축) 플랫폼의 효율적 활용과 지속적인 발전을 위해 하드웨어 및 분석기술을 공유하고 세계 우수분석기관과 네트워크를 구축하고 우수 기능을 고도화함
 - (미래소재 원천특허 획득) 소재 및 제품의 특이성을 새롭게 발견할 수 있는 실시간 복합측정/분석/해석 기술을 적용하여 물질 특허를 도출 (연구기간 2년 / 연 2억원)
 - ※ 기존 소재개발 연구에서 특허를 출원하는 방식은 일반적인 사용되고 있는 소재특성평가 방식을 통해서 진행되었기 때문에 물질 특허를 획득하는 것이 제한적였음
 - ※ 미래소재의 물질 특허 확보는 3년간의 원형개발과 추가 2년간의 기능보강 및 시험과정을 거쳐 진행하고 2단계는 분야별 응용 플랫폼을 병렬로 부가하는 방식으로 2019년부터 추진함. 1단계에 2년을 추가 연구하여 물질 특허를 확보하는 방식으로 시범사업의 유효성을 검증함
- 2단계 : “실시간 복합측정/분석/해석기술 플랫폼”의 활용을 통해 창출된 가치에 대한 소재원천 특허화 방식 정착 및 확산 (2019-2025)
 - (테마소재별 플랫폼 기술개발 사업) 5대 전략소재군 및 7대 나노기술 산업화 전략 분야 소재를 분야별로 테마화하여 in-situ 복합분석 및 측정의 전략소재군으로 선정하고 개발소재 분야를 확장함
 - ※ 분야별 응용 플랫폼을 부가하는 병렬방식
 - (플랫폼 네트워크 구축) in-situ 복합분석 및 측정 플랫폼을 테마형 소재 별로 구축하여 운영하며 동시에 또는 구축의 완성도가 축적된 뒤에 플랫폼간 네트워크를 구축하여 국가연구장비의 효율적 활용 및 소재개발의 리소스를 공고히 함

5.8.4. 추정 예산

■ 1단계 (2017~2019) : 시범사업

○ 투자액 : 24 억원 (연 8억원)

<표 5.8-3> 1단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
촉매소재의 실시간 복합물성 측정 및 분석 플랫폼 원천기술 개발	8	4	- 플랫폼 활용기술 개발 - 기반 촉매소재 물성 DB 구축 - 촉매 분석/측정/해석 기술 개발 - 적용한 촉매소재 물질 특허화
계	8	4	

■ 2단계 (2020~2026)

○ 총 투자액 : 203억원 (연 29억원)

<표 5.8-4> 2단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여연구진 수 (PI급)	추진 연구내용
개발 플랫폼의 운영, 과급 및 기능개선	5	5	- 1단계 개발 플랫폼의 운영 및 기능 개선
에너지 소재의 실시간 다차원 특성평가 기술 개발	6	5	- 배터리 등 다양한 에너지 소재의 전극재료에 대한 복합분석 및 측정 기술 개발 - 전극재료의 실시간 복합분석 및 측 정 플랫폼 구축
실시간 고성능 센서 특성 평가기술 개발	6	5	- 사용환경을 구현한 전자현미경 내 에서 센서 물질의 센싱 특성 평가 기술 개발 - 나노센서의 전기적, 구조적, 화학적 특성의 동시 특성평가 기술 개발 - 실시간 복합분석 및 측정 플랫폼 구축
최첨단 전자/이온/탐침현미경 융합기술 개발	6	6	추후 기획
전자현미경 기반의 실시간 고도 분석기술 개발	6	6	추후 기획
계	29	27	

5.8.5. 기대효과

■ 시나리오 1 : 촉매소재의 실시간 복합물성 측정 및 분석 플랫폼 원천기술 개발

1. Before in-situ platform

- 오랫동안 촉매 연구를 매진하던 한모 박사는 어느날 높은 촉매 반응을 갖는 나노 입자를 발견하였다. 이 재료는 기존의 Pt 또는 Pd와 같은 귀금속 원소로된 나노 입자가 아니다. 지금껏 촉매 특성을 보이지 않던 Au와 Ir로 구성된 나노입자이다. 만약 이것이 촉매 특성을 보이는 것이 사실이라는 한박사는 매우 중요한 역사적 발견을 한 것이며 드디어 우리나라에도 물질특허를 갖게 되는 쾌거를 이룩한 셈이다.
- 한박사는 오랫동안 재현성 실험을 한 끝에 이러한 촉매 특성이 어떻게 발현되는지 알고자 했다. 이것은 특허를 작성하기 위해서도 또한 좋은 특성에 맞게 big journal로 보내기 위해서도 꼭 필요한 절차이다.
- 한 가지 문제점은 한모 박사는 촉매에 전문가이지 분석에 전문가가 아니라는 것이다. 그는 고민한다. “왜 내가 많은 Au-Ir 나노입자가 높은 촉매 반응을 일으킬까?”
- 이를 알기 위해 기존 분석장비들을 동원하여 분석을 시작하였다. TEM, SEM, 가속기, X-ray 등의 최첨단 분석장비를 동원하여 측정하였지만 아무런 원인을 찾을 수 없었다.

2. After in-situ platform

- 국내 K연구소에 최첨단 TEM 장비와 in-situ 홀더를 보유하고 있다. 이 홀더는 최근 MEMS 공정의 발달에 힘입어 진공 중에서도 가스를 공급하거나 열을 제공할 수 있는 기능을 갖췄다.
- 한박사는 이곳을 찾아서 자신이 새롭게 개발한 것으로 알고 있는 Au-Ir 나노입자에 대해 얘기하고 혹시 실시간으로 관찰할 수 있는지 물어본다. 이때 이런 플랫폼을 구축하고 있는 안모 박사는 흔쾌히 가능하다고 대답하면서 일정을 잡고 실험에 들어간다.
- 촉매 반응은 약 300°C에서 H_2+O_2 혼합가스 분위기에서 작동되는데 안박사의 플랫폼은 이를 구현할 수 있었다. 안박사는 Au-Ir 나노입자를 in-situ 홀더에 넣고 TEM에 삽입한 후 온도와 가스를 서서히 제어하기 시작한다. 나노입자들은 TEM 모니터 상에서 보이며 변화가 관찰되기 시작한다.
- 안박사는 TEM의 기본 기능인 이미지를 얻고, 원자간 거리를 측정하고, 조성의 혼합정도를 측정한 후 온도와 가스량을 다시 바꾼다.
- 흥미롭게도 300°C, H_2+O_2 혼합가스 분위기에서 Au-Ir 나노입자는 시간에 따라 형상이 구형으로 변화하며, 또한 수소가스를 사용하지 않는 조건에서 사용하는 조건으로 바꿨을 때 나노입자의 원자간 거리가 커지는 특성을 발견하였다.
- 이러한 in-situ 실험을 통해서 한박사는 자신이 그토록 찾고 싶었던 촉매 특성의 원인이 수소분위기 하에서 나노입자의 원자간 거리가 멀어지면서 촉매특성이 발현되는 사실을

규명할 수 있게 되었다.

- 이로써 한박사는 “Au-Ir 나노입자의 촉매 특성의 발현에 대한 메카니즘“을 완벽하게 규명하여 Science 저널에 투고함과 동시에 원천 물질 특허를 개발하는 업적을 이룰 수 있게 되었다.

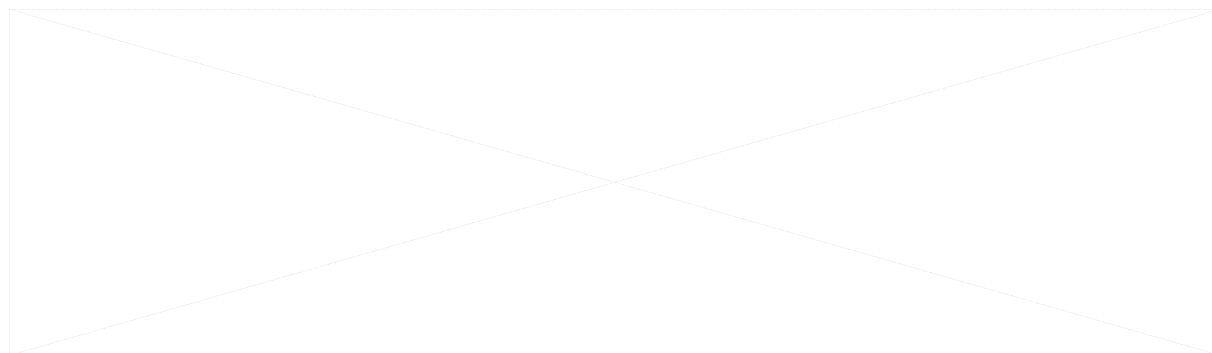
소재 계산과학 플랫폼 구축사업 (진행중)

- 누구나 손쉽게 계산나노과학을 소재개발에 활용할 수 있는 웹기반의 테마형 가상랩을 구축하여 공개
- 전략적 국제협력 네트워크를 구축하여 국내 계산과학의 취약부분을 보완하고, 계산재료과학 응용분야에서 글로벌 거점으로 도약

5.9.1. 사업의 필요성 및 개요

■ 소재개발에 계산재료과학의 중요성이 크게 부각

- 계산재료과학은 컴퓨터를 이용한 시뮬레이션 기술과 정보학 기술을 통해 소재와 공정, 그리고 소재 시스템을 설계하며 예측하고 최적화하는 기술
 - 최근 혁명적으로 발전해 온 IT 기술을 바탕으로 컴퓨터의 계산 능력이 크게 증가함에 따라 대용량의 계산과 데이터 처리를 통해 실질적인 소재거동을 예측하고 시뮬레이션 할 수 있는 시대가 도래
 - DFT (Density Functional Theory) 등 계산 방법론의 발전과 다양한 원자간 상호반응 모델의 개발을 발판으로 컴퓨터 시뮬레이션 기술은 점차 현상의 해석 차원을 넘어 현상을 예측하고 실험연구의 방향을 제시할 수 있는 수준으로 발전
 - ※ DFT 등 전자구조 계산방법론 개발 공로로 Walter Kohn과 John A. Pople이 1998년 노벨 화학상 수상
 - ※ 원자간 상호반응 모델 개발 공로로 Martin Karplus, Michael Levitt, Arieh Warshel이 2013년 노벨화학상 수상
- 나노소재 기술에서는 제어해야 할 현상 자체가 거시 규모의 그것과 상이하며 공정 중에 관찰이 불가능하고 실험적 분석 역시 대단히 제한적이기 때문에 계산과학이 이를 극복할 수 있는 중요한 기술로 부각
 - 실험적 방법에 의한 나노제품 개발은 시간, 비용 면에서 큰 위험요인을 가지고 있으므로 계산을 통해 개발 전 가능성을 확인하고 최적공정을 설계할 수 있다면 연구개발 시간과 비용 그리고 위험요인을 획기적으로 감소할 수 있음
- 계산재료과학의 첫째 역할은 재료현상의 이해를 돕는 일로서 이를 통해 물질을 합성하고 제어할 수 있는 공정을 개발하거나 소재에 대한 새로운 아이디어를 도출
 - 계산을 통해서서는 실험적으로는 구현할 수 없는 이상적인 조건에서의 연구가 가능하므로 현상에 대한 깊이 있는 분석과 이해가 가능



<그림 5.9-1> 나노소재 설계를 위한 원자 및 분자시뮬레이션의 예시

- 두 번째로는 새로운 소재를 설계하여 제안함으로써 실험 연구자들에게 연구개발의 방향을 제시
 - 기존에는 시뮬레이션이 실험을 보조해서 실험으로는 얻기 어려운 정보를 계산하거나 이미 실험적으로 관측된 현상을 설명하기 위해서 주로 사용
 - 이제는 컴퓨터 기술과 시뮬레이션 기법의 발달로 인해 실험을 선도하고 새로운 물질을 제안하는 수단으로 발전

■ 소재개발에서 계산재료과학의 활용은 여전히 제한적인 수준

- 아직까지 계산재료과학은 소규모의 전문가 그룹들이 특정 주제를 맞춤형으로 연구하는 수준에 머물고 있고³⁴⁾, 이론적 기술적 선행지식의 필요성 때문에 쉽게 적용하기 어려운 상황
 - 계산나노과학 연구를 위해서는 양자역학 등 물리화학의 기초이론부터 수치해석 프로그래밍, 슈퍼컴퓨팅 OS 등 고도의 계산 기법에 이르기까지 필요한 선행지식의 폭이 넓고 난이도가 높음
 - 소재 연구개발을 위해서는 서로 다른 계산기법이 필요한 경우가 많아 다양한 전문성을 가진 계산의 융합연구팀을 구성할 필요가 높음
 - 슈퍼컴 계산환경에 익숙하지 않은 실험연구자들에게는 손쉽게 고난이도의 계산재료과학 기술을 활용할 수 있는 연구개발 인프라 구축이 요구됨
- 광범위한 소재개발 영역에서 계산재료과학의 효용성을 증진시키기 위해서는 첨단 계산과학 기법 개발과 소재정보과학의 접목 등 연구방법론에 대한 기술개발이 필요한 상황
 - 계산재료과학의 산업적 가치를 높이기 위해서는 계산의 신속성, 정확성, 범용성을

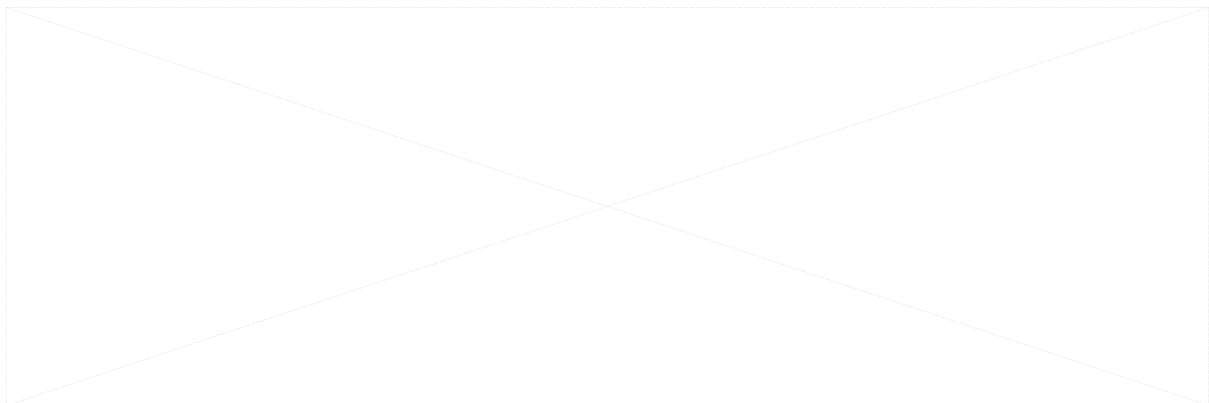
34) G. Pizzi, A. Cepellotti, R. Sabatini, N. Marzari, B. Kozinsky, "AiiDA: automated interactive infrastructure and database for computational science", Comp. Mater. Sci. 111, 218 (2016).

증진시켜야 함

- ※ [신속성] 빠르고 효율적인 계산을 바탕으로 시뮬레이션 결과를 신속히 확인할 수 있을 것
- ※ [정확성] 정확한 계산을 통해 계산결과에 의한 물성을 신뢰할 수 있을 것
- ※ [범용성] 다양한 물질계에서의 계산이 가능할 것
- 이러한 기능을 만족시키기 위해서는 현재 개발되어 있지 않은 선도기술의 개발과 함께 다양한 물질계의 시뮬레이션을 가능케 하는 계산 파라미터의 구축이 필요
- ※ 속도와 정확성이 개선된 제일원리 계산 기법
- ※ 여기상태 계산 및 전기화학 반응 시뮬레이션 기술
- ※ 실험결과와 비교가 가능한 계산결과의 분석 기법
- ※ 다양한 원자간 포텐셜, TB 파라미터의 데이터베이스 구축과 응용프로그래밍 인터페이스

■ 웹기반 계산재료과학 플랫폼의 구축 및 공개

- 계산재료과학의 높은 진입장벽의 극복과 계산과학의 첨단기법 개발 여부에 따라 소재연구의 장기적 국가경쟁력이 결정된다는 인식을 바탕으로 전 세계적으로 계산재료과학 플랫폼의 구축이 활발히 진행
- 미국 유럽 등 계산 나노기술의 선진국에서는 이러한 진입장벽을 낮추고자 하는 노력이 2000년대 초반부터 경주되어 왔음³⁵⁾
 - ※ 미국 Purdue 대학을 중심으로 online simulation 환경을 제공하는 NanoHUB.org를 운영해 오고 있으며, 플로리다 대학의 Cyberinfrastructure for Atomistic Materials Science, 덴마크 공대의 Atomic Simulation Environment 등 용이하게 활용할 수 있는 계산환경들의 구축이 진행되고 있음
 - ※ 한편, 상용 프로그램으로서 이러한 환경을 제공하는 패키지 제품이 출시되고 있는데, 대표적인 것으로는 Materials Studio, Quantum Wise, Materials Design, Scientific Computing & Modeling 등을 들 수 있음
- 우리나라에서도 KIST와 KISTI를 중심으로 계산나노과학의 진입장벽을 낮추기 위한 웹기반 플랫폼 개발이 진행 중



<그림 5.9-2> 해외에서 개발되어 판매되고 있는 계산재료과학 상용제품의 예

35) 전 세계적인 플랫폼 구축현황에 대해서는 <http://vfab.org/information>을 참조



<그림 5.9-3> 해외에서 개발되고 있는 웹기반의 계산재료과학 플랫폼

- ※ KIST 연구진은 KAIST, 서울대, 포항공대의 연구진과 함께 실험 연구와 매우 유사한 환경에서 시뮬레이션을 통해 실험을 수행할 수 있는 Virtual Fab 개념의 플랫폼 개발을 진행하고 있는데, <http://vfab.org> 를 통해 Nano물질 설계와 에너지 소재의 설계가 가능한 Virtual Fab 환경을 제공 (<http://nano.vfab.org> <http://battery.vfab.org> 등)
- ※ KISTI에서는 2011년부터 EDISON 프로그램을 통해 미국의 Nanohub와 유사한 나노소자 및 화학 분야의 웹기반의 시뮬레이션 환경을 제공 (<http://www.edison.re.kr>)



<그림 5.9-4> KIST에서 개발하고 있는 가상랩의 예



<그림 5.9-5> EDISON 플랫폼의 개념도

■ 소재 기술의 국가경쟁력 증진을 위한 주요 인프라로서 계산재료과학 플랫폼의 필요성 대두

- 2015년 4월 29일 발표된 범부처 ‘나노기술 산업화 전략’은 나노제조기술(nanomanufacturing) 기반의 나노산업을 육성하여 세계 나노기술 시장의 20%를 점유한다는 목표³⁶⁾ 하에 다음의 구체적 추진 전략을 제시
 - (7대 산업화 기술 확보) 나노산업 발전을 선도할 7대 중점추진 영역을 선정하고 산업화 기술 개발을 지원
 - (나노기술기업 육성) 나노 우수기술의 사업화를 통해 중소벤처기업의 발전을 도모하고, 글로벌 강소기업을 육성
 - (4대 인프라 확충) 상기 항목의 추진과 관련한 인프라의 확충을 통해 나노산업 육성의 목표를 달성
- 이 중 4대 인프라 확충에는 나노랩 인프라의 기업지원 강화, 나노 안전성 확립 및 나노제품 성능평가 지원과 함께 계산과학 플랫폼 구축이 포함
 - 계산과학 플랫폼은 나노제조기술의 혁신(나노제품 개발기간 50% 단축, 나노제품 개발 비용 50% 축소)을 불러오기 위하여 계산나노과학을 활용도 높은 연구개발수단으로 발전시키기 위한 인프라

- 2015년 10월 22일 국가과학기술자문회의 “미래 신시장 선점을 위한 소재기술 혁신

36) 2020년 3조 달러로 예상되는 세계 나노기술 시장에서 6,000억 달러 이상을 점유한다는 목표



<그림 5.9-6> 범부처 나노기술 산업화 전략 (2015.4.29.) 의 개념도

방안” 보고에서 첨단 IT기술과 소재설계기술을 융합한 소재공정혁신이 제안

- 빠른 시장수요 변화에 대응하기 위해 소재개발기간을 50% 이상 단축할 수 있는 소재공정혁신의 수단으로서 ① 핵심 전략소재별로 특화된 ‘계산재료과학 플랫폼’ 구축
- ② 실험(분석)결과와 전산해석 데이터 등을 축적하여 ‘소재 빅데이터’ 구축이 제시

■ 계산재료과학 플랫폼 구축 사업의 개요

- 소재기술 개발에서 계산재료과학을 용이하고 효율적으로 활용할 수 있도록 실험연구자에게 익숙한 웹기반의 가상실험 공간을 구축하여 국내외 모든 소재연구진에 공개
- 개발 소재별로 다양한 계산 소프트웨어 들을 연동하여 가상실험의 수단으로 제공하

는 ‘웹기반 주제형 가상랩’ (Web-based Thematic Virtual Laboratory) 을 개발하여 공개

- 가상실험의 결과를 소재물성 빅데이터와 연동하는 소재설계 플랫폼을 통해 계산과 데이터의 융합 연구개발 환경 제공

- 세계 선도 연구진과의 협력 네트워크를 구축하여 첨단 계산방법론, 계산 파라미터 DB, 소재정보학 등 취약 부분을 보완하고, 강점 분야인 가상실험 플랫폼 기술, 계산 재료과학 응용 분야의 국제적 위상을 제고

5.9.2. 추진전략

■ 계산재료과학 플랫폼의 개념

- 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 소재의 설계, 소재공정의 최적화, 소재 시스템의 성능예측을 구현할 수 있는 웹 기반의 소재연구 환경
- 계산재료과학의 응용분야 별로 확립된 계산방법과 결과의 후처리 방법을 통합한 가상실험실들을 구축 제공함으로써 계산재료과학에 대한 진입장벽이 거의 없이 계산 과학기법을 소재기술 개발에 활용할 수 있는 국가적 연구개발 인프라

■ 계산재료과학 플랫폼 구축사업의 추진 방향

- 개방형 계산재료과학 플랫폼은 계산과학에 익숙하지 않은 연구자들이 계산재료과학의 기법을 용이하게 활용할 수 있는 환경을 웹 브라우저 환경을 통해 제공
- 실험연구자가 연구하는 방식과 유사하게 시편을 만들고 조작하고 이를 분석하는 순서도를 따르도록 가상실험실을 설계
- 플랫폼 사용자는 계산 방법이나 계산 조건과 관련된 어떠한 계산 파라미터도 가능한 한 입력하지 않음
- 원하는 작업을 시뮬레이션하기 위한 계산 조건이나 파라미터들은 계산과학 전문가들의 선행 연구 결과를 바탕으로 최적화된 방법을 적용
- 소재정보학과 연계된 강력하고 효율적인 소재설계 방법을 제공
- 시뮬레이션 결과의 신뢰성을 위해 자세한 계산 방법과 계산조건 등 심층 정보는 상세한 설명서를 통해 제공
- 계산나노과학의 산업적 수요에 대응하기 위해 계산의 범용성과 정밀성 그리고 계산 속도 향상을 주도할 계산나노과학의 선도 기술 개발
- 산업적 수요를 충족하기 위한 계산나노과학 분야의 공백기술 개발
- ※ (예) DFT 계산의 정밀도와 속도 증진기술, 다양한 원자간 포텐셜의 개발 및 데이터베이스 구축,

- 원자레벨 시뮬레이션의 시간 스케일 확장 기술, 여기상태 및 전기화학 반응의 시뮬레이션 기법
- 나노 빅 데이터의 구축과 활용을 통해 나노소재 및 시스템을 효율적으로 설계할 수 있는 기반 구축

※ (예) 계산나노과학 플랫폼의 통합 데이터베이스 구축, 나노관련 데이터의 수집 및 빅데이터 구축, 나노 빅데이터의 마이닝 기술, 플랫폼 구축 효율성 증진을 위한 Contents Management System 설계

- 주제별 계산재료과학 플랫폼 개발과 파급을 추진할 네트워크 조직으로서 “국가 계산재료과학 허브” 구축

- 허브는 플랫폼 기술개발단과 플랫폼 운영단으로 구성

<표 5.9-1> 계산재료과학 허브의 구성 및 역할

구성	미션	역할
플랫폼 기술개발단	계산재료과학 플랫폼 및 계산기법 개발	- 응용분야에 특화된 계산나노과학 플랫폼 개발 - 플랫폼 구축을 위한 기반기술 개발 - 플랫폼 기능강화를 위한 국제협력 HUB - 첨단 계산나노과학을 위한 오픈소스 개발
플랫폼 운영단	계산재료과학 플랫폼의 운영 및 기술파급	- 개발된 개방형 계산나노과학 플랫폼의 운영 및 개발단과 협력하여 기능을 개선 - 국가수퍼컴센터의 컴퓨팅 자원 활용 - 지식기반 플랫폼 운영과 산업으로의 기술 파급을 위한 interpreter 양성 - IP에 민감한 연구개발에 플랫폼 사용이 가능하도록 플랫폼을 전체 또는 모듈별로 사업화

5.9.3. 추진방법

▣ 나노 및 소재기술 산업화 추진전략과 전문가 자문회의를 통해 우선 추진대상 플랫폼을 결정

- 2015년 4월 29일 발표된 범부처 나노기술 산업화 전략의 7대 전략분야 중 계산과학이 효과적으로 활용될 수 있는 4 개 분야인 IoT 적용 환경 나노센서, 식품안전 나노센서, 탈키금속 촉매용 나노소재, 탈 희유원소 산업용 나노소재 설계 플랫폼을 우



<그림 5.9-7> 계산재료과학 플랫폼 구축사업의 개념

선 추진

※ 7대 전략분야 : ① 3D 나노전자소자, ② IoT 적용 환경나노센서, ③ 식품안전 나노센서, ④ 기능성 나노섬유, ⑤ 탈키금속 촉매용 나노소재, ⑥ 탈희유원소 산업용 나노소재, ⑦ 저에너지 수처리 시스템

- 소재분야 전문가 자문회의를 통해 플랫폼 개발의 전략소재군을 선정하여 추진
 - 산업적 중요성, 계산재료과학적 접근의 필요성 및 효용성 그리고 가용한 계산과학 기법의 존재 등을 종합적으로 검토³⁷⁾
- 웹기반 가상랩의 효율적인 구축을 위해 공통적으로 활용될 수 있는 플랫폼 기술을 개발하고 가상랩의 신뢰성과 활용범위를 확대하기 위해 계산재료과학 선도 기술을 개발

37) 개방형 계산나노과학 플랫폼 추진전략 기획보고서, 2015.12.29. 미래창조과학부, pp.212

<표 5.9-2> 계산재료과학 플랫폼 구축사업의 연구내용 (예시)

추진방향	세부과제(예시)
전략소재별 테마형 소재설계 가상랩의 구축 및 공개	- 수소경제용 철강소재 설계를 위한 가상랩 구축 - 탄소복합재료 설계를 위한 가상랩 구축 - 복합기능 차폐소재 설계를 위한 가상랩 구축 - 멤브레인 환경 소재 설계를 위한 가상랩 구축 - 웹기반 촉매 소재 설계를 위한 가상랩 구축 - 환경·식품안전 센서 설계를 위한 가상랩 구축 - 기능성 섬유 소재 설계를 위한 가상랩 구축
웹기반 계산재료과학 플랫폼의 핵심 기반 및 선도기술 개발	- 계산재료과학 플랫폼 용 Contents Management System 개발 공개 - 다양한 물질계의 시뮬레이션 파라미터 개발·DB화 - 빠르고 정확한 계산방법론 및 첨단 계산기법 개발 - 플랫폼을 통한 테마형 계산물성 빅데이터 구축 및 활용 정보학 기술 개발

<표 5.9-3> 개방형 계산나노과학 플랫폼 개발 추진(안)

	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	
기능성 나노입자 설계 가상랩 (qCat)											원형개발+ 기능보강
고감도 나노센서 설계 가상랩 (qFeel)											원형개발+ 기능보강
3D 나노전자 소자 설계 가상랩 개발											원형개발+ 기능보강
기능성 나노섬유 설계 가상랩 개발											원형개발+ 기능보강
저에너지 수처리 소재 설계 가상랩 개발											원형개발+ 기능보강
기존 플랫폼 관리 및 기능 개선											1단계 구축 가상랩의 기능개선
첨단 플랫폼 원천기술 개발											지속추진

※ 모든 가상랩은 3년간의 원형개발과 추가 2년간의 기능보강 및 시험과정을 거쳐 공개

※ 개발 플랫폼의 지속적 기능강화와 다양한 수요에 대응하기 위해 플랫폼 원천기술 개발을 지속적으로 추진

■ 시범 사업을 통해 개발 플랫폼의 기능 검증 후 본격 추진

- 1단계 : 플랫폼 기반구축 및 시범사업 착수 (2016~2018: 진행중)
 - 나노소재원천기술개발 사업을 통해 ‘기능성 나노입자 설계 가상랩 : qCat’테마형 소재설계 가상랩의 시범사업 진행 (연구기간 5년 / 연 7.5억원)
 - 세계 우수 계산과학 기관과 네트워크 구축을 위해 ‘플랫폼 기능 고도화를 위한 핵심 기반기술 개발’사업 착수 (연구기간 5년 / 연 7.5억원)
 - 플랫폼의 원형의 실효성을 검증한 뒤 본격적으로 추진
- 2단계 : 계산재료과학 플랫폼의 본격 추진 및 정보학 플랫폼의 확대 (2019~2025)
 - 나노기술 산업화 전략의 5대 전략소재군 및 7대 나노기술 산업화 전략분야 전체로 가상랩 개발 분야 확장 (분야별 응용 플랫폼을 추가하는 병렬방식)
 - 국가 계산재료과학 허브를 설립하여 플랫폼 및 소재물성 빅데이터의 개발과 관리 그리고 그 운영을 시스템화

5.9.4. 추정 예산

■ 1단계 (2016~2018) : 시범사업

- 투자액 : 45 억원 (연 15억원)

<표 5.9-4> 1단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
기능성 나노입자 설계 가상랩 (qCat)	7.5	10	- 나노입자 모델링랩 개발 - 촉매 및 양자점 효율 예측랩 개발 - 나노입자 안정성 예측랩 개발
첨단 플랫폼 원천기술 개발 I	7.5	8	- 플랫폼 기반 기술 개발 - 첨단 플랫폼 선도기술 개발
계	15		

■ 2단계 (2019~2026)

○ 총 투자액 : 520억원 (연 65억원)

<표 5-3> 2단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여연구진 수 (PI급)	추진 연구내용
소재계산과학 허브 사업	15	3~5	- 1단계 개발 플랫폼의 운영 및 기능 개선
고감도 나노센서 설계 가상랩 (qFeel)	10	8	- 센서물질 모델링랩 개발 - 나노센서 모델링랩 개발 - 센싱효율 예측랩 개발
3D 나노전자 소자 설계 가상랩 개발	10	5~10	추후 기획
기능성 나노섬유 설계 가상랩 개발	10	5~10	추후 기획
저에너지 수처리 소재 설계 가상랩 개발	10	5~10	추후 기획
기능성 나노입자 설계 가상랩	10	8~10	- 플랫폼 기반 기술 개발 - 첨단 플랫폼 선도기술 개발
계	65		

5.9.5. 기대효과

■ 시나리오 1 : 나노입자 촉매 개발 연구 분야

“전산나노과학 플랫폼이 없는 연구”

국내외에 잘 알려진 촉매 전문가인 이모 박사는 촉매 신물질 설계에 대한 신규과제의 준비하고자 한다. 이번 과제는 그가 기존에 연구해오던 촉매반응들이 아닌 이산화탄소의 환원반응에 적합한 새로운 물질의 개발이 그 목적이다.

과제 제안 과정에서 그는 어떤 촉매소재들이 연구되어져 왔는지 파악하기 위해, 팀원들을 모아 문헌조사를 시작한다. 일부는 유명한 저널 포털사이트들을 키워드별로 검색하여 보고서를 제출토록 하였고, 일부는 유명 에너지회사들의 연구동향을 파악토록 한다. 동시에 본인의 기존 연구경험과 그룹원들간의 브레인스토밍을 바탕으로 가능할 것으로 여겨지는 소재들을 생각해본다.

그에게 이런 일련의 검색과정은 크게 새로울 것이 없다. 과거 도서관을 드나들며 학술지들을 찾았다면, 연구그룹을 이끌고 있는 지금은 도서관 대신 인터넷에서 필요한 정보를 찾아 헤매고 있다. 과제 초기단계에 좀 더 포괄적인 조사를 효율적으로 수행하고 싶으나, 제한된 시간 안에 최선을 다한 것에 만족하고, 그는 보고서와 경험에 기초해 대여섯가지 후보소재를 선택한다.

세부적인 연구계획을 수립하기에 앞서 그는 어떤 물질을 바탕으로 새로운 소재를 설계할 것인지를 결정해야만 한다. 하지만, 검색을 하며 수집한 물질정보들은 결정을 내리기에 턱없이 부족하다. 그는 각 후보물질의 고급물성에 대해 더 알고 싶다. 도핑을 하면 어떨까? 어떤 물질이 고온에서 더 안정할까? 나노입자 크기를 변화시키면 어떻게 변할까? 이에 대한 정보들을 수집하여 서로 비교하기에는 인력과 시간이 너무나 부족하다.

그는 어쩔수 없이 후보군에서 본인에게 익숙한 물질인 A를 선택하게 되고, 이를 바탕으로 연구제안서를 제출한다.

“전산나노과학 플랫폼과 함께하는 연구”

국내외에 잘 알려진 촉매 전문가인 이모 박사는 이산화탄소 환원반응용 촉매 신물질 설계에 대한 신규과제의 준비 중이다. 후보소재들에 대한 기존방식의 선행기술조사의 한계를 절감한 그는 최근에 서비스를 시작한 개방형 계산나노과학 웹사이트를 이용해보기로 결정한다.

첫 화면에서 그는 여러 가지 촉매반응중 이산화탄소 환원반응을 선택한다. 다음화면에서 데이터베이스는 반응에 해당하는 100여가지 소재들을 키워드별로 보여준다. 그 안에는 그에게 익숙한 물질인 A도 포함되어져 있다. A를 선택하였더니, A에 대한 다양한 기능들이 보기 좋게 화면에 보여진다. 그 기능들 중에 그는 도핑 기능을 선택한다. 플랫폼은 도핑에 사용되는 화학원소, 도핑의 농도 등 본인이 관심 있어 하는 다양한 환경에서의 A물질의 촉매특성을 효율적으로 보여준다. 이외에도 플랫폼은 다양한 고급물성정보를 제공해준다.

이에 만족한 이모 박사는 더 나아가 플랫폼에서 제공하는 재료정보학 모듈을 이용하여, A와 다른 후보 물질들간의 촉매특성 비교를 통하여, A가 가지고 있는 상대적인 장단점에 대한 포괄적이고 실질적인 정보를 획득하게 되었다.

수년간 연구해왔기에 A물질을 내심 선택하려 했던 그는 플랫폼을 통해 A보다 좋은 대여섯가지 후보물질들 존재한다는 사실을 알게 된다. 이에 그는 동료연구자들과 다양한 측면에서 논의를 진행하고, 이를 통해 추려진 후보물질들을 바탕으로 연구계획을 수립하게 되었다. 그는 계산나노과학 플랫폼의 효율성을 몸소 체험하게 되고, 플랫폼을 적극적으로 활용하기로 마음먹는다.

■ 시나리오 2 : 양자점 개발 연구 분야

디스플레이 개발 부서 연구원 김씨. 450 nm를 방출하는 발광 양자점 개발하는 것이 목표로 벌써 몇 주일째 CuInSe₂ 양자점에 들어갈 적합한 불순물을 찾고 있다. 개발팀에서 1-3-6족 원소들로 된 양자점을 시험해 보기로 한 것이 올 초봄이었고 곧 이어 가능성이 있다고 언급되고 있는 CuInS₂, AgInS₂, CuInSe₂ 만으로 후보군을 추려내어 개량의 개량을 거듭하고 있지만 추석 귀성 열차표를 산 지금까지 결정적인 진전은 없다. 거의 성공한 것들도 있었다. 두 달 전에 만들었던 양자점은 다소 불안정하긴 했지만 정말 성능이 좋았다. 안정성을 높이려고 ZnO shell을 덮어 core-shell구조를 만들었더니 발광 특성을 높이려고 core에 첨가했던 불순물들이 ZnO로 빠져 나가면서 실패했다. 아예 시작단계에서부터 합성이 안됐던 조합은 수 없이 많았고, 크기 제어조건을 찾지 못했던 경우, shell의 두께와 core 크기의 조합에서 문제가 됐던 경우 등 일일이 기억조차 할 수 없을 만큼 수많은 조합을 시도해 봤지만 아직 성공을 장담할 수 없다. 어제보다 얼마나 나아갔는지 모를 하루를 보내고 퇴근하는 길에 김연구원은 상상해 본다. 일일이 다 만들어서 시험하지 않을 수는 없을까? 시뮬레이션을 활용하면 실험의 가이드라인을 얻을 수 있다고는 하는데, 함께 일해 줄 시뮬레이션 전문가를 찾기가 여간 어렵지 않다.

연구원 한씨. 사무실로 출근한 한연구원은 먼저 Quantum Dot 시뮬레이션 플랫폼에 접속해 어제 퇴근 전에 실행시킨 시뮬레이션을 확인한다. CuInS₂ 양자점에 전이금속을 도핑해 방출 파장을 조절할 수 있는지 예측해 보기 위한 시뮬레이션을 퇴근길에 실행 시켜 봤던 것이다. 성능이 오히려 떨어질 것이라는 다소 실망스러운 예측이 나왔으나 직접 제조해보고 실패하지는 않아서 다행이라 생각한다. 한연구원은 다음 불순물 후보에 대한 시뮬레이션을 플랫폼에 실행시켜 놓고 또 다른 양자점 제조 실험을 위해 Fab으로 향한다.

한 연구원은 현재 CuInS₂의 성능을 불순물 도핑으로 향상시키는 연구를 진행하고 있는데, 며칠 전 Mn 도핑으로 발광 성능을 향상시킬 수 있다는 예측이 나와서 Mn이 도핑된 양자점을 제조하려는 것이다. 한연구원은 먼저 플랫폼에 탑재된 재료정보학 자료를 활용해서 CuInS₂에 안정적으로 도핑할 수 있는 원소들을 걸러냈고, 일부 데이터베이스에 없는 전이금속 원소들은 플랫폼에서 제공하는 도핑에너지 모듈로 계산해서 후보군을 추려냈다. 이후 열역학적으로 안정되게 도핑이 되는 원소들의 광흡수/방출 스펙트럼 계산으로 후보군을 압축했고, 지금은 core/shell 구조에서 스펙트럼의 변화와 계면 구조의 안정성을 하나씩 계산으로 확인하고 있다. Mn 도핑은 이렇게 해서 찾은 첫 번째 후보다.

예전에는 어느 정도 가능성이 있으면 소재를 만들어서 시험했고, 수많은 시행착오를 겪어야 했지만 시뮬레이션 플랫폼을 활용하고부터는 시험하는 횟수가 확실히 많이 줄었다. 게다가, 장비 앞을 지키고 있지 않아도 플랫폼은 24시간 사고 위험 없이 계속 일을 하기 때문에 한연구원에게는 잘 훈련된 부하가 한 명 생긴 듯하다.

소재 빅데이터 플랫폼 구축사업 (신규)

- 실험 데이터와 계산 물성 데이터의 체계적인 수집·가공·분류에 의한 소재 빅데이터 구축과 빅데이터 분석 기술개발과 활용을 통해, 가상으로 실험하여 기술개발의 효율을 높임

5.10.1. 사업의 필요성 및 개요

▣ “Data Driven Research”를 기반으로 하는 소재 개발의 새로운 패러다임

- 현대 초연결 사회를 실현한 IT 기술의 비약적 발전은 연구개발 자료의 축적과 활용을 통한 “Data Driven Research” 기반의 소재 개발 연구의 새로운 장을 열고 있음.
- 첨단 소재개발의 효율성 증진을 위해 소재 빅데이터를 활용한 소재설계 수단의 중요성이 강조되고 있음
- 알파고가 무수히 많은 기보 데이터를 분석하여 승리의 전략을 찾아 낸 것처럼, 소재 빅데이터의 구축과 활용은 데이터를 기반으로 성공적 소재개발의 방향을 제시할 수 있을 것으로 기대
- 마케팅, 의료, 교통, 기상 분야 등에서의 빅데이터의 활용은 이미 중요 기술로서 자리 잡아가고 있으며, 소재 개발에서의 빅데이터를 활용한 보고들이 최근 들어 크게 증가하고 있음.

※ 재료공학 분야의 최대 국제학회인 미국의 MRS (Materials Research Society) 2015 Fall Meeting에서는 소재 빅데이터 관련 세션이 2개가 진행되었음. “Symposium AAA: Big Data and Data Analytics for Materials Characterization”, “Symposium CCC: Integrating Experiments, Simulations and Machine Learning to Accelerate Materials Innovation”

▣ 선진국의 소재 빅데이터 구축 및 활용

- 미국의 2011년 Materials Genome Initiatives (MGI)를 시작으로 미국과 유럽을 중심으로 실험 뿐 아니라 계산 결과 data를 축적 가공하여 새로운 소재를 탐색하고 설계하기 위한 노력이 가속화 되고 있음
- 이후 2015년 2월 미국 백악관에서는 MGI (materials genome initiative)의 성공을 위해서는 재료과학 data의 활용이 핵심요소라는 전략을 발표하고 (It's Time to Open Materials Science Data

<http://www.whitehouse.gov/blog/2015/02/06/its-time-open-materials-science-data>), 국가적 차원에서 소재 빅데이터 구축과 활용 노력을 본격화

- 각 선진국에서는 MaterialsData (미국 materialsdata.nist.gov), Pauling File (유럽: paulingfile.com), Materials Database (일본 mits.nims.go.jp/en) 등 다양한 형태의 소재 물성 DB가 구축되어 활용되고 있으며, 이들을 빅데이터로 발전시키기 위한 노력도 함께 진행
- 선진국은 현재 소재 DB 구축에서 빅데이터 활용을 위한 소재정보학 연구로 넘어가는 중
- 미국을 포함한 여러 선진국에서는 전산모사에 의한 소재 물성 데이터베이스 구축하여 소재 빅데이터를 활용하기 위한 물성 데이터 저장소를 운영하고 있음. 이러한 물성 빅데이터 저장소의 대표적인 예를 아래에 보임.



<그림 5.10-1> 선진국의 대표적인 소재 데이터베이스 포털 : 미국 (Materials Project), 일본 (Mat Navi), 독일 (NoMaD)

<표 5.10-1> 소재 빅데이터 사이트 리스트

Repository	site address	host institute	materials
Materials Project	http://materialsproject.org	MIT	inorganic compounds
AFLOWLIB (Automatic -Flow for Materials Deiscovery)	http://www.afflowlib.org	Duke Univ.	inorganic compounds
Computational Materials Repository (CMR)	https://wiki.fysik.dtu.dk/cmr/	Denmark Technical University	inorganic compounds
Electronic Structure Projects (ESP)	http://gurka.fysik.uu.se/ESP/	Sweden	inorganic compounds
Carnegie Mellon's Alloy Database	http://alloy.phys.cmu.edu/	Carnegie Mellon Univ.	alloys
NoMaD (Novel Materials Discovery)	http://nomad-repository.eu/cms/	Germany	inorganic compounds
Hypothetical Metal-Organic Frameworks Database	http://hmofs.northwestern.edu/hc/crystals.php	Northwestern Univ.	MOFs
MatNavi NIMS Materials Database	http://mits.nims.go.jp/index_en.html	NIMS, Japan	polymers, inorganic compounds
CEPDB Harvard Clean Energy Project DataBase	https://cepdb.molecularspac e.org/	Harvard Univ.	organic molecules

- 조금 후발 주자로서 소재 빅데이터 구축에 나선 일본에서는 Materials Informatics 관련 사업을 “정보통합형 물질·재료개발 이니셔티브 (“Materials research by Information Integration“ Initiative - Mi2i)”의 사업명으로 2015년부터 수행하며 빅데이터 구축 및 활용기술 (데이터마이닝, 머신러닝 등)를 함께 수행하는 전략을 취함. (아래 그림 참조)
- 특히 2015년 7월에는 일본 NIMS (물질재료연구기구)에 소재 빅데이터 등을 활용하여 소재 개발을 진행하는 “Materials Informatics (MI)” 전문조직인 “MI Platform”을 설치



<그림 5.10-2> 일본의 정보통합형 물질·재료개발 이니셔티브 (2015)
Materials research by Information Integration“ Initiative - MI2I

■ 국내 소재 빅데이터 구축 현황

- 현재 국내에 공개되어 있는 소재 빅데이터는 소재종합솔루션센터에서 구축한 소재 정보 데이터베이스가 유일하며, 아래 4개의 분야별 소재정보은행에서는 분야별 특화된 소재물성을 제공하고 있음. (표)
- 현재 구축된 소재 빅데이터는 논문, 특허, 기업 상품설명서 등에서 수집되거나 측정에 의한 생성된 물성 정보로서 특정 소재 및 응용분야에만 집중되어 있으며, 물성 검색 등에 활용도는 있으나 이를 빅데이터로 머신러닝을 적용하기에는 어려움이 있음.
- 미국의 Materials Project를 비롯하여 선진국에서 구축된 소재물성 DB 들이 계산기반의 물성 DB이나 국내에서는 계산기반의 소재물성 데이터베이스가 구축되어 공개된 예는 없음.
- 최근 국내 대기업인 LG 화학, 삼성 SDI, 삼성중기원 등 산업체에서 리튬 이차전지 전극 소재 및 전해질 첨가제 등에 소규모의 ‘Computational Materials

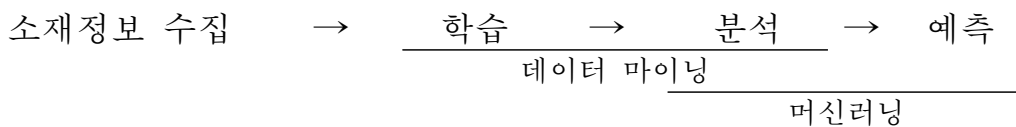
Screening'방법으로 자체 데이터베이스를 만들어 활용하고 있으나 기업 기술 보호를 위해 공개되지 않고 있는 상황에서, 국내 중소기업에서 소재개발에서 소재 빅데이터를 활용하는 것에는 한계가 있음.

- 지난 7-8년간 선진국에서는 계산과학 기반 소재물성 데이터베이스가 활발히 구축되었고, 최근 들어 더 나아가 이러한 소재물성의 빅데이터를 활용하는 소재정보학이 대두되고 있는 시점에서 국내에서도 공동 활용이 가능한 소재물성 데이터베이스의 필요성의 공감대가 커지고 있음.

■ 소재 빅데이터 활용을 위한 소재정보학 기술 개발

- 소재 빅데이터를 효율적으로 활용하기 위해서는 소재분야에 적용 가능한 데이터 마이닝 기술과 머신러닝 기술 개발이 필요함.
- 특히 선진국과 비교하여 소재물성 데이터베이스 구축의 후발 주자로서 소재 물성 데이터베이스를 구축함과 동시에 소재정보학 (머신러닝 방법 등)을 개발하는 플랫폼 구축이 필요함.

※ 참고 : 소재 정보학(인포매틱스)



<그림 5.10-3> 소재 빅데이터의 머신러닝의 활용의 예시
(from <http://rampi.ims.uconn.edu/>)

<표 5.10-2> 국내 소재 데이터베이스 구축 현황

소재정보은행	DB 건수	*DB 물성 종류
화학소재 (2007~2016.5 기준) 한국화학연구원 http://www.cmib.org/index.htm 1	529,979건 (수집/가공) 41,329건 (생성)	플라스틱(열가소성, 열경화성), 고무 엘라스토머의 고분자 소재, 첨가제 (열안정제, UV안정제, 가소제) 등, 필름, 복합재료, 정밀화학소재(점/접착제, 도료 등) 등
금속소재 (2006~2016.5 기준) 한국기계연구원 부설 재료연구소 http://www.metalsbank.com/main/main.mb	115,532건 (수집/가공) 81,592건 (생성)	철강소재, 알루미늄합금, 마그네슘합금, 분말소재(철계, 초경), 구리소재 등
세라믹소재 (2007~2016.5 기준) 한국세라믹연구원 http://www.ceramicsbank.com/ceramic/body.jsp	150,144건 (수집/가공) 30,694건 (생성)	유전/압전소재, 반도체/도전체, 에너지소재, 유리, 형광체, 벌크제, 내열소재 등
섬유소재 (2012~2016.5 기준) 다이텍연구원 http://210.123.142.138/miguest/index.aspx?profileKey=textile_DB	36,833건 (수집/가공) 14,047건 (생성)	소재물성별(폴리에스테르계, 폴리아마이드계, 폴리우레탄계), 용도별(수송용, 토목용, 산업용), 공정별(시제조, 시가공, 제직, 가공) 등

*DB 물성 종류 : 2015년 KIAT 보고자료

(수집/가공) : 논문, 특허, 제조사 카탈로그 등 외부에 공개되어 있는 물성값의 수집 및 가공으로 이루어진 데이터

(생성) : 측정 장비를 활용하여 소재정보은행에서 자체적으로 측정 평가하여 구축한 데이터

5.10.2.추진전략

■ 기술적, 산업적 수요에 따라 선정된 전략 소재 별로 테마형 빅데이터 플랫폼 구축과 응용기술 개발

- 이머징 산업 대응형 소재와 주력산업 혁신소재의 소재군 별 빅데이터 플랫폼을 구축 (테마형 빅데이터 플랫폼)
- 기존의 소재정보은행의 포털을 기반으로 한 빅데이터의 구축 및 활용 플랫폼 구축

<표 5.10-3> 테마형 빅데이터 플랫폼의 예시

추진방안	세부과제(예시)
소재 빅데이터 구축 및 활용을 위한 요소기술 개발	• 소재물성 메타 데이터 설계를 위한 한-미-일-유럽-아시아의 국제공동 • 소재 빅데이터 구축 및 관리 시스템 개발 • 소재정보학 요소기술(데이터 저장·관리, 데이터 해석 및 가시화) 개발 • 데이터마이닝, 머신러닝 활용기술 개발
테마형 소재 빅데이터 플랫폼 구축	• 나노촉매 빅데이터 플랫폼 • 에너지 하베스트 소재 빅데이터 플랫폼 • 수소생산·이송·저장용 소재 빅데이터 플랫폼 • 에너지 플랜트용 구조용 합금 빅데이터 플랫폼 • 구조용 고엔트로피 합금 빅데이터 플랫폼 • 수송기기용 탄소복합체 소재 빅데이터 플랫폼 • 복합기능 차폐소재 빅데이터 플랫폼 • 고내구성 표면 나노구조체 빅데이터 플랫폼 • 환경정화용 나노소재 빅데이터 플랫폼

■ 소재종합솔루션센터 소재정보은행의 기능 확장을 통한 소재 빅데이터 요소기술 개발

- 현재의 단순 데이터 생성 및 축적 기능에서 벗어나 소재 데이터의 수집 가공 기술 개발 및 인프라 구축, 빅데이터 활용 소재정보학 요소기술 개발 등 테마형 빅데이터 플랫폼 구축에 필요한 기반 요소기술을 확보
- 국가적 소재 빅데이터 관리와 활용을 위한 (가칭) 소재 빅데이터 포털 운영
- 빅데이터 기반 소재설계를 위해 데이터 상관관계를 분석하여 소재를 설계하는 데이터 마이닝·머신 러닝 기술 개발

<표 5.10-4> 소재종합솔루션센터 소재정보은행의 기능 확장

	As Is	To Be
대상	금속, 세라믹, 화학, 섬유별 범용소재	테마형 미래소재
종류	물성 및 기계적 성질 등 중간재의 데이터	원소특성에서 성능까지 미래소재 특성을 고려한 데이터
데이터마이닝	×	○
정보학	×	○
메타데이터	△	○

■ 지식 통합 기반의 서비스

- 테마형 빅데이터 플랫폼은 해당 소재의 연구 수행기관에서 구축하고 소재정보은행은 이들을 관리하고 활용하는 포털을 운영
- 데이터 공유를 유도하기 위해 데이터 소유자의 권리 보장에 관한 라이선싱 기준 설정 추진 (국내외 논의에 적극 참여)
- 빅데이터 구축을 위한 소재연구사업 성과관리 체계 정비
 - ※ 국내 경우 연구자의 비공개 기간이 경과한 정부 지원 연구사업 성과물에 대한 데이터 관리 체계 구축 필요
 - ※ 미국의 경우 MGI에서 정부지원금에 의한 연구성과물 공개와 연구 데이터의 디지털화를 의무화 (2013)

5.10.3. 추진방법

■ 1단계 : 소재 빅데이터 플랫폼 기반 구축 및 시범사업 (2017~2019)

- 나노촉매 빅데이터 플랫폼 구축을 테마형 플랫폼 구축의 시범사업으로 소재정보은행의 기능 확장을 위한 요소기술 개발과 함께 추진
- 소재정보은행의 기능 확장을 위한 요소기술 개발 지원
(소재 데이터의 수집 가공 기술 개발 / 빅데이터 수집을 위한 인프라 구축 / 빅데이터 활용 소재정보학 요소기술 개발)
- 국내 산학연 및 해외연구기관과의 네트워크 구축을 통한 플랫폼 기술 조기 구축 및 데이터 관리의 표준지침 구축

■ 2단계 : 소재 빅데이터 플랫폼의 확장 및 빅데이터 통합관리 체계 구축
(2020~2025)

- 주력 응용분야에 따라 테마별 빅데이터 플랫폼 사업을 점차적으로 추진
- 소재 물성 예측을 위한 머신러닝 고도화 기술 개발
- 각 플랫폼에 분산된 빅데이터의 통합관리 포털 운영 및 활용 체계 구축
- 주력 소재 군에서 활용도가 높은 플랫폼의 확대 및 전문성 향상을 위한 지원 본격화
- 수요 소재기업과 플랫폼 연구진의 협력연구 지원

<시범사업 계획안>

○ 연구목표

- 화학반응 제어용 나노입자 빅데이터 플랫폼 구축 및 활용 기술 개발

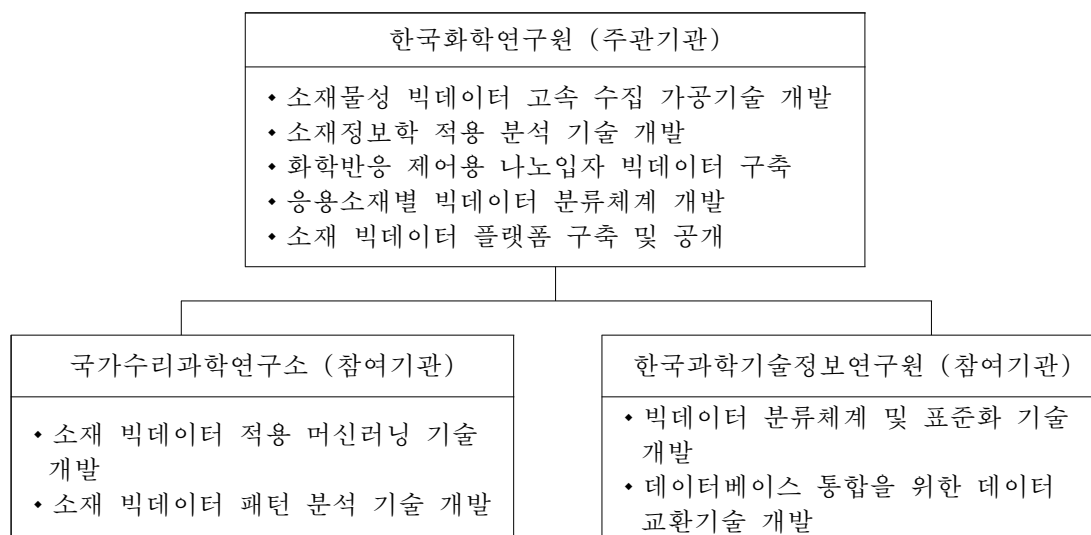
○ 연구기간 : 2017년 ~ 2019년 (3년)

○ 연구비 : 10억원/년

○ 연차별 연구내용

1차 (데이터마이닝기술개발)	- 문헌 및 오픈 데이터의 고속 수집·가공을 위한 데이터마이닝 기술 개발 - 계산과학기반 화학반응 제어용 나노입자 물성 자동 계산 시스템 구축 - 데이터마이닝 기술 적용을 통한 소재 빅데이터의 패턴분석 기술 개발 - 소재 빅데이터 분류체계 및 표준화 기술 개발
2차년도 (테마 플랫폼 착수)	- 차세대 기능성 나노입자 물성 빅데이터 구축 (실험/문헌기반 및 계산과학기반, 국제공조) - 소재 빅데이터의 기초 머신러닝 활용 기술 개발 - 응용 분야별 소재 빅데이터 분류체계 및 표준화 기술 개발
3차년도 (기술 심화)	- 기 구축 소재 데이터베이스의 데이터 통합 활용 시스템 개발 - 소재정보학 적용을 위한 소재 데이터 표준화 및 데이터 교환 기술개발 - 응용분야 확대를 위한 소재 빅데이터 플랫폼 구축 및 공개

○ 추진 체계(예시)



○ 활용 계획

- 연구자과 기업은 계산과학을 활용하여 신소재 발굴에 활용, 시행착오와 비용 줄임

5.10.4. 추정 예산

■ 1단계 (2017~2019) : 시범사업

○ 투자액 : 30억원 (연 10억원)

<표 5.10-5> 1단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여 연구진 (PI급)	추진 연구내용
나노촉매 빅데이터 플랫폼	10	8	- 차세대 기능성 나노입자 물성 빅데이터 구축 (실험/문헌기반 및 계산과학기반, 국제공조) - 데이터마이닝 기술 적용을 통한 소재 빅데이터의 패턴분석 기술 개발 - 소재 빅데이터 분류체계 및 표준화 기술 개발
계	10	8	

■ 2단계 (2020~2026)

○ 총 투자액 : 385억원 (연 55억원)

<표 5.10-6> 2단계 투자계획

과 제 명	연간 투자액 (억원)	참여연구진 수 (PI급)	추진 연구내용
• 소재 빅데이터 포털 운영	5	5	- 각 플랫폼에 분산된 빅데이터의 통합관리 포털 운영 및 활용 체계 구축 - 데이터 관리의 표준지침 구축 및 관리
• 에너지 하베스트 소재 빅데이터 플랫폼	10	7-10	추후 기획
• 수소생산·이송·저 장용 소재 빅데이터 플랫폼	10	7-10	추후 기획
• 에너지 플랜트용 구조용 합금 빅데이터 플랫폼	10	7-10	추후 기획
• 구조용 고엔트로피 합금 빅데이터 플랫폼	10	7-10	추후 기획
• 수송기기용 탄소복합체 소재 빅데이터 플랫폼	10	7-10	추후 기획
계	55		

5.10.5. 기대효과

■ 시나리오 1 : 태양전지 소재 개발

페로브스카이트 기반의 유-무기 태양전지 소재를 개발하고 있는 출연연의 이모 박사는 고효율의 태양전지를 개발하기 위해 다양한 페로브스카이트 조성 및 다양한 유기분자를 활용하는 유-무기 태양전지 소재 연구를 계획하고 있었다. 태양전지로서 작동하기 위해서는 우선적으로 밴드갭이 태양광 흡수에 적절한 값을 가지고 있어야 하며, 태양전지로서 활용되기 위해서는 내구성, 안정성 등의 문제를 해결해야 했다.

우선적으로 알려진 밴드갭 엔지니어링으로 신규 조성의 태양전지 소재를 찾을 수도 있지만, 실제적으로 태양전지를 개발하기 위해서는 밴드갭만으로 태양전지 효율이 잘 나오지 않음을 다년간의 연구 경험으로 알고 있었다. 그렇다고 전처럼 실험적 직관에만 의존하여 여러 가지 조성 및 도핑원소를 개발하기에는 많은 시간과 노력을 투자하면서 좋은 결과를 얻기에는 어려움이 있어, 이번에는 다른 방법을 시도해 보고자 하였다.

최근에 구축된 것으로 알려진 “에너지 하베스트 소재 빅데이터 플랫폼”에서 여러 가지 무기소재, 유기분자, 유-무기 소재 등의 밴드갭에 대한 빅데이터 및 머신러닝 패키지 제공하고 있어 이를 활용해 보기로 하였다.

우선적으로 데이터마이닝 방법으로 만여개의 무기 소재 조성에 대한 밴드갭 빅데이터에서 태양광 흡수에 적절한 밴드갭을 가진 소재에 대한 후보군을 좁혀 100여개의 후보를 추려 낼 수 있었다.

한편 “에너지 하베스트 소재 빅데이터 플랫폼”에서는 밴드갭의 계산 값만 아니라 홀(전자)이동층, 전극 등을 포함한 실제 태양전지 소자 구조 및 실제적인 광효율 측정에 대한 실험값 및 디바이스 계산값에 대한 빅데이터를 제공하고 있었다.

이러한 빅데이터를 종합적으로 활용하기 위해 머신러닝 패키지 서비스를 활용하기로 하고 구체적인 자문 요청을 하였다. 플랫폼 운영진에서는 현재 가지고 있는 물성데이터를 기반으로 최적의 태양전지 효율을 낼 수 있는 태양전지 구성 소재 및 소자 구조 등에 대한 예측 및 상관관계 해석에 대한 머신러닝 예측을 제공하였고, 이를 기반으로 유-무기 태양전지의 소재의 조성 및 태양전지 소자의 구성요소 등에 대한 후보군을 20개로 줄일 수 있었다

이를 기반으로 태양전지 소재의 합성, 소자 구성 등에 대한 연구를 수행하기로 연구 계획을 세움으로서, 경험에 의한 직관에 의존하던 연구에 비해 성공 확률이 높을 것으로 기대하며 연구를 시작할 수 있었다. 빅데이터의 활용으로 기존의 소재 개발 방법과 비교한다면, 소재 개발 시간을 반 이상 줄일 수 있었다.

■ 시나리오 2 : 합금촉매 개발

국내외에 잘 알려진 계산화학 전문가인 김모 박사는 국내 대기업의 화학공정 중에 필요한 촉매 설계에 대한 수탁과제를 수행하게 되었다. 현재 알려진 귀금속 촉매를 대체하며 국내외 특허를 피하기 위해서는 신규 합금 촉매의 설계가 필수적인데, 이를 위해서는 다양한 조성의 합금 표면 구조를 생성하는 “전처리 계산”을 수행하여야 한다. 계산화학 기반의 김박사의 연구는 하나의 분자에 대한 촉매 활성화를 보기 위해, 합금표면에 대한 구조를 생성하는 전처리 계산에 전체 시간의 70% 이상을 할애해야 하여 실제 촉매 계산보다 전처리 계산에 시간이 더 들게 된다. 따라서 다양한 합금조성에 대한 스크리닝을 수행하기 위해서는 많은 시간의 계산이 필요하기에 김박사는 이를 대체할 수 있는 방법을 찾아보기로 하였다.

우선 최근 들어 공개되고 있는 선진국의 소재 물성 빅데이터 사이트를 방문하여 합금표면에 대한 정보를 찾아보았으나, 대부분의 경우 벌크 구조에 대한 구조만을 제공하고 있어 크게 도움이 되지 못함에 낙망하고 있던 차에, 최근 국내에서 구축된 “나노촉매 빅데이터 플랫폼”에서 다양한 합금조성의 표면구조에 대한 정보를 제공한다는 소식을 들었다.

이에 나노촉매 빅데이터 플랫폼에 들어가 보니 다양한 조성의 합금 표면에 대한 구조 및 전자구조에 대한 정보를 제공하고 있어, 이를 활용하여 촉매 활성화 계산을 수행한다면 기존의 계산 시간 대비 30%의 시간 안에 다양한 합금에 대한 촉매 활성화 계산을 수행할 수 있을 것에 쾌재를 불렀다.

게다가 빅데이터 플랫폼에서는 단지 최적화된 합금 표면구조를 제공할 뿐 아니라, 합금 조성에 따른 표면 전하 분포와 표면전하와 분자들 간의 상호 작용에 대한 상관관계를 제공하고 있었다. 김박사가 계산하고자 하는 글리세롤 촉매 활성화의 경우 단순한 분자 (이산화탄소, 수소, 산소 등)이 아니라 직접적인 데이터를 찾을 수는 없었지만, 플랫폼에서 제공하는 머신러닝 패키지를 활용하여 표면에 직접 작용하는 작용기에 따른 표면 전하와의 상관관계에 대한 정보를 제공받을 수 있었다.

원래 김박사는 100여 개의 합금조성의 후보 표면에 대한 계산을 수행하기로 계획하였으나, 나노촉매 빅데이터 플랫폼의 머신러닝 패키지에서 우선적으로 글리세롤 작용기에 반응 가능한 표면으로 15개의 합금조성에 대한 후보소재를 추천 받을 수 있었다.

빅데이터 플랫폼을 활용함으로써 김박사는 실질적인 합금표면 최적화 전처리 계산 수행 없이 100여개의 합금 조성 중에 15개의 후보 표면에 대한 구조를 제공 받아 계산을 시작할 수 있었다. 이로서 김박사는 가능성 높은 15개의 합금 표면에 대한 글리세롤 촉매 활성화 계산 연구를 실제적으로 수행하여, 3개의 후보군을 기업에 제공하고, 기업은 실질적인 합금촉매의 합성 및 평가를 수행할 수 있었다.

이와 같이 빅데이터 플랫폼을 활용한다면, 계산과학의 경우에도 많은 전처리 계산

시간을 절약할 수 있으며, 더불어 머신러닝 패키지로 촉매 활성화에 대한 예측을 활용하다면, 계산시간을 (0.3×0.15), 즉 계산 수행의 양을 20분의 1 정도로 줄일 수 있었다.

김박사는 빅데이터 플랫폼의 사용자로서 데이터의 이용과 더불어 데이터의 제공에 대한 의무를 수행하여야 한다. 따라서 김박사의 계산 결과 또한 빅데이터의 일부로 제공함으로써 향후 다른 연구자들의 연구에 활용 될 수 있음에, 인류를 위한 과학연구의 공동의 목표를 지닌 과학자로서의 자부심을 함께 할 수 있었다.

부록

■ Kick-off Meeting

- 일시 : 2016.5.2.
- 장소 : 미래부 융합기술과
- 참석자 (무순) : 송경희, 이현정, 장태은, 박지현 (이상 미래부), 이광렬 (KIST), 김주선 (연구재단)
- 주요 논의내용 :
 - 기획의 개요와 진행계획
 - 전반적인 기획 방향에 대한 brain storm

■ 2차 기획회의

- 일시 : 2016.5.4
- 장소 : KIST 0227호 회의실
- 참석자 (무순) : 이형민, 김주선 (이상 연구재단), 유영수, 오창석 (이상 재료연), 이광렬, 김유찬, 김병국, 안재평, 최인석 (이상 KIST), 주영창 (서울대)
- 주요 논의내용 :
 - 소재분야 국내 현황의 분석 및 문제점 분석
 - 미래소재 정책방향에 대한 brain storm
 - 기획 보고서 작성을 위한 workshop 계획
 - 세부 사업안 논의

■ 기획보고서 작성을 위한 워크숍

- 일시 : 2016.5.11.~12
- 장소 : 밀레니엄 힐튼호텔 비즈니스 센터
- 참석자 : 박지현 (미래부) 김주선, 이형민 (연구재단) 이광렬, 김병국, 안재평, 김유찬 (이상 KIST) 오창석 (재료연), 주영창 (서울대)
- 주요 논의내용 :

- 보고서 초안 검토
- 미래소재의 범위 설정
- 기초원천연구 프로그램 도출 및 보고서 내용 작성
- 전주기적 소재 프로그램 도출 및 보고서 작성
- 소재 R&D 인프라 혁신안 도출 및 보고서 작성

■ 보고서 점검회의

- 일시 : 2015.5.17. 14:00~18:00
- 장소 : 미래부
- 참석자 : 송경희, 박지현, 이현정, 장태은, 이광렬, 김주선
- 주요 논의내용 :
 - 보고서 초안 검토

■ 보고서 점검회의

- 일시 : 2016.5.27. 15:00~18:00
- 장소 : 나노기술협의회 회의실
- 참석자 : 박지현, 이현정, 장태은, 이광렬, 김주선
- 주요 논의내용 :
 - 보고서 초안 2차 검토

■ 1차 전문가 토론회

- 일시 : 2015.6.16. 10:00~13:00
- 장소 : 나노기술연구협의회 회의실
- 참석자 : 이광렬, 정병기 (이상 KIST), 이상관, 채재우 (이상 KIMS) 최영민 (화학연), 김기범, 주영창 (서울대), 김선재 (세종대), 송용설 (아모그린텍), 황종희 (LG화학), 김주선 (연구재단)
- 주요 논의내용 :
 - 기획보고서 초안 검토 및 미래소재 경쟁력 강화방안 토의

■ 2차 전문가 토론회

- 일시 : 2015.6.22
- 장소 : 나노기술연구협의회 회의실
- 참석자 : 이광렬 (KIST), 채재우, 문병근 (이상 KIMS), 김관형 (S-MAC), 인준희 (LG 화학)
- 주요 논의내용 :
 - 세부 R&D 프로그램에 대한 산학연 의견 수렴

■ 보고서 점검을 위한 전문가 연석회의

- 일시 : 2016.6.29. 16:00~18:00
- 장소 : 삼경 C&M 교육센터
- 참석자 : 박재문, 이진규, 박지현, 이현정 (이상 미래부) 이광렬 (KIST), 김선재 (세종대), 송용설 (아모그린텍), 박홍규 (LG화학), 김주선 (연구재단), 이상관 (재료연), 최영민 (화학연),
- 주요 논의내용 :
 - 추진 필요성, 타당성 검토 및 소재발전방안 협의

■ 보고서 점검회의

- 일시 : 2016.7.6. 16:00~18:00
- 장소 : 나노기술연구협의회 회의실
- 참석자 : 최미정, 박지현 (미래부) 이광렬 (KIST)
- 주요 논의내용 :
 - 보고서 현황 보고 및 검토

■ 3차 기획회의 및 보고서 작성 워크숍

- 일시 : 2015.8.2.
- 장소 : KIST L0227호
- 참석자 : 이광렬, 김병국, 안재평 (이상 KIST), 오창석, 이상관, 채재우, 문병근 (이상 재료연), 장현주, 최영민 (이상 화연), 주영창 (서울대)
- 주요 논의내용 :

- 세부 프로그램 내용 점검 토론
- 기획보고서 최종안 토의
- 목차 구성 및 작성 계획 수립

부록 2 국내 소재관련 인프라 구축 현황 (일부)

□ 소재 공정 인프라 구축 현황 (나노팜 현황)

(2015. 12. 31 기준)

○ 나노인프라 구축 현황

기관명(지역)	분야	정부	지자체	민간	합계	총사업기간	전경사진
나노종합기술원 (대전)	실리콘계 CMOS 일괄공정	1,180억원 (미래부)	240억원	1,456억원	2,876억원	'02.10~'12.03	
한국나노기술원 (수원)	비 실리콘계 CMOS 일괄공정 (P-HEMT 라인)	481억원 (미래부)	981억원	153억원	1,615억원	'03.09~'08.12	
나노융합기술원 (포항)	차세대반도체 패터닝(EUVL) OLED 소재	425억원 (산업부)	204억원	500억원	1,129억원	'04.08~'09.12	
전북나노기술집적센터 (전주)	차세대 디스플레이 패터닝 유연/인쇄전자	233억원 (산업부)	343억원	168억원	744억원	'04.08~'09.12	
광주나노기술집적센터 (광주)	광,에너지 /디스플레이	261억원 (산업부)	109억원	425억원	796억원	'04.08~'09.12	
대구나노융합실용화센터 (대구)	나노기술응용 복합소재 및 부품기술	439억원 (산업부)	204억원	3억원	646억원	'04.01~진행중	

* 나노융합실용화센터 : 2012년 이후 장비 구축은 첨단융합부품소재육성산업 → 각 지역별 기반구축 R&D

(감성터치패널, 태양광 테스트 베드 관련 사업비로 구축)

○ 가동률(%)

기관명	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
나노종합기술원	11.8%	33.9%	40.8%	50.5%	55.9%	53.6%	54.5%	57.4%	54.1%	63.9%	64.7%
한국나노기술원	—	18.8%	23.0%	33.3%	41.5%	52.9%	57.1%	59.4%	60.8%	59.4%	55.0%
나노융합기술원	—	19.7%	29.9%	22.1%	25.4%	50.1%	55.7%	65.5%	86.7%	86.7%	84.3%
전북나노기술 집적센터	—	—	—	—	11.4%	24.4%	29.2%	30.4%	30.9%	31.7%	35.1%
광주나노기술 집적센터	—	—	—	25.4%	29.0%	27.3%	30.7%	31.1%	31.7%	35.0%	35.2%
대구나노융합 실용화센터	7.3%	41.4%	42.8%	68.2%	75.2%	83.2%	83.2%	86.7%	86.0%	86.3%	73.8%

○ 이용건수(건)

기관명	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	계
나노종합기술원	2,672	8,593	10,640	13,687	15,109	14,233	16,937	19,544	19,934	19,251	20,681	161,281
한국나노기술원	—	1,122	5,477	7,726	10,099	10,237	11,122	11,500	11,689	10,861	11,689	91,522
나노융합기술원	—	189	1,431	4,117	7,689	10,519	11,547	12,214	11,636	11,763	11,746	82,851
전북나노기술 집적센터	—	—	—	105	609	1,542	3,809	3,578	4,569	4,236	6,054	24,502
광주나노기술 집적센터	—	—	—	676	2,067	1,866	3,174	2,536	2,819	2,415	2,320	17,873
대구나노융합 실용화센터	135	558	847	1,151	1,725	2,531	2,205	1,873	2,170	2,095	1,900	17,190
계	2,807	10,462	18,395	27,462	37,298	40,928	48,794	51,245	52,817	50,621	54,390	395,219

○ 장비구축현황(백만원)

기관명	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	계
나노종합기술원	65,000	11,100	6,500	6,200	4,700	6,700	6,550	5,650	—	—	—	629	113,029
	139대	18대	12대	11대	20대	10대	11대	13대	—	—	—	1대	235대
한국나노기술원	—	—	38,438	7,933	8,166	2,963	1,205	327	—	2,120	1,327	144	62,623
	—	—	118대	37대	29대	14대	1대	1대	—	1대	1대	1대	203대
나노융합기술원	679	606	4,923	15,653	10,218	2,249	—	149	1,060	283	—	554	36,374
	2대	5대	37대	35대	36대	27대	—	17대	1대	1대	—	3대	164대
전북나노기술집적센터	—	—	—	6,615	9,743	5,437	1,327	—	—	—	—	—	23,122
	—	—	—	23대	31대	11대	5대	—	—	—	—	—	70대
광주나노기술집적센터	—	3,262	5,530	7,032	6,356	4,522	—	—	—	—	—	—	26,702
	—	10대	10대	27대	9대	10대	—	—	—	—	—	—	66대
대구나노융합실용화센터	—	880	1,531	1,046	6,980	4,955	893	1,565	3,122	486	6,328	4,170	31,956
	—	7대	15대	14대	25대	22대	5대	7대	9대	4대	10대	7대	125대

* 나노융합실용화센터 : 2012년 이후 장비 구축은 첨단융합부품소재육성산업 → 각 지역별 기반구축 R&D,

(감성터치패널, 태양광 테스트 베드 관련 사업비로 구축)

○ 이용수입(백만원)

기관명	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
나노종합기술원	495	832	1,100	1,307	1,534	1,691	2,015	2,218	2,170	2,175	2,230
한국나노기술원	—	214	506	648	862	957	1,123	1,182	1,191	1,156	1,308
나노융합기술원	—	6	320	690	890	930	1,030	840	640	656	702
전북나노기술집적센터	—	—	18	77	131	187	225	214	212	183	204
광주나노기술집적센터	—	—	—	108	206	387	648	488	512	412	355
대구나노융합실용화센터	18	107	156	274	395	402	440	450	496	377	407

○ 나노인프라 기관 주요 장비 보유현황

나노종합기술원(대전)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	KrF Scanner System		초미세 나노패터닝 등
공정	High Current Ion Implantation		이온주입
공정	Sputter		금속박막 코팅
분석	Cs-Corrected STEM		구면수차보정 주사투과전자현미경
분석	Dual-Beam FIB System		시료 표면 가공
분석	In-Situ TEM		실시간 투과전자현미경 (대상물의 미시적인 내부구조 분석)

○ 한국나노기술원(수원)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	E-beam Evaporator		박막증착(진공증착법)
공정	KrF Stepper		회로제작(노광장비)
공정	E-beam Lithography System		초미세 패턴제작
분석	FE-SEM		표면분석
분석	Analytic STEM		대상물의 미시적인 내부구조 분석
분석	XRF		X선 형광분석(비파괴 분석)

○ 나노융합기술원(포항)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	Laser Lithography System		초미세 나노패터닝 등
공정	Organic Wet Station		유기물 세정
공정	Atomic Layer Deposition(ALD)		원자수준의 박막 증착
분석	3 Dimensional Atom Probe		3차원 원자성분 위치 측정
분석	Secondary Ion Mass Spectrometry(SIMS)		미량원소 정량분석
분석	Low Temp Probe Station(LTPS)		나노소자의 극저온 특성측정분석

○ 전북나노기술집적센터(전주)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	Mask Aligner		회로 패턴을 그린 포토 마스크와 실리콘 웨이퍼를 정확하게 위치 맞추는 기능을 가진 노광장치
공정	InkJet Printer		유기발광 다이오드용 잉크젯 프린터
공정	Organic Evaporator		유기물 증착
분석	Thickness Measurement System		두께 측정
분석	2D Surface Profiler		표면분석
분석	Probe station System		반도체 불량검사장비

○ 광주나노기술집적센터(광주)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	In Line Sputter		디스플레이 및 반도체 소자 제작을 위한 기관형성 장비로써 OLED용 투명전극, 반도체의 박막증착
공정	PR Stripper (Strip wet station)		표면의 유기물 제거 세척
공정	PECVD System		a-Si계 Solar Cell에 적용되는 박막 증착
분석	TEM		박막표면 및 단면 형상 측정
분석	Stress Measurement System		다양한 연구개발 물질의 Film Stress Hysteresis 특성분석
분석	PR Stripper (Strip wet station)		PR(감광제) 제거

○ 대구나노융합실용화센터(대구)

장비구분	장비명	장비사진	장비용도(간략히 1줄로 요약)
공정	Molecular Beam Epitaxy		단결정 박막 성장(분자선 결정성장)
공정	Thermal Evaporator Glove Box System		열증착장비
공정	Eletro Spinning System		전기방사
분석	Particle Size Analyzer		미세입자 분석
분석	Commercial Solar Cell Efficiency & Reliability		태양전지 효율 및 신뢰성 측정
분석	Laser Scribing System		레이저를 이용한 전극패턴

□ 소재 공정 인프라 구축 현황 (나노입자 분야)

○ 대구테크노파크 나노융합실용화센터



http://www.npac.or.kr/?act=UserDefine_study01&flash_code=010201&pagenum=1&subnum=1

<나노입자공정실>

- 고압나노에멀전제조장비
- 나노입자 복합화장비
- 나노입자 화학합성장비, 나노입자 분리 및 세정장치
- 나노분말 제조 시스템(플라즈마)
- 고온전기로
- 고점도 믹싱시스템-플레니터리 믹서, 3본밀, 페이스트 믹서
- 습식분쇄기
- 건식분쇄분급기-제트밀, 분무건조기, 분말물성측정기

○ 서울대학교 화학생물공학부

IBS 나노입자 연구단 (성영은)

<http://eng.snu.ac.kr/node/8287?language=ko>

Center for Nanoparticle Research, Institute for Basic Science

○ 나노융합기술원

유기&금속 증착

화학 기상 증착

플라즈마증착

○ KIST

<연료전지센터 (유성종)>

Pt alloys, core-shell nanoparticles, and Pt-free nanoparticles

<물질구조제어연구센터 (조소혜)>

화염식 나노입자 합성, 기상화학법 나노입자 합성, 용액법 나노입자 합성, 기계분쇄법 나노입자 합성 기술 보유

○ 연세대학교

화학과 (오문현)

Metal-organic framework를 이용한 나노촉매 제조

○ KAIST

화공 바이오 공학과 (이현주)

나노입자 촉매 합성

□ 소재 측정/분석 인프라 구축 현황

○ 주요기관 및 보유장비 선정기준

- 주요 소재연구기관 및 대학이 보유한 분석 및 측정장비
- 5억 이상으로 최근 10년 동안 도입된 장비
- NFEC (ZEUS)에 등록된 국가연구장비

○ 출연(연)

- 한국과학기술연구원, 한국기초과학연구원, 한국생산기술연구원, 재료연구소, 기초과학연구원, 한국에너지기술연구원, 한국화학연구원, 한국표준과학연구원,

○ 대학

- 서울대, 고려대, 연세대, KAIST, Postech, GIST, DGIST, UNIST

○ 한국과학기술연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
하이브리드 융합형 분석기	Hybrid Integrated Analyzer	H y b r i d I n t e g r a t e d A n a l y z e r S Y S T E M	2016-06 -10	1,882,880, 916
고감도 에어로졸 질량분석기	Hight resolution time of flight aerosol mass spectrometry	HR-ToF-AMS	2015-12 -02	605,966,46 9
삼차원 X-ray 이 미징 시스템	3D X-ray Tomography Microscope System	Xradia 810 Ultra	2015-11 -18	3,696,778, 055
광전자 분광기	X-ray Photo-electron Spectroscopy	K-Alpha XPS	2015-10 -15	586,631,58 3
극초저온 초점 이온 빔 주사전자현미경	cryo-dual beam microscope	-	2015-07 -07	960,559,47 2
3차원 초음파 비 파괴측정장비	3D C-SCAN	SDI 5380	2015-03 -03	892,499,86 4
투과전자현미경	SuperEDX-embedded TEM	Talos F200X	2014-12 -24	1,354,483, 465
자외선광전자분광 기	Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy	E S C A L A B 250Xi	2014-11 -12	1,265,376, 298
극저온 진공 적외선 분광시스템(Vertex 80V/PTSHI-950-5 -FTIR)	Ultra low Temperature Infra-Red Spectrometer system	Vertex 80v	2013-12 -16	578,083,59 3
초미세 이온선 장 치	Nuclear Microbeam System	-	2013-10 -29	567,332,10 2
국소 전극원자/전 계 이온현미경	Atom Probe Microscopy	LEAP 4000X HR	2013-10 -08	3,427,885, 926
고분해능 분석투과 전자현미경	High Resolution-Transmission Electron Microscope	Titan G2 Cube 60-300	2013-10 -07	4,297,362, 051
하 이 브 리 드 FT/MS/MSn 분광 기	Hybrid FT/MS/MSn Spectrometer	LTQ Orbitrap Velos Pro	2013-09 -11	725,854,28 0
주사탐침현미경	Multiprobe compact VT SPM	VT AFM XA	2013-07 -24	517,453,20 8
초고분해능 주사전 자현미경	XHR FE-Scanning Electron Microscopy	Verios 460	2013-07 -13	846,836,35 4
초점이온빔 주사전 자현미경	Focused Ion Beam Scanning electron microscopy(	Helios 650	2013-07 -13	1,366,519, 206
고분해능 질량분석 기	High Resolution ICP-MS(ELEMENT II High Resolution ICP-MS)	ELEMENT 2	2013-04 -04	526,876,79 1
중대형 이온빔 가속 기	Medium Energy Ion Accelerator	6MVTandatron	2012-12 -31	12,198,868, 978

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
X-선 광전 분광기	X-ray Photoelectron Spectroscopy	K-Alpha	2012-10-05	629,253,478
액체 및 기체 크로마토그래피 이온모빌리티 고분해능 질량분석기	Hybrid LC/GC-Ion Mobility/High Resolution MS/MS	UPLC/GC-Synapt G2 HDMS w/IMS	2012-11-28	597,759,560
투과 전자 현미경	Transmission Electron Microscope	Technai G2 F20	2012-10-05	2,069,500,444
중에너지 이온 산란 분광기	Medium Energy Ionscattering Spectrometry	-	2012-08-21	1,371,285,783
2D 빔집속 전기화학 실시간 X-선 회절분석 시스템	X-Ray Diffractometer System	R-AXIS IV	2012-06-27	533,769,585
600 MHz 핵자기 공명장치	600 MHz NMR Spectrometer	Agilent 600 MHz NMR Spectrometer	2011-12-30	720,000,000
칼자이스 현미경	LSM 780 NLO Config #16 ZEN 2010	LSM 780	2011-06-17	528,521,175
고성능 X-선 및 UV 광전자 분광 장치	Scanning XPS Microprobe System with UPS and AES	PHI 5000 VersaProbe	2010-11-19	1,206,940,670
고분해능 액체 크로마토그래프 & 사중극자-비행 시간형 질량분석기	High resolution Liquid Chromatograph&	SYNAPT G2	2010-10-27	596,241,583
슈퍼투과 전자현미경	Cs Corrected TEM	T I T A N 80-300 A FP 5701/30	2009-12-31	3,678,254,750
비행 시간형 이차이온 질량분석장치	Time-of-Flight Secondary Ion Mass Spectrometry (TOF-SIMS)	IMS 4fE7	2008-12-24	1,286,452,171
초점 이온빔 현미경	FIB Helios 600	FIB Helios 600	2008-12-05	1,334,303,370
전자 전달해리 분석과	Ultra High Sensitive Linear Ion Trap Mass Analyzer with ETD System	LTQ XL	2008-06-17	553,035,347
고전류 고온 in-situ 전자후방 회절 산란 장치	High current high temperature in-situ EBSD system	S-4300 SE	2008-05-06	649,924,585
고성능 하이브리드형 선형이온 트랩-푸리에 변환 올비트랩 질량 분석기	High performance hybred linear ion trap-FT orbitrap mass spectrometer	LTQ-ORBITRAP	2007-10-23	641,859,390
오제이 전자 분광기	n-AES (Auger Electron Spectroscopy Nanoprobe)	PHI 700	2007-05-16	1,013,330,253
500MHz 액체 크로마토그래피 - 핵자기 공명 장치 시스템	500MHz Superconducting LC-FT-NMR System	500 MHz	2007-03-09	716,371,297
저온 투과 전자현미경	Cryo TEM	Technai G2 F20	2007-01-20	913,917,878
고분해능 이온 트랩 질량 분석기	High Oerformance Hybrid Linear Ion Trap-Orbitrap Mass Spectrometwer	LTQ Orbitrap XL	2007-01-11	873,316,970

초자기공명분광기	Ultrahighifield Spectroscopy	NMR	DD1	2006-12-31	5,787,132,613
이차이온 질량분석기	Dynamic SIMS		IMS-4FE7	2006-09-12	825,368,236
전자탐침미소분석기	Field Emssion Electron Probe Micro Analyzer(FE-EPMA)		JXA-8500F	2006-09-01	645,753,409

○ 한국기초과학지원연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
고분해능 바이오 전자현미경	High Resolution Bio-Transmission Electron Microscope	Titan Krios	2016-06-09	5,371,287,704
집속이온빔 시스템	Focused Ion Beam System	SCIOS	2016-02-23	784,518,266
초저전압전계방사형주사전자현미경	Ultra Low Voltage Field Emission Scanning Electron	SU8220	2016-01-21	622,881,695
생물전용 초고전압 투과전자현미경	Bio-High Voltage Electron Microscope	JEM 1000BEF	2015-12-23	13,058,065,428
나노프로브 고분해능 주사전자현미경	Nano-Probe High Resolution Field Emission Scanning Electron Microscope	SU8230	2015-12-14	823,318,100
환경제어형 광범위 열전도율 측정기	Wide-Range Thermal Conductivity System	-	2015-11-03	1,101,562,094
400MHz(C) 고체 상태 핵자기 공명 분광기	400MHz(C) Solid State Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer	AVANCE III 400	2015-10-07	652,268,627
STEM용 수차보정 투과전자현미경	Cs-corrected STEM	JEM-ARM200 F	2015-10-06	2,831,615,077
고성능엑스레이광 전자분광분석기	High-performance X-ray Photoelectron Spectroscopy	K-alpha plus	2015-08-21	835,197,859
액체 크로마토그래피 고분해능 질량 분석기	UPLC-Q/TOF MS Spectrometer	Synapt G2-Si HDMS	2015-07-06	501,333,633
집속이온빔장치	Dual Beam FIB System	Versa 3D	2015-07-01	1,123,864,325
레이저작박 다검출기 유도결합플라즈마 질량분석기	Laser ablation-multicollector-inductively coupled plasma mass spectrometry	Nu plasma II	2015-05-29	981,378,912
저에너지전자현미경/광전자현미경	Low energy electron microscope /Photoemission electron microscope	FE-LEEM P90	2015-05-11	2,348,358,938
고주파 4중극자 선형가속기	RFQ ACCELERATOR	개발장비	2014-12-24	619,300,000
전계방출형 투과전자현미경	Field Emission Transmission Electron Microscope	JEM2100F	2014-10-01	1,483,688,179
단결정 X선 회절기	Single Crystal X-ray Diffractometer System	D8 VENTURE	2014-08-27	746,698,310
융합오믹스 질량분석기	High Resolution Accurate Mass Integrated Omics Mass Analyzer	Q-Exactiv plus	2014-08-11	876,187,911
2차원 액체 크로마토그래피 탠덤 질량분석기 시스템	2-dimension liquid chromatography tandem mass spectrometry system	UPLC/GC-Synapt G2 HDMS w/IMS	2014-08-11	822,143,520
파장분산엑스레이 분광 주사전자현미경	WDX-SEM[EPMA-SEM]	su70	2014-06-03	616,699,375
상압용 광전자분광 분석기	Near Ambient Pressure X-ray Photoelectron Spectrometer	-	2014-06-01	1,749,538,986
이차원 가스 크로마토그래피 / 고분해능 질량분석 시스템	2-dimensional gas chromatography / high resolution mass spectrometer system	GCxGC-ECD/FID	2014-05-12	617,204,319

스텝				
고분해능 주사전자 현미경	High Resolution Scanning Electron Microscope	SU-70	2014-02 -28	691,018,42 3
초고분석능 전계방 출형 주사전자현 미경	Ultra High Analytical Field Emission Scanning Electron Microscope (UHA FE-SEM)	Merlin	2014-02 -27	1,066,226, 278
초임계유체 크로마 토그래피 시스템	Supercritical fluid chromatography system	A n a l y t i c Lab-Prep100	2013-11 -15	561,626,04 6

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
700MHz NMR 스펙트로메터	700MHz NMR spectrometer	AVANCE III HD	2013-10-08	1,356,423,040
비행시간차이차이온질량분석기	TOF-SIMS	TOF-SIMS 5	2013-05-27	1,622,809,592
안정동위원소 질량분석기	Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer	DELTA V	2013-01-11	563,271,476
X-선/극자외선 광전자 분광분석기	Micro X-ray/UV Photoelectron Spectrometer	AXIS Ultra DLD	2012-12-12	1,098,092,963
다검출기 불활성기체 질량분석기	Multi collector noble gas mass spectrometer	Argus VI	2012-11-20	544,916,426
초고해상도 전반사현미경시스템	Super Resolution Microscope System	ELYRA P1	2012-09-28	576,461,940
액체크로마토그래피 사중극자-비행시간 질량분석기	LC/Q-TOF Mass Spectrometer	API 4000 LC / MS / MS System	2012-07-31	588,468,610
하이브리드 FT-ETD 질량분석기	Hybrid FT- ETD MS Analyzer	Orbitrap Elite	2012-05-14	1,026,919,283
고분해능 유도결합 질량분석기	HR-ICP-MS	AttoM M2	2012-04-09	566,590,245
다기능투과전자현미경	Multifunctional TEM	Tecnai-F20 Super twin	2011-12-01	1,336,582,691
다기능 X-선 회절분석기	Muti-Function X-ray Diffractometer	Empyrean	2011-12-01	563,687,332
저진공 전계방사형 주사전자현미경	Variable Pressure Field Emission Scanning Electron Microscope	SUPRA-55VP	2011-11-15	760,381,968
초고진공용 주사터널링현미경	UHV SPM System	Aarhus SPM 150	2011-09-01	551,884,361
전계방사형 주사전자현미경	Variable Pressure Field Emission scanning Electron Microscopy System	SUPRA-55VP	2011-08-08	913,618,040
투과전자현미경	Field Emission Transmission Electron Microscope	JEM-2100F	2011-07-19	1,130,843,737
전계방출 투과전자현미경	FE-Transmission Electron Microscope	JEM-2100F	2011-06-30	1,130,865,795
열이온화 질량분석기	Thermal ionization mass spectrometer	Phoenix	2011-03-10	809,706,216
시분해발광 및 라만분석시스템	Time-resolving Phtoluminescence Raman	LabRAM HR800	2011-02-09	578,209,952
원자간힘 현미경-라만 복합 분광기	Complex AFM-RAMAN Spectroscope	NTEGRA SPECTRA	2011-01-21	817,961,898
집속이온빔장치	FIB(Focus Ion Beam)	Quanta 3D FEG	2010-06-24	997,379,969
안정동위원소 질량분석기	Stable Isotope Ratio Mass Spectrometer	IsoPrime_Multi Prep with Three EA system	2009-11-18	629,809,815
고분해능 이차이온 질량분석기	HR-SIMS (high resolution secondary ion mass spectrometer)	SHRIMP-IIe/MC	2009-08-31	3,895,889,068
액체/기체크로마토	LC/GC-ICP-MS	ELAN DRC II	2009-06	525,177,73

그래피-유도 결합 플라즈마 질량분석 기			-25	1
이온이동성 질량분 석기	Ion mobility mass spectrometer	SYNAPT G2	2009-04 -29	595,669,42 6

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
온라인 액체크로마토그래피-핵자기공명-질량분석기	Online LC-NMR-MS system	500 MHz	2009-04-09	1,484,295,789
초미세이차이온 질량분석기	Nano Secondary Ion Mass Spectrometry	NanoSIMS 50	2009-03-23	2,618,078,194
X선 회절분석기	Multi Purpose X-Ray Diffractometer	X'Pert PRO MPD	2009-03-12	512,473,696
고분해능 다검출기 유도 결합 플라즈마 질량분석기	Double Focusing High Abundance Sensitivity Multicollector Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometer	NEPTUNE	2009-02-27	1,310,555,915
다차원 펄스레이저 분광시스템	Multidimensional Femto Laser Spectroscopy System	Tsunami/Spitfire/OPA 800-C	2009-02-05	915,042,682
고분해능 이차이온 질량분석기	HR-SIMS (high resolution secondary ion mass spectrometer)	S H R I M P IIe/MC	2009-02-01	9,600,000,000
고분해능 전계방출형 주사전자현미경	Ultra High Resolution Field Emission Scanning Electron Micro	S-4800	2009-01-01	561,783,636
500MHz 고체상태 핵자기 공명 분광기	500MHz Solid State Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer	500 MHz	2008-09-30	791,635,570
Synapt 고 분해능 질량분석기	Synapt High Definition Mass Spectrometry	SYNAPT G2	2008-07-14	739,446,245
7 테슬라 사이클로트론공명 질량분석기	7.0T 150mm Special wide bore FTMS System	APEX-Qe 7T	2008-07-10	791,861,286
분자영상 단층촬영 융합이미징 시스템	Micro PET/CT/SPECT	I n v e o n Dedicated PET	2008-07-02	1,436,491,330
400MHz(B) 고체상태 핵자기 공명 분광기	400MHz(B) Solid State Nuclear Magnetic Resonance Spectrometer	AVANCE II	2008-05-09	537,024,056
전계방사형 에너지 여과투과 전자현미경	Field Emission Energy Filtering Transmission Electron Microscope	JEM-2200FS	2008-04-14	1,588,239,183
구조분석전계방출 주사전자현미경	Analytical Field-Emission Scanning Electron Microscope	SU-70	2008-01-24	577,384,024
15T 다목적 질량분석기	15T FT-ICR MS	-	2007-12-31	9,520,000,000
오비트랩 질량분석기	Hybrid- FT orbitrap Mass Spectrometer	LTQ Orbitrap XL	2007-11-13	690,965,185
패러렐 각도관련 X-선 광전자 분광기	Parallel ARXPS (Angle Resolved XPS) System	Parallel ARXPS System	2007-03-28	861,295,392
900MHz 핵자기공명장치	900MHz NMR(Nuclear Magnetic Resonance)	AVANCE II 900	2006-11-16	5,728,472,509
300 kV 전계투과 전자현미경	300kV FE-TEM System(Field Emission Transmission Electron Microscope)	Technai G2	2006-09-11	1,428,460,192
생물 전용 투과전 전자현미경	Bio-TEM(Transmission Electron Microscope)	Tecnai G2 Spiri TWIN	2006-09-01	866,129,452

초고분해능 전계방출 주사전자현미경	Ultra High Resolution Field Emission Scanning Electron Microscope	S-5500/JSM7700	2006-06-30	650,992,414
접속이온빔	Focused Ion Beam	Quanta 3D	2006-06-12	571,384,077
전자현미분석기	Electron Probe Micro Analyzer	EPMA-1610	2006-01-20	797,933,116

○ 한국생산기술연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
전계방출 전자탐 침미량분석기	Field Emission Electron Probe Micro-Analyzer	JXA-8530F	2016-05-31	652,437,956
후방산란전자회절장 치	Electron Backscatter Diffraction System	JSM-7100F	2015-10-22	749,438,384
미소 초점 3D CT 시스템	Microfocus 3D CT system	XTH320LC	2015-06-11	743,643,144
X선 광전자분석기	X-ray Photoelectron Spectroscope	Sigma Probe	2015-04-24	806,600,363
전자분광 화학분석 기	Electron Spectroscopy for Chemical Analysis	E S C A L A B 250Xi	2014-12-09	806,387,202
환경챔버	Climatic Chamber	-	2013-11-28	1,097,700,000
전계방사형 투과전 자현미경	Field Emission Transmission Electron Microscope	FECNAI G2 F20S-TWIN	2013-11-15	855,639,469
전계 방사 주사전 자현미경	Field Emission Scanning Electron Microscope	SU8020	2013-05-07	516,320,469
초저온 FE-SEM	Cryogenic FE-SEM	SU8020	2012-12-12	528,762,994
이차이온질량분석 기	Secondary Ion Mass Spectrometry (SIMS)	TOF-SIMS 5	2012-06-20	947,189,011
3차원 비접촉식 측정기	3D Laser Digitizing System	ZS4060	2012-06-07	508,881,937
전계방사형 주사전 자 현미경	Field Emission Scanning Electron Microscope	SU8020	2012-02-29	693,716,788
광전자 분광기	X-RAY Photoelectron Spectroscopy	K-Alpha	2009-12-11	727,685,906
FE-SEM (주사 전자 현미 경)	Field Emission Scannig Electron Microscope	S-4800	2009-07-16	516,522,721
집속이온빔장치	Focused Ion Beam	Quanta 3D FEG	2007-07-27	889,972,500
전계방사 주사전자 현미경	FE-SEM/EDS/EBSD system	JSM-7001F	2006-12-22	526,756,197
집속이온빔 에너지 분산 X선 분석기 시스템	Focused Ion Beam System	Nova 600	2006-01-01	1,055,368,645

○ 재료연구소

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
이온접속빔시스템	FOCUSED ION BEAM EQUIPMENT	JIB-4601F	2015-03-13	595,622,062
전계방사형 주사전 자현미경	FIELD EMISSION SCANNING ELECTRON MICROSCOPE WITH EBSD AND EDS	SU-6600	2011-06-07	679,916,520

○ 기초과학연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
고성능 X-선 및 UV 광전자 분광 표면분석기	High Performance X-ray/Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy for Surface Analysis	E S C A L A B 250Xi	2016-02-12	1,325,366,723
비디오 나노현미경	Video Rate Nanoscope	Vutara350	2015-03-17	650,069,490
초고분해능 주사전 자현미경	Extreme High Resolution Scanning Electron Microscope	Verios 460	2015-02-13	741,750,000
저온자기힘현미경	Low temperature magnetic force microscope	개발장비	2015-01-30	798,147,299
4중 분할 클로버 검출기	4 Fold Segmented Clover Detector	Clover detector 46090-seg32	2015-01-19	594,461,970
4중 분할 클로버 검출기	4 Fold Segmented Clover Detector	Clover detector 46090-seg32	2015-01-19	594,461,970
전자투과현미경	Advanced Transmission Electron Microscope	Titan G2 60-300	2014-12-19	5,501,021,150
상압 주사 터널링 현미경	Scanning Tunneling Microscope	Aarhus 150 HT SPM	2014-09-16	601,521,230
단결정 X-선 분석기	Single Crystal X-ray Diffractometer	D8 VENTURE	2013-10-17	846,463,171
초고분해능 주사전 자현미경	Extreme High Resolution Scanning Electron Microscope	Verios 460	2013-10-10	1,015,200,750
실시간 고분해능 투과전자현미경	Real-time High-resolution Transmission Electron Microscopy	Titan G2 ETEM	2013-07-24	5,141,118,072

○ 한국에너지기술연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
고온 및 저온 열 전도도측정기	Thermal Conductivity Meter	SureCycler 8800	2014-04-28	658,418,360
전계방사형 주사전 자현미경	Cold type Field Emission Scanning Electron Microscope	S-4800	2011-02-22	609,610,430
X-ray 회절분석기	X-ray Diffractometer system	D/MAX-2500/PC	2008-05-16	728,637,391

○ 한국화학연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
고성능 성분분석 전계방사형 투과전 자현미경	"Advanced Analytical Field Emission-Transmission Electron Microscope	-	2015-09-25	1,122,481,321
고분해능 X-선 회 절 분석기	High Resolution X-ray Diffractometer	SmartLab	2012-12-20	595,751,658
전계방사형주사전 자현미경/에너지분 산X-선/파장분산 분광법	FE-SEM/EDS/WDS	MIRA 3 LMH In beam detector	2012-12-14	637,961,436
고분해능 전자 현 미경	High Resolution FE-SEM	MIRA3 LM	2011-12-22	580,577,838
소형시료용 분자 이미징 장비	Small Sample Molecular Imaging System	Ntegra Spectra	2011-08-19	704,699,820
액체크로마토그래 피 질량분석기	Triple Quadrupole LC/MS/MS System	6400 Series Triple Quadrupole LC/MS	2011-03-14	509,339,731
광전자분광기	X-ray Photoelectron Spectroscopy(XPS) System	K-Alpha	2009-11-25	578,376,515
X 선 광전자 분광 기	Imaging XPS	AXIS NOVA	2006-05-09	543,768,053

○ 한국표준과학연구원

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
전자선형가속기	Electron linear accelerator	S y n e r g y Platform	2016-02-24	2,108,833,280
초정밀 진공 질량비교기	Ultra-Precision Mass Comparator in Vacuum	-	2015-12-17	761,586,783
PTR -TOF 질량 분석계	PTR-TOF Mass Spectrometer	-	2011-07-18	621,459,540
저온 고자기장 주 사관통현미경	High magnetic fields low shot through the microscope	USM1300S/SP M	2010-12-31	897,840,960
고분해능 다중검출 기 유도결합플라 즈마 질량분석기	High Resolution Multicollector ICPMS	Neptune	2010-01-25	1,071,649,387
이차이온 질량분석 기	Magnetic Sector SIMS	IMS 7f	2008-09-11	1,944,970,782
이차원이온트랩 - 프리에변환이온사 이클로트론 질량분 석기	A hybrid 2D linear ion trap - Fourier-transform ion cyclotron resonance mass spectrometer system	LTQ-FT	2007-03-12	777,355,826
매트릭스 질량분 석기	MALDI FT-ICR/MS	ProMALDI	2007-01-02	1,292,175,195

○ 서울대

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
구면수차보정 전계방사 주사투과전자현미경	Cs corrected Field Emission Scanning Transmission Electron Microscope	JEM-ARM200F	2015-10-19	6,000,000,000
초고분해능 트라이브리드 질량분석기	Ultra High Resolution Tribrid Mass Spectrometer	Orbitrap Fusion	2015-10-08	1,126,375,208
물리적 특성 측정 장치	Physical Properties Measurement System	PPMS 9T	2013-09-12	634,967,403
투과형 전자현미경	Analytical Transmission Electron Microscope with 3D reconstruction and Electron Energy Loss Spectroscopy	JEM-2100F	2013-08-06	1,845,852,120
전계 방사형 주사 전자 현미경	Field Emission Scanning Electron Microscope jsm-F	JSM-7100F	2013-06-03	525,199,463
각도분해 광전자 분광 분석장치	ARPES system	-	2013-01-22	1,228,248,140
중성미자 검출설비	Underground Facility for Neutrino Detection	-	2011-02-28	5,000,000,000
중성미자 검출기	Neutrino Detector	개발장비	2011-02-28	6,600,000,000
X-ray 광전자 분석기	ESCA(Electron Spectroscopy Chemical Analysis)	Sigma Probe	2008-01-28	798,000,000
전자현미경	electron microscope	TECNAI 12	2006-02-13	774,503,580
고성능 복합 선형 이온 트랩-퓨리어 트랜스폼 오비트랩 질량분석기	High Performance Hybrid Linear Ion Trap-FT Orbitrap Mass Spectrometer	LTQ Orbitrap XL	2006-02-10	729,721,000

○ 고려대

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
X선 광전자 분광 장비	X-ray Photoelectron Spectroscope	PHI X-tool	2013-06-27	507,972,514
전자현미경	ELECTRONIC MICROSCOPE	TECNAI G2 20 S-TW 외	2010-03-12	880,301,230

○ 연세대

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
시간비행영이차이 온질량분석기	TOF SIMS	TOF-SIMS 5	2012-05-30	1,280,000,000
엑스선광전자분광 기	X-ray Photoelectron Spectroscopy	K-Alpha	2012-02-21	600,000,000
CS보정 주사형 투 과 전자현미경	STEM(Atomic Resolution Analytical Microscope)	JEM-ARM200 F	2012-01-04	3,000,000,000
다중집속 이온빔시 스템	Dual Beam Focused Ion Beam System	JIB-4600F	2011-12-01	1,000,000,000
전자현미경	TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE	H-7650	2010-03-10	506,930,048
집속이온빔	Focused ion beam	SMI 2050	2007-01-18	731,500,535
투과 현미경	TRANSMISSION ELECTRON MICROSCOPE	JEM-2100	2006-08-02	512,306,411

○ KAIST

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
소각 X-선 산란 측정기	Small Angle X-Ray Scattering System	NanoMAX	2012-08-28	939,275,191
600MHz 고체 핵 자기 공명 분광기	600MHz Solid State NMR Spectrometer	600 MHz	2011-01-03	797,863,710
전계 방사 주사형 전자 현미경	FIELD EMISSION SCANNING ELECTRON MICROSCOPE FOR ENVIRONMENT CELL	JSM-7600F	2010-09-29	562,444,411
지오센트리퓨지 장 비 일체	Geotechnical centrifuge testing equipment	C72-2	2009-06-30	3,225,442,939
고분해능 전자현미 경 시스템	Ultra High Resolution Electron Microscope System	Tecnai G2 F30 S-Twin	2008-12-19	1,443,157,189
SB-FIB	SB-FIB	-	2007-07-31	500,000,000

○ POSTECH

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
국소전자 원자탐 침 단층촬영 장치	Local Electrode Atom Probe	LEAP 4000X HR	2015-11-17	1,314,278,000
집속이온빔	Dual Beam FIB (Focused Ion Beam)	Helios 650	2012-11-23	1,280,127,875
X선영상 시스템	X-ray Imaging System	SA2, 32gb, b/w	2011-05-31	500,000,000
표면분석장비	VersaProbe Scanning XPS Microprobe	PHI 5000	2010-09-17	605,660,910
이차이온 질량분석 기	SIMS(Secondary Ion Mass Spectrometry)	IMS 6f	2009-01-20	1,500,000,000
멀티모드 집속이온 빔 (MM03)	3D Total Analysis System (Dual Beam FIB)	Helios 600	2008-03-11	1,099,977,554
임계치수 측정 주	CD-SEM	S-9380-II	2008-02	1,200,000,000

사현미경(SM01)			-08	000
3차원 원자 현미경	3D Atom Probe	LA-WATAP	2006-12-26	2,000,000,000
수차보정 고분해능 투과전자현미경	Cs Corrected HR-STEM	JEM-2200FS/JEM-2100F	2006-08-29	2,900,000,000

○ GIST

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
투과전자현미경	Scanning Transmission Electron Microscope	Tecnai G2 F30 S-Twin	2011-11-03	1,217,382,995
듀얼 고 분해능 가스 크로마토그래피/질량분석기 시스템	Dual High Resolution GC/Mass Spectrometer system	DFS	2011-06-30	506,117,299

○ DGIST

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
헬륨이온 현미경 시스템	He Ion Microscope	O R I O N NanoFab	2015-12-01	1,485,504,780
국소 레이저·전계형 원자단층현미경	Laser-assisted Local Electrode Atom Probe	LEAP 4000X HR	2015-05-07	3,080,835,960
바이오용 투과전자현미경	Bio-TEM (Transmission Electron Microscope)	Tecnai G2 F20 TWIN TMP	2015-01-19	1,296,297,705
시간분해 분광측정 시스템	Time-Resolved Spectroscopy System	RegA/Chameleon/PicoQuant	2014-12-29	660,516,297
이온모빌리티 시간 분해능 질량분석기	Electrospray Ionization Time-of-Flight Mass Spectrometer	Synapt G2-Si HDMS	2014-12-29	579,490,179
단결정 엑스선 회절분석기	Single Crystal X-ray Diffractometer	D8 VENTURE	2014-12-08	590,982,436
TOF 액체크로마토그래프 질량분석기	Accurate Mass Time of Flight LC/MS	6530 Accurate Mass Q-TOF LC/MS	2014-12-04	581,237,737
시간 비행형 이차이온 질량 분석기	Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometry	T O F - S I M S 5-100	2013-12-20	1,709,594,475
초고해상도현미경 (SIM)	Superresolution Structured Illumination Microscopy	ELYRA S1	2013-01-25	652,881,767
광전자분광표면분석기	X-ray photoelectron spectrometer	E S C A L A B 250Xi	2013-01-25	837,399,073
다목적 분석용 주사전자현미경	Multi-purpose Analytical FE-SEM	SU-70	2013-01-08	675,223,811
고분해능 전계방사 주사전자현미경	High Resolution Field Emission Scanning Electron Microscope	SU8020	2012-03-19	781,247,682
고분해능 X선 회절 분석기	High resolution X-ray diffractometer	Empyrean	2012-02-09	505,814,832
듀얼 집속이온빔 장치	Dual Beam FIB	NB 5000	2011-03-30	700,000,000
전계방사형 투과전자현미경	Field Emission Transmission Electron Microscopy	HF-3300	2011-03-30	1,933,267,217

○ UNIST

국문장비명	영문장비명	모델명	취득일자	취득금액
평면 레이저 주사 형광 현미경	Selective Plane Illumination Microscopy	Lightsheet Z.1	2016-03-08	753,859,700
온도 변환 원자 및 터널링 현미경	VT-AFM-STM	LT-STM	2015-07-20	582,850,825
고정밀 텐덤질량분 석기	Advanced LC/MSMS system for Metabolomics	Q Exactive	2015-01-07	586,357,050
초고분해능 주사전 자현미경	Extreme High Resolution Scanning Electron Microscope	Verios 460	2014-02-26	606,678,170
초고해상도현미경	Super Resolution Microscopy (SIM & PALM)	Elyra	2014-02-03	1,168,601,250
4차원 초고속 전 자현미경	Transmission Electron Microscope with DTEM	Anti-vibration s y s t e m (Active type)	2014-01-02	2,902,433,305
집속이온빔장치	FIB	Helios 450HP	2013-12-06	1,489,056,390
자외선 광전자 분 광기	Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy	E S C A L A B 250Xi	2013-02-27	848,894,579
하이브리드 퓨리에 트랜스폼 질량분 석기	High Performance Hybrid Mass Spectrometer	LTQ Orbitrap Elite	2012-03-12	993,171,360
저온 주사 터널링 현미경	Joule-Thomson Scanning Tunneling Microscope	JT-STM	2012-02-26	856,359,820
저온 주사전자현미 경	Cold Type FE-SEM	S-4800	2011-10-26	534,130,000
수차보정 원자분해 능 투과전자현미 경	Advanced TEM	Titan G2 60-300	2011-10-01	4,068,567,440
벡터 네트워크 어 널라이저	Network Analyzer and mm-head modules	N5247A	2011-06-22	828,982,922
비행시간형 이차이 온 질량분석기	Time of Flight Secondary Ion Mass Spectrometer	TOF-SIMS 5	2010-08-09	1,409,943,200
고분해능 질량분석 장치	GC_HRMS Spectrometer	A u t o S p e c Premier	2009-11-10	556,544,240
생물전용 투과전자 현미경	Bio TEM	JEM-1400Plus	2009-04-13	520,000,000
투과전자현미경	Transmission Electron Microscope	J E M - 2 1 0 0 LaB6	2009-04-13	815,936,845
고분해능 투과전자현미경	High Resolution TEM	JEM-2100F	2009-04-13	1,600,000,000
600MHz 핵자기 공명 분광기	600MHz FT-NMR	VNMR 600 MHz	2009-04-09	940,992,594
엑스선 광전자 분 광분석기	X-Ray Photoelectron Spectroscopy	K-Alpha	2009-03-24	609,081,570

집속이온빔장치	Dual-beam FIB	Quanta 3D FEG	2009-03 -09	900,000,00 0
---------	---------------	------------------	----------------	-----------------

□ 계산과학 플랫폼 인프라 현황

○ 국내 주요 연구진

<국내 주요 연구진의 연구분야 및 연구활동>

연구그룹	활용 계산법	응용연구 분야	연구활동 요약
화학연 (공기정, 임진오, 장현주)	제일원리계산	촉매, 에너지 소재, 탄소나노소재, 무기화학	탄소나노소재를 이용한 전자/화 학 소재 연구, 리튬 이온 전지등 에너지 소재,
과기연 (계산과학연구센 터)	제일원리, 분자동역 학, 메조스케일	표면증착, 나노전 자소재, 에너지 소 재, 촉매, 전기화학	나노소자, 에너지소재 분야, 전 기화학 시뮬레이션 플랫폼 개발
표준연 (이인호, 이승미, 김용성, 문창연)	분자동역학, 몬테카 를로, 제일원리	나노소재, 단백질 접힘, 반도체, 결정 내 불순물	최적화를 통한 열역학적 안정상 연구, 나노/반도체 소재 일반 고체 내부 불순물과 결함 연구
서울대학교 물리천 문/재료 (임지순, 유재준, 박철환, 한승우)	제일원리계산, high throughput, 분자동 역학	에너지소재, 나노 소재 일반, 전이금 속산화물, 결정내 결함, high-k	순수과학에서부터 공학까지연구. 소재 일반 분야에서 폭 넓게 연 구
KAIST 물리학과 (장기주, 한명준)	제일원리계산	전이금속 산화물, 나노소재 일반	제일원리 계산을 활용한 물질설 계, 강상관계 물질 연구
UNIST 물리학과 (박노정, 진호섭, 이호식)	제일원리계산	전이금속산화물 나노소재 일반	TD-DFT 프로그램 개발 강상관계 전이금속 산화물 연구 나노소재
연세대 신소재공학 과 (Aloysius Soon 외)	제일원리계산	고체표면현상, 나 노입자, 촉매,	제일원리열역학 계산법으로 나노 입자의 모양과 표면 구조 연구

KAIST EEWS (김용훈, 김형준, 정유성)	제일원리계산, 멀 티스케일계산, High throughput	나노소재일반, 에 너지 소재, 촉매	리튬이온전지, 에너지 소재, 나노 촉매 물질 등 광범위하게 연구
연세대학교 첨단전 자물성계산연구단 (최형준 외)	제일원리	나노소재, 초전도 체, 자성체, 진기전 도	고체상 물질, 나노소재에 대한 학 술적연구, 전기전도 계산법 등 방법론 개발
국민대 신소재공학 부 (차필령)	분자동역학 Phase field 모형 전산유체역학	소재의 손상, 비정 질 물질	분자동역학과 연속체 모형으로 비정질 소재와 극한환경에서의 소재 손상, 자기조립 소재 연구
광주과기원 신소재 공학 (이주형, 장윤희)	제일원리	탄소나노소재 재생에너지 소재 유기분자	반도체나노구조, 탄소 나노소재 연구 나노구조물에서의 열전도현상 연 구 Molecular electronics
DGIST 에너지시스 템공학 (한병찬)	제일원리,	에너지소재, 물질 의 열역학적 성질	제일원리 계산으로 리튬이온전지 와 연료전지 소재 연구
서울대학교 기계항 공 (조맹효)	유한요소법 원자 시뮬레이션	멀티스케일(원자- 메조) 에너지소재, 폴리 머	연속체 모형에 원자 수준 연구 방법을 접목시켜 멀티스케일 연 구
포항공대 (이병주)	분자동역학 Phase field 시뮬레 이션	금속, 고체상 소재	대규모 분자동역학과 열역학 계 산을 바탕으로 물질의 열역학적 성질예측, 공정 및 물질 설계

<자체적인 계산과학 기법을 보유한 국내 연구진>

연구그룹	개발 계산법	연구내용 요약
연세대학교 (최형준)	LCAO 기저함수 제일원리 계산법	SIESTA를 기반으로 전기전도, SOC 기능, PES 모사기 능 추가 등 대규모 계산에 적합한 제일원리 프로그램 개 발
서울대학교 (한승우)	High throughput	High-k 소재 개발, 고체 내 결함 계산 등에 적용하는 high throughput계산법 개발
UNIST (박노정)	TD-DFT	Quantum ESPRESSO를 개량하여 TD-DFT 프로그램을 자체 개발함
KAIST (한명준)	제일원리계산법	도쿄대의 T. Ozaki 교수와 함께 LCAO 기저함수를 이용 하는 DFT 프로그램 개발 (OpenMX)
과기연 (계산연)	ReaxFF 단백질 도킹 시뮬레이션 플랫 폼	ReaxFF개발, 단백질 도킹 프로그램 개발, 나노소자플랫폼 개발
포항공대 (이병주)	분자동력학포텐셜 (MEAM)	금속과 고체상에 대한 MEAM포텐셜 개발
표준연 (이인호)	몬테카를로 분자동력학	Action-derived MD프로그램 개발 Global minimization기법으로 나노 입자의 구조 예측
KAIST (김용훈)	전자전도	나노 소재 및 소자의 전기 전도 연구 및 프로그램 개발
KISTI (조금원)	시뮬레이션 플랫 폼	전산 유체역학 프로그램 플랫폼

○ 개방형 웹기반 계산과학 플랫폼

- KIST 연구진은 KAIST, 서울대, 포항공대의 연구진과 함께 실험 연구와 매우 유사한 환경에서 시뮬레이션을 통해 실험을 수행할 수 있는 Virtual Fab 개념의 플랫폼 개발을 진행

※ <http://vfab.org> 를 통해 Nano물질 설계와 에너지 소재의 설계가 가능한 Virtual Fab 환경을 제공 (<http://nano.vfab.org> <http://battery.vfab.org> 등)



<KIST에서 개발하고 있는 가상랩의 예>

- KISTI에서는 2011년부터 EDISON 프로그램을 통해 미국의 Nanohub와 유사한 나노소자 및 화학 분야의 웹기반의 시뮬레이션 환경을 제공 (<http://www.edison.re.kr>)
- ※ 나노디바이스 시뮬레이션을 EDISON-NANO가 재료분야의 시뮬레이션 환경을 제공



<EDISON 플랫폼의 개념도>

○ High Performance Computer

- 국가 보유 초고성능 컴퓨터는 3대 (HPC Top 500 기준) 이며 KISTI 슈퍼컴 센터가 보유하고 있는 자원만이 공개 활용이 가능한 유일한 고성능 컴퓨팅 환경
- KISTI를 중심으로 14개 기관이 PLSI를 구성하여 서비스 환경 구축
 - ※ '12년 14개 기관 19개 슈퍼컴퓨터를 1Gbps 급 전용망(KREONET)으로 연결, 총 82TFlops(832노드, 7,832개 CPU)의 계산성능을 제공하는 통합슈퍼컴퓨팅 서비스 환경 구축
- 각 연구진이 중소 규모의 고성능 컴퓨팅 환경을 보유하고 있음.
(예) KIST Server Farm



<PLSI 운영 구성도>

□ 소재 DB 현황

현재 국내에 공개되어 있는 소재 빅데이터는 소재종합솔루션센터에서 구축한 소재정보 데이터베이스가 유일하다. 아래 4개의 분야별 소재 정보은행에서는 분야별 특화된 소재물성을 제공하고 있다.

소재정보은행	DB 건수	*DB 물성 종류
화학소재 (2007~2016.5 기준) 한국화학연구원 http://www.cmib.org/index.html	529,979건 (수집/가공) 41,329건 (생성)	플라스틱(열가소성, 열경화성), 고무 엘라스토머의 고분자 소재, 첨가제 (열안정제, UV안정제, 가소제) 등, 필름, 복합재료, 정밀화학소재(점/접착제, 도료 등) 등
금속소재 (2006~2016.5 기준) 한국기계연구원 부설 재료 연구소 http://www.metalsbank.com/mb/main/main.mb	115,532건 (수집/가공) 81,592건 (생성)	철강소재, 알루미늄합금, 마그네슘합금, 분말소재(철계, 초경), 구리소재 등
세라믹소재 (2007~2016.5 기준) 한국세라믹연구원 http://www.ceramicsbank.com/ceramic/body.jsp	150,144건 (수집/가공) 30,694건 (생성)	유전/압전소재, 반도체/도전체, 에너지소재, 유리, 형광체, 벌크제, 내열소재 등
섬유소재 (2012~2016.5 기준) 다이텍연구원 http://210.123.142.138/mi-guest/index.aspx?profileKey=textile_DB	36,833건 (수집/가공) 14,047건 (생성)	소재물성별(폴리에스테르계, 폴리아마이드계, 폴리우레탄계), 용도별(수송용, 토목용, 산업용), 공정별(시제조, 시가공, 제직, 가공) 등

*DB 물성 종류 : 2015년 KIAT 보고자료

(수집/가공) : 논문, 특허, 제조사 카탈로그 등 외부에 공개되어 있는 물성값의 수집 및 가공으로 이루어진 데이터

(생성) : 측정 장비를 활용하여 소재정보은행에서 자체적으로 측정 평가하여 구축한 데이터

부록 3 산업통상자원부 소재기반 사업

■ 우수기술연구센터 (ATC)

- 세계 일류기술에 대한 경쟁력 확보를 위해 우수한 기술 잠재력을 보유한 기업부설 연구소를 집중 지원
 - 우수 기업부설연구소를 우수기술연구센터로 지정, 세계일류수준의 기업부설연구소 육성
 - 우수 중소·중견기업의 글로벌 경쟁력 확보, 외투기업 R&D 센터 및 외국 대학의 국내 정착을 위해 글로벌 융합ATC사업 지원
- 2016년 지원규모 : 751.76억원 (신규 249.5억원, 계속 502.26억원)
- 현재 238개 기업 지원 (2015년 과제당 평균 정부출연금 439백만원)
상세정보는 우수기술연구센터협회 홈페이지 참조 (<http://atca.or.kr>)

■ 소재부품기술기반혁신사업

- 국내 소재부품 중소중견기업 대상으로 R&D 및 사업화 기반을 지원하여 글로벌 소재부품 기업으로 육성하고, 글로벌 공급기지화를 달성
- 소재부품 신뢰성 기술향상
 - 신뢰성 평가·분석 등 서비스 역량 제고를 위해 △新시장형 소재부품(SW융합부품 등) △핵심 소재부품의 인프라(평가기법·장비 등) 확충
 - 소재부품 신뢰성 제고를 통한 교역구조 개선을 위해 △수출형 품목 △對日역조 품목으로 분류하여 중소기업 대상으로 전략적 지원 확대
- 소재부품 R&D 기반조성
 - 중소 소재부품 기업의 자체 기술역량 제고를 위해 R&D에 필요한 소재 물성 DB를 구축하고, 이를 활용한 시뮬레이션(가상 R&D) 지원
 - 지속적인 소재부품 이슈 및 동향 분석 모니터링과 함께, 선진국 추격형 소재부품 산업 정책 수립을 위한 주요 선진국(美·日 등) 교역현황 분석
 - 중소기업의 제품 고부가가치화를 위해 감성이 가미된 제품 개발을 포함하는 R&D 사업화 지원사업(감성설계 및 시제품 제작 등) 추진
- 소재부품 맞춤형 기술지원
 - 기술력과 성장 잠재력을 보유한 유망 중소·중견 소재부품기업을 대상으로, 선진기술

획득 지원 등 기술 경쟁력 향상 지원 강화

- 한중 FTA 등 글로벌 통상환경 변화에 따라 글로벌 기업과 국내 중소 소재부품 기업 간의 기술협력 및 기술개발로 연계 확대

○ 2015년 지원규모 : 551억원

구분	세부구분	15년도 지원규모(억원)
소재부품신뢰성기술향상	신뢰성기술기반구축	108.49
	신뢰성기술 확산	259.90
소재부품 R&D 기반조성	소재종합솔루션센터	75.0
	소재부품통계	13.0
	감송소재부품사업화지원	5.0
소재부품 맞춤형기술지원	기술기반 성장지원	21.0
	글로벌 진출형 기술지원	47.5
기획평가관리비	기획평가관리	21.74
합계		551.00

■ 기술개발지원기반플랫폼 구축사업

○ 네트워크 기반 산업별·업종별 장비공동 이용플랫폼 구축으로 중소기업의 원활한 기술 개발과 기술경쟁력 확보 지원

- 산업기술혁신사업 요령에 따라 산업기술개발장비의 공동이용플랫폼 구축이 필요하다고 판단되는 기술 전분야 지원
- 旣 구축된 장비의 활용 촉진을 통해 중소기업의 기술개발에 필요한 최적의 산업기술개발장비 공동이용 생태계 조성
- 플랫폼 구성 : 비영리법인 장비보유 기관 간 자유 컨소시엄

○ 지원규모 : 플랫폼당 평균 10억원 내외

- 플랫폼 구축 운영 : 기존 장비 성능향상, 교체 및 유지보수, 플랫폼 운영 시스템 구축 등 장비 인프라 지원
- 장비운영인력 역량강화 : 장비전문가 육성 교육 프로그램 운영, 경력관리, 고용안정 등 지원

○ 지원 대상 분야

분야	산업
소재부품산업분야	금속재료, 화학공정, 세라믹, 섬유의료, 생산기반, 시스템반도체, 반도체공정/장비, 디스플레이, 주력산업IT융합
시스템산업분야	생산시스템(산업용 기계, 생산장비), 로봇, 그린카, 스마트카, 조선, 플랜트, 의료기기, LED/광
창의산업분야	바이오, 나노융합, 지식서비스

- 2016년 신규지원 없음 (계속 66.3억원)
- 2015년 선정예 : ‘반도체 디스플레이산업 기술개발지원기반플랫폼’ 충북TP-충남TP-나노종합기술원-서울TP (3년간 36억원)

■ 표준안전기반구축사업

- 국제상호인정을 위한 시험인증 인프라 확충, 소비자 보호를 위한 안전품질기반조성, 공정한 상거래 질서 확립을 위한 계량측정산업 선진화 지원
 - 국제상호인정시험 평가능력기반구축 : 신수요분야 시험장비 구축 등 시험인증산업의 경쟁력 강화를 위한 인프라 구축사업을 지원
 - 품질혁신기반구축 : 신품질경영기법 개발·보급 및 확산, 품질경쟁력 수준조사 및 평가, 지역별 안전품질경영 네트워크 기관운영 등
 - 제품안전기술기반조성 : 국민의 생활안전 확보 및 제품안전 선진기술력 확보, 제품 안전을 위한 안전기준 및 시험·검사방법의 선진화 등 기반조성
 - 계량측정기술 고도화 : IT융합기술을 이용한 계량 측정기의 조작 방지 및 성능향상
- 시험인증기관을 대상으로 특화된 분야에 집중적인 지원으로 시험능력 수준 제고
- 2016년 지원규모 : 220.89억원 (신규 82.14억원, 계속 138.75억원)

구분	신규(억원)	계속(억원)	합계(억원)
국제상호인정시험 평가능력기반구축	12.45	128.8	141.25
품질혁신기반구축	15.0	0.4	15.4
제품안전기술기반조 성	34.69	8.95	43.64
계량측정기술고도화	20.0	0.6	20.6
합계	82.14	138.75	220.89