

원천소재 확보를 위한 기술개발 전략 수립

(Development strategy for excavating future functional materials)

연구기관 : 세종대학교

2017. 11. 30.

과 학 기 술 정 보 통 신 부

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견
해가 아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 유 영 민

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀하

본 보고서를 “ 원천소재 확보를 위한 기술개발 전략 수립 ”의 최종보고서로
제출합니다.

2017 . 11. 30.

목 차

1. 서론: 미래소재와 원천기술 R&D	1
1.1 미래소재 원천기술 R&D의 필요성	1
1.2 국내외 미래소재 R&D현황 분석	6
1.2.1 해외 미래소재 R&D 현황	6
1.2.2 국내 소재 R&D 현황	7
1.2.3 국내 소재산업 현황	8
1.2.4 시사점 및 추진방향	9
2. 미래소재 원천기술 R&D 기획	10
2.1 비전 및 목표	10
2.2 기획 내용 및 범위	10
2.2.1 미래소재 개념 및 메가트렌드 핵심기술	10
2.2.2 미래사회 수요대응 및 전략소재 원천기술	11
2.3 기획 방법 및 경과	13
2.3.1 전략소재 원천기술 도출 방법 및 기준	13
2.3.2 전략소재 원천기술 기획 경과	14
3. 미래소재 R&D 추진 전략	17
3.1 중장기 R&D사업 전략.....	17
3.1.1 First mover형 R&D사업 추진	17
3.1.2 창의적 bottom-up 기초연구 지원	19
3.1.3 R&D 연구데이터 수집·활용체계 구축	20
3.1.4 원천소재 개발지원 체계 및 부처간 협업 강화 전략	22
3.2 전략소재 원천기술 상세내용	24
3.2.1 초연결 사회를 위한 스마트소재	24
3.2.1.1 Exa스케일 인지연산 소재	24
3.2.1.2 모바일 인공지능용 소재	38
3.2.1.3 IoH 기반 복지서비스	47
3.2.2 건강한 사회를 위한 웰니스 바이오소재	63
3.2.2.1 만성질환해결 올인원소재	63
3.2.2.2 100세시대 인체장기 대체·복원 기술	83
3.2.2.3 스마트 약물전달 소재	112
3.2.3 지속가능한 사회를 위한 환경소재	118
3.2.3.1 오염물질 제로화 환경소재	118

3.2.3.2 Green Engineering 기반 지구환경	127
3.2.4 안전한 사회를 위한 안전소재	140
3.2.4.1 오염물질 제로화 환경소재	140
3.2.4.2 자가전원 초소형 자율이동체 소재	153
3.2.4.3 방사선 대응 안전소재	161
3.2.4.4 재난 대비 자기복원/치유 소재	167
3.3 전략에 대한 후속 조치	172
3.4 전략소재 원천기술 R&D 추진일정	173
3.4.1 초연결 사회를 위한 스마트소재	173
3.4.2 건강한 사회를 위한 웰니스 바이오소재	174
3.4.3 지속가능한 사회를 위한 환경소재	175
3.4.4 안전한 사회를 위한 안전소재	176
4. 미래소재 R&D 기대효과	177
4.1 기초연구의 패러다임 전환	177
4.2 소재연구의 시너지 효과	177
4.3 산업 및 경제 파급효과	177
5. 미래소재 R&D 제언	180
5.1 우리나라 소재부품 R&D의 현주소	180
5.2 앞으로 나아가야 할 R&D 추진 방향	180

<붙임 1> 미래소재 포트폴리오

<붙임 2> 대형학술단체 자문 및 수요조사

<붙임 3> 소재별 해외연구현황

1. 서론: 미래소재와 원천기술 R&D

1.1 미래소재 원천기술 R&D의 필요성

□ 미래사회의 이슈와 요구를 소재기술로 준비

○ 소재 원천기술 개발로 미래사회와 제4차 산업혁명*을 준비하고 대응

- 2016년 1월 다보스 포럼와 구글 딥마인드 챌리지 매치 (알파고 vs 이세돌)을 통해 제4차 산업혁명이 화두가 됨
- 「The Future of Jobs (WEF, 2016)」에 따르면 4차 산업혁명으로 미래사회의 사회·경제학적 변화가 수반되며 기반기술개발로 미래현안을 해결할 수 있음이 예견됨

* (제4차 산업혁명) 인공지능과 ICT기술의 융합으로 자동화와 연결성이 극대화되는 산업, 사회, 문화, 경제의 변화환경

○ 미래사회의 메가트렌드-대응소재에 대한 포트폴리오 필요

- (주요내용) ①신 기후체제, ②인구 구조 변화, ③초연결사회*, ④안전한 사회 등 미래 메가트렌드**

* (제4차 산업혁명과 메가트렌드) 4차 산업혁명 환경에서는 자동화와 연결성이 고도로 발달하게 됨. 이에 따라 초연결사회에 가장 큰 파급효과를 미치게 됨. 또한 IoT와 IoH의 활용으로 헬스케어, 환경, 안전, 에너지 분야로 점진적으로 영향을 미치게 될 것으로 예상됨.

** (메가트렌드 선정과정) 국내외 메가트렌드 및 산업동향 자료***를 수집 분석 → 수십개의 키워드 도출 → 화이트페이퍼 및 미래 수요기술과의 매칭 하여 주요 키워드 추출 → 키워드를 종합하여 미래사회 4대 메가트렌드 도출

*** (분석자료)

「Top 10 Strategic Technology Trends 2017 (Gartner, 2017)」,

「美 NIC Global Trends 2030 주요내용 및 시사점 (KISTEP, 2014)」,

「제조업의 메가트렌드와 정책과제 (KIET, 2015)」,

「대한민국 키워드 12가지 (환경비즈니스, 2013)」,

「향후 30년을 지배할 메가트렌드 (RRI포커스, 2014)」 등

□ 미래소재 개념

- (미래소재의 개념) 신산업 창출을 위한 4차 산업혁명을 견인하는 소재로, 초연결·초지능 사회의 구현과 분야간 융복합을 통한 혁신 기술 개발에 토양이 되는 소재

○ 미래소재의 특징

- (신물질 개발) 물질의 융복합화로 소재의 장점을 융합한 복합 물성
- (융복합 기능소재) 일반적으로 소재는 금속·세라믹·화학 소재로 구분해 왔으나, 금속과 세라믹의 장점이 결합된 융복합 소재 발견 또는 동일 특성을 가지는 새로운 물질 개발

Ex) CRT의 전자빔총 브라운관 → 액정을 포함하는 TFT → 백색광 LED로 BLU 사용 → 자체발광 OLED로 디스플레이 개발, 기능성 신소재를 기반으로 디스플레이 기술이 발전함)

- (기초연구 기반) 물리·화학·재료공학 등 다학제간 기초연구에 기반한 이해를 바탕으로 창의적 아이디어를 접목할 때 신물질 발견 가능 (사례: 2016년 노벨 물리학상 수상자들의 연구는“위상수학”개념을 물질에 적용한 것으로 양자컴퓨터 절연체, 초전도체 등 신소재 연구의 기반이 되었음)

□ 소재 기술개발의 특징

- (소재 독점성) 개발 장기간 소요되고 성공 가능성이 낮으나* 원천 기술 확보시 시장선점 가능

* 1,000개 기술 중 1-2개 제품화 성공

* (성공사례) 투명전극 ITO → 스마트폰,
청자색 발광다이오드 → 디스플레이, 조명
거대·터널 자기저항 → 초고집적 자기저장소자

○ (산업 혁신의 기반) 소재 혁신은 산업·문명의 혁명적 변화*를 촉발하여 산업 혁신의 기반이 됨

* 청동기시대→철기시대→1차산업혁명(금속)→2차산업혁명(고분자)→3차산업 혁명(반도체&인터넷)

○ 새로운 구조·조성·복합화* 등 다양한 조합을 통하여 미래신사업을 창출하는 소재 원천기술 개발 가능

* (물성) 전기전도성, 자성, 강도, 내열성, 내화학적, 광특성 등

* (물성복합화) 미래소재 원천기술 확보 → 제품적용 → 소재산업 발전

□ 미래산업 창출 동력 및 미래사회 변화 대응

○ 4차 산업혁명 및 지능정보사회 진입을 위한 혁신의 동력

－ 최근 기존 제조업 성장이 한계에 이르러, 산업 구조를 본질적으로 변화시키고 신산업 창출할 수 있는 소재 개발에 대한 수요 급증

(예시) 웨어러블 기기 - 플렉서블/부착형 전자소재 / IoT(스마트센서) - 지능형 감지소재, 차세대 메모리 소재 등

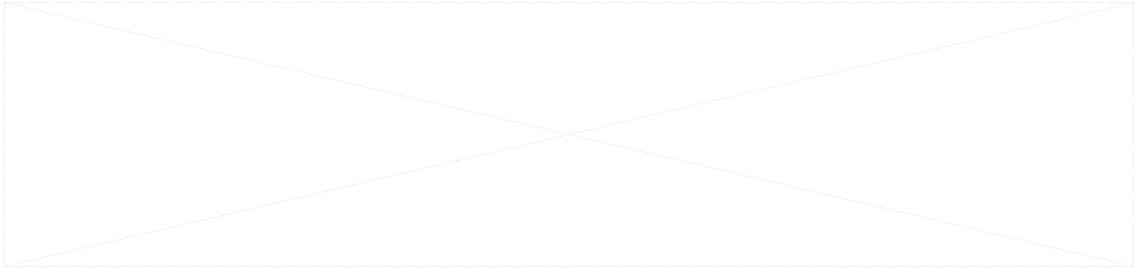
※ 소재 혁신은 신산업을 창출하고, 산업 구조의 혁명적 변화를 촉발

청동기시대(청동) → 철기 시대(철) → 1차 산업혁명(금속) → 2차 산업혁명(고분자소재) → 정보화 혁명(트랜지스터/반도체)

○ 소재가 ICT·에너지·바이오 등 첨단 산업 성장에 미치는 기여도가 증가하고 있으며, 고부가가치 첨단소재 시장규모도 확대 추세

○ 4차 산업, 기후변화, 고령화, 환경, 사회안전 문제 등 미래 메가트렌드에 대응할 소재기술 필요

<미래 메가트렌드와 해당산업 및 대응소재기술>



□ 4차 산업혁명을 대비한 선제적 대응 필요

- 4차 산업혁명의 도래로 모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로 빠르게 진화

* 변화의 속도가 유례없이 빠르고 범위와 깊이가 전례 없는 4차 산업혁명을 주도할 미래소재 발굴 및 개발에 대한 능동적 R&D 전략이 절실

□ 9대 국가 전략 프로젝트와 미래소재

- 9대 국가 전략 프로젝트인 인공지능, 가상·증강현실, 자율주행차, 경량소재, 스마트시티, 정밀의료, 신약, 탄소자원화, 미세먼지 기술분야는 대부분이 소재기술에서 출발

- 소재기술은 4차 산업혁명의 토양으로 소재기술을 기반으로 4차 산업혁명을 위한 기술들이 완성됨

* (예시) 고감도 소재 → 센서제조 → IoT에 센서를 응용 → 수집 정보를 빅데이터 및 인공지능으로 해석 → 건강·재해·자율주행·산업 등 다양한 분야에 활용 → 미래사회 메가트렌드를 충족

1.2 국내외 미래소재 R&D현황 분석

1.2.1 해외 미래소재 R&D 현황

□ 미국 : 미래 목적지향적 전략소재 연구

- 국가과학재단(NSF)은 15개 부처를 중심으로 목적 지향적 전략형 미래소재 연구 추진
- 미래소재 연구개발 가속화 전략 수립 & 사업 추진
 - * 산업적으로 준비된 첨단소재 개발 집중 및 새로운 R&D 지원 혁신 인프라를 구축하여 MGI(Materials Genome Initiative) 실행 [※ MGI(Materials Genome Initiative, '11), MIP(Materials Innovation Platform, '14) 등]

< MGI 추진성과 & 실행계획 >



MGI & MIP 특징

- 산업화 가능한 첨단소재 집중
- 전산재료과학과 빅데이터 활용
- 실험-이론-계산 통합을 통한 고효율 인프라

□ 독일 : 미래 지속가능한 산업을 위한 실용적 소재 개발

- 소재연구 개발을 통한 제조업 첨단화 유도 → 제조 및 양산 가능성을 강조한 연구 우선 지원
 - * 사업예) 산업과 사회를 위한 소재혁신(WING, '04~'14) 상용화 소재의 원천기술 개발 추진
- 지속가능한 미래산업을 위한 소재 연구 강조
 - * 소재에서 혁신으로(Von Material zur Innovation, '15~), Industry 4.0

□ 일본 : 미래 산업·사회·경제 수요 대응형 소재연구

○ 소재+제조업+나노기술 → 산업 성장과 수요, 사회 경제적 수요에 대응

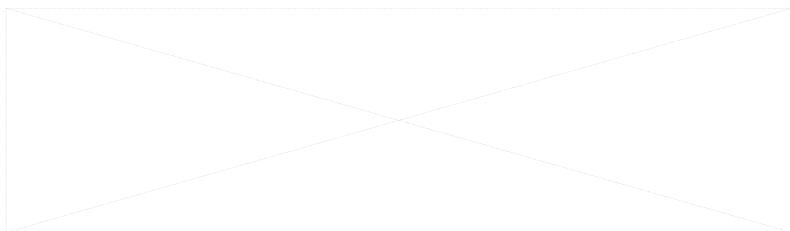
* 사업예) 신원소전략 프로젝트 추진('12~'21) : 자원문제 해결, 환경 유해성 소재 대체 등 연구

1.2.2 국내 소재 R&D 현황

□ [투자] 소재분야 연구개발 정부투자는 '01년부터 지속 증가 추세 ('11년부터 '15년까지의 누적투자액은 3조 156억)

○ '15년 투자액은 6,865억원 (과기정통부 2,151억원 / 산업부 3,430억원) 수준

○ '15년 과기정통부 소재 투자 2,151억원 중 기초연구 1,115억 (52 %)

투자비 중 각 연구부문 비중
 *소재기초연구비 비중에 2006년 이후 25% 내외로 유지되고 있고, 특히 과기정통부의 소재투자 중 기초연구비가 약 52% 내외로 원천기술개발을 위한 기초연구 및 원천기술 연구를 위한 투자비는 적절한 수준임
소재분야 연구개발 투자액 (과기정통부/산업부)
 *소재분야는 과학기술과 산업 전반의 근간이 되므로 과학기술정보통신부의 적극적 투자를 확대하는 것이 바람직하며 미래소재를 위한 전략이 수반되어야 함

- [성과] 부처별로 다양한 단계의 연구사업 추진 중이나 성과연계 (이어달리기 사업)가 부족
 - 성과연계형 R&D투자를 통해 원천기술이 신산업·미래먹거리·일자리 창출 등에 기여할 수 있도록 하여야 함



1.2.3 국내 소재산업 현황

- [무역] 소재산업 전체 무역수지 흑자이나 핵심소재 선진국 의존도 심화로 對 일본무역 수지 적자 지속
- [부가가치율] 제조업 대비 부가가치 창출이 높으나 소재산업의 부가가치율은 지속적 하락 추세

※소재산업은 제조업 생산 대비 16%, 고용 13%, 부가가치액 20.3% 차지

1.2.4 시사점 및 추진방향

☐ [시사점]

○ 산업과 미래수요를 위한 기초연구 지원 활발

○ 제조업 및 지속가능한 개발을 강조

* 정부부처 및 공공기관의 장기 프로그램을 통해 민간이나 산업에서 투자하기 힘든 잠재적 미래먹거리와 신산업창출을 위한 기초분야로의 적극적 R&D 투자가 필요

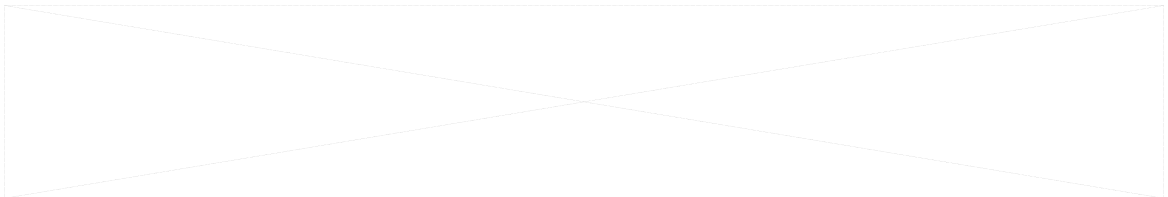
○ 이어달리기를 염두한 R&D 구성 필요

* 미래사회 수용 대응, 전략소재 원천기술 분석 필요

☐ [추진 목표]

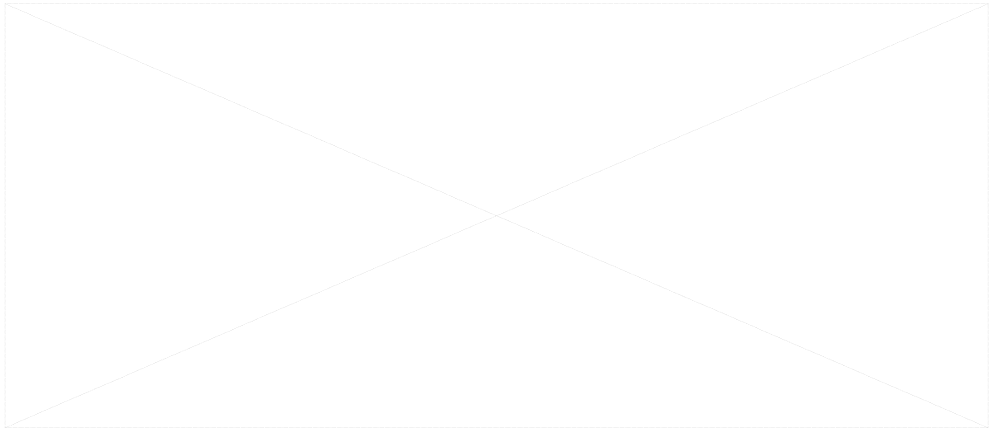
제4차 산업혁명을 선도할 수 있는 소재 강국 실현을 위하여,
미래소재 원천기술 개발을 위한 종합 전략 수립

☐ [기획 추진방향]



2. 미래소재 R&D 기획

2.1 비전 및 목표

비전	미래사회와 4차산업혁명을 위한 미래소재 원천기술 확보
핵심목표	① 4차 산업혁명의 한국 경쟁우위 확보 및 필수소재* (=전략소재 원천기술) 혁신역량 집중 ② 메가트렌드별 핵심기술 도출 ③ 미래사회 수요대응 전략소재 원천기술 확보
미래소재 R&D의 패러다임	① (R&D 목표) Fast Follower ⇨ First Mover ② (R&D 방법) 기술적 난제 해결 ⇨ 수요대응 아이디어 창출 ③ (R&D 타겟) 개별기술 개발 ⇨ 사회수요 및 미래예측 & 부처간 이어달리기
단계별 비전	

*필수소재: 전략소재 원천기술과 同意

2.2 기획 내용 및 범위

2.2.1 미래소재 개념 및 메가트렌드 핵심기술

◆ 4차 산업혁명을 동인하는 과학기술개발 혁신을 통해 사회적 가치를 증진시키고 미래사회 요구에 대응하는 방향으로 설정

□ (미래소재 개념) 신산업 창출을 위한 4차 산업혁명을 견인하

는 소재로, 초연결·초지능 사회의 구현과 분야간 융복합을 통한 혁신기술 개발에 토양이 되는 소재

- 4차 산업혁명을 주도하는 인공지능, 빅데이터, IoT, IoH, 헬스케어, 환경·에너지, 안전분야 등의 기술 융복합화가 가능한 소재

□ 미래사회에서 제기되는 이슈들은 초연결·초지능 기술에 기반한 융복합 기술의 발전을 통해 해결 가능

- (초연결 사회) 사물인터넷 기술을 기반으로 사람과 사물, 정보와 디바이스가 네트워크를 통해 무한통합됨으로 스마트한 사회 실현
- (건강한 사회) 초고령 사회로의 진입 및 노동력 인구 감소로 인한 산업구조 변화 및 경제성장을 저하에 대비한 건강한 사회 구현
- (지속가능한 사회) 신기후 체제는 온실가스 배출 감축 이행 가능 여부가 국가 및 산업의 미래를 결정하며 지속가능한 자연과 사회를 추구
- (안전한 사회) 자연재해 및 인공재난에 대한 감시, 대응을 통해 인간과 사회의 위협으로부터 안전한 사회 구현

2.2.2 미래사회 수요대응 전략소재 원천기술

□ 미래사회 메가트렌드와 미래 이슈를 해결할 수 있는 소재 프로그램과 전략소재 원천기술을 도출

- 미래소재 포트폴리오 수립 (붙임 1의 미래소재 포트폴리오 참조):

4대 메가트렌드 (대분류), 12개 프로그램 도출 (중분류) & 26개의 전략소재 원천기술 도출

대분류(4) 분야	미래이슈	중분류(12) 프로그램	전략소재 원천기술(26)
① 스마트 소재	▶ 초 연결사회 데이터 폭증에 대비	◦ Exa스케일 인 지연산 소재	- 초병렬 연산지능 소재 - 인지가소성 나노전자소재

	▶빅데이터 고속 분산 처리	◊ 모바일 인공지능 소재	- 극저손실 신호전달 소재 - AI용 스케일링 돌파형 초저전력 정보저장소재 - AI용 로직소재
	▶개인 맞춤형(IoH) 복지 서비스 산업 확대	◊ IoH기반 복지 서비스	- 자극감응형 유연성 조절 소재 - 감각저장·구현 전자소재 - 초경량 유연·신축 전자소재
② 웰니스 바이오소재	▶만성질환자 급증	◊ 토탈 라이프케어 소재	- IoT/AI기반 고신뢰도 바이오센서 - 인체이식형 바이오소자 - 체내자가구동 바이오 배터리
	▶고령인구의 신체장기 저하에 따른 삶의 질 문제	◊ 인체장기 대체/복원기술	- 신체감각 보조용 바이오닉소재 - 골대사 조절소재 - 결손공감 감응 4D 프린팅 소재 - 장기기능 맞춤 매트릭스 - 생체조직-소재 인터페이스 부작용 억제소재
	▶약물남용/부작용/장기 투여에 따른 문제	◊ 스마트 약물 전달 소재	- 고감도 약물전달 매트릭스
③ 환경변화 대응소재	▶유해물질 저감 및 차단 수요	◊ 오염물질 Zero화 소재	- 다종 오염물 맞춤형 스마트 다공성소재
	▶Green Eng. 청정 에너지 및 공정기술 수요	◊ Green Eng. 기반 지구환경	- 에너지 변환 소재 - 3분 급속 상온 고용량 수소저장 소재
④ 안전소재	▶블랙아웃 시 에너지 공급	◊ 블랙아웃 대응 소재 ◊ 원전대비 안전 소재	- 5분 완충가능 대용량 전지소재 - 자가발전 투명세라믹스
	▶재난, 극한환경에서 제어, 충전없이 탐사, 진단 등 자율이동 수행	◊ 자율이동체 소재 ◊ 거대 인프라 안전소재	- 센서 네트워크 제조용 다차원 용액공정 기술 - 에너지발생·저장용 3D 공정소재
	▶우주, 의료, 원전의 방사선 누출, 사용 후 핵연료 처리 등 안전성 확보	◊ 방사선 대응 안전소재	- 방사선 차폐·흡수 소재
	▶지진 대비 사회 인프라 안전성 확보	◊ 재난 대비 자기복원/치유 소재	- 극한환경 자기치유형 고신뢰성 소재

2.3

기획 방법 및 경과

2.3.1 전략소재 원천기술 도출 방법 및 기준

□ 전문가 TF팀 구성

- 5대 소재분야의 학·연 전문가 80인 구성
- 분야별로 위원장·간사·전문위원 구성

□ 미래사회 메가트렌드 분석을 통해 12개 미래소재 프로그램의 전략소재 원천기술 (26개) 도출

▶ (도출과정)

- 미래사회 메가트렌드에 따른 현안 도출 → 현안해결 아이디어 도출 → 필수·필요·중요소재 조사 → 핵심소재 기술 도출 (66개) → 기술 분석 → 필수 원천소재 도출 (26개)

* 4대 이슈별 학·연 전문가들로 구성된 5개 기술분과 구성·운영

< ‘기초원천기획과제’ 추진방법 및 과정 >

	- 6대 전문분야의 TF 팀 별 과업수행 - 재료, 금속, 화학, 물리, 환경, 에너지, 전기전자 분야의 학연 전문가 80인 활동 - 국내 대형학술단체 자문 및 광범위한 수요조사 실시로 객관성 제고 [붙임 2 참조]
---	--

▶ (기술분석 과정)

- (전문가 평가) 미래요구의 중요도, 해결 기여도, 미래원천성, 국내 R&D 역량 및 글로벌 리딩 가능성 등 5개 평가지표의 종합적 평가를 거쳐 필수기술, 중요기술 및 필요·제외기술로 분류

- ▶ (평가지표) ① 미래요구 중요도, ② 미래요구 해결 기여도, ③ 미래원천성, ④ 국내 R&D 역량, ⑤ 글로벌 리딩 가능성
- ▶ (평가방법) 6대 기술분과*별 학·연 전문가들이 핵심소재기술(66개)을 종합적으로 분석, 국내 주요 학술단체 자문 및 공청회를 거쳐 필수/중요/필요제외기술로 분류
 - * 유연지능, 건강바이오, 지속환경, 탄소저감 및 에너지, 무인수송, 거대인프라
- ★ (필수기술) 미래 선점 가능성이 높은 기술 26개(39%)
- ☆ (중요기술) 미래 선점 가능성이 낮은 기술 33개(50%)
- △ (필요·제외기술) 타 사업에서 개발 중이거나, 글로벌 선도 한계 기술 7개(11%)

- (분석 및 조사 내용) 국내 소재연구 인프라, 역량, 전문인력 분포 및 기술역량 분석 & 전 세계적 유망분야 및 연구동향 분석 & 논문, 주요특허에서 과제 내용으로 분석
- (중복성 검토) 주력산업 고도화 등을 위한 100대 소재부품기술(제4차 소재부품발전기본계획, '16.12), NTIS 과제 분석 등을 통해 검증

2.3.2 전략소재 원천기술 기획 경과

□ 전문가 TF팀 구성

- 5대 소재분야의 학·연 전문가 80인 구성
- 분야별로 위원장·간사·전문위원 구성

□ 미래소재 포트폴리오 도출

- 미래사회 4대 메가트렌드 분석을 통해 12개 미래소재 프로그램의 전략소재 원천기술 (26개) 도출
- 메가트렌드 - 미래사회현안 - 사업프로그램 - 미래요구 (기술현안) - 대응소재 - 연관산업 - 파급효과 분석 내용 포함 (붙임 1

참조)

4대 미래소재 기획분야 및 이슈 도출

미래 4대 메가트렌드와 사회적 이슈에 따라 초연결사회를 위한 스마트소재, 건강한 사회를 위한 웰니스 바이오소재, 지속가능한 사회를 위한 환경소재, 안전한 사회를 위한 안전소재의 기획분야 도출

<미래 메가트렌드와 전략소재 원천기술 포트폴리오>



□ ‘미래소재 원천기술 확보전략 포럼’ 개최 (17.5.12)

※ 미래 원천소재 탐색 및 유망소재 R&D 포트폴리오 발표

※ 주최: 세종대학교, 재료연구소

후원: 과학기술정보통신부, 한국과학기술단체총연합회, 한국연구재단, 국가나노기술
정책센터

< 미래소재 원천기술 확보전략 포럼 >

- 참석인원: 대학, 연구소, 정부관계부처, 기업, 언론 관계자 등 총 100여 명
- 언론보도: 5월 16일자 이데일리, 에듀동아, 한국대학신문 등

3. 미래소재 R&D 추진 전략

3.1 중장기 R&D사업 전략

R&D사업 전략

- (R&D 전략)
 - (경쟁과 집중) 핵심물성 확보가능성을 높이기 위해 경쟁과 집중으로 R&D 패러다임 전환
 - (아이디어 지원) 연구자들의 도전적이고 창의적 아이디어 적극 지원
 - (연구데이터 활용) R&D 성과제고를 위한 소재분야 연구데이터 수집·관리 활용방안 마련·추진
 - (성과 활용) 연구성과 극대화를 위해 부처간 협업 체계 구축·추진
- (R&D사업 추진체계)
 - 미래사회 대응을 위한 전략과제와 연구자의 다양한 아이디어 발굴을 위한 자유공모형 과제 병행 추진
 - ‘(가칭) 소재기술개발사업’ 신설 등 소재 연구역량 결집을 위한 R&D 지원체계 구축 추진

3.1.1 First mover형 R&D사업 추진

◆ 미래사회 수요 대응을 위해 글로벌 리딩 가능성이 있는 소재원천기술 발굴 및 집중 지원

- 4차 산업혁명 및 미래사회 메가트렌드 분석을 통해 도출한 26대 전략 원천소재 기술 집중 지원 (붙임 1 참조)
- 핵심 물성의 확보 가능성을 높이기 위해 주제 중복 허용*** 등 경쟁형 R&D** 방식을 도입한 First mover형 R&D사업* 추진

- 도전적 목표와 독창적인 아이디어를 구현 → 응용 → 실증의 단계를 거쳐 신산업 창출 가능성이 있는 과제 집중 지원
- 원천소재 핵심기술 주기적(3~5년)으로 수정·보완하여 미래요구 환경변화 반영

* First mover형 R&D 사업

First mover형 원천소재기술 확보전략		
		
특징	(특징) 선택과 집중 → 경쟁**과 집중 단계별 이지 고잉 (easy going) 및 병렬형 대형과제 중심 지양 중복금지 배타적 선점 → 주제중복 허용*** 중복사사 금지 (최대 3개) (기간) 최소8~최대11년 (형태) 단계 이어달리기 형 (연구비) 필수소재당 6~10억/년 (3세부, 3-5M/Y 기준)	
1단계 (2-3년)	단계 목표	아이디어 구현
	선정 기준	아이디어의 참신성 & 창의성
	특징	주제중복 허용, 높은 선정률
	연구 방법	제안 및 검증 단계 TRL은 고려하지 않음
2단계 (3년)	목표	아이디어 응용
	선정기준	1단계 또는 타 사업에서 검증된 과제 중 선정
	특징	주제중복허용***, 경쟁형 R&D**
	연구방법	Working model개발 · 검증 TRL은 고려하지 않음
3단계 (3-5년)	목표	아이디어 실체화
	선정기준	2단계 또는 타사업에서 검증된 과제 중 선정

	특징	글로벌 경쟁형 R&D**
	연구방법	신산업 창출 가능성 검증
비고	- 現 발굴된 26개 미래필수소재의 주제를 대상으로 출범, 향후 다른 사업에도 first mover형 R&D 체계 확장 - 새로운 미래소재 원천 아이디어에 대해서는 3-5년 주기로 수정·보완 또는 RFP 공모로 선발 - 1, 2단계에서 TRL은 고려하지 않음은 최종 TRL 단계를 연구자의 제안에 맡기는 것을 의미	

** 경쟁형 R&D란?

경쟁형 R&D의 단계평가 방법
- 단계평가(기존)와 진입평가(신규)가 동시에 진행됨 ex) 1단계를 마치고 2단계로 넘어가고자 하는 과제와 타부처 또는 타사업에서 아이디어와 기초기술이 발생되어 2단계로 진입하는 과제가 동시에 경쟁함 cf) 이를 위해서는 전체 RFP와 단계별 RFP가 필요함

*** 주제중복 허용 R&D 전략

- (이유) 새로운 아이디어를 가진 신규진입을 원하는 과제가 기존의 진행 중인 과제와의 주제 유사성을 이유로 지원받지 못하는 경우가 많았음 - (전략) 유사한 주제라도 원천 기술을 발굴할 수 있는 아이디어를 선정평가에서 검증토록 함 (1단계). 이후 유사주제의 과제들이 경쟁하여 우수성과의 과제만 차 단계로 진입토록 함 (2-3단계).
--

3.1.2 창의적 bottom-up 기초연구 지원

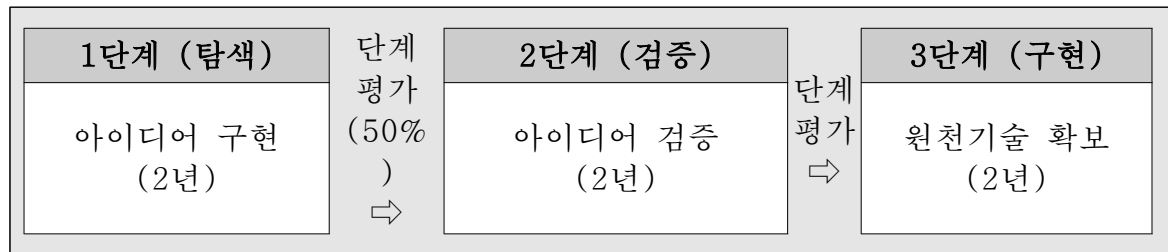
◆ 연구 분야 및 개발방법에 제한 없이 연구자의 다양한 아이디어 발굴을 극대화하여 새로운 개념이나 새로운 종류의 소재개발 촉진

□ 연구자가 가진 다양한 아이디어를 발굴하여 새로운 개념·종류의 소재 개발 촉진을 통한 소재 발전의 새로운 동력 확보

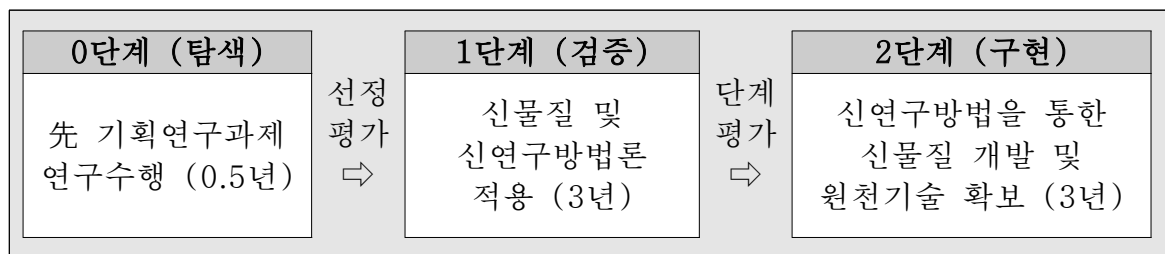
○ 도전적·창의적·혁신적 아이디어의 발굴 및 시도를 장려하기 위하여 단계형 기초연구 지원

- 다양한 연구자에게 아이디어 구현 기회를 제공하기 위해 분야나 방법에 제한을 두지 않는 자유공모(Bottom-up) 방식으로 추진
- 도전성·참신성·혁신성을 중심으로 과제를 선정·지원하는 도전형 소재 탐색 연구 및 미래소재 디스커버리 추진

※ '17년 도전형 소재기술개발 프로그램 기획·추진(10개 과제 선정·지원)



※ 미래소재디스커버리 사업추진 체계



3.1.3 R&D 연구데이터 수집·활용 체계 구축

◆ 소재분야 연구데이터 수집·관리·활용방안 마련 및 연구데이터 플랫폼 구축·활용 추진

□ 소재분야 연구데이터 수집·관리방안 마련

- 연구자 의견수렴을 통해 연구데이터의 범위, 수집방법 및 공개여부 등 설정
- 소재분야 빅데이터 활용성 제고를 위한 분류체계 마련

－ (예시) 26대 미래 원천소재 분류 (산업부 4대 소재 분류)

중분류	필수기술	금속	화학	세라믹	섬유	비고
-----	------	----	----	-----	----	----

Exa 스케일 인지연산 소재	초병렬 연산지능소재	V		V		
	인지가소성 나노전자소재	V		V		
	극저손실 신호전달소재	V		V		
모바일 인공지능용 소재	인공지능용 스케일링 돌파형 초저전력 정보저장소재	V		V		
	인공지능용 로직소재	V		V		
IoT기반 복지 서비스 기술	자극감응형 유연성 조절소재		V	V		고분자재 료
	감각 저장·구현 전자소재	V	V	V		
	초경량 유연·신축성 전자소재	V	V			
만성질환해 결인원소재	AI기반 고신뢰도 바이오센서	V	V	V		
	인체이식형 바이오소자	V	V	V		
	체내자가구동 바이오배터리	V	V	V		
100세 시대 인체장기 대체·복원기 술	신체감각 보조용 바이오닉소재	V	V	V		
	골 대사 조절소재	V	V	V		
	결손공간 감응 4D 프린팅 소재	V	V	V		
	장기기능 맞춤 매트릭스		V	V		
스마트 약물전달 소재	부작용 억제소재	V	V	V		
	고감도 약물전달 매트릭스		V			
오염물질 Zero화 소재	다종오염물 맞춤형 스마트 다공성소재	V		V		
Green Engineering 기반 지구환경기 술	에너지 변환소재		V	V		
	3분 급속 상온 고용량 수소저장 소재	V		V		
블랙아웃 대응 에너지소재	5분 완충가능 대용량 전지소재	V	V	V	V	
	자가발전 투명세라믹스			V		

자가전원 초소형 자율이동체	센서네트워크 제어용 다차원 용액공정 소재		V			하이브리드 소재
	에너지 발생·저장용 3D 공정소재		V			하이브리드 소재
방사선 대응 안전소재	방사선 차폐·흡수 소재	V	V	V		
대형지진 인프라 안전보장 소재	극한환경 자가치유형 고신뢰성 소재	V	V	V		

□ 연구데이터 플랫폼 구축 추진

○ 시범사업

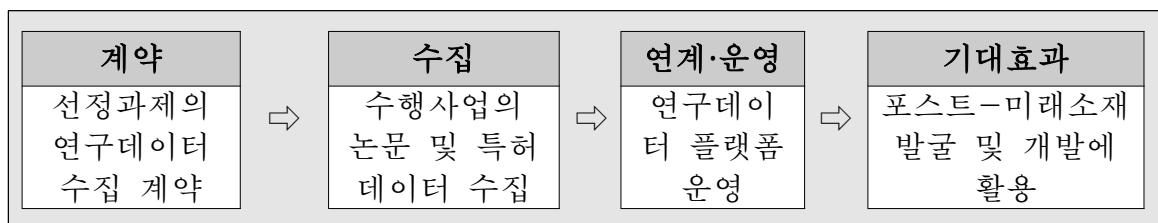
* 열전 신소재 분야 실험데이터, 계산과학데이터, 공개된 데이터 등 d 연구데이터 구축, 이를 이용하여 기계학습 기반의 성능예측 웹기반의 서비스 플랫폼 개발('17)

□ 연구데이터 플랫폼 운영·활용방안 마련

○ 연구데이터 활용기술 개발

○ 소재종합솔루션센터와 연계

※ 미래소재 연구데이터 수집·활용 전략



3.1.4 원천소재 개발지원 체계 및 부처간 협업 강화 전략

◆ 기초원천 소재개발 연구성과가 경제성·신뢰성 있는 소재 개발로 이어질 수 있도록 관련 부처간 협업체계 구축

□ 원천소재 개발 역량 집증을 위해 기초원천 소재기술 개발지원

체계 구축

- 나노·소재 기술개발사업 중 소재기술 지원과제를 분리하여 ‘기초원천 소재기술개발사업’ 신설 추진

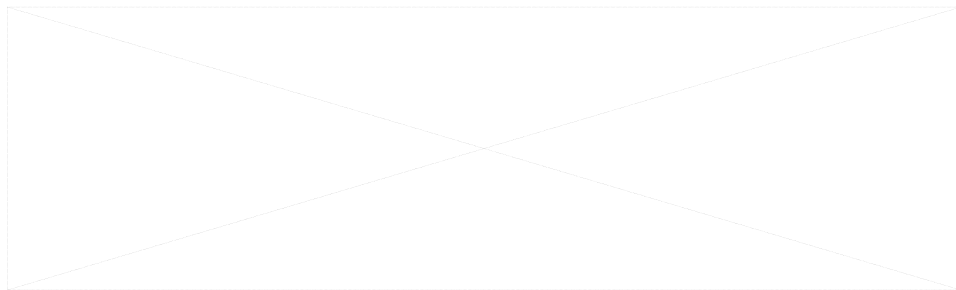
□ 연구성과 극대화를 위한 부처간 연구 이어달리기 추진

- 대학·연구소 중심의 기초·원천 소재기술 연구성과(과기정통부)를 기업 중심의 상용화 기술개발(산업부 및 중기부 등)로 연계 추진

※ 과기정통부의 소재 기초연구 우수성과의 상용화를 위해 산업부의 소재부품기술개발사업에 연계하여 지원(‘17년 6개 기술)

- 전주기 R&D 연계 협의체 구성·운영을 통해 조기 사업화가 유망한 기초원천 연구성과와 시장수요 대응형 기초원천기술을 발굴하고 양 부처 R&D로 연계 지원

우수 R&D성과의 상용화를 위한 부처간 이어달리기 연계 전략



3.2

전략소재 원천기술 상세내용

3.2.1

초연결 사회를 위한 스마트소재

3.2.1.1. Exa스케일 인지연산 소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 초연결사회의 데이터 폭증에 대비한 두뇌신경과 같은 아날로그 지능형 연산 및 손실 없이 정보 전달 가능 소재의 필요성 대두

□ 두뇌신경 모방 Exa스케일 인지연산의 필요성 대두

- 향후 IoT/IoH 기반의 초연결 사회에서는 데이터의 폭증이 예상되며 이를 효율적으로 다룰 수 있는 지능형 연산용 소재 개발이 필요함
- 미래 초고효율 지능형 연산 시스템의 구현을 위해서 현재 Si 반도체 기반 로직 및 아키텍처 기술로는 한계가 있으며 지능형 연산을 위한 새로운 non-Si 기반 두뇌모방 인지연산 반도체 기술, 지능형 로직 및 아키텍처, 뉴럴넷 모방 알고리즘의 개발 등에 필수적인 신소재 기술 개발이 절실함
- 현재 국가지원 사업은 기존 Si 반도체 기반 아키텍처 기술의 향상 그리고 뉴로모픽 소자기술에 국한되어 있으며, 관련 새로운 소재에 대한 연구 개발투자는 아직 미흡함
- 따라서, 소자 및 아키텍처 수준 뿐 아니라 지능형 연산에 소재 수준에서 기존의 한계를 뛰어넘을 수 있는 지능형 연산기술에 필요한 핵심 소재개발에 대한 국가지원이 필요한 상황임
- 초병렬 연산 지능소재, 인지가소성 나노전자소재, 극저손실 신호전달 소재 개발에 대한 우선지원이 필요함

(2) 기술현안

◆ 미래의 데이터 폭증에 대비한 현재의 Si 기반 지능형 로직 및 아키텍처 기술의 한계를 뛰어 넘는 두뇌모방 인지연산 반도체 개발 필요

□ 현재의 Si 기반 지능형 로직 및 아키텍처 기술의 한계를 뛰어 넘는 Non-Si 두뇌모방 인지연산 반도체기술

○ IBM에서는 Si 반도체 기술을 이용한 TrueNorth의 인지연산 반도체 집적 기술을 선보이는 등 새로운 인지 연산 기술을 선도하고 있음

- 두뇌신경과 같은 아날로그 연산형 지능소재로 연산의 속도와 효율성을 높일 수 non Si 기반 소재 기술 필요
- 신경자극 인지의 효율성과 초고집적화를 위한 시냅스 모방 전자소재 필요
- 시냅스에서 취득된 자극정보를 손실 없이 전달할 수 있는 배선소재 필요

(3) 미래대응소재

1. 초병렬 연산지능소재

기술 개요	두뇌신경의 정보 처리 알고리즘을 모방한 아날로그 연산형 지능소재로서 연산의 속도와 효율성을 높일 수 non-Si 기반의 소재 기술
-------	--

1. 주요 현황

□ (연구현황) 주로 기존의 실리콘 반도체 칩을 활용하고 두뇌 신경세포의 효율적인 정보 처리 알고리즘을 모방하여 뉴로모픽 시스템을 구현하는 연구를 진행 중

○ 미국 DARPA는 SyNAPSE 프로젝트를 수행했으며 특히 IBM은 Cognitive computing이 가능한 Si기반의 반도체인 TrueNorth 개발

* 2008년부터 2013년까지 1억 달러 이상이 SyNAPSE프로젝트에 투입됐으며 IBM은 2014년 트루노스를 개발

- 유럽(EU연합 연구단)은 1인간의 뇌와 맞먹는 규모와 기능을 갖춘 인공신경망을 개발하는 ‘Human Brain Project’를 2013년부터 시작
- 유럽(독일)은 하이델베르크대를 중심으로 Brain ScaleS라는 프로젝트를 진행 중
- 포항공대는 뉴로모픽칩을 위한 저전력 뉴런셀 회로 집적화 연구를 수행 중
- 삼성종합기술원은 유럽의 FACET (Fast Analog Computing with Emergent Transient States) 프로그램을 통해 자체적으로 연구를 진행 중
- 네패스는 576개의 인공 뉴런을 내장한 ‘NM500’을 출시하며 국내 최초로 인공지능반도체를 상용화

□ (시장동향) 폰노이만 구조에 기반한 실리콘 반도체 산업의 한계와 AI 기반의 지능형 반도체 및 전자부품의 급격한 성장 예상

- 미래먹거리 ‘2022 전 세계 뉴로모픽 컴퓨팅 시장 예측 보고서’에 따르면, 뉴로모픽 컴퓨팅 시장은 2016년 660만 달러에서 2022년 2억 7,290만 달러로 예측기간 동안 36% 성장 (MarketsandMarket, 2016)
- 글로벌신시장 2016년, 뉴로모픽 컴퓨팅 시장에서 소프트웨어 기술이 58%의 점유율을 차지할 것으로 예상되지만 향후 하드웨어 관련기술의 성장률이 기하급수적으로 높아질 것으로 예상 (MarketsandMarket, 2016)
- 일자리창출 종합반도체를 주축으로 소재 및 공정개발관련 반도체전문 인력을 양성하기 위한 대규모 일자리 확충이 가능하며 AI 하드웨어에 기반한 타 산업과의 융합을 통해 또한 새로운 일자리 창출 가능

- (정부 R&D 투자) 뉴로모픽 및 병렬형 컴퓨팅 기술 과제는 '15년 총 24개 과제, 50.68억원의 R&D가 진행 중임
- 미국 DARPA 최근 3년간 뉴로모픽 관련 세부기술 모두에서 증가 추세
 - ※ ('13년) 시냅스 소재(3.4억원), 뉴런 소재(3.4억원), 뉴로모픽 시스템(0억원)
 - ('15년) 시냅스 소재(8.04억원), 뉴런 소재(7.79억원), 뉴로모픽 시스템(3.7억원)
- 정부 R&D 사업의 대부분은 과학기술정보통신부를 통해 지원되고 있으며 시냅스 및 뉴런 소자 원천기술 개발 및 뉴로모픽 응용기술 개발 분야에 분산 투자

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 데이터 생산속도에 비해 폰노이만 형태의 컴퓨팅 시스템의 데이터 처리 속도는 이미 한계에 직면하여 효율적인 정보처리 알고리즘과 물리적인 집적도와 전력 효율이 유리한 시스템용 소재 개발이 필수적이므로 관련 기술의 중요도가 상당히 클 것으로 예측

* 존재하는 모든 데이터의 90%가 불과 2년(2014~2015년) 간 생성된 것이며 데이터의 양은 매년 40%씩 증가해 2020년에 약 50배가

증가

- (미래문제 해결 기여도) 대규모의 실시간 영상 인식, 다중 음성 및 고도의 복잡한 의사결정과 같은 기존의 소프트웨어기반 인공지능 기술로 해결이 어려운 복잡한 문제를 해결할 것으로 기대됨
- (기술의 미래원천성) 기존 Si CMOS를 활용한 뉴로모픽 하드웨어 시스템 개발이 주를 이루고 있어 새로운 지능형 반도체 소재개발에 대한 미래원천성은 상대적으로 큼
- (국내 R&D 역량) 중소 기업중심의 AI 알고리즘 개발 및 빅데이터 기반 서비스 개발이 주를 이루고 있으며 종합반도체회사를 중심으로 Si CMOS기반 회로 설계 및 시스템 아키텍처 개발을 진행 중에 있어 중요도가 큼
- (글로벌 리딩 가능성) 미국 IBM에서는 Si 기반 반도체 기술을 활용하고 유럽은 대규모 프로젝트들이 이미 런칭되어 연구가 활발하게 이루어지는 시점이나 초병렬 연산지능소재에 대한 연구는 리딩 국가 대비 다소 뒤쳐져 있는 상황임

3. 연구개발 내용 및 계획

- ☐ (연구개발 내용) 상온동작 가능하며 병렬연산 가능한 소자/회로 구현을 위한 non-Si 기반 핵심 소재 원천 기술 개발
- Non-Si 기반의 병렬연산 소자 및 회로 구현용 신소재 개발
- $10^5/\text{cm}^2$ 이상 집적도 구현이 가능한 스케일링 다운 한계 극복형 소재 개발
- 발열 및 실시간 이미지 처리/패턴인식 시스템 기술이 가능한 소재 개발
- ☐ (활용 분야) 미래의 데이터 폭증에 대비한 지능형 서비스

- 현재의 Si 기반 지능형 로직 및 아키텍처 기술의 한계를 뛰어 넘는 Non-Si 두뇌모방 인지연산 반도체 소재 기술
- (연구개발 계획) 상온동작 병렬연산 가능 non-Si 기반 핵심 소재 원천 기술 개발
- Non-Si 기반의 병렬연산 소자 및 회로 구현 소재 개발
- 소재에 대한 신뢰성 평가를 통한 $10^5/\text{cm}^2$ 이상 집적도의 어레이 구현 가능성 시연 필요

4. 투자 방향(안)

- 기술 완성의 난이도가 매우 높은 연구 분야로 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 산업적 측면에서, AI 알고리즘과 뉴로모픽 하드웨어 시스템 개발 기술 개발에 지속적으로 대응하기 위해서는 인공지능 반도체 소재 중심의 R&D 지원 확대 필요

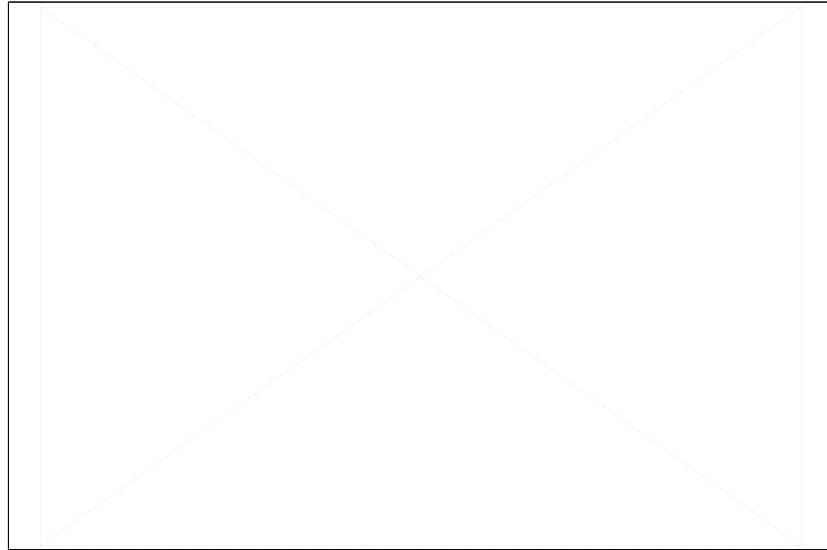
2. 인지가소성 나노전자소재

기술 개요	외부자극(경험 및 학습)에 의해 신경세포의 기능적 변화를 유도하는 인지가소성 특성을 모방한 전자소재로서 스마트카, IoT 가전, 인공지능 로봇, 스마트 모바일 등의 기기에서 발생한 사진, 동영상의 빅데이터를 빠르게 인식하고 처리할 수 있는 인공지능 하드웨어 시스템에 개발에 필수적인 신소재 기술
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) 신경세포 시냅스의 전기적인 가소성 특징을 모방하여 두뇌의 핵심 기능을 구현하는 연구로 주로 멤리스터 소재의 특성향상 및 집적화 연구가 활발하게 진행 중
 - 미국(IBM)은 상변화 메모리의 확률적인 거동을 제어함으로써 패턴인식이 가능한 뉴로모픽 시스템에 활용될 수 있는 전자소재 연구 중
 - 일본(AIST)은 상변화 메모리소재를 개발하여 신경 시냅스의 전기적 특성을 이용한 뉴로모픽 시스템 연구를 진행 중
 - 포항공대는 산화물기반 멤리스터 소재 연구를 진행 중
 - 한양대는 신경세포를 모방한 전자 소재 개발 연구를 진행 중
- (시장동향) 폰노이만 구조에 기반한 실리콘 반도체 산업의 한계와 AI 기반의 반도체 및 전자부품의 급격한 성장 예상
 - 미래먹거리 ‘2022 전 세계 뉴로모픽 컴퓨팅 시장 예측 보고서’에 따르면, 뉴로모픽 컴퓨팅 시장은 2016년 660만 달러에서 2022년 2억 7,290만 달러로 예측기간 동안 36% 성장 (MarketsandMarket, 2016)
 - 글로벌신시장 2016년, 뉴로모픽 컴퓨팅 시장에서 소프트웨어 기술이 58%의 점유율을 차지할 것으로 예상되지만 향후 하드웨어 기술의 성장률이 급격히 높아질 것으로 예상 (MarketsandMarket, 2016)
 - 일자리창출 반도체전문 인력을 양성하기 위한 대규모 일자리 확충이 가능하며 AI 하드웨어에용 소재 기술을 바탕으로 타 소재산업과의 융합을 통해 또한 새로운 일자리 창출 가능
- (정부 R&D 투자) 뉴로모픽 기술 과제는 '15년 총 10개에서 '16년 총 31개로 매년 증가추세에 있음.
 - 정부 R&D 사업의 대부분은 과학기술정보통신부를 통해 지원되고 있으며 시냅스 및 뉴런 소자 원천기술 개발 및 뉴로모픽 응용기술

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 인체 시냅스 및 뉴런을 모방한 새로운 방식을 지향하는 인지가소성 지능형 소재 기술은 차세대 반도체 개발을 위해 매우 중요한 이슈임
- (미래문제 해결 기여도) 뉴런의 인지가소성을 모방한 소재를 개발함으로써 빠르고 정확한 빅데이터 연산처리가 가능한 반도체 개발이 가능해짐
- (기술의 미래원천성) Si CMOS 기반의 뉴로모픽 하드웨어 시스템 개발을 뛰어넘는 새로운 지능형 반도체 소재개발에 대한 미래원천성은 상대적으로 큼
- (국내 R&D 역량) 포항공대와 광주과학기술원을 중심으로 주로 멤리스터 형태의 인지가소성 나노소재 및 집적화 같은 우수한 엔지니어링 기술 역량을 보유하고 있으나, 다양한 학제간 공동연구를 통해 연구의 넓이와 깊이를 높여 원천 소재기술 확보에 주력
- (글로벌 리더 가능성) 미국이나 유럽의 대규모 프로젝트들이 이미 런

칭되어 연구가 활발하게 이루어지는 시점이나 인지가소성 소재에 대한 정확한 개념이나 관련된 소재의 물성 파라미터는 정립조차 되지 않은 실정이므로 연구의 저변과 깊이를 확대하여 원천기술을 선점하는 전략으로 리딩 국가와의 기술력 차별화 및 경쟁력 확보 가능

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 실리콘 반도체 소재의 집적화 문제와 폰노이만 컴퓨팅 시스템의 전력소비 한계를 넘어, 뇌의 작동 방식을 모방하는 뉴로모픽 칩을 구현하기 위해 필요한 초 병렬, 초 저전력 특성을 갖는 인공 신경망 반도체 소재의 원천기술 개발
- 초 저전력, 초 고집적이 가능하며 신뢰도가 확보된 인공 시냅스 소재 개발
 - * 멀티비트와 점진적 스위칭 특성 구현, 0.25 pJ/spike 초저저력 소모, $10^{10}/\text{cm}^2$ 고집적, 10 년 이상의 비휘발성, 10^6 이상의 테스트를 만족하는 고신뢰성 소재
- 재료 설계 모델링 및 시뮬레이션 검증을 통한 소재의 인지가소성 기능 최적화
- 인공뉴런/시냅스 연결 및 고집적 어레이 기술 개발
- (활용 분야) 인간 두뇌급의 인공지능 컴퓨팅 시스템을 개발하는데 필수적인 핵심 시냅스 소재 기술을 제공함으로써 IoT 초연결사회에서 생성된 비정형 빅데이터의 효율적인 처리 기술로 활용
- 20W 이하의 소비전력만으로 두뇌의 기능을 모방하는 인공 컴퓨팅 시스템기반의 빅데이터 처리 기술 확보 및 초연결사회로의 진일보 구현
- 기존의 컴퓨터로 처리하기 힘든 비정형 데이터의 효율적인 처리

- 메가와트급 슈퍼컴퓨터의 대체 및 고성능 하드웨어 기술의 보편화
- 인공 신경망 반도체 원천 기술 확보를 통한 국내 미래 반도체 성장 동력 확보
- (연구개발 계획) IoT 빅데이터 연산을 위해 궁극적인 AI지능형 시스템을 위한 소재 중심의 인공 시냅스 연구
- 일부대학들에서 산발적으로 이루어지는 인지가소성 시냅스 소재 연구는 개념입증의 수준으로 다양한 후보 물질을 검증하고 library를 구축할 수 있는 저변 확대 필요
- AI용 소재 기술을 주도할 수 있는 시냅스 전자소재 중심의 리딩 연구기관 및 센터 설립 필요

4. 투자 방향(안)

◆ 2016년 이후로 중규모 R&D 투자가 이루어지기 시작하는 분야로, ▲ 인지가소성 시냅스 소재 기술 (과학기술정보통신부) ▲ 인공 시냅스 집적화 기술 (산업부), ▲ 인지가소성 소재 기반 뉴로모픽 시스템 활용 기술 (과학기술정보통신부, 중소기업청)

- 기술 완성의 난이도가 매우 높은 연구 분야로 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 산업적 측면에서, AI 알고리즘과 뉴로모픽 하드웨어 시스템 개발 기술 개발에 지속적으로 대응하기 위해서는 인공지능 반도체 소재 중심의 R&D 지원 확대 필요
 - 단기적으로는 기술저변을 확대하기 위한 대학교 필요기술을 지원하고, 장기적으로는 아이디어 선점형 원천기술 확보를 위한 투자 강화
 - 알고리즘 및 시스템 개발에 치중된 뉴로모픽 산업구도를 소재 중심

으로 재편하기 위한 지원 및 노력 필요

- 현안해결 측면에서는 IoT기반의 초연결 빅데이터 폭증을 해결하기 위해 non-Si 두뇌모방 및 인지연산 반도체 소재 전문 연구기관 및 전문 운용인력 확충 등 4차 산업과 연계한 정부의 지속적인 관심과 지원 필요

- 아직 기초자료조차 정립되어 있지 않은 인지가소성 특성을 발현하는 소재 라이브러리를 구축하고 이런 전기적 가소성을 결정하는 소재의 물성이나 소자 성능 지표의 상관관계를 면밀하게 규명하는 연구에 우선 투자
- 종합반도체회사, 과학기술정보통신부, 대학 등 기관별 연구능력을 종합·공유·활용할 수 있는 협업체계 구축

3. 극저손실 신호전달소재

기술 개요	두 시냅스에서 취득된 자극정보를 손실 없이 전달할 수 있는 배선소재
----------	---------------------------------------

1. 주요 현황

- (연구현황) 뉴로모픽 시스템에 필수적으로 요구되는 시냅스 소재의 전기적인 가소성 특징을 활용함으로써, 정보처리, 단기 기억, 그리고 장기기억과 같은 두뇌의 핵심 기능을 모방하는 연구를 수행 중
- 유럽의 ST Microelectronics는 데이터 센터 용도로 제품 개발을 진행하고 있으며 IMEC은 MPW foundry를 지원하고 있음. 프랑스 (LETI)는 빛으로 신호를 전달하는 실리콘포토닉스 반도체 기술을 개발
- 미국에서는 5년간 \$600M의 거대 연구 프로젝트로 AIM photonics

시작되어 IMEC처럼 MPW foundry 지원을 준비하고 있으며 Intel 등도 집중적으로 연구를 하고 있으며 데이터 센터의 광트랜시버 용도로 제품 적용이 시작될 것으로 보임

- ETRI는 나노 금속선기반 광도파로 개발하고 있으며 영남대는 구리 확산방지막을 단 1개의 층으로 대체할 수 있는 신소재 'RuAlO' 개발
- (시장동향) 폰노이만 구조에 기반한 실리콘 반도체 산업의 한계와 AI 기반의 반도체 및 전자부품의 급격한 성장 예상
- 미래먹거리 극저손실 신호 전달 기술은 미래 ICT기술의 핵심 기술로 새로운 성장 동력으로 전망
- 글로벌신시장 미국 AIM Photonics의 예측에 의하면, 광배선 기술의 DataCom 시장 파급효과는 2025년 70조(\$57B), RF&Analog 6조(\$5.1B), Sensors 50조(\$41.4B), 그리고 Phased Array 5조(\$4.5B) 등을 포함 총 시장 파급 효과가 120조(\$108B)에 이를 것으로 예측됨.
- 일자리창출 종합반도체를 주축으로 극저손실 신호전달 기술 개발 관련 반도체전문 인력을 양성하기 위한 대규모 일자리 확충이 가능하며 AI 하드웨어에 기반한 타 산업과의 융합을 통해 또한 새로운 일자리 창출 가능
- (정부 R&D 투자) 산업통상자원부의 미래반도체소자사업과 과학기술정보통신부의 지원을 통해 관련 소자 중심의 연구분야를 일부 지원하고 있음

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 극저손실 신호전달 기술은 미래 ICT기술의 핵심 기술로 기술의 중요도 역시 지능형 반도체기술의 고도화에 따라 계속 증가할 것으로 예상
- (미래문제 해결 기여도) 극저손실 신호전달 기술을 통해 저전력 및 초고속의 데이터 처리 및 연산이 가능해지므로 미래 모바일 AI 및 빅데이터 처리가 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 4차 산업혁명으로까지 거론되는 인공지능 기술의 핵심은 대량의 CPU/메모리 소자로 구성된 데이터센터와의 초고속 통신기술에 기반하며, 데이터센터 내외부 그리고 CPU 및 메모리간 고속 통신의 기반이 되는 극저손실 신호전달 소재기술은 미래 원천성이 큰 기술임
- (국내 R&D 역량) ETRI는 나노 금속선기반 광도파로 개발하고 있으며 영남대는 구리 확산방지막을 단 1개의 층으로 대체할 수 있는 신소재 'RuAlO' 개발
- (글로벌 리딩 가능성) 국내의 기확보 기술력은 세계 경쟁국가와의 기술격차대비 다소 뒤쳐져 있으나 기술 집종을 통한 리딩 가능성이 있는 분야임

3. 연구개발 내용 및 계획

- ☐ (연구개발 내용) 극저손실 신호전달 미래반도체 기술로 광배선용 소재 등의 기술 개발 필요
- 기존의 구리배선 등의 신호 전달 소재를 능가하며 집적회로 일괄제작 공정과 호환성이 있는 소재 개발
- III-V 및 IV족 반도체 기반 낮은 문턱전압과 높은 출력파워를 갖는 저전력 광원 기술
- ☐ (활용 분야) 데이터센터 및 슈퍼컴퓨터의 랙간 혹은 보드간 광배선 기술 등에 응용 가능
- 극저손실 신호전달 소재 기술이 성장되어 양산화 기술이 마련되면 CPU 및 메모리 반도체 칩에 광배선 소자가 집적되어 칩 간의 광배선 용도등 다양한 사업으로 확장 가능함
- ☐ (연구개발 계획) III-V 및 IV족 반도체 기반 낮은 문턱전압과 높은 출력파워를 갖는 저전력 광원 기술 개발

4. 투자 방향(안)

- 산학연 협력을 통한 관련 핵심 배선 소재 기술 개발이 필요함

3.2.1.2 모바일 인공지능용 소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 개인휴대용 인공지능 터미널을 중심으로 한 초연결사회의 핵심 플랫폼 기술인 정보저장소재 및 연산장치소재 개발이 필요

□ 모바일 인공지능기기 (휴대폰, 자율주행자동차 등)의 필요성 대두

○ 현대사회의 메가트렌드인 초연결사회內 편리한 삶을 위한 인공지능 기기의 필요성 대두

－ 인공지능기기는 학습에 근거한 자가판단이 가능하므로 인간의 업무 부담을 덜어줄 것으로 예상

○ 개인 휴대용 독립적 인공지능 플랫폼*의 수요증가

* 현재 주류인 데이터센터를 중심으로 한 인공지능과 반대개념

－ 막대한 전력을 소모하는 데이터센터 중심의 중앙집중형 인공지능은 계산의 비효율성으로 대안의 필요성이 대두됨

－ 데이터센터 중심의 인공지능체계 하에서 일반 사용자는 막대한 양의 개인 정보(데이터)를 제공하며 일부 제한된 서비스를 이용하는 수동적인 역할을 함

－ 데이터센터의 무분별한 개인정보수집 (건강정보 등)은 추후 개인정보보호 문제가 불거질 가능성이 높음

－ 개인 휴대용 독립적 인공지능 플랫폼은 개인이 능동적으로 인공지능 체계를 제어할 수 있으며 개인정보를 데이터센터에 제공할 필요가 없으므로 그 필요성이 매우 커지고 있는 추세임

(2) 기술현안

◆ 인공지능기술의 고도화와 이에 필요한 데이터처리 효율화를 위한 고성능, 저전력의 인공지능 전용 하드웨어*의 개발 필요
 * CPU (중앙처리장치), GPU (그래픽처리장치) 등의 범용 하드웨어가 아닌 인공지능 특화 하드웨어

□ 인공지능 전용 하드웨어를 이용한 인공지능의 학습 및 추론* 효율화

* 학습에 근거한 자가판단을 의미함

○ 미국 중심의 ICT 기업은 고속/저전력 인공지능기능 구현이 가능한 전용 반도체의 필요성 인식 및 개발 본격화

- 현재 인공지능의 효율화를 위해 구글 (TPU: Tensor Processing Unit), HP (DPE: Dot-Product Engine), 퀄컴 (NPU: Neural Processing Unit), 애플 (Neural Engine)등의 기업은 전용 반도체 개발에 사활을 걸고 있음

(3) 미래대응소재

◆ 모바일 인공지능 전용 반도체의 핵심인 고집적/초저전력/고응답속도 정보저장소재와 의사결정 로직용 반도체소재 개발

4. 인공지능용 스케일링 돌파형 초저전력 정보저장소재

기술 개요	인공지능 반도체의 막대한 양의 시냅스 가중치정보를 칩 상에 저장할 수 있는 대용량/초저전력/高응답속도의 정보 저장소재 개발 기술으로 ①저장소재디자인 기술, ②저장소재 소자화 기술, ③대규모 저장소재 어레이화 기술 등의 세부기술로 구분
-------	--

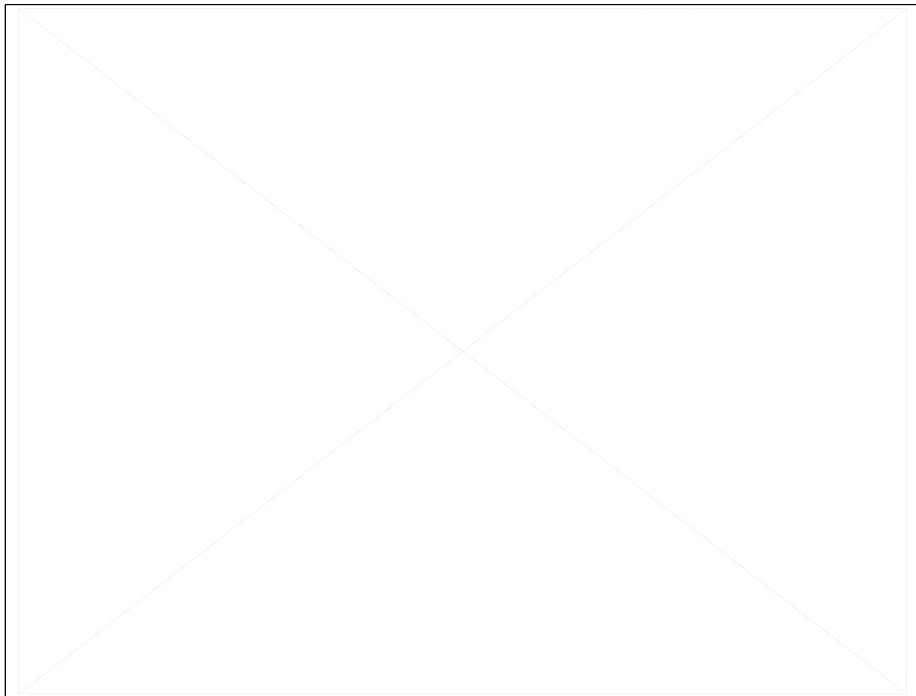
1. 주요 현황

- (연구현황) 집적화에 용이한 비휘발성 저항변화 기반 3차원 적층형 정보저장기술 연구가 전 세계적으로 활발히 진행 중이며 플래쉬 메모리 대체를 목표로 함
 - 최근 미국 인텔사는 저항기반 저장소자 적층이 가능한 저전력/고속 응답속도의 3D Xpoint memory (Optane)를 상용화하였으며 플래쉬 메모리 대비 매우 빠른 응답속도를 가짐
 - 적층형 플래쉬 메모리 (V-NAND)형의 적층이 가능한 수직형 저항 변화메모리개발 연구가 학연 중심으로 전 세계적으로 활발히 진행 중임
-
- (시장동향) 최근 인텔이 Optane을 상용화하여 새로운 메모리 시장을 열었으며 정보저장반도체 선두기업인 삼성전자와 SK하이닉스 역시 기존 플래쉬 메모리 시장이외 새로운 시장창출을 위해 연구개발 중이므로 새로운 메모리 (인공지능 메모리) 시장의 급격한 성장 예상
 - 미래먹거리 현재 태동기에 있는 인공지능 메모리를 포함하는 인공지능 반도체 시장은 2023년 전 세계 18억불에 이르는 등 급격한 성장을 보일 것으로 전망되므로 ICT 분야의 새로운 성장동력으로 전망 (Transparency Market Research, 2017)
 - 글로벌신시장 급격한 세계시장의 팽창 (CAGR 19%)으로 매우 큰 글로벌신시장 등장 예상 (Transparency Market Research, 2017)
 - 일자리창출 세계 메모리 반도체 시장 1,2위 기업인 삼성전자와 SK하이닉스의 新시장 선도가 예상되므로 관련 많은 일자리가 창출될 것으로 예상
-
- (정부 R&D 투자) 관련 대규모 모바일 인공지능반도체용 소재

연구는 전무한 실정임

- 산업통상자원부의 미래반도체소자사업은 소자화 연구사업으로 산발적인 소규모 병렬과제로 구성되어 있으며 기술의 공유 및 협업이 용이하지 않음
- 나노·소재원천기술개발사업은 두뇌를 모사하는 뉴로모픽 기술개발을 목표로 인공뉴런/시냅스/아키텍처로 구성된 과제이지만 인공지능의 특정분야인 뉴로모픽 기술개발을 목표로 하는 시스템 기술개발 사업임

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 정보저장기술은 인공지능 반도체의 핵심 기술로 기술의 중요도 역시 인공지능 반도체기술의 고도화에 따라 계속 증가할 것으로 예상
- (미래문제 해결 기여도) 초저전력 정보저장소재로 모바일 기기의 성능 및 배터리 사용시간을 획기적으로 늘일 수 있게 되며, 보다

막대한 양의 빅데이터를 대용량으로 처리할 수 있게 됨

- (기술의 미래원천성) 기존 일반 컴퓨터 및 데이터센터용 메모리반도체 기술이 이미 고도화 되어있으므로 기존 기술의 변형기술인 본 기술개발의 조속한 성과도출이 가능하며 원천기술개발 확보 가능
- (국내 R&D 역량) 국내 기업의 높은 메모리반도체 기술 및 학연 중심의 우수한 연구 인프라는 본 기술의 높은 국내 R&D 역량의 밑바탕이 됨
- (글로벌 리딩 가능성) 국내의 기 확보 기술력은 세계 경쟁국가와의 기술 격차와 미비하거나 또는 이미 앞서나가고 있는 상황임

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 저항변화기반 고집적/초저전력/고응답속도 정보저장 소재디자인을 통해 인공지능 반도체 메모리 원천기술개발
 - 정보저장소재 데이터베이스 확보 및 국내 관련 연구자간 공유를 통해 정보저장소재디자인 가속화
 - 최적화 정보저장소재에 적합한 소자개발
 - 메모리셀 어레이 개발을 통해 높은 기술성숙도 확보
- (활용 분야) 인공지능 반도체의 On-chip 고집적 메모리에 응용
 - 인공지능 반도체는 시냅스 가중치를 저장하는 고집적 메모리가 필요하며 메모리의 용량이 인공지능 반도체의 성능을 좌우하는 핵심 병목기술임
- (연구개발 계획) 정보저장소재, 메모리 어레이로 확장할 수 있는 멀티스케일의 높은 feasibility를 가지는 소재개발
 - 정보저장소재 데이터베이스를 구축하고 구축한 데이터베이스를 기

계학습 등의 통계분석을 통해 체계적인 정보저장소재디자인

- 정보저장소재를 기반으로 한 메모리 어레이의 개발을 동시에 진행하여 연구개발 가속화

4. 투자 방향(안)

◆ 기업의 능동적 사업참여 및 기술모니터링을 독려하여 기술개발의 공정한 기술개발 가치평가 시스템 확보 필요

- 본 기술은 high risk high return형 기술로 정부주도의 연구개발이 필요한 분야이지만 기업의 능동적 참여 및 기술 모니터링이 반드시 필요함
- 논문/특허 등의 정량적 성과물보다는 실제 기술 상용화를 염두에 둔 기술의 질적가치를 평가할 수 있는 시스템 확보 필요

5. 인공지능용 로직소재

기술 개요	인공지능 반도체칩의 의사결정 단위인 로직 (activation unit) 개발을 목표로 ①반도체소재개발 기술, ②단위 로직화 기술, ③로직 어레이화 기술 등의 세부기술로 구분
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 기계학습 (machine learning)에 최적화된 전용 하드웨어 개발이 전 세계적으로 활발히 진행되고 있으며 특히 기계학습에 필수적인 연산에 특화된 전용 하드웨어가 주류를 이루고 있음

- 최근 미국 구글社は TPU (Tensor Processing Unit)으로 명명된 행렬 곱셈 전용 하드웨어 (반도체칩)을 자체 데이터센터에 사용하고 있음
- 미국 HP社は DPE (Dot-Production Engine)으로 명명된 아날로그형 행렬 곱셈 전용 하드웨어 개발 중
- (시장동향) 기계학습 기반 인공지능의 보급 및 모바일 인공지능의 필요성 대두 등으로 인공지능 전용 반도체 시장의 급격한 성장이 예상되며 인텔, 퀄컴, 구글, 애플, HP등 세계 굴지의 ICT 기업이 활발히 연구개발을 수행 중
- 미래먹거리 현재 태동기에 있는 인공지능 메모리를 포함하는 인공지능 반도체 시장은 2023년 전 세계 18억불에 이르는 등 급격한 성장을 보일 것으로 전망되므로 ICT 분야의 새로운 성장동력으로 전망 (Transparency Market Research, 2017)
- 글로벌신시장 급격한 세계시장의 팽창 (CAGR 19%)으로 매우 큰 글로벌신시장 등장 예상 (Transparency Market Research, 2017)
- 일자리창출 인공지능 반도체칩은 고급 메모리기술을 필요로 하므로 세계 메모리 반도체 시장 1,2위 기업인 삼성전자와 SK하이닉스의 新시장 선도가 예상되므로 관련 많은 일자리가 창출될 것으로 예상
- (정부 R&D 투자) 관련 대규모 모바일 인공지능반도체용 소재 연구는 전무한 실정임
- 산업통상자원부의 미래반도체소자사업은 소자화 연구사업으로 산발적인 소규모 병렬과제로 구성되어 있으며 기술의 공유 및 협업이 용이하지 않음
- 나노·소재원천기술개발사업은 두뇌를 모사하는 뉴로모픽 기술개발을 목표로 인공뉴런/시냅스/아키텍처로 구성된 과제이지만 인공지능의 특정분야인 뉴로모픽 기술개발을 목표로 하는 시스템 기술개발 사업임

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 인공지능용 로직 (연산)은 기계학습의 전력효율화 및 모바일화에 있어서 핵심 기술로 기술의 중요도 역시 인공지능 반도체기술의 고도화에 따라 계속 증가할 것으로 예상
- (미래문제 해결 기여도) 인공지능용 로직의 개발로 문자판독, 음성인식을 비롯하여 불확실한 상황에서 안전한 주행이 가능한 무인주행 또는 하드웨어 검사나 보안과 같은 다양한 산업현장에서 활용 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 기존 일반 컴퓨터 및 데이터센터용 메모리반도체 기술이 이미 고도화 되어있으므로 기존 기술의 변형기술인 본 기술개발의 조속한 성과도출이 가능하며 원천기술개발 확보 가능
- (국내 R&D 역량) 국내 기업의 높은 메모리반도체 기술 및 학연 중심의 우수한 연구 인프라는 본 기술의 높은 국내 R&D 역량의 밑바탕이 됨
- (글로벌 리딩 가능성) 국내의 기 확보 기술력은 세계 경쟁국가와의 기술격차와 미비하거나 또는 이미 앞서나가고 있는 상황임

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 행렬 곱셈 및 의사결정을 전력 및 시간 효율적으로 수행할 수 있는 집적회로 연산장치의 핵심재료를 포함한 연산장치 원천기술개발
- 기존 Si 및 고이동도의 III-V족 반도체를 포함한 최적 (비용 및 성능 고려)의 연산장치 후보 재료군 도출
- 행렬 곱셈 및 의사결정용 로직디자인
- 단위로직 어레이 개발을 통해 높은 기술성숙도 확보
- (활용 분야) 인공지능 반도체의 핵심 연산장치로 응용
- 인공지능 반도체 칩에 필요한 막대한 양의 행렬 곱셈 및 의사결정 장치로 응용
- (연구개발 계획) 연산용 소재, 단위로직, 로직어레이로 확장할 수 있는 멀티스케일의 높은 feasibility를 가지는 소재개발
- 연산용 소재 데이터베이스를 구축하고 구축한 데이터베이스를 기계 학습 등의 통계분석을 통해 체계적인 연산용 소재 디자인
- 연산용 소재를 기반으로 한 단위로직 및 로직어레이의 개발을 동시에 진행하여 연구개발 가속화

4. 투자 방향(안)

- ◆ 기업의 능동적 사업참여 및 기술모니터링을 독려하여 기술개발의 공정한 기술개발 가치평가 시스템 확보 필요

- 본 기술은 high risk high return형 기술로 정부주도의 연구개발이 필요한 분야임
- 논문/특허 등의 정량적 성과물보다는 실제 기술 상용화를 염두에 둔 기술의 질적가치를 평가할 수 있는 시스템 확보 필요

3.2.1.3. IoH 기반 복지서비스

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 초연결 기술에 기반한 ICT 융합 휴머니즘 사회 구현 및 개인 맞춤형 복지 서비스 기술의 확대

□ 초연결 사회에서의 ICT 융합 휴머니즘 사회구현 및 개인 맞춤형 복지 서비스 기술 필요성 대두

- 초연결 기술을 활용한 ICT 융합 휴머니즘 사회구현 가능성 확대
 - IoH (Internet of Humans)* 기술은 인간-인간 및 인간-사물 간의 연결을 확대하고 초연결 사회를 가능하게 할 것으로 기대됨
 - * IoH 기술은 인체에 착용, 부착 또는 삽입된 센서, 네트워크, 액츄에이터로 이뤄지며 다양한 인체정보를 획득, 처리 및 전송을 가능하게 하는 기술임. IoT (Internet of Things) 기술의 한 부분으로 볼 수도 있으며, IoH와 IOT가 상호 융합되어 확장된 형태의 IOTH (Internet of Things and Humans) 기술로 정의하기도 함
 - 특히, IoH 기술에 의해 획득된 데이터는 현재의 스마트폰이나 인터넷 상에서 획득된 데이터에 비해 각 개인의 감정상태, 행동의도, 신체활동, 건강, 질병 치료과정 등에 다양한 개인별 데이터의 빅 데이터화가 가능하고 타 사람 및 사물과 연결되어 초연결을 가능하게 함
 - IoH 기반 빅데이터를 활용한 ICT 융합기술은 개인 맞춤형건강증진 및 관리, 예방의학 및 재활의학, 노인 및 지병환자 관리, 생활의 편의성

증대 등 새로운 서비스의 창출이 가능하고 새로운 휴머니즘 사회를 구현하는데 기여할 수 있을 것으로 기대됨

○ 초연결 사회에서의 개인 맞춤형 복지서비스 요구 대응 필요

- 고령화에 따라 노인 및 장애인의 보조인력 부족, 개인 맞춤형 개인 건강관리 및 증진 욕구의 확대, 다양한 생활의 편의성 증대에 대한 지속적 욕구 확대
- 노인 및 환자 관리, 장애인에 대한 편의성 제공 등 다양한 복지증대에 따른 사회적 비용의 효율성 향상에 대한 필요성이 급격히 증가함
 - * 현재의 기술로는 개별적인 맞춤 서비스 제공에 따른 인력 및 비용증가를 감당하기 어려움
- IoH 기술 기반 빅데이터를 활용하여 기존에 불가능했던 새로운 개인 맞춤형 복지 서비스의 창출 및 제공에 대한 필요성 대두

(2) 기술현안

◆ IoH 기반 개인 맞춤형 서비스 창출을 위한 미래 소재기술 확보

□ 개인 맞춤형 복지 서비스 창출용 미래형 전자소재 개발

- IoH 기술은 사용자의 간섭 없이 다양한 신호의 검출이 연속적으로 가능하여야 하며 다양한 웨어러블 전자소자 특히 신체 부착 또는 삽입형 웨어러블 소재 및 소자 기술이 필요함
- 특히, IoH 기반 개인 맞춤형 복지서비스의 확대에 대비한 새로운 소자구현을 위하여 기존의 물성 및 성능한계를 극복할 수 있는 다양한 유연·신축성 소재기술 개발이 필요함
- 기존에 국가개발 지원이 미흡했던 노인 및 장애인용 근력 증강 외 골격 소프트 슈트용 신기능 액츄에이터 소재, 감각의 저장·구현을 위한 전자소재, 부착/삽입형 웨어러블 전자소자용 신기능 유연·신축성 소재 기술 등에 대한 개발이 필요한 상황임

- 연구지원이 미흡했던 자극 감응형 기계적 물성 조절 소재 및 초경량/신축성 전자소재 개발은 기존의 소형과제로 유지되던 유연센서 과제와의 시너지를 유발할 수 있으며 바이오닉 로봇 등에 사용가능한 원천소재 획득의 가능성이 큼

(3) 미래대응소재

◆ 노인 및 장애인용 근력 증강 외골격 소프트 슈트용 신기능 소재, 감각의 저장·구현을 위한 전자소재, 부착/삽입형 웨어러블 전자소자용 신기능 유연·신축성 소재 기술 등에 대한 개발

6. 자극감응형 유연성 조절소재

기술 개요	유연전자소자가 포함된 전자시스템에서 유연성과 밀접한 소자 및 기관의 기계적 특성 조절 할 수 있는 소재 기술로 1) 유연전자 구현을 위한 기관소재 2) 유연성 조절이 가능한 전자소재 및 이를 제조하기 위한 공정기술을 포함함
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) 자극 감응형 유연성 조절 소재는 4차 산업혁명과 매우 밀접한 웨어러블 소자 구현을 위한 기본 소재로 차세대 유연 디스플레이, 유연전자소자와 부착형 웨어러블 전자 소자에 적용이 가능하며, 이 외에도 소프트 로봇에도 사용 가능한 차세대 기술임
- 최고기술 보유국인 미국에서는 자극에 의하여 변형 가능한 유기소재기반의 전자소자를 개발하여, 잡아당길 수 있는 소재를 구현한바 있음. 하지만, 소재 자체가 유연한 소재로 이루어져 있어 유연성의 조절이 불가능하며, 소자의 특성이 매우 제한적임. 3D 프린팅에 맞

는 전극을 개발한바 있으나, 형태의 제작이 불가역적 공정에 의한 것이라 차후 자극을 통한 변형은 불가능함. 현재는 소재/공정 등에서 전세계적으로 리딩하고 있는 그룹이 사실상 전무함

- 하지만, 유연한 특성과 딱딱한 특성으로의 선택적 변이는 반드시 필요함. 사용자 편의를 위해서는 딱딱한 특성을 가진 시스템이 사용에는 용이하지만, 유연한 시스템은 휴대성이 용이해 이 두 가지 특성의 상황에 맞는 변화가 가능한 소자 및 소재는 반드시 필요한 부분임

- (시장동향) 자극을 통한 고분자의 일시적 변형이 가능함을 이용하여 3D 프린터 소재산업 등으로의 자극감응형 고분자소재 관련 시장이 증가하고 있음

- 글로벌신시장 국내의 다양한 4차산업 확대에 따른 수요증대로 3D 프린팅 소재산업은 2015년 7억4천만불로 전체 3D프린터시장의 15%내외의 시장을 차지하고 있음. 이중 고분자소재는 이중 6억6천만 불(89%)로 다른 금속소재 (8천만 불(11%))로 관련 소재가 차지하고 있는 비중은 매우 크며 최근 금속이 차지하는 비중은 적지만 최근 급성장 중임

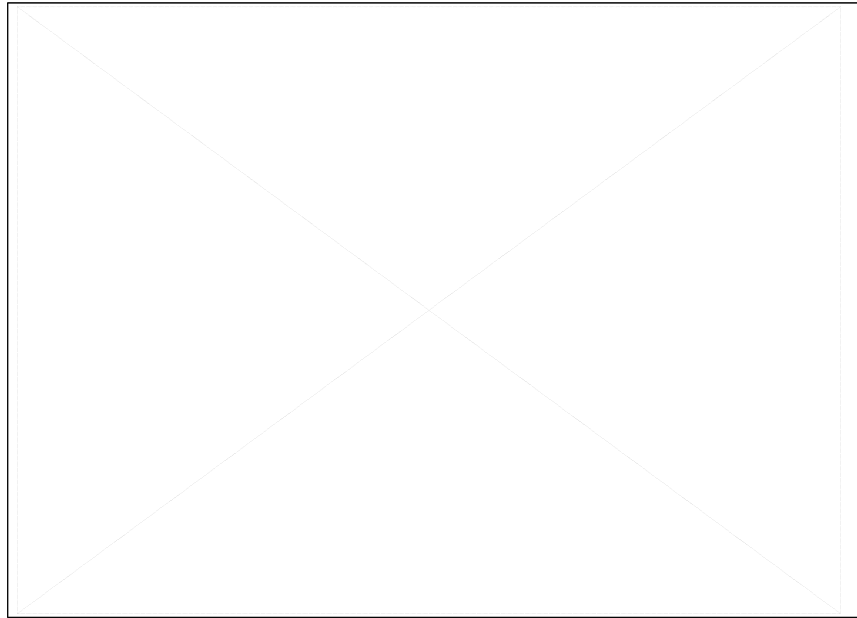
- 일자리창출 반면, 관련 산업은 전무하며 매우 취약한 산업구조로, 대부분의 소재장비를 수입에 의존

- (정부 R&D 투자)

- 자극감응형 유연성 조절소재에 관련 분야 정부 지원은 없었음

- 고분자 소재와 3D 프린팅 기술을 융합하여 다양한 응용분야에 적용이 가능한 유연성 조절소재의 원천기술 개발에 정부의 지원이 필요함

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 관련 소재기술은 최고 기술 보유국 미국 대비 90% 수준으로, 인프라 및 공정 등의 활용은 우수한 편이나 핵심소재 관련 연구는 미흡
- (미래문제 해결 기여도) 자극감응형 유연성 조절 소재 개발을 통해 다양한 웨어러블 일렉트로닉스가 가능해지며 또한 안정적인 성능의 웨어러블 전자소자 구현이 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 관련 분야와의 시너지가 매우 큰 소재로서 원천기술의 획득이 승패를 좌우할 기술로 평가 (예, PI(폴리이미드)소재)
- (국내 R&D 역량) 고분자 기능성 소재개발에 있어서 국내 대기업의 상용화 연구기반이 매우 탄탄함. 즉 국내 산업으로의 시너지가 클 가능성 있으며 매우 큰 중요도를 가짐
- (글로벌 리딩 가능성) 관련분야를 리딩하고 있는 미국 및 일본 역시 관 유연성 조절 소재의 개발을 완료한 바 없음. 따라서 본 소재는 원천 IP의 획득이 가능한 분야이며 다양한 유연전자 소재개발이 진행되고 있는

국내 상황으로 판단할 때 글로벌 리딩 가능성이 매우 큼

3. 연구개발 내용 및 계획

- ☐ (연구개발 내용) 자극 감응형 유연성 조절소재는 마찰, 압력, 응력에 따라 기계적 특성이 증가 혹은 감소하는 소재로써, 새로운 3D 프린팅 소재, 유연디스플레이 소재, 웨어러블 전자소자/소재 및 유연 고분자 기관의 개발이 필요함
- ☐ 3D 프린팅소재에서는 압력, 빛의 조사를 통한 특성의 조절이 가능한 소재 즉, 프린팅 후 추가공정을 통한 유연성 조절의 구현을 가능하게 하여, 고분자소재, 고분자-무기소재 하이브리드 형태, 이러한 소재의 공정이 가능한 프린터 및 공정으로 구분하여 동시 개발이 필요함
- ☐ (활용 분야) 3D 프린팅소재, 웨어러블 전자 소재, 소프트 로봇 (근력 증강 외골격 소프트 슈트), 소비재 전자 제품
- ☐ (연구개발 계획) 3D 프린팅소재, 고분자소재 및 3D 프린팅 공정기술 개발, 대면적 고분자 기관 소재개발
- ☐ 고분자와 같은 형태의 유기 (organic) 물질 및 유-무기복합재 (composite) 물질, 본 소재에 필요한 공정개발로 구분함

4. 투자 방향(안)

- ☐ 국가 기간산업의 도출이 필요한 분야로, 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요

○ 산업적 측면에서 학연에서 개발된 소재에 대한 산업에서의 R&D 추가지원 확대가 차후필요

- 단기적으로는 대학을 중심으로 한 필요 요소기술 개발을 지원하고, 장기적으로는 기술 선점형 원천기술 확보를 위한 투자 강화
- 관련 소재에 대한 표준화* 및 산업적 응용영역에 대한 지원 확대 필요

* 예시) 자극의 기준을 압력, 마찰 등으로 정량화하여 소재의 변화기준을 표준화함.

7. 감각 저장·구현 전자소재

기술 개요	직접적 경험 없이 간접적으로 감각을 느끼게 할 수 있는 감각을 저장하고 구현할 수 있는 소재 기술로서 ① 웨어러블 감각 센서소재, ② 감각 신호의 직접적 저장이 가능한 감각저장 소재 및 ③ 해당 감각을 구현할 수 있는 감각구현 소재 기술을 포함함
-------	--

1. 주요 현황

□ (연구현황) 오감 인식을 이용한 다양한 인터페이스 기반 IoT 기술이 상용화를 위해 기업을 중심으로 개발되고 있으나, 이에 비하여 오감 인식의 IoH 기술에의 접목은 아직 취약함

○ 인간의 오감 중 시각, 청각, 후각 인식 모방 및 정보처리, 저장이 가능한 감각 인터페이스 기반 IoT 기술의 상용화를 위하여 IT 기업에 의한 연구가 활발히 진행 중임

- 시각 및 청각의 경우 기존의 센서 소재기술, 컴퓨터를 이용한 정보처리 (디지털화), 감각의 구현 등을 중심으로 개발되어 IoT 빅데이터 기반 AI (Artificial Intelligence) 기술을 다양한 산업에 적용하는 상용화 단계에 이름 (국내외 IT 대기업 중심)
- 촉각의 경우 압력검출 기반 햅틱 기술을 휴대폰에 구현하여 적용하여 왔으며, 후각의 경우 포터블 화학센서 어레이, 디지털 신호처리, 전송

및 냄새의 발현 장치 등을 결합하여 개발하여 왔음

- IoH 기술에 적용을 위하여 촉각, 미각 및 후각의 감지 기술 중심으로 연구되고 있으나, 저장·구현 소재기술에 대한 연구는 매우 초기 단계임
 - － 웨어러블용 촉각 감지기술에 대한 연구는 전자피부 형태로 활발히 이루어지고 있으나, 촉각 저장 및 구현 소재기술은 아직 초기단계 임
 - － 인간의 동작을 스트레인 센서로 감지하는 동시에 아날로그 신호를 바로 메모리에 저장하고, 저장된 신호를 빛의 신호로 변환 출력하는 신축성 통합 소자 개념 제시 (Nanyang Technological Univ.의 X. Chen 교수팀)
 - － 자가조립된 금 나노입자(AuNP)를 통해 정보저장이 가능한 피부 부착형 생체신호 측정·저장 소재의 개념 제시 (서울대 김대형 교수팀)
 - － IoH용 미각 및 후각기술의 경우 아직 유연성 소재기반 감지기술이 연구되고 있으나 저장 및 구현 소재에 대한 연구는 미흡함
- (시장동향) IoH 관련 기술의 경우 2021년에는 의료/헬스케어 분야가 가장 큰 시장을 차지할 것으로 예상되며, 향후에는 건강 진단 및 치료, 바이오닉스 부문에도 확대 적용될 것으로 예상됨
- 미래먹거리 웨어러블 스마트기기의 세계시장 규모가 16년 525.0 백만유로에서 2021년 1,944.0 백만 유로로 년평균 29.9%의 높은 성장 전망 (한국산업기술평가관리원)
- 글로벌신시장 유럽은 국가가 주도하여 통합 R&D 구조로 핵심기술을 확보하고자 노력하고 있으며 미국의 경우 민간의 주도로 기술 선점에 초점
- 일자리창출 웨어러블 스마트기기 특성 상 다품종 소량생산 체제로 시장이 형성될 것이라 예측되며 중소, 중견기업들의 경쟁력을 갖춘 성장 가능
- (정부 R&D 투자) 유연/신축성 센서소자 및 웨어러블용 센서 시스템 개발 중심의 연구 개발투자가 주로 이루어지고 있음

- 과학기술정보통신부에서는 원천적 소재개발보다는 최근 유연/신축성 촉각센서 소자 중심의 개인중심의 소형과제 지원이 주로 이루어지고 있음
- 산업통상자원부에서는 기존의 센서를 활용한 기업중심의 웨어러블 센서 시스템 개발에 집중 지원하고 있음 (산업핵심기술개발사업 등)

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 감각 저장·구현 소재의 경우 아직 연구 초기 단계이나 다양한 인터페이스 기술, 가상 및 증강현실 기술 등 응용 분야가 매우 많아 매우 중요한 기술로 평가
- (미래문제 해결 기여도) 미래에 지속적으로 수요가 증가할 인간모방 인터페이스 기술 및 증강/가상현실 기술이 적용된 스마트 기기 등에 적용되어 현재의 인터페이스 기술을 획기적으로 발전시킬 수

있을 것으로 기대됨

- (기술의 미래원천성) 기존의 방법과 비교하여 간단한 시스템 구현을 가능하게 하며 인간의 감각 및 뇌 기관을 모방한 개념의 감각 저장·구현 소재가 개발된다면 새로운 원천기술로 새로운 시장창출이 가능한 소재임
- (국내 R&D 역량) 국내의 다양한 스마트폰 및 VR 기기 분야에서의 선도적 제품개발 역량을 고려하고 최근 웨어러블 기기 분야에 대한 국가 연구개발투자 증가 및 참여 연구자 수의 증가를 고려할 때 충분한 역량을 확보하고 있다고 판단됨
- (글로벌 리딩 가능성) 해당 분야 소재에 대한 원천적 연구는 아직 초기단계이지만 관련 센서 및 메모리 소재/소자 연구 수준을 고려하면 미국대비 80% 정도로 판단됨

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 직접적 경험 없이 간접적으로 감각을 느끼게 할 수 있는 감각을 저장하고 구현할 수 있는 소재 기술
- 핵심요소 소재기술로서 ① 웨어러블 감각센서 소재, ② 감각 신호의 직접적 저장이 가능한 감각저장 소재 및 ③ 해당 감각을 구현할 수 있는 감각구현 소재 기술을 포함하며, 이를 집적화하는 기술을 개발함
- 기본적인 개념정립 단계로부터 소재개발 및 소재융합 기술을 포함하며, 기존의 감각 인식 기술과 차별화된 기술개발을 위한 감각저장 및 구현 전자소재를 개발함
- (활용 분야) 인체에 부착하거나 삽입되는 형태의 소재로 개발되어 바이오닉 인터페이스, 뇌-기계 인터페이스, 휴먼-기계 인터페이스, 실감 미디어, 증강현실, 가상현실, 신체증강 기술 등에 활용될 수

있음

- 인체에 부착되어 아날로그 감각 신호를 직접 저장하고 다시 아날로그 신호로 감각을 구현을 가능하게 하는 소재 기술로 단일 기관 상에 집적화가 가능한 인터페이스 기술에 활용 가능
- 실감 미디어 기술, 증강현실, 가상현실, 휴먼증강 기술 등에 접목되어 새로운 서비스 창출이 가능함
- (연구개발 계획) 검출 감각 신호를 직접적으로 저장하고, 저장된 정보를 읽어 해당 감각의 구현을 가능하게 하는 소재기술 개발을 중점적으로 수행함
- 투자 규모에 따른 우선순위는 기술의 필요성 및 개발 성공가능성을 고려하여 촉각, 시각, 청각, 후각, 미각 순임
- 기존의 감각 인터페이스에서 활용되는 컴퓨터 기반의 디지털 신호로 변화 후 전달하여 구현하는 방식과 차별화 되는 기술
- 단일 신축성 기관 상에 촉각의 인지, 저장 및 구현이 가능한 소재 기술 개발

4. 투자 방향(안)

◆ 최근 웨어러블 기술에 대한 연구개발 투자가 소자 중심의 연구 과제 (과학기술정보통신부) 및 기존 소자를 집적화한 시스템 개발과제 (산업통산자원부)에 주로 집중되어 있으나 신기술 창출 및 원천기술의 확보를 위해 신개념 미래소재의 연구개발 투자가 필요함

- 감각 저장·구현 소재는 새로운 개념의 IoH용 인터페이스 기술을 활용한 개인 맞춤형 복지 서비스 분야에서 매우 큰 활용성을 제공할 수 있는 연구개발 분야로서 정부 중심의 R&D 투자 필요

- 산업적 측면에서 장애인 복지서비스 향상 (장애인용 바이오닉 인터페이스), 엔터테인먼트 및 교육 분야 (사람-기계 인터페이스, 실감미디어, 증강현실, 가상현실 등)에서의 신산업창출에 기여가 가능하여 R&D 지원 확대 필요
 - 단기적으로는 요소 소재기술의 개발을 지원하고, 장기적으로는 집적화 원천기술 확보를 위한 투자 강화
 - * 감각저장 기술은 다양한 신산업 창출에 활용이 될 수 있는 기술임
- 기술적 측면에서는 웨어러블 기술 분야에서 기존에 존재하지 않는 새로운 개념의 감각 인식, 저장, 구현을 통합할 수 있는 소재개발에 대한 지원 필요
 - 기존 기술의 경우 감각의 인지, 저장, 전달 및 구현은 이미 존재하는 기존센서, SW를 이용한 신호처리용 컴퓨터 및 감각구현 장치 등이 별도의 시스템에서 이루어지는 개념인데 반하여 IoH 기술에 접목하기 위해서는 하나의 시스템 내에서 이루어 질 수 있는 개념을 가능하게 하는 소재개발에 대한 지원 필요

8. 초경량 유연·신축성 전자소재

기술 개요	전자 소재를 초박막 혹은 초경량 형태로 제조하여 기존의 시스템에서 얻어질 수 없는 기계적인 특성 (유연/신축성)을 얻을 수 있는 소재 기술로서 1) 초경량 부착형 웨어러블 전자 소재 2) 생체 삽입형 유연/신축성 소재 기술을 포함함
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 초경량 유연/신축성 전자소재는 부착형 웨어러블 전자 제품 및 체내 삽입형 임플란트 시스템에 적용하기 위해 연구 중이며 이 외에도 소프트 로봇 및 소비재 전자 제품 (consumer electronics)

에도 적용단계에 이르고 있음

- 최고기술 보유국인 일본, 유럽에서는 유기물질 기반의 초박형, 초경량 웨어러블 전자 시스템을 개발하여 신체 부착 시 인지할 수 없는 (imperceptible) 정도의 초경량 시스템 기술을 보유하고 있음
- 사용자의 편의를 극대화한 이러한 시스템은 촉각 센서, 적외선 센서, 거대 자기저항 (GMR) 센서 등을 개발하는 등 활발하게 연구 중임
- (시장동향) 관련 국내 U-헬스케어 시장 규모는 2014년 약 3조원에서 2020년 11조원으로 연평균 12.5% 성장률을 가질 것으로 예상됨. 2014년 기준 치료 중심의 U-Medical 부문 약 5600억, 요양서비스 중심의 U-Silver 부문 약 4900억, 예방 차원의 건강관리서비스인 U-Wellness 부문이 약 2조원 규모로 관측됨 (현대경제연구원)
- 글로벌신시장 웨어러블 스마트 의류 및 직물 시장규모가 2012년 5억 1,500만 달러에서 2018년 17억 2,000만 달러로 고성장을 기록할 것으로 전망하였고, 스마트 워치의 경우에는 2012년 4,700만 달러에서 2018년 125억 6,100만 달러로 급격한 성장을 나타낼 것으로 예측함 (BCC 리서치 (2014.02)). 웨어러블 및 이식형 디바이스 시장은 화학공정소재 분야에서 2014년 10~15 백만 달러에서 2020년 110~130 백만 달러의 시장 성장을 예상 (Frost & Sullivan)
- 일자리창출 국내에서는 최소 수준의 네트워크 인프라 및 IT 기술을 보유하고 있어 광대역 인터넷, 모바일 단말기를 통한 센서 및 의료 분야와의 융합 연구를 하기에 최적화되어 있음. 하지만, 센서 및 분석기술 분야에서 상대적으로 낮은 기술력을 보유하고 헬스케어 기반의 기초 데이터가 매우 부족한 실정이기 때문에 글로벌 경쟁력 확보에 한계가 있음. 특히 현재 센서 기술은 선진국 대비 2년 내외의 기술 격차가 벌어져 있고, 정보분석 및 표준화를 위한 분석

기술의 미비로 제품의 신뢰도를 확보하기 어려운 실정임

- (정부 R&D 투자) 주로 유연/신축 센서 중심의 개발이 산발적으로 소형과제 형태로 지원 되고 있으나, 대부분이 소자 중심의 기술개발에 초점이 맞추어져 있어 소재 중심의 기술개발에 대한 지원은 미흡함

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 초경량 유연/신축 전자 소재는 기본적인 웨어러블, 삽입형 임플란트 시스템에 사용될 수 있을 뿐만 아니라 미래의 전자 산업에 응용 가능성이 매우 큰 중요한 기술임
- (미래문제 해결 기여도) 신체 부착 및 휴대용 전자 제품 등 IoT/IoH 관련된 모든 시스템에 적용되어 다양한 웨어러블 전자기기를 일상에서 활용할 수 있게 됨

- (기술의 미래원천성) 초경량 소재를 이용하여 투명하고 사용자 편의를 도모할 수 있는 기술로 발전 가능하므로 신시장 창출이 매우 높은 전자 소재임
- (국내 R&D 역량) 부착형 웨어러블 소재의 경우 국내의 다양한 연구 방향 및 결과를 고려할 때 충분한 경쟁력을 가지고 있음
- (글로벌 리딩 가능성) 초경량 유연/신축 전자 소재에 대한 원천적 연구는 초기 단계이지만, 웨어러블 관련 소재/소자 연구를 고려해 보았을 때 리딩 그룹/국가 대비 70-80% 정도 수준임

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 초경량 유연/신축성 전자소재는 웨어러블 및 체내 삽입형 전자 시스템에 적용할 수 있는 전도체 (conductor), 부도체 (insulator/dielectrics), 반도체 (semiconductor), 기판/보호막/패키징 (substrate/encapsulation/packageing) 소재의 개발이 필요
 - 각각의 요소/성분은 유기 (organic) 물질, 무기 (inorganic) 물질 및 하이브리드 형태로 구분되어 개발이 필요함
- (활용 분야) 웨어러블 전자 소재, 체내 삽입형 임플란트 시스템, 소프트 로봇, 소비재 전자 제품
- (연구개발 계획) 전도체 (conductor), 부도체 (insulator/dielectrics), 반도체 (semiconductor), 기판/보호막/패키징 (substrate/encapsulation/packageing) 으로 사용 가능한 초경량 유연/신축성 전자 소재 개발
 - 유기 (organic) 물질 및 무기 (inorganic) 물질, 하이브리드 형태로 구분해서 개발함

3.2.2

건강한 사회를 위한 웰니스 바이오소재

3.2.2.1 만성질환해결 올인원소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ **초고령화 및 생활습관 변화에 따른 5대만성질환자* 급증과 토탈라이프케어에 대한 수요 증가** (*당뇨,심장,호흡기,암,정신질환)

□ **초고령화 사회 대비 토탈라이프케어를 위한 올인원소재 개발**

○ **원격 모니터링 및 치료를 위한 올인원소재의 핵심 소재기술의 병렬적 구축**

- 인체에 무해한 소재로 구현되어 생체이식이 가능한 미래소재기술 개발
- 체내에서 고신뢰도로 5대만성질환을 모니터링 할 수 있는 바이오센서 기술의 개발
- 장기간 체내에서 생체신호를 전달하기 위해 체내에너지를 통해 장기간 생체신호를 측정할 수 있는 바이오배터리 기술의 개발

○ **올인원소재와 IoT/AI의 결합을 통한 토탈라이프케어 시스템 구축**

- 기존 의사-환자 사이의 원격진단 (telemedicine)을 넘어 체내 이식된 질병진단 올인원소재와 IoT/AI간의 정보교환을 통한 원격 모니터링 시스템의 구축

(2) 기술현안

◆ **만성질환의 지속적인 원격 모니터링 및 치료를 위해 AI가 결합된 고신뢰도 질병진단 소재의 개발 필요**

□ 초소형 초고감도 바이오센서 개발

- 기존의 검출한계를 뛰어넘는 고감도 생체신호 변화의 감지가 가능한 바이오센싱 소재의 개발

□ 인체이식형 장기 모니터링 소자를 위한 재료 개발

- 외부 전원없이 체내에서 안정적으로 구동하기 위한 바이오배터리 및 생체적합성이 뛰어난 모니터링용 바이오소자의 개발

□ 초고령화 사회를 대비한 치매예측 진단 소재 개발

- AI의 빅데이터 분석을 통해 실시간으로 치매 등의 노인질환 예측 및 모니터링이 가능한 진단 소재 및 소자의 개발

(3) 미래대응소재

◆ IoT/AI기반 고신뢰도 바이오센서, 인체이식형 바이오소자, 체내에너지로 구동되는 바이오배터리 등의 병렬적 개발을 통한 토탈라이프케어 시스템을 위한 올인원소재의 구현

9. IoT/AI기반 고신뢰도 바이오센서

기술 개요	IoT/AI 기술과 연계하여 실시간으로 국민의 건강과 안전을 모니터링하고 원거리치료를 가능하게 하기 위해 감지, 구동, 전원생성을 위한 소재/소자기술
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 질병의 원인이나 관련 인자들을 검출하는 바이오센서는 고성능 검출과 더불어 나노기술과 정보통신기술의 융합으로 Point of

care, 재택진단, 환경모니터링 등 의료, 환경, 식품 등의 그 분야가 확장되고 있는 추세임

- 해외의 경우, 소형 디바이스를 이용하여 극소량의 생체물질을 검출하고 그 신호를 블루투스를 통해 사용자가 확인할 수 있는 기술(하버드 대학), 마약 및 폭발물 탐지를 위한 바이오센서(스웨덴), 그리고 암진단을 위한 그래핀 기반 바이오센서(영국) 등이 개발됨
- 국내에서는 사람의 날숨을 통해 질병관련 유기화합물 가스를 분석할 수 있는 미세유체칩(KAIST), 당 검출을 위한 바이오센서 및 디지털노당계 제품(전자부품연), 감염병 원인균의 분자진단(바이오니아) 기술 개발됨

□ (시장동향) - 글로벌 바이오센서 시장은 2014년 115억 달러에서 연평균 14%의 성장률을 보이며 그 중에서 point of care & 재택진단 시장이 27.3%의 성장률을 나타내고 있음 (출처: Frost&Sullivan, 2015)

- 국내 바이오센서 시장규모는 '12년 약 2000 억원에서 연평균 36.5% 성장률을 보이며 나타내며 '15년 5,220 억원으로 확대 예측 (융합연구정책센터, 2016)
- (글로벌신시장) 바이오센서는 건강장수시대 구현을 위해 의료분야에서 높은 비중을 차지할 것으로 예상되며 특히 비침습적 질병진단용 웨어러블 기술과 이식형 바이오센서가 의료기기의 핵심역할로 부상할 것이라고 전망 (Frost & Sullivan, 2017)

미래 의료서비스 변화 전망과 AI 활용 헬스케어 창업기업 (CB Insights, 2016)

- (일자리창출) 최근 미세전자기계시스템 (MEMS) 기반의 비침습적 기술 개발과 이를 활용한 진단기기의 산업화가 확대됨에 따라 바이오센서 산업이 첨단화, 모듈화, 시스템화와 다품종 소량생산에 따

른 글로벌 전문기업으로 성장하고 이에 맞춤 인재의 수요가 증가할 것으로 예상

- (정부 R&D 투자) 과거 바이오센서 관련 과제는 2011~2015년 총 610 건으로 시스템응용개발성격인 일부 과제를 제외하고는 대부분 기초연구 중심임, 최근 스마트센서 수요의 증가로 관련 스마트헬스, IoT센서, 신규원천 스마트 센서 기술개발이 추진 중임
- 과기정통부의 ‘다차원 스마트 IT연구단’, ‘바이오나노헬스가드연구단’, 산자부 ‘개인 맞춤형 질병예측 및 모니터링을 위한 마이크로-나노 생체 지표센서 기술개발’, ‘목표반응형 바이오센서 플랫폼 및 인증기술개발’, 중소기업청 ‘혈액분석 기반 전자기기 개발 및 통신 인터페이스 개발’ (전략소재 원천기술과의 중복성 없음)
- 산자부는 ‘센서산업발전전략’ 발표 후 ‘15년부터 ’20년까지 총 1,500억원을 투자할 예정 (전략소재 원천기술과의 중복성 없음)

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 기대수명의 연장과 전자통신기술의 발달로 IoT/AI 기반의 고신뢰도 바이오센서 시장이 확대될 뿐 만 아니라 미래산업 성장의 원동력임
- (미래문제 해결 기여도) 빅데이터를 기반으로 한 생명시스템 분석, 유전체 정보와 바이오센서를 접목한 질환 원인 규명, 질병진단 바이오칩, 모바일 원격진료 등 IoT/AI 기반 바이오센서가 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 종래 일차원적이었던 의료생태가 맞춤형의학을 바탕으로 다변화되고 있는 가운데 바이오센서도 IT 기술과의 융합으로 소형, 경량, 고성능, 다기능 바이오센서로 발전하는 중임. 국내의 수준 높은 IT 기술력을 의학과와의 결합을 통해 바이오센서의 다양화와 소량 생산 기술로 새로운 글로벌 바이오센서 시장을 개척 가능
- (국내 R&D 역량) 바이오센서에 필요한 개별적인 기술(신호전달, 미세유체, 바이오마커 등)은 확보 또는 개발 중임. 그러나 통합적으로 시스템화 하고 IoT 융합기술은 아직 미비함
- (글로벌 리더링 가능성) 국내 강력한 전자통신 기술과 전통적인 바이오센서의 세부기술을 융합하여 맞춤형, 소형, 고신뢰도 바이오센서 기술을 개발 한다면 신규 글로벌 시장 개척이 가능할 것으로 기대

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 생체정보(맥박, 소화, 혈당 등)의 감지 및 실시간 모니터링, 그리고 질병인자를 신속히 진단할 수 있는 IoT/AI 기반 다기능 스마트 바이오센서용 소자 및 소재 개발
 - 비침습적 생체정보 모니터링용 웨어러블 센싱 소재 (실리콘, 고분자, 세라믹, 탄소나노소재 등) 개발
 - 바이오마커의 센서 디바이스 적용을 위한 바이오인터페이싱 기술 개발
 - 진단모듈 및 신호전달 장비의 시스템화를 위한 융합기술개발
- (활용 분야)

활용분야 (예시)	IoT/AI 스마트 바이오센서	유해물질 검출 및 모니터링
활용 개념	고령화로 인한 성인병 질환 예방과 관리를 위한 IoT/AI 스마트 바이오센서	환경호르몬, 식품 유해균, 잔류농약과 같은 등 유해환경물질 검출 및 모니터링용 센서 소재
예상 제품	(인체 부착형 스마트 혈당센서)	(유해물질 검출센서)

- (연구개발 계획) IoT/AI 기반 고신뢰도 바이오센서 기술 개발
 - IoT/AI 기반 고신뢰도 바이오센서용 스마트 소재 및 소자 개발
 - 바이오마커의 효율적인 인터페이싱 기술개발
 - 신호전달모듈과 IoT 연계 및 통합 시스템 개발

- 소형화, 경량화, 다기능화를 통한 맞춤형 스마트 바이오센서 확대

4. 투자 방향(안)

◆ IoT/AI기반 바이오센서는 바이오, 나노, 정보통신 기술 (BT+ NT+IT)을 융합한 핵심기술로 대표적인 미래유망기술임 ▲고감도 스마트 바이오센서 ▲IoT/AI 연계기술에 대한 원천기술 개발과 중소기업의 R&D 지원 확대 필요 (과학기술정보통신부·복지부·산업부)

- 현재 고령화로 인한 국민의료비 증가를 해소하고 개인별 맞춤의학을 통한 효율적인 방식의 헬스케어에 대한 필요성이 높아지고 상황에서 스마트 바이오센서 시장은 고부가가치 창출이 가능한 유망산업으로 R&D 투자를 통한 기술 개발 시급함
- 국내의 탁월한 IoT, 미세유체칩 기술을 바이오센서 기술과 접목한 스마트 바이오센서 개발로 실시간 모니터링을 통한 질병의 관리 및 예방을 통한 국민의료비를 감소시키고 맞춤의학 시장을 확대시킬 수 있음
- 정부는 개인별 맞춤의료를 위한 전문화된 스마트 바이오센서 개발할 수 있는 바이오센서 전문인력의 일자리 창출을 위해 중소기업, 스타트업을 지원하고 대기업과의 상생방안을 제시해야 함
- 스마트 바이오센서는 전자, 광학, 정보통신, 바이오, 화학 등 다학제적인 협업의 산물로 특화된 기술을 확보한 기업들의 교류가 필수적임. 정부는 이런 기업의 교류의 장을 마련하고 이와 더불어 각 부처(산업부, 과학기술정보통신부, 보건복지부)의 통합된 지원이 필요함.

10. 인체이식형 바이오소자

기술 개요	장기간(20년이상)체내에 이식하기 위해 이식물과 생체 사이의 거부반응이 없고 체내의 정보를 감지 및 전달할 수 있는 바이오소재기술의 개발
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) IT, 인공지능, 초연결 기술과 융합한 디지털 진단 및 치료 기술이 4차 산업혁명의 의료·헬스케어 산업의 핵심으로 부상 하고 있으며, 단순 부착형 의료모니터링 기기의 차원에서 체내에 삽입되어 장기간 구동이 가능한 인체이식형 바이오소자 개발과 관련된 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있음
- 관련분야 세계 최고수준의 기술 보유국인 미국은 생체적합성 소재를 이용한 스마트 약물전달 시스템, 심·근전도 모니터링 소자 등과 관련된 원천 기술을 확보하고 있으나, 장기간 인체 내부에 이식되어 안정적으로 동작하기 위한 바이오소자에 대한 연구는 초기 단계에 있음
- 미국과 유럽, 일본 연구소는 국가 R&D 지원을 통해 다양한 질병을 실시간으로 모니터링 할 수 있는 인체이식형 바이오소자와 관련된 원천기술을 확보하고자 노력 중이며, 현안 해결을 위해 의공학·재료·전자·기계공학 및 의대와의 협력 연구를 통한 결과 도출을 적극 장려하고 있는 실정임
- (시장동향)
- 신산업: IT, 인공지능, 초연결 기술의 발전과 함께 진단치료용 의료기기는 병원중심의 진료/치료에서 개인중심, 상시 진단 및 치료 방식으로 패러다임이 변화될 것으로 예상되고 있음. 특히, 사물인터넷(IoT)의 발달로 2020년까지 수조개의 센서들이 전세계에 새로이 설치가 될 것으로 예측되며, 난치성/만성 질환 환자의 지속적인

모니터링을 위한 인체이식형 바이오소자에 대한 신시장의 창출이 예상됨

- 미래먹거리: 인체이식형 바이오메디컬 디바이스 시장은 현재 연 94조 이상 시장이 형성되어 있으며, 연평균 8.91% 으로 빠르게 성장 중. 특히, 인체 내부에서 장기간 동안 거부반응 없이 동작이 가능한 인체이식형 바이오센서 산업은 삶의 질 향상 및 건강에 대한 일반인들의 관심 증대와 맞물려 미래의 먹거리 산업으로서의 가능성이 높음.
- 글로벌신시장: 헬스케어는 제조업과 함께 가장 높은 부가가치를 창출하는 분야로 꼽히고 있으며, 특히 장기간 동작 가능한 인체이식형 바이오소자와 IoT 기술의 융합을 통해 기존 인체이식 바이오소자 시장의 불연속적 거대 성장 뿐 아니라 네트워크 기반의 의료서비스 신산업*이 창출될 것으로 기대되고 있음.

* 최근 IBM과 구글에서는 의료용 빅데이터를 통한 개인맞춤형 의료서비스를 개발하고 있으며 실 상용화를 앞두고 있음. 인체이식형 바이오소자 및 소재기술과 관련된 원천기술의 확보를 통해, 환자의 상태를 실시간으로 장기간 모니터링이 가능하게 하며 환자의 빅데이터 확보를 통한 의료서비스 글로벌 신시장을 창출 가능.

- 일자리창출: 인체이식형 바이오소자는 전세계적으로 기술적 수요가 높음에도 불구하고 현재까지 상용화 수준의 완성도를 확보하지 못하고 있어, 국가 주도 R&D를 통한 원천기술을 확보한다면 글로벌 신시장 선도 및 새로운 일자리 창출이 가능

- (정부 R&D 투자) 인체삽입형 바이오소자 및 임플란트 기능화 기술 개발과 관련하여 16' 기준 총 30개 과제, 72.9억원의 R&D 지원

- 치과용 임플란트의 기능화 기술과 관련된 연구개발에 대한 지원비중이 높았으며, 최근에는 인체삽입형 바이오소자의 중장기적 안정성에 가장 핵심적인 염증반응 및 항균작용과 관련된 기능화 원천기술 연구에 투자 비중이 증가 추세

- **과기정통부·교육부는 원천 기술 개발**(약물 방출형 코팅 소재, 염증 제어 나노코팅 등), **산업부는 산업적 수요 대응을 위한 기술 개발**(치과용 임플란트 공정 최적화 등) 중심

※ 중장기적 생체 안정성을 확보하기 위한 인체삽입형 바이오소자 및 임플란트와 관련된 R&D 연구 지원은 거의 이루어지지 않았으며, 성공적인 R&D 지원을 위해서는 융합연구 형태의 중대형 사업을 통한 기술 개발에 역량을 집중할 필요가 있음.

2. 기술 평가



- **(미래요구의 중요도)** IoT 및 빅데이터로 대변되는 4차 산업혁명으로 인해 개인맞춤형 스마트 헬스케어 산업은 향후 지속적인 수요 증가가 예상됨. 특히, 인구 고령화로 인한 난치성·만성 질환 환자의 증가는 장기간 동작 하며 치료 및 상시 모니터링이 가능하게 하는 인체이식형 바이오소자는 기술적 중요도가 매우 큼
- **(미래문제 해결 기여도)** 인체 내부 이식되어 장기간동안 인체신호를 모니터링 할 수 있는 바이오소재의 개발은 난치성·만성질환 환자의 상태를 원격으로 진료하여 대처할 수 있기 때문에 고령화와 관련된 사회 문제를 효과적으로 해결할 수 있음

- **(기술의 미래원천성)** 인체에 삽입 가능하며 장기간동안 거부감이나 면역반응 없이 동작 가능한 바이오소재의 개발은 향후 IoT 및 빅데이터 기반 스마트 헬스케어 신산업 분야의 핵심 기술 중 하나로 중요성이 매우 높으나, 아직 정확한 해법을 제시하지 못하였기 때문에 성공 시 미래 원천성이 매우 높음
- **(국내 R&D 역량)** 최고 기술 보유국 미국 대비 85% 수준으로, 인체이식형 혈당센서나 인슐린 투여 장치, 소형화 모듈과 관련된 기술은 우수한 편이나, 면역반응을 중장기적으로 제어하기 위한 소재 기술의 국산화는 미흡
- **(글로벌 리딩 가능성)** 반도체 소형화 기술, ICT 기술, IoT와 관련된 세계 최고 수준의 기술과 인프라를 보유하고 있어, 장기간 동작 가능한 인체이식형 바이오소재의 개발에 성공할 경우 통합 플랫폼을 통한 글로벌 리딩 가능성이 높음. 인체삽입 후 면역거부 제어 소재와 관련된 기술 및 생체재료 소재 기술은 선진국 대비 미세한 격차가 있으나 정부의 관련분야 R&D 지원을 통해 기술 역전이 가능

3. 연구개발 내용 및 계획

○ 인체이식형 바이오소재

• 면역 및 생체적합성 조절 바이오소재

- 인체 내부에 바이오소재가 이식되어 동작될 때, 체내의 면역 반응에 의한 바이오필름 및 박테리아 감염에 의해 심각한 부작용을 초래할 수 있음. 면역반응 및 박테리아 감염을 억제하기 위한 나노표면개질 기술이 개발되어 왔으나, 원하는 조직과의 적합성을 저하시키는 단점을 지님.
- 인체에 이식된 이후 장기간 안정적으로 동작하기 위해서는 면역반응 및 박테리아 감염을 획기적으로 줄이면서, 동시에 특정 조직 및 세포와는 반응성을 높이는 생체적합성이 조절 가능한 바이오 소재의 개발이 필수적임.

• 질병의 치료와 모니터링을 동시에 가능하게 하는 바이오소자

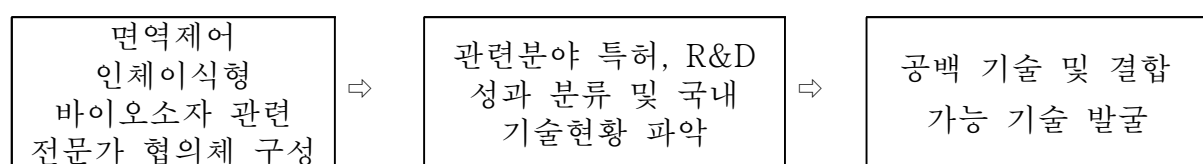
- 생체신호(혈당, 심·근전도, 혈압, 심박수, 염증반응)를 모니터링 하여 외부에 데이터를 전송할 수 있는 인체이식형 바이오소자 개발을 목표로 함. 기존 치료용 인체이식 소재(스텐트, 인공관절, 정형외과용 임플란트, 치과용 임플란트, 인공수정체 등)와 결합되어 유의미한 질환 관련 생체신호를 모니터링 할수 있는 바이오소자를 개발하여, 질병의 치료와 예후 관리를 동시에 가능하게 함.

□ (활용 분야)

활용분야 (예시)	스마트 스텐트	염증관리 인공관절
활용 개념	이식 후 환자의 심혈관 생체신호 모니터링 및 원격 약물 방출 치료를 가능하게 하는 스마트 스텐트	인공관절 이식시 발생하는 부작용(염증반응, 감염)을 최소화 하며 이식 후 실시간으로 감염 가능성을 모니터링하며 뼈 재생을 촉진하는 인공관절
예상 제품	(스마트 스텐트)	(염증관리 및 뼈재생 촉진 인공관절)

□ (연구개발 계획)

- 현재 장기간 면역 거부반응을 제어하고 생체적합성을 높인 인체이식형 바이오소자 및 소재는 기초기술 개발 단계로, 관련기술의 산학연 협력 체재를 구성하여 기술개발 지원 계획



* 년 17억 / 5년, 사업단 (산-학-연-병-관)

4. 투자 방향(안)

- IoT 기반 진단/치료 인체이식형 바이오소자 산업 및 신의료 서비스 산업 창출을 위한 원천기술의 확보를 위해 정부 중심의 R&D투자 및 성과확산 필요
- 장기적인 인체삽입 안정성 확보를 위한 원천 기술인 면역 및 생체 적합성 조절 기술과 관련된 연구의 집중 및 출연연/대학이 기 확보한 인체이식형 바이오소자 기술 및 빅데이터 기반 의료기술을 연계할 수 있는 융합형 R&D 지원
 - 기업자체투자 및 산업부/복지부 실증사업과 연계된 임상실험-제품화 단계별 지원 로드맵 설정
 - * IoT 기반 스마트 헬스케어 시장의 형성과 맞물려 실제 산업화가 이루어 질 수 있도록 기존 인체이식 의료기기 조기 임상 성과 벤치마킹 및 실용화 성과 도출을 통한 글로벌 경쟁력 강화
 - 빅데이터 기반 스마트 헬스케어 국가 R&D 와의 융합을 통한 신의료 서비스 플랫폼 연계 개발
- 국가 연구소, 대학, 병원 등 기관별 실험 및 측정 자료를 종합·공유·활용할 수 있는 협업체계 구축 지원

11. 체내자가구동 바이오배터리

기술 개요	인체 내 거부감이 없고 장기간 체내 이식되어 체내에너지 를 통해 구동하기 위한 바이오 소재 기반 전원생성기술
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 4차 산업혁명 시대의 대두로 인해 웨어러블/생체삽입형 바이오센서의 장기간 구동을 위한 바이오 소재 기반 체내자가구동

바이오배터리의 개발에 대한 연구가 전 세계적으로 활발히 진행되고 있음

- 최고수준 기술 보유국인 미국은 생체적합성 소재를 이용한 체내자가 구동 바이오배터리의 원천 기술을 확보하고 있으나, 장기간 동작하기에 적합한 소재에 대한 해답을 제시하지는 못하고 있는 실정임
- 미국(MIT, Georgia Tech, UC Berkeley)과 유럽(케임브리지)은 인체 장기의 움직임 혹은 혈액내 포도당을 이용하여 전력을 발생시킬 수 있는 체내자가구동 바이오배터리와 이를 이용한 인체신호 원격측정·모니터링 기술에 대한 연구를 국가 R&D 지원을 통해 개발 중이며, 장기적인 동작을 위한 소재 개발도 시작 단계에 있음

□ (시장동향)

- 신산업: 네트워크 장비회사 시스코에 따르면, 사물인터넷(IoT)의 발달로 2020년까지 수조개의 센서들이 전세계에 새로이 설치될 것으로 예측되며, AI 기반 빅데이터 분석과 결합되어 만성/난치성 질환 환자의 인체신호를 상시로 모니터링 하기 위한 부착형/삽입형 바이오센서의 자가구동을 위한 체내자가구동 바이오배터리 시장의 급격한 성장 예상
- 미래먹거리: 최근 IDC가 발표한 바에 따르면, 2014년 전 세계 IoT 기반 헬스케어 부문 시장규모는 82억 달러에서 2018년 124억 규모로 연평균 10.2% 성장 전망. 특히, 삶의 질 향상 및 건강에 대한 일반인들의 관심 증대로 인해 맞춤형 스마트 헬스케어 산업의 미래 먹거리 산업으로서의 가능성이 주목받고 있음
- 글로벌신시장: 헬스케어는 제조업과 함께 가장 높은 부가가치를 창출하는 분야로 꼽히고 있으며, 2020년까지 2,850억 달러의 IoT 부가가치 신시장 창출 산업으로 성장할 것으로 기대되고 있음.
 - * 최근에는 구글, 애플, MS등 주요 ICT 기업들이 스마트 헬스케어 분야에 적극 투자하여 시장을 개척하고 있으며, 특히 부착형 및 삽입형 바이오센서의 자가동작을 위한 자가구동 배터리의 개발에 대한 요구

가 집중되고 있어, 추후 맞춤형 건강관리 시장의 증가에 따른 글로벌
신시장의 잠재력이 매우 큼

- 일자리창출: 전세계적으로 인체자가구동 바이오배터리에 대한 연구
는 높은 기술적 수요에도 불구하고 국가연구기관 및 대학에서 기초
원천기술을 연구 개발하는 수준에 그쳐있어, 국가 R&D 기반의 원
천기술 확보를 통한 신산업 및 일자리 창출이 가능
- (정부 R&D 투자) 에너지 하베스팅과 관련된 기술 개발과 관련
하여 최근 5년간 총 31개 과제, 42.1억원의 R&D가 진행 중
- 최근 IoT 센서 및 스마트 센서에 적용 가능한 플렉서블형 자가발
전 에너지 하베스터 소재 및 소자 기술 투자 비중이 증가 추세
- 과기정통부·교육부는 원천 기술 개발(자가발전 소재, 플렉서블 에너지
하베스팅 소자, 고효율 회로 등), 산업부는 산업적 수요 대응을 위한
기술 개발(산업화 가능한 수준의 에너지 생산 기술 확보 등) 중심
 - ※ 체내 삽입 가능한 자가발전 바이오배터리에 대한 R&D 연구 지원은
거의 이루어지지 않았으며, 융합연구 형태의 중대형 사업을 통한 기
술 개발이 필요할 것으로 판단됨
 - ※ 체내에서 동작하며 생체신호를 수집하는 삽입형 바이오센서에 대한
연구는 지원되어 왔으나, 이러한 바이오센서를 자가발전을 통해 장기
간 체내에서 동작 가능하게 하는 바이오배터리의 경우 소재 및 소자
에 대한 연구 지원이 미비

2. 기술 평가



- **(미래요구의 중요도)** 4차 산업혁명 및 IoT, 인공지능 기반 스마트 헬스케어 산업은 향후 지속적인 시장의 성장이 예측되며, 핵심 기술인 자가발전 바이오배터리 기술은 그 중요도가 매우 높음
- **(미래문제 해결 기여도)** 체내 자가구동 배터리로 심장, 신경, 혈관, 내분비 등의 신체기관의 모니터링 및 치료를 위한 상시 진단이 가능해짐. 특히 IoH의 응용 범위가 확대되어 헬스케어에 기여하는 범위가 확장됨.
- **(기술의 미래원천성)** 인체삽입이 가능하고, 체내에서 장기간 동작 가능한 자가구동 바이오배터리 기술은 향후 IoT 및 빅데이터 기반 스마트 헬스케어 신산업 분야의 핵심 기술 중 하나로 중요성이 높음
 - 단, 인체 내 동작 가능한 자가발전 바이오배터리 기술*은 산업적 파급효과를 고려하여 정부 차원의 원천기술 확보가 필요
 - * 자가발전 바이오배터리 기술은 의공학, 전자공학, 재료공학, 의학 등 다양한 분야의 기반지식을 필요로 하는 융복합기술의 특성을 보유
- **(국내 R&D 역량)** 최고 기술 보유국 미국 대비 90% 수준으로, 부착형 플렉서블 자가발전 바이오배터리 기술은 우수한 편이나 인체 삽입형 바이오배터리 기술의 국산화는 미흡.

- (글로벌 리딩 가능성) 플렉서블 디바이스, 반도체 융합 바이오 센서, ICT 기술과 관련된 세계 최고 수준의 기술력을 가지고 있고, 향후 IoT 기반 바이오센서 및 자가발전 바이오배터리와 관련된 기술을 선점할 경우 글로벌 리딩 가능성이 높음. 인체 적합성 바이오배터리와 관련된 소재 기술은 선진국 대비 1년 이상의 격차가 있음.

3. 연구개발 내용 및 계획

□ (연구개발 내용)

○ 체내자가구동 바이오배터리

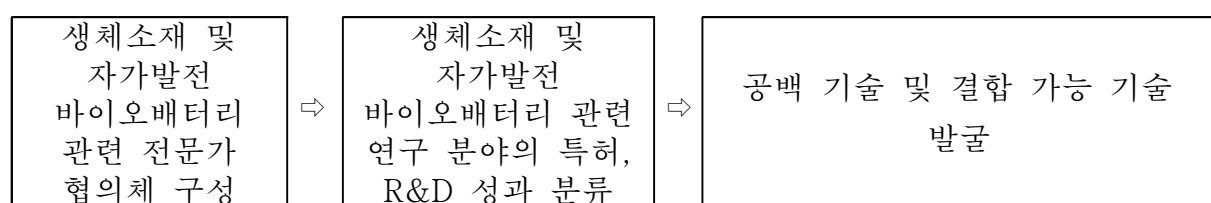
- **면역 거부반응 조절 생체적합성 바이오배터리 표면 제어 기술**
 - － 인체 내부에 디바이스가 이식되었을 경우, 체내의 면역체계에 의한 염증반응의 반복적인 발생에 의해 바이오배터리 및 바이오센서의 장기간 체내 동작이 어렵고 환자의 이식 후 부작용이 발생
 - － 인체 내부에서 장기간 동작이 가능한 체내자가구동 바이오배터리를 구현하기 위해서는 바이오배터리가 인체내에 삽입되었을 때 발생하는 면역 거부반응을 최소화하거나 조절할 수 있는 인체조직-바이오배터리 계면 제어 기술이 반드시 필요함
- **장기나 근육에 부착 가능한 유연 자가발전 바이오배터리 소자**
 - － 인체 내부에서 에너지를 수확하여 바이오센서 및 의료기기에 전원을 공급해주기 위한 자가발전 바이오배터리 소자는 인체의 기계적 움직임(심장박동, 근육 활성화), 혹은 혈당의 화학적 분해과정 등을 포함한 일상 생활에서 발생하는 에너지를 수확하는 기술이 적용되어야 함
 - － 자가발전의 효율을 극대화 하기 위해서는 인체 장기와의 접촉이 용이하고 활동 중에도 이물감을 느끼지 못하도록 유연한 형태의 바이오배터리 구현 기술이 개발되어야 함

□ (활용 분야)

활용분야 (예시)	심박조율기용 자가발전 바이오배터리	혈당측정 장비 구동
활용 개념	퇴화된 감각을 증강시켜 일상생활을 하는 데 도움을 줄 수 있는 핵심소재	높은 인체적합성을 가지고 장기적으로 체내의 혈당을 감지하고 필요시 경보를 보내는 혈당조절 장비의 장기적 구동을 위한 바이오배터리 소자
예상 제품	(심박조율기 전원 공급)	(피하이식형 혈당 측정 센서 전원 공급)

□ (연구개발 계획)

- 현재 장기간 동작 가능한 자가구동 바이오배터리 소재는 기초기술 개발 단계로, 관련기술의 산학연 협력 체재를 구성하여 기술개발 계획



* 년 15억 / 5년, 사업단 (산-학-연-병-관)

4. 투자 방향(안)

- 추후 신산업 창출 및 대한민국의 새로운 미래 먹거리 산업으로서의 가능성이 큰 연구 분야로, 원천기술 확보를 위한 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 산업적 측면에서, ICT, 반도체, IoT 기술의 선도적인 위치를 고수하고 신산업 창출을 통한 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대

가 되며, 이를 위해서는 산업화의 기간이 필요한 **바이오융합 기술의 R&D 지원 확대 필요**

- 단기적으로는 원천기술 확보*를 위해 연구소 및 학교 R&D를 지원하고, 장기적으로는 ICT 및 반도체 기업과의 융합 연구 및 기술 확보를 위한 투자 강화

* IoT 기반 스마트 헬스케어 시장이 확대되면서 생체 내부에서 동작하며 바이오센서에 전력을 공급할 수 있는 인체적합성 자가발전 바이오배터리와 관련된 최첨단 기술 선점을 위한 글로벌 경쟁 심화

- 자가발전 바이오배터리 외에 이를 기반으로 한 타 바이오 융합 응용영역*에 대한 지원 확대

* 예시) 장기간 인체 내부에 삽입 가능한 모니터링 디바이스를 위한 면역제어 소재·센서·데이터 송수신·치료 통합 시스템 개발

○ 의공학, 전자공학, 재료공학, 의학 등 다학제간 융합이 반드시 필요한 융복합기술 개발의 특성을 가지고 있어, 국가연구소를 중심으로 하는 **목표지향형 융복합 연구단*** 구성 및 **중장기 연구를 위한 지원 필요**

- * 다학제 융합연구 프로그램을 통한 인력 양성, 최첨단 장비 운용 및 분석 인력 운용 등
- 국가 연구소, 대학, 병원 등 기관별 실험 및 측정 자료를 종합·공유·활용할 수 있는 협업체계 구축 지원
- 인체내부 동작이 가능한 자가발전 바이오배터리 구현을 위한 핵심 기초 기술은 인체 면역거부 반응 제어 바이오배터리 소재 개발을 우선 실시하고 기 개발된 자가발전 배터리 기술과 융합을 지원

3.2.2.2 100세시대 인체장기 대체·복원기술

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 고령인구의 신체기능 저하에 따른 개인 삶의 만족도 저하, 가족공동체 파괴, 사회적 부담 증가 및 국가 생산능력 감소

□ 고령인구의 지속적인 행복한 삶 및 건실한 고령화 사회를 위한 인체장기 대체 및 복원소재 개발

○ 초고령화 시대의 진입에 따라 고령인구의 건강한 생활에 필요한 인공장기 및 바이오닉 소재개발 요구

* 2030년기준 65세 이상 초고령인구의 경우 국내 24.3%, 세계 11.6% 이상 전망

－ 감각기관 및 신체 기능저하를 위화감 없이 복원 및 보조해 줄 수 있는 인체조직 대체소재의 개발

－ 고령인구의 정상적인 사회활동을 저해하는 인체 핵심 장기 및 골기능 저하문제를 해결하기 위한 인공장기 및 골조직 이식 소재 개발

(2) 기술현안

◆ 초고령화 사회 진입에 따른 핵심 감각 및 장기 기능, 골기능성 저하 문제를 갖는 고령인구의 정상적인 사회활동을 위한 인체장기 대체 및 복원소재 개발 필요

□ 5대 감각기능 보조를 위한 바이오닉 소재 개발

○ 인공망막, 인공와우, 바이오 전자코 및 전자혀 등 체내에 삽입하여 기존 감각을 효과적으로 재생하거나 보조할 수 있는 바이오닉 소재 개발

□ 심미기능성이 향상된 인체 보조기구 소재 개발

- 신체 조직을 모사하여 사회적으로 위화감이 들지 않는 인체색상 맞춤형 인공 피부소재 개발

□ 노화에 따른 잦은 골기능 및 장기 기능 저하를 보조해 줄 맞춤형 의료소재 개발

- 복합세포 프린팅과 같은 차세대 4D 프린팅 기술을 활용한 환자맞춤형 매트릭스 소재 개발

□ 생체 거부반응이 없는 생체조직-소재 인터페이싱 제어기술 개발

- 생체안정성 및 생체적합성을 갖는 생체대체 의료소재 개발의 개발

(3) 미래대응소재

- ◆ 신체기능을 온전히 복원 혹은 보조하며 인체조직과 유사한 소재로 제작되어 부작용이 없고 심미적으로 완전한 대체소재 개발

12. 신체감각 보조용 바이오닉소재

기술 개요	감각기관의 노화에 따른 기능퇴화를 재생하거나 보조할 수 있는 바이오닉소재기술
----------	--

1. 주요 현황

□ (연구현황) 신체 5대 감각기능 저하는 노화에 따라 필연적으로 일어나며 초고령인구의 정상적인 사회활동을 저해하고 있음. 또한 기존의 신체감각 보조소재는 심미적 기능이 떨어져 사회적 위화감을 조성하고 있어 인체에 거부감 없이 이식되어 저하된 신체감각을 증강시킬 수 있는 소재 개발이 요구됨

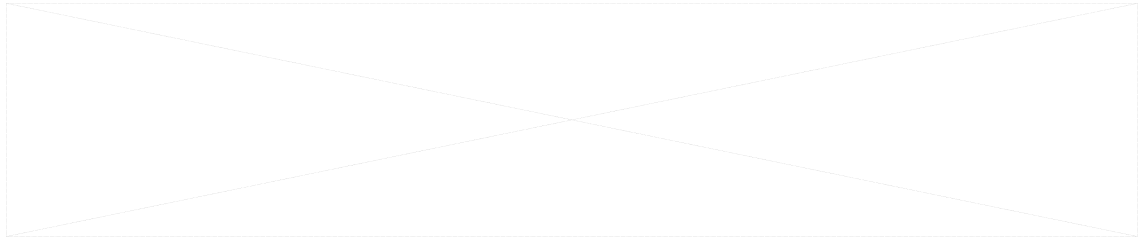
○ 신체감각 보조용 바이오닉 소재는 국내외 모두 개념 증명을 위한 초기개발단계에 있음. 그러나 장시간 인체 이식 시 인체 면역거부 반응에 의한 부작용 발생 및 신호전달 효율 저하 등에 대한 문제 해결책이 제시되지 않고 있음

○ 국내에서는 대표적으로 마찰전기를 활용한 임플란트용 인공와우개발 (DGIST), 액정 고분자를 활용한 망막보조 소재개발 (서울대), 인공 전자피부 소재개발 (UNIST)이 있고 국외에서도 시각 신경 자극 렌즈 개발 (미 존스홉킨스 대학), 3D프린팅 기술을 이용한 청각 신경 자극센서를 포함하는 바이오닉 귀 개발 (미 프린스턴 대학) 등의 바이오닉 소재개발이 이루어지고 있다

□ (시장동향) - 신체감각 보조용 제품은 현재 시각용 렌즈, 청각용 마이크, 감각 모니터용 가속도 센서 등의 기초적 센서 소자가 대부분이고 장기간 인체 이식이 가능한 형태의 대체용 바이오 소재는 기초 개발 단계에 머물러 있음

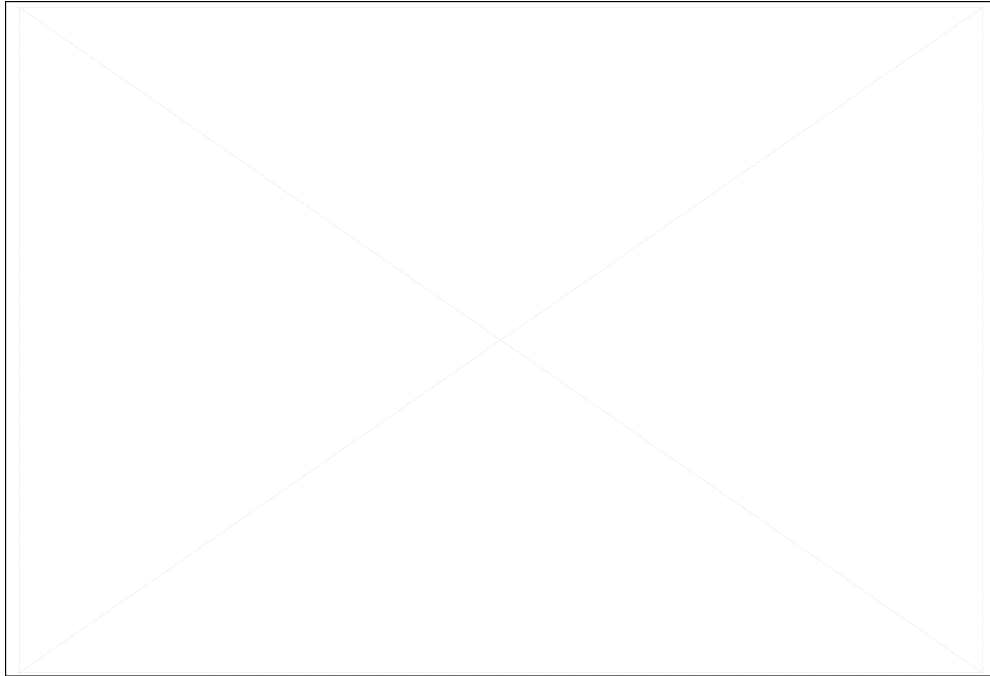
○ 미래먹거리: 시각, 청각, 감각보조제품 분야의 국내시장 규모는 2013년부터 2018년 까지 연평균 6.45% 성장률로 2018년 3,643억의 시장이 형성 될 것으로 전망됨

○ 글로벌신시장: 시각, 청각, 감각보조제품 분야의 세계시장 규모는 2013년부터 2018년 까지 연평균 5.20% 성장률로 2018년 183억 달러에 이를 것으로 전망됨. 하지만 해당 통계는 기존의 보조기기에 한정되어 있어 감각 증강용 바이오닉 소재기술 접목 시 지속적인 시장 성장과 신시장 창출이 일어날 것으로 기대됨



- 일자리창출: 현재 신체감각 보조용 제품은 간단한 센서 형태로 중소, 중견 기업을 중심으로 소형 기기로 제작 및 판매되고 있음. 신체 기관을 대체 할 수 있고 장기간 체내 사용가능한 형태의 소재 및 제품 개발은 국내외적으로 이루어지지 않는 상태임. 초 고령 사회 진입을 고려하였을 신체감각 보조용 바이오닉 소재기술의 수요가 급증하고 고부가가치 신시장 창출을 이끌 것으로 예상됨
- (정부 R&D 투자) 바이오닉소재 개발은 최근 5년간 14개 과제, 약 72억원의 R&D (NTIS 등록 기준)가 진행되었고, 장기간 이용을 위한 인체 삽입 후 면역 거부 반응 제어와 신호전달 효율을 중심으로 진행되는 과제는 전무한 실정
- 과기정통부 STEAM연구사업, 첨단융합기술개발, 글로벌프론티어사업 으로 투자되어 왔고 해수부의 해양수산생명공학기술 개발 사업으로 융복합 바이오닉스 진단기기개발 사업에 투자되었음. 산학연 협력체계 구성을 통한 정부 R&D 투자가 필요함.

2. 기술평가



- **(미래요구의 중요도)** 초고령 사회 진입에 따라 미래에는 청장년층과 노년층이 협업하는 상황이 많이 발생할 것으로 예상됨. 감각 증강 바이오닉 소재는 퇴화 감각을 가진 노년층이 일상생활 및 사회생활을 영위하는데 도움을 줘 개인의 삶의 질 향상은 물론 노인 사회문제 해결에 기여할 수 있음.
- **(미래문제 해결 기여도)** 노화에 의한 감각 퇴화 해결은 물론, 선·후천적 질병 및 사고에 의한 감각 퇴화 치료에도 적용 할 수 있음. 감각 기관과 연결되어 있는 신경은 한 번 손상되면 다시 재생되지 않기 때문에 감각 증강용 바이오닉 소재 개발이 반드시 필요함.
- **(기술의 미래원천성)** 인체에 이식가능하고 면역거부반응을 제어하여 장기간 사용에 따른 부작용이 없는 소재개발과 동시에 착용자의 심미적 기능 향상을 동시에 도모하는 원천 소재기술 개발이 전무함. 또한 상기 기술적 특징과 함께 장기간 사용에 따른 신호 및 효율 저하 문제를 극복할 수 있는 소재 및 소자화 기술이 개발된다면 기술적 선도 및 신시장 창출에 앞장 설 수 있을 것으로 판단됨.
- **(국내 R&D 역량)** 국내 기술과 세계 기술의 격차가 거의 없는 것으로 파악됨. 현재 국내에서는 시각 증강 인공렌즈 개발, 청력 증폭 보청기 개

발, 신경 자극 시스템 개발, 임플란트용 인공 와우 개발등 대표적으로 5개의 팀이 연구개발을 수행 중. 현재 수행중인 연구들은 감각 기능 대체에 중점적으로 이루어지고 있음. 체내 장기적 사용과 면역 거부 반응 제어, 심미적 기능을 동시에 갖춘 소재에 대한 연구 개발이 필요함.

- (글로벌 리딩 가능성) 현재 분야에 따라 국내 기술이 세계 기술을 선도하는 분야가 있고, 아직 기술적 격차가 나타나는 부분이 있음. 해당 분야는 생체 재료 분야, 전기전자, 광학, 통신 등 최첨단 융복합 기술이 융합되는 분야로, 현재 국내 개발 중인 연구들을 종합 할 수 있는 대형 과제로 기획하여 세계기술 대비 기술적 장벽을 높이고 기술 격차를 벌려 시장을 선점할 필요가 있음.

3. 연구개발 내용 및 계획

□ (연구개발 내용)

○ 감각증강을 위한 바이오닉 소재 기술

- 5대 감각 증강을 위한 바이오닉 소재 기술로서 시각과 청각 증강을 위한 소재연구가 매우 초보적 수준에서 이루어지고 있고 장시간 인체 이식이 불가함. 인체 이식 시 필연적으로 발생하는 면역거부 반응을 제어하여 장시간 인체 이식에 따른 부작용 제거 및 신호전달 효율 지속이 가능한 바이오닉 미래 소재 기술을 개발함

○ 청각 증강 소재 기술 - 인공 달팽이관 소재

- 청각의 경우 외부의 마찰전기 및 압전소자 등을 활용하여 음파의 기계적 신호를 전기적 신호로 변화해주는 인공 소재 기술 및 면역 거부 반응 조절 소재 기술

○ 시각 증강 소재 기술 - 인공 망막 소재

- 시각의 경우 외부의 빛 신호를 전기적 신호로 변환하여 뇌로 전달 할 수 있는 소재 및 소자화 기술, 면역 거부 반응 조절 소재 기술

□ (활용 분야)

활용분야 (예시)	감각 증강 소재	인공피부 소재
활용 개념	퇴화된 감각을 증강시켜 일상생활을 하는 데 도움을 줄 수 있는 핵심소재	높은 인체적합성 및 심미성을 갖추고 촉각이 실제 조직과 견주어 부족함이 없는 소재
예상 제품	(감각증강 기구)	(인공피부)

4. 투자 방향(안)

◆ 신체감각 보조용 바이오닉 소재기술은 감각기관의 노화에 따른 기능퇴화를 재생하거나 보조할 수 있는 소재로 고령인구의 삶의 질을 높이기 위한 소재기술로 주목받고 있음 ▲감각 증강을 위한 바이오닉 소재기술 ▲장기간 체내 사용과 신호전달 효율을 확보할 수 있는 원천기술 개발 및 중소기업 R&D 지원 확대 필요 (과기정통부·복지부·산업부)

- 신체감각 보조용 바이오닉 소재는 의료, 전기전자, 통신, 광학, 생체재료 등 융복합 연구가 반드시 필요한 연구분야로 정부 중심의 대형 R&D 투자 및 성과확산이 필요함
- 고령화에 따른 신체 감각 보조용 바이오닉 소재의 수요가 급증할 것으로 판단됨. 신시장 창출과 세계시장 선점을 위해 소재기술

R&D 지원 확대가 필요함

- 현재 신체감각 보조용 바이오닉 소재는 기초기술 개발단계에 있음. 관련 기술의 산학연 협력 체계를 구성하고 기초, 응용, 개발 단계로 나누어 지원 확대가 필요함
- 임상 적용과 장기적 안정성 문제 해결을 위해 의료기관 및 소재 검증 기관과의 융합연구에 대한 지원이 반드시 필요함

13. 골대사 조절소재

기술 개요	골대사 조절 기능 소재기술은 노화 혹은 질환으로 인하여 저하된 골대사 (골생성 및 골흡수) 기능의 정상화로 자율적 골건강 증진 및 골이식재 기능 향상 등이 가능하도록 하는 기능성 핵심소재기술
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) 골형성 촉진 단백질(BMP 등)을 적용하는 기술이 실용화되었으나 부적절한 위치에서의 골형성 등 부작용 발생. 기타 일반적인 골대사 기능 소재기술은 대부분 골형성 촉진 원소/물질의 체내 방출속도 제어 기술로서 환자 맞춤형 적용이 불가함. 초고령화 미래사회에 대응하기 위해서는 “환자의 상태에 반응하여 골대사를 임의로 제어할 수 있는 소재 기술”이 요구됨

	주요성과 (관련 분야 기술)	주요내용
특 허	골다공증 치료용 유효성분을 함유하는 경조직 재생용 지지체 및 이의 제조방법 (재료연)	○ 골대사 조절기능이 있는 식품성분을 포함한 골 이식재 제조법 ⇒ 골절 유발 확률이 높은 골다공증환자의 골대 사를 정상화하여 효율적 골재생을 유도하는 기술 (국내1728675/ US14/952,471)
특 허	서방형 골다공증치료제를 담지한 골충진재 (한스바이오메드)	○ 인체탈회골에 골다공증치료제를 담지한 골충진 재 제조법 ⇒ 골다공증 환자 치료제로 사용되는 alendronate 를 장기서방으로 방출하여 골충진재 효율을 향상시키는 기술 (국내1115964)
논 문	파골세포의 골흡수 기능을 제어한 스트론튬 담지 인산칼슘 시멘트 (Technische Univeritat Dresden)	○ 스트론튬 이온을 효율적으로 인산칼슘 시멘트에 담지하여 파골세포 활성 억제기능을 가진 골시 멘트 제조법 ⇒ 골소실 속도를 제어하여 골밀도 균형을 맞추는 기술 (Acta biomater. 2016, 37, 184)

□ (시장동향)

- BCC Research가 최근 발표한 Regenerative Medicines: Bone and Joint Applications에 따르면 2015년 뼈 및 관절 관련 재생의학 (Regenerative Medicines) 시장 규모는 약 29억 달러로 향후 6.8%의 연평균 복합 성장률(CAGR)로 성장해 2020년에는 전체 시장 규모가 약 41억 달러에 달할 것으로 예상하고 있음
- 재생의학을 포함하여 좀 더 확장된 Global Orthobiologics Biomaterials 시장을 보고한 MarketsandMarkets에서는 2014년 48.7억 달러의 시장규모와 14.4%의 연평균 복합 성장률(CAGR)로 성장할 것으로 예측하고 있음

- (정부 R&D 투자) 골대사 질환 치료제와 관련된 기술 개발은 주로 0.5억 정도의 개별과제 중심으로 골대사 기전연구의 형태로 진행되고 있으며, 이를 제외한 치료제와 관련된 연구개발과제는 최근 5년간 11개 과제, 약 96억원의 R&D (NTIS 등록 기준)가 진행되고 있음. 하지만 이 중 2008년부터 약 6년간 지원된 서울대학교의 골대사연구센터 지원과제(약 60억원)를 제외하면 지원 예정과제를 포함하여 36억원 정도로 골대사 질환 치료제 관련 정부지원은 미미한 실정
- 또한 이들 과제들도 주로 천연물 혹은 인체 내 기전에 관여하는 인자의 대사작용 기전을 이용한 연구로 골이식재 등에 적용되는 직접적인 치료제관련 기능성 핵심소재 기술은 거의 없는 상황임.

2. 기술 평가



- (미래요구의 중요도) 초고령 사회 진입에 따라 만성질환 중 하나인 골대사 질환의 발생은 피할 수 없는 심각한 사회문제가 될 것으로 예상됨. 골다공증을 포함한 골질환 치료를 위한 핵심소재기술은 노년층이 일상생활

및 사회생활을 안정적으로 영위함으로써 개인의 삶의 질 향상은 물론 다가오는 노인 사회문제 해결에 크게 기여할 수 있음.

- **(미래문제 해결 기여도)** 초고령화 사회에서 피할 수 없는 골질환 치료를 위한 핵심소재기술은 기하급수적으로 늘어나는 치료비 등 사회경제적 손실을 획기적으로 줄일 뿐만 아니라 경제활동 연령을 크게 증가시켜 기대수명과 건강수명의 차이를 줄임으로써 다가오는 초고령화 사회문제 해결의 핵심기술로서 반드시 개발되어야 함.
- **(기술의 미래원천성)** 종래의 골재생 혹은 골대체를 위한 소재는 골대사를 제어할 수 있는 기능을 가지지 않고 골이식재로 골절치료 혹은 골기능대체를 수행하고 경구투여 등을 통한 약물로 수동적 골대사 제어를 시도하고 있음. 이에 초고령사회 진행과 더불어 시장이 급격히 확대되고 있는 노인 혹은 골대사 질환 환자용 치과, 정형외과, 성형외과 및 뇌신경외과 등에서 사용되는 골이식소재에 골대사를 능동적으로 판단하여 제어할 수 있는 기능을 부여한 소재를 개발함으로써 원천기술 확보를 통한 사회문제 해결뿐 만이 아니라 세계기술 선도 및 미래 신시장 창출에 앞장설 수 있을 것이라 판단됨.
- **(국내 R&D 역량)** 본 기술은 아직 태동기로 국내 기술과 세계 기술의 격차가 미미한 것으로 파악됨. 현재 국내에서는 개별 연구자들을 통해 다양한 골대사 및 질환에 관한 기초연구가 진행되고 있고, 이들 기초연구를 바탕으로 생물유래 물질, 합성물질 등 다양한 연구결과가 발표되고 있음. 또한 생체소재기술, 3D프린팅 등 미래기술과 세계적으로 인정받는 의료기술이 있어 이들을 종합하여 체계적으로 조직하고 타겟에 맞게 집중적인 투자와 연구가 진행된다면 선도기술로 발전할 수 있을 것이라 판단됨.
- **(글로벌 리딩 가능성)** 현재 분야에 따라 국내 기술이 세계 기술을 선도하는 분야가 있고, 아직 기술적 격차가 나타나는 부분이 있음. 해당 분야는 생체 재료 분야, 생명공학분야, 화학분야, 의료분야 뿐만 아니라 3D프린팅 등 최첨단 미래 핵심기술이 융합되는 분야로, 현재 국내 개발 중인 연구들을 종합 할 수 있는 대형 과제로 기획하여 세계기술 대비 기술적 장벽을 높이고 기술 격차를 벌려 시장을 선점할 필요가 있음.

3. 연구개발 내용 및 계획

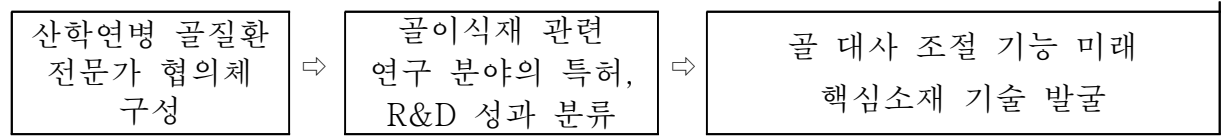
□ (연구개발 내용)

- 골대사 질환 유래 골결손 치료용 골이식재가 골결손 치료뿐만이 아닌 골대사 정상화를 유도하여 빠른 골재생의 유도과 골대사 기능 정상화를 동시에 수행하는 생체소재 기술
 - 인체골은 일생을 통해 생겨나고 없어지는 골대사에 의해 항상성을 유지하고 있으나 노화 혹은 질병 등으로 인해 골대사의 균형이 깨어지면 골밀도 감소로 인한 골절 및 반복적 재골절로 인한 사망 등의 문제를 동반하게 됨
 - 현재 기술은 효율적 골재생을 유도하기 위한 골이식재 형상 및 약물 방출을 제어하는 기술에 치중되어 있으나 이는 골형성을 증진시키는 일방향성 소재기술로서 환자의 상태를 고려한 맞춤 적용이 불가함. 따라서 “환자의 상태에 반응하여 골재생 능력 및 주변 골대사 양상을 임의로 제어할 수 있는 소재 기술”이 반드시 필요함

□ (활용 분야)

활용 분야	골다공증 유래 골절 치료재	치과용 골이식재	기능성 골시멘트
활용 개념	빠른 골재생 유도 및 주변 골대사기능 정상화	골밀도 증진기능을 가지는 치과 임플란트용 약골 이식재	정형, 성형 및 뇌신경 외용 고기능성 골시멘트
예상 제품	(기능성 골절치료재)	(치과용 골충진재, 이식재)	(골시멘트)

□ (연구개발 계획) 관련기술의 산학연병 협력 체재로 기술개발 지원 계획



* 년 15억 / 5년, 사업단 (산-학-연-병-관)

4. 투자 방향(안)

◆ 골대사 조절 소재기술은 초고령화 시대에 피할 수 없는 만성질환인 골질환을 반영구적으로 치유할 수 있는 빠른 골재생의 유도과 골대사 기능 정상화를 동시에 수행하는 생체소재기술로 고령인구의 삶의 질을 높이기 위한 핵심원천기술 개발 및 중소기업 R&D 지원 확대를 위해 반드시 필요 (과학기술정보통신부·보건복지부·산업부)

- 골질환 관련 의료기기 산업은 고성장을 유지하고 있고 향후에도 지속적인 성장이 전망되는 고부가가치 유망산업이므로 국가브랜드 향상 및 글로벌 시장 선점을 위한 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 골대사 조절 소재는 생체재료공학, 생명공학, 화학공학, 의료산업과 3D프린팅 등의 첨단 미래기술의 융복합 연구가 반드시 필요한 연구분야로 정부 중심의 대형 R&D 투자 및 성과확산이 필요함
- 초고령화에 따른 골대사 조절 소재의 시장은 급성장 할 것으로 판단되며, 이에 신시장 창출과 세계시장 선점을 위해 소재기술 R&D 지원 확대가 필요함
- 현재 골대사 조절 소재는 도입기 기술로 관련 기술의 산학연병 협력 체계를 구성하고 기초, 응용, 개발 및 임상, 제품화 단계로 나누어 지원 확대가 필요함

- 임상 적용과 장기적 안정성 문제 해결을 위해 의료기관 및 소재 검증 기관과의 융합연구에 대한 지원이 반드시 필요함

14. 결손공간 감응 4D 프린팅 소재

기술 개요	고령화에 따른 신체기능 저하에 의해 빈번해지는 골절사고, 조직 손상에 따른 부상 및 합병증 예방을 위한 결손공간 감응 자가치유 소재기술
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 질병이나 사고에 의해 발생한 조직의 결손은 정확하게 예측/대체가 어렵고, 개체별로 매우 다양하므로, 맞춤형 치료가 요구되는 가운데 결손공간 감응 4D 프린팅에 의한 조직 재생은 신체 내 발생하는 결손 및 회복에 대한 정확한 맞춤형 치료를 가능하게 하는 자가조립소재, 자가치유(self-healing)소재를 제공함으로써 건강한 100세 사회 실현을 위한 획기적 치료기술을 제공
- 최고기술 보유국인 미국은 복합재료를 이용하여 프린팅 후 자가변형 또는 자기조립하는 4D 프린팅 바이오소재 기술을 기 확보
- 국내에서도 형상기억 및 생리활성 소재를 이용한 4D 프린팅 소재를 이용한 골조직 재생 및 연조직 재생을 이용한 연구가 활발히 진행 중
- (시장동향) - (인공장기 & 바이오닉 산업) 우리나라는 2011년 65세 이상 인구가 전체의 11.3% (약 549만 명)로 세계 역사상 가장 빠른 속도로 고령화가 진행 중이며 연도별 예상되는 초고령 인구는 2030년에 24.3%, 2060년에는 40%정도 증가할 전망. 초고령화 시대의 급속한 도래로 인하여 건강한 삶에 대한 관심 및 수요증가로 인

공장기 및 바이오닉 시장의 급격한 성장 예상

- 미래먹거리 조직재생 관련 제품 세계시장은 '16년 900억불 규모, 매년 8.4% 성장 전망으로 '20년에는 1200억불 규모로 전망 (BCC Research, 2012)
- 글로벌신시장 국내 조직재생관련 생체재료 시장은 '13년 130억불에서 연평균 10.5%의 높은 성장률로 '18년에는 214억불 초과 전망
- 일자리창출 반면, 국내 인공장기 및 바이오닉 소재 산업은 벤처 및 중소기업 위주로 이미 상품화된 원재료를 2차 가공하는 수준으로 대부분의 인공장기 제품 및 재생소재를 수입에 의존
- (정부 R&D 투자) 4D프린팅에 관한 과제가 '17년 총 10개 과제, 15억원의 R&D가 진행이나 4D프린팅에 의한 인공장기 및 재생 관련 과제는 전무한 실정
- 다만 최근 3년간 3D프린팅 기술을 이용한 조직재생, 인공장기 제작에 관한 투자 비중이 증가 추세*에 있으나 4D 프린팅에 의한 인공장기 및 재생 관련 과제의 투자가 절실함
 - ※ ('13년) 정부 과제 4개
 - ('17년) 정부과제 35개
- 과기정통부는 바이오소재 및 프린팅 기술관련 프린팅 원천기술 개발, 복지부는 프린팅 기술을 이용한 이식재, 임상적용기술 개발 중심

2. 기술 평가



- (미래요구의 중요도) 최고 기술 보유국 미국 대비 70% 수준으로, 조직재
생 관련 생체재료기술은 우수한 편이나 4차원 반응의 계산을 기반으로
하는 4D프린팅 소재의 핵심기술의 국산화는 미흡
- (미래문제 해결 기여도) 신체 결손공간의 자가치유로 복잡하고 예측하
기 힘든 결손의 보강 및 재생이 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 임상실용화는 허가, 규제에 따른 제도적인 장벽으
로 시간과 비용의 제한에 따라 중요도는 보통이나, 고령화 사회의 삶
의 질 향상을 위해 사회문제 해결을 위해 조속한 성과도출이 필요한
분야로 평가
- (국내 R&D 역량) 국내 출연연 및 대학을 중심으로 4D프린팅 소재
및 구조해석에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 국내 R&D역량
은 충분하다고 사료됨
- (글로벌 리딩 가능성) 최고기술 보유국인 미국은 복합재료를 이용하여
프린팅 후 자가변형 또는 자기조립하는 4D 프린팅 바이오소재 기술
을 기 확보하고 있어 현재 국내 기술격차는 5년 정도로 예측하고 있
으나, 국내 연구역량이 빠르게 성장하고 있음

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 4차산업혁명 시대의 핵심요소인 3D 프린팅기술을 이용한 골결손 치료용 소재는 아직 성장 중인 환자용으로는 적합하지 않으므로 환자의 성장에 따라 달라지는 골결손부위의 크기에 대응하여 스스로 공간을 감지하고 늘어날 수 있는 자가성장 4D프린팅 생체소재
 - 주변 환경 혹은 능동적 제어에 의해 변형, 분화, 생체화 하여 결손에 감응하는 4D 프린팅 소재 개발
 - 생체적합 프린팅 소재의 4차원 구조체 인쇄 기술 개발
 - 구조체의 재생능 평가 기술 개발
- (활용 분야) 소재가 스스로 재생에 참여하는 자가조립/자가치유 기능의 의료용 4D프린팅 소재를 개발함으로써 골결손을 포함하여 체내의 복잡하고 예측하기 힘든 결손부위의 재생을 가능하게 해주는 새로운 미래소재를 제공함으로써 관련 복합의료산업에 활용가능
 - 성장에 따라 부피가 변하는 인체 조직, 특히 뼈 이식소재에 적용
 - 환자의 질환부위 특성에 따른 환자 맞춤형 이식/재생용 소재로 활용
 - 의료용 이외에 다양한 산업분야에 자극 감응/자가 변화 형 4D 프린팅 기술 적용
- (연구개발 계획) 4D프린팅 소재개발 및 프린팅 공정기술개발, 개발된 소재의 유효성/안전성 체내 검증기술 개발에 대한 전주기적 연구가 필요
 - 단기적으로는 인체 이식이 가능한 4D프린팅 소재 설계 및 계산과학에 기반한 자가조립 구조 설계, 결손공간, 재생환경 감응에 의한 능동적 자가회복 기능 연구가 필요
 - 장기적으로는 임상 실용화를 위한 소재의 체내 유효성, 안전성 평가

4. 투자 방향(안)

◆ 4D프린팅은 4차산업혁명의 핵심기술로 최근 미래기술로 주목을 받는 분야임 ▲4D프린팅 소재 및 구조 설계 ▲의료용 4D프린팅 기술개발 분야는 국내외 시장에 선제적으로 대응할 수 있는 원천기술 확보 및 중소기업 R&D 지원 확대 필요 (과기정통부·보건복지부)

- 4D프린팅 소재 및 구조설계, 재생 소재로서의 유효성, 안전성 검증이 큰 연구분야로, 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 산업적 측면산업적 측면에서 프린팅 소재 및 구조체의 임상실용화를 위해서는 소재기술 R&D 지원 확대 필요
 - 노령화 사회 및 4차산업혁명 시대의 도래로 고령친화 소재 및 재생소재, 의료용 4D프린팅 소재 기술 선점형 원천기술 확보를 위한 투자 강화
 - 4D프린팅소재와 이를 이용한 재생기술을 기반으로한 임상적 응용영역에 대한 지원 확대
- 현안 해결 측면에서는 결손공간/재생환경 감응을 통한 맞춤형 재생을 위한 4D프린팅 소재의 설계 및 구조체 개발 및 이의 안정성 확보를 위한 지원이 필요
 - 기존 3D 프린팅, 재생소재에 대한 한계점을 인식하고, 이를 극복한 첨단 기술을 확보하기 위한 중장기 전략 마련이 필요
 - 복지부, 식약처, 산업부 등 개발 소재의 임상 실용화를 위한 전략을 사전에 자료를 종합·공유·활용할 수 있는 협업체계 구축 지원

]15. 장기기능 맞춤 매트릭스

기술 개요	복합 기능성 고분자 생체재료를 이용한 복합세포 바이오프린팅 기술을 통한 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재기술 개발
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 질병이나 사고에 의해 발생한 장기의 손상은 그 기능을 완전히 회복하고 재생하는데 있어 개체별로 매우 다양하므로, 맞춤형 치료가 요구되는 가운데 장기기능 맞춤 매트릭스 소재 개발은 각 장기에 특화된 바이오프린팅 소재를 제공함으로써 신체 내 발생하는 결손 및 회복에 대한 정확한 맞춤형 치료를 가능하게 함으로써 건강한 100세 사회 실현을 위한 획기적 치료기술을 제공
- 최고기술 보유국인 미국은 하이드로겔을 이용한 정밀 세포 프린팅 기술, 바이오프린팅 조직 모델 개발 기술을 기 확보
- 국내에서도 3차원 세포 프린팅에 의한 환자 맞춤형 인공장기 개발 및 생리활성 바이오잉크를 이용한 장기재생 연구가 활발히 진행 중
- (시장동향) - (인공장기 & 바이오닉 산업) 우리나라는 2011년 65세 이상 인구가 전체의 11.3% (약 549만 명)로 세계 역사상 가장 빠른 속도로 고령화가 진행 중이며 연도별 예상되는 초고령 인구는 2030년에 24.3%, 2060년에는 40%정도 증가할 전망. 초고령화 시대의 급속한 도래로 인하여 건강한 삶에 대한 관심 및 수요증가로 인공장기 및 바이오닉 시장의 급격한 성장 예상
- 미래먹거리: 세포·조직공학 치료제 관련 세계 시장 규모는 분석 기관마다 큰 차이를 보이고 있지만 2016년에는 1,250억 달러에 이르렀으며 (연평균 21.5% 성장), 특히 줄기세포 등을 이용한 새로운

바이오프린팅 제품 시장은 향후 크게 성장할 전망

- 글로벌신시장: 국내 조직재생관련 생체재료 시장은 '13년 130억불에서 연평균 10.5%의 높은 성장률로 '18년에는 214억불 초과 전망
- 일자리창출: 반면, 국내 인공장기 및 바이오닉 소재 산업은 벤처 및 중소기업 위주로 이미 상품화된 원재료를 2차 가공하는 수준으로 대부분의 인공장기 제품 및 재생소재를 수입에 의존 바이오/의료분야에 적용가능한 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재 산업은 고령화 사회에 있어 매우 큰 수요를 가지고 있으나 현재까지는 해외기업이 독점하는 상황에서 매우 취약한 연구실정
- (정부 R&D 투자) 바이오 프린팅 관련 과제는 '17년 총 41개 과제로, 약 60억원의 R&D가 진행 중이나, 간 등의 특정 장기로 치중되어 있어 미래소재 확보 차원에서 매우 취약한 실정
- 최근 3년간 바이오 프린팅 기술을 이용한 조직재생, 인공장기 제작에 관한 투자 비중이 증가 추세
 - ※ ('13년) 정부 과제 5개
 - ('17년) 정부과제 41개
- 과기정통부는 바이오프린팅 소재 및 프린팅 기술관련 프린팅 원천기술 개발, 복지부는 질환 타겟 치료기술 및 임상적용기술 개발 중 심

2. 기술 평가



- (미래요구의 중요도) 최고 기술 보유국 미국 대비 80% 수준으로, 조직재생 관련 생체재료기술은 우수한 편이나 장기 맞춤형 소재, 세포를 기반으로 하는 바이오프린팅 소재의 핵심기술의 국산화는 미흡
- (미래문제 해결 기여도) 장기손상 및 결손 문제를 해결함에 따라 장기기증 및 줄기세포분화에서 파생되는 문제점을 해결할 수 있음
- (기술의 미래원천성) 임상실용화는 허가, 규제에 따른 제도적인 장벽으로 시간과 비용의 제한에 따라 중요도는 보통이나, 고령화 사회의 삶의 질 향상을 위해 사회문제 해결을 위해 조속한 성과도출이 필요한 분야로 평가
- (국내 R&D 역량) 국내 출연연 및 대학을 중심으로 바이오프린팅 소재 및 장기제작에 대한 연구가 활발히 진행되고 있어 국내 R&D 역량은 충분하다고 사료됨
- (글로벌 리딩 가능성) 최고기술 보유국인 미국은 복하이드로겔을 이용한 정밀 세포 프린팅기술, 바이오프린팅 조직 모델 개발 기술을 기 확보하고 있어 현재 국내 기술격차는 2년 정도로 예측하고 있으며, 국내 역량이 매우 충분하게 빠르게 성장하고 있음

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 기존 바이오 잉크 소재는 다양한 물리·화학·생물학적 특성을 갖는 생체 내 조직 미세 환경을 구현하기에는 한계가 있음. 장기기능 모사와 더불어 우수한 생체적합성, 기계적 물성 및 정밀한 형상을 구현할 수 있는 차세대 바이오프린팅 매트릭스 소재 개발
 - 생체내 장기의 기능 및 미세환경 조건을 모사할수 있는 생체유사 인공 조직체를 위한 장기기능 맞춤형 차세대 바이오잉크 소재 개발
 - 생체적합 프린팅 소재의 4차원 구조 조직체 프린팅 기술 개발
 - 바이오잉크 소재의 장기 맞춤 다변화 및 데이터베이스 확보
- (활용 분야) 4차 산업혁명과 더불어 바이오잉크소재 및 프린팅 기술 시장의 규모는 지속적으로 증가할 전망이며, 차세대 매트릭스소재 개발을 통해 고부가 가치를 창출할 수 있을 것으로 기대
 - 차세대 장기 기능 맞춤형 소재 및 프린팅 원천 기술 확보, 의료산업 및 관련 바이오산업의 경쟁력을 확보를 통한 국내 바이오프린팅 산업 발전과 경제적 활성화 유도가 예상
 - 기존 바이오잉크 소재의 단점을 극복하고 차세대 바이오프린팅 기술 분야의 발전에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 기대되며, 초고령화 사회대비 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재로서 인공 장기 생산 기술 개발 및 임상적용 기대
 - 4D 프린터 기반 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재의 생체적용을 통해 미래이슈 선점
- (연구개발 계획) 장기기능 맞춤 매트릭스 소재개발 및 장기 조직체 생산기술 개발, 바이오프린팅 개발, 개발된 소재의 유효성/안전성 조직기능 검증기술 개발에 대한 전주기적 연구가 필요
 - 단기적으로는 장기 기능 및 미세환경 조건을 모사할 수 있는 장기 기능 맞춤 매트릭스 소재 개발, 조직체 3차원 형상 구현을 위한 바

이오프린팅 기술 개발 연구가 필요

- 장기적으로는 임상 실용화를 위한 소재의 체내 유효성, 안전성 평가

4. 투자 방향(안)

◆ 바이오프린팅은 고령화사회, 4차산업혁명의 핵심기술로 최근 미래기술로 주목을 받는 분야임 ▲바이오프린팅 소재 디자인 ▲바이오프린팅 기술개발 분야는 국내외 시장에 선제적으로 대응할 수 있는 원천기술 확보 및 중소기업 R&D 지원 확대 필요(과기정통부·복지부)

- 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재 및 바이오프린팅 기술, 재생 소재로서의 유효성, 안전성 검증이 큰 연구분야로, 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 산업적 측면산업적 측면에서 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재 및 바이오프린팅 구조체의 임상실용화를 위해서는 소재기술 R&D 지원 확대 필요
 - － 노령화 사회 및 4차산업혁명 시대의 도래로 고령친화 소재 및 재생소재, 바이오프린팅 소재 기술 선점형 원천기술 확보를 위한 투자 강화
 - － 장기기능 맞춤형 매트릭스소재와 이를 이용한 바이오프린팅 기술을 기반으로한 임상적 응용영역에 대한 지원 확대
- 현안 해결 측면에서는 장기기능 맞춤형 매트릭스 소재를 이용한 장기조직체 개발 및 이의 안정성 확보를 위한 지원이 필요
 - － 기존 바이오프린팅, 장기맞춤 소재에 대한 한계점을 인식하고, 이를 극복한 첨단 기술을 확보하기 위한 중장기 전략 마련이 필요
 - － 복지부, 식약처, 산업부 등 개발 소재의 임상 실용화를 위한 전략을 사전에 자료를 종합·공유·활용할 수 있는 협업체계 구축 지원

16. 생체조직-소재 인터페이스 부작용 억제소재

기술 개요	생체소재 인터페이싱 제어 기술을 이용하여 체내에서 장기간 안정적으로 구동하며, 장기적 부작용이 없는 생체조직 기술 개발
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) 부작용 억제소재 개발 기술은 생체대체 의료기기의 생체 안정성 (Biostability), 생체적합성 (Biocompatibility)와 계면친화성 (interface compatibility)을 극대화하여 체내 삽입되는 생체대체 의료기기의 기능 및 성능 향상시켜 체내에서 부작용 없이 장기간 구동 가능한 생체소재 개발 기술로 연/경조직 대체, 인체이식형 의료기기, 생체유사 인공조직체 및 인공장기, 기능성 고분자 소재 발굴 등 차세대 보건의료 기술 개발을 지원함
- 최고기술 보유국인 미국 MIT는 Trizole의 표면 코팅으로 체내 안정성 증가 및 부작용 억제 기술을 개발하였으며, 미국 하버드 대학에서는 Nanoporous tungsten oxide 코팅을 적용하여 장기간 지속 가능한 소수성 표면처리 기술을 개발
- 국내에서는 마이크로/나노패터닝을 이용한 선택적 표면 제어 기술 개발하였으며 (KIST), 고분자 루프형태 표면제어 기술 (POSTECH) 및 생체오염방지 표면 기술을 개발 (고려대)
- (시장동향) 생체대체의료기기 시장은 이미 거대 시장을 형성하고 있는 주요 산업임과 동시에 전 세계적 고령화와 생활수준 개선으로 지속적으로 성장하고 있는 성장기 산업임. 우리나라의 입장에서는 국내기업의 시장 점유율이 극히 낮은 태동기 산업으로 정부의 전략적 지원이 필요한 산업 분야

- 미래먹거리: 2015년 세계 의료기기 시장규모는 2014년 대비 3.7% 감소한 약 4,158억 달러이며, 2016년에는 2015년 대비 5.9% 증가한 약 4,404억 달러로 예상됨 (BMI Espicom, 2015). 2015년~2020년에도 고령화 추세, 건강 증진에 대한 인식전환 등으로 연평균 6.4% 증가하여 2020년에는 약 5,680억 달러로 전망되며 국내·외 의료기기 시장은 앞으로도 지속 성장 할 것으로 전망
- 글로벌신시장: 세계 시장 성장률과 더불어 아시아 국가의 급속한 경제발전에 따라 이 지역에서의 시장 성장률은 18%로 여타 지역에 비해 가장 높음. 급속히 성장하고 있는 중국, 동남아, 중동에서 한국의 브랜드 가치가 높기 때문에 향후 아시아 지역 시장진출이 용이하여 글로벌 신시장 척을 통해 한국의 바이오의료용 소재 및 의료 기기의 성장 가능성이 매우 높음
- 일자리창출: 국내 의료기기 시장 또한 성장 중이며, 2015년 시장규모는 5조 2,660억원으로 전 년대비 5.3% 증가. 생산은 5조 20억원으로 전년대비 8.6% 증가, 수출 은 3조 670억원으로 전년대비 19.0% 증가, 수입은 3조 3,310억원으로 전년 대비 12.1% 증가. 고령화 시대가 도래하는 바, 국내 의료기기 시장은 앞으로 도 지속 성장할 것으로 전망되며 관련 분야 일자리 창출 가능
- (정부 R&D 투자) ‘17년 산업통상자원부 소재부품기술개발사업, 과기정통부 바이오의료기술개발사업, 보건복지부 보건의료기술 연구개발사업을 통해 약 170억원의 R&D 진행 중
- 최근 3년간 차세대 생체대체 의료 기기 및 의료기술 개발에 투자 비중이 증가 추세
- 산업부·중기청은 산업적 수요 대응, 과기정통부는 원천기술개발 중 심

2. 기술 평가



- (미래요구의 중요도) 생체대체 의료기기 시장은 이미 거대 시장을 형성하고 있는 주요산업임과 동시에 전 세계적 고령화와 생활수준 개선으로 지속적으로 성장하고 있는 성장기 산업임
- (미래문제 해결 기여도) 체내 장기에서 안정적으로 장기간 구동 가능하며, 생체 부작용을 최소화할 수 있음
- (기술의 미래원천성) 생체재료 및 의료기기 시장은 상대적으로 보수적이며 먼저 시장을 선점한 제품이 시장을 배타적으로 점유하는 경향이 있음. 저가화 또는 단순기능 개선으로 기존 시장의 장벽을 허물기 어려움. 따라서 미래 원천기술을 기반으로 혁신적 기능을 갖는 신개념 조직재생·생체대체 바이오소재를 개발하여 새롭게 시장을 개척해야 선진 기업과 경쟁할 수 있음
- (국내 R&D 역량) 우리나라의 입장에서는 국내기업의 시장 점유율이 극히 낮은 태동기 산업으로 정부의 전략적 지원이 필요한 산업 분야로 평가
- (글로벌 리딩 가능성) 국내 기술이 세계기술을 선도하고 있으며, 혁신적인 원천기술을 기반 신개념 부작용 억제 바이오소재 발굴 및 이를 이용한 글로벌 리딩 생체대체 의료기기 개발을 통해 신규 글로벌 시장 개척 및 국제 경쟁력 강화

3. 연구개발 내용 및 계획

- ☐ (연구개발 내용) 장기적 부작용이 없는 생체조직-소재 인터페이스 제어기술 개발
- 생체조직-바이오 소재의 표면 제어 기술을 통한 기존 생체대체 의료기기의 한계점 (생체적합성, 생체안정성, 생분해성 개선 필요 등)을 극복할 수 있는 차세대 생체대체 의료기기 개발과 이를 통한 다양한 조직재생·생체대체 기술을 개발하고자 함
- ☐ (활용 분야)
- 연·경조직 대체 의료기기
 - 연조직 수복 및 약물전달 등의 복합 기능성 생체재료 개발
 - 정형외과/성형외과/치과용 의료 기기
 - 염증방지/조기수복 기능성 임플란트 소재
 - 2차 수술 생략형 멤브레인 및 골고정 장치 등
- 인체이식형 의료기기
 - 인체삽입형 치료·진단 디바이스
 - 인체동기형 인공장기
 - 약물방출 심혈관계 소재 (인공 혈관, 스텐트)
- 생체유사 인공조직체 및 인공 장기
 - 복합기능성/생체적합성 고분자 생체재료 개발
 - 3차원 인공 조직체 및 장기
 - 질환 실시간 모니터링 및 근거리 통신 기능 콘택트렌즈
 - 각막치료용 기능성 콘택트렌즈
- ☐ (연구개발 계획)

- 생체조직-바이오 소재의 표면 제어 기술 개발
- 표면 제어 기술이 도입된 기능성 바이오소재의 물리·화학·생물학적 특성 분석
- 전임상 모델을 통한 안전성 및 유효성 평가
- 임상시험을 위한 IND 승인 및 임상 시험
- 원천 기술 확보 및 사업화

4. 투자 방향(안)

◆ 최근 R&D 투자가 크게 증가(3년간 약 2배)한 분야로, 차세대 생체대체 의료기기 및 질병 예방, 진단 및 치료 기술 개발을 위한 원천 기술 확보 및 산학협력 R&D 지원 확대 필요 (산업부·과기정통부·보건복지부·중기청)

- 의료기기 산업은 고성장을 유지하고 있고 향후에도 지속적인 성장이 전망되는 고부가가치 유망산업이므로 국가브랜드 향상 및 글로벌 시장 선점을 위한 정부 중심의 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 의료기기 산업은 제품에 따라 성장 속도 차이가 상이하므로, 정부·기업·금융 부문이 각각 다각적 시각에서 접근하여 산업을 발전시켜야 함
- 정부는 국내 의료기기 제품의 신뢰성 제고를 지원하고, 수요와 공급 매개의 장을 마련하여 거래비용을 경감시켜 국내 생산 의료기기의 질적 성장을 도모
- 기업은 향후 성장하는 품목과 수요가 증가할 것으로 예상되는 지역에 집중적으로 수요를 발굴하고, 글로벌 마케팅을 강화하여 신규시장 선점

- 금융은 중·장기적 시각에서 투자 추진하고, 유망기업을 발굴하여 글로벌 시업으로 성장할 수 있도록 자금수요에 대비

3.2.2.3 스마트 약물전달 소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 비선택적 약물투여에 따른 약물의 남용, 부작용, 내성생성 및 장기 투여에 의한 불편함 해소

□ 맞춤형 표적치료의 필요성

- 비선택적 약물 투여로 인한 효율성 저하
 - * 2008년 미국에서는 전체 처방된 의약품 중 1/4 이상이 환자 개개인의 유전적 특성을 고려하지 않아 의료 효과를 주지 못함 (1,500억 달러 이상의 경제적 규모)
- 맞춤형 표적치료를 위한 스마트 약물전달 소재의 개발
 - 환자에게 적용 후 체내에서 생분해·흡수되는 소재 및 장시간 효과가 지속되는 기능성 약물전달 소재에 대한 개발 현황
 - * 현재 의료용 소재 시장은 미국을 중심으로 한 선진국들에 의해 많은 연구개발이 이루어지고 있음
 - * 최근에는 기존의 합성생체소재가 아닌 천연의 인체유래소재가 주목받고 있음
- 방출 위치와 시간 등의 능동적 제어가 가능하고 부작용을 최소화시킬 수 있는 약물전달 소재 개발

(2) 기술현안

◆ 약물전달 효율과 표적지향성 부족으로 치료효과 저하

□ 맞춤형 표적치료를 위한 의료용 소재 개발

- 기존에 사용되어왔던 각종 의료용 소재에 대한 부작용 및 불편함 등을 분석하여 스마트 약물전달 소재의 필요성을 확보하고 이에 대한 개발 로드맵 작성

(3) 미래대응소재

◆ 환자의 편의 증대 및 부작용 감소를 위해 약물의 on-demand형 전달과 장시간 투여가 가능하며 인체유래물질 등의 생체적합성이 우수한 물질로 이루어진 약물전달 소재의 연구개발

17. 고감도 약물전달 매트릭스

기술 개요	생체환경, 개인별유전적 특성등을 고려하여 방출 시간, 위치, 양의 능동적 제어가 가능하고, 장기간 안정성이 확보된 인체유래 약물전달 소재 기술
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 고령화, 복지 사회로의 진입에 따라 각종 질병의 효과적이고 경제적인 치료가 요구되고 있어 약물전달 기술을 이용한 개인(환자)의 상태에 따라 필요한 양을 필요한 시기에, 필요한 곳에 투여하는 ‘맞춤형 투약시대’가 도래하고 있음

- 이에 따라 약물의 제어 방출, 서방형, 독성 감소 및 복용/투여 편의성 증대를 위한 목적으로 많은 연구가 진행되고 있음
- 최고기술 보유국인 미국은 체내에서 흡수가능한 생분해성 약물전달 시스템, 마이크로, 나노 구조의 약물전달제 및 pH, 온도 등의 자극 반응성 약물전달제 등을 개발
- 국내에서는 생분해성 물질을 이용한 약물전달제 개발 및 기계적 자극에 의한 약물 방출 조절 및 모니터링이 가능한 약물전달 디바이스 등의 개발이 이루어지고 있음

- (시장동향) 특허가 만료되는 블록버스터 의약품의 수가 증가하면서 관련 시장이 급속도로 성장할 전망이다
- 미래먹거리 약물전달시스템은 다양한 질병 및 장애의 치료를 위한 질적, 가격적인 면에서 좋은 치료방법으로 각광받고 있음
 - * 2012년 약물전달시스템의 의약적 적용 시장은 1,310억 달러로 2007년 이후 매년 10% 이상의 연평균 성장이 전망되고 있으며 다양한 질환에 적용될 수 있는 가능성이 높음
- 글로벌신시장 바이오의약품 관련 세계 시장은 2014년 1,440억불 규모에서 2020년 2,600억불 규모로 크게 성장할 것으로 전망(지식경제부)
 - * 미국의 약물전달 시장은 2007년 802억 달러로 가장 큰 시장을 형성하였으며, 2017년까지 연 평균 21.1%의 높은 시장 성장이 전망되고 있어 향후 약물 전달 시장에서의 미국 점유율은 더욱 확대될 전망이다
 - * 중국과 인도는 장기적으로 볼 때 약물전달 제품 시장의 큰 수요처가 될 전망이다
- 일자리창출 약물의 경쟁력을 증대하고 판매량을 증대시키기 위해 대부분의 제약회사는 약물전달시스템을 이용한 약물의 생산 라인의 증설을 꾀하고 있음

- (정부 R&D 투자) '16년 총 73개 과제, 95.5억원의 R&D가 진행 중

※ 교육과학기술부는 2012년까지 160억원의 지원으로 지능형 약물전달 시스템의 핵심기술개발을 목표로 한 바 있음

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 최고 기술 보유국 미국 대비 70% 수준으로, 국내 약물전달시스템 기술은 경구 및 경피 투여 약물전달에 대해서는 선진국과 비슷한 수준으로 판단됨
 - 그러나, 이 외의 고도의 기술집약적 연구기반이 필요한 바이오 의약품을 위한 맞춤형 약물전달시스템 기술 개발에 대한 연구개발 기반은 미흡한 상태임
- (미래문제 해결 기여도) 생체환경 및 개인의 신체 약리적 특성을 고려한 맞춤형 고감도 약물전달 소재 개발을 통해 부작용을 최소화하면서도 치료효과를 극대화할 수 있게 됨
- (기술의 미래원천성) 사업장 규제 등 정책 지원 성격이 큰 분야로서 중요도는 보통이나, 새로운 약물전달소재 개발은 고부가가치 창출 뿐만 아니라 신약 선진국으로 도약할 수 있는 발판을 마련할 수

있는 계기가 마련될 수 있으므로 조속한 지원이 필요함

- (국내 R&D 역량) 국내에서는 약물전달 관련 과제를 활발히 수행하고 있으며 국내 약물전달시스템 기술은 경구 및 경피 투여 약물 전달에 대해서 선진국과 비슷한 수준으로 판단됨
 - 국제 약물 전달학회(CRS) 회원 수가 미국, 일본에 이어 세계 3위를 기록할 만큼 우수한 인재가 풍부하며 국내 제약회사에서 약물전달시스템 개발 의지가 아주 큼
 - 산학연 개발 주체들의 여건이 성숙단계에 있어 맞춤형 약물전달시스템 개발 성공 가능성은 클 것으로 기대됨
- (글로벌 리딩 가능성) 국내 대학과 기업부설 연구소를 중심으로 저분자량 약물전달 기술개발에 대한 연구역량은 세계 7위권의 기술력을 확보하고 있으며 선진국 대비 70-80% 수준의 우수한 기술력을 확보함

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 부작용을 최소화 하고 약물전달 성능을 극대화시킨 맞춤형 약물전달 매트릭스 소재 개발로 다양한 의약품에 적용
- 장기간 안전성이 보장된 인체유래 약물전달 소재 발굴 및 약물과 매칭할 수 있는 정보를 데이터베이스화
- 방출시간, 위치, 양을 환자의 상태에 따라 능동적으로 제어할 수 있는 능동형 약물 전달 소재 개발
- 사용자의 편의성을 높일 수 있는 경피 약물전달 제형 개발 및 그에 적합한 소재 기술 개발
- (활용 분야)
- 약물의 부작용과 오남용을 막을 수 있는 약물전달 시장
- 손상된 장기의 복구나 재생을 촉진할 수 있는 약물 함유 스캐폴드 소재 분야

○ 인체 이식형 및 적용형 의료기기의 핵심소재에 적용

□ (연구개발 계획)

○ 2년 내 안전성이 확보된 인체유래 고분자 발굴 (2종)

○ 맞춤형 약물전달시스템 구축을 통한 약물 방출 시간(2주 이상), 위치(표면, 세포 내, 조직 내), 양을 외부자극 (온도, pH, 빛, 자기장 등) 또는 약물전달체의 구조적 특성을 이용하여 능동적 조절 달성

○ 생체적합성이 높은 하이드로젤 형태의 고감도 약물전달 매트릭스 개발

4. 투자 방향(안)

◆ 신규 인체유래 소재 및 맞춤형 약물전달 매트릭스 소재의 발굴 및 원천기술 확보를 위한 기초 R&D 지원(과기정통부·보건복지부)과 이를 사업화 시킬 수 있는 중장기 플랜의 설정이 필요함 (중기청, 산자부)

○ 산업적 측면에서, 발굴된 신소재의 전임상/임상/허가를 고속으로 처리할 수 있는 제도적 보완과 단계별 R&D 지원 강화 필요

－ 단기적으로는 사업화 가능성이 있는 유망 중소기업의 필요기술을 지원하고, 장기적으로는 기술 선점형 원천기술 확보를 위한 R&D강화

3.2.3

지속가능한 사회를 위한 환경소재

3.2.3.1 오염물질 제로화 환경소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 기후변화 및 산업화로 인해 국민 생활환경을 위협하는 다양한 오염물질 발생에 선제적인 대응 필요

* 입자상, 가스상 및 병원성 미생물 등 오염물의 다양화, 복잡화 추세로 능동적으로 대응하여 오염물질을 저감, 억제할 수 있는 소재 기술이 요구됨.

□ 각종 대기 오염원 증가로 인해 호흡기 질환 등 국민 건강 위협 증대 및 신기후변화체제 대응 필요

- 자동차, 산업체, 발전소 등에서 다양한 입자상 및 가스상 오염물이 다량 발생하여 국민 건강에 위협 요소로 작용하고 있음
- 신기후변화체제의 대두로 화석연료 저감 및 대기 환경 기준 강화 필요성이 증대되고 있음

□ 이동수단 발달에 따른 국가간 인적교류 확대 및 전세계적인 기후변화로 인하여 AI, MERS 등 고위험성 인수공통 감염병이 발생·확산되는 사례가 늘고 있음.

- 질병을 유발할 수 있는 바이러스 등 유해미생물을 자체 진단하고 감지할 수 있으며, 수동적인 흡착제거 수준이 아니라 소규모 에너지를 투입하여 능동적으로 유해미생물을 제거할 수 있는 신기술 필요성이 큼

□ 산업 및 생활수준 향상으로 생활환경의 필수요소 중에 하나인 물 자원의 사용량이 급증하고, 오염 발생 빈도가 증가하는 추세임.

- 가용 수자원을 공급하던 기존의 정수시설 등이 대규모, 종합처리 위주로 건설, 유지되어 왔으나, 처리량 급증 및 오염원 다양화 등으로 인해 한계에 부딪치고 있으며, 국소화, 개별화 등을 통해 공급 및 오염문제 해결 필요성이 커지고 있음

(2) 기술현안

◆ 다음세대에 깨끗한 환경을 물려주기 위해 환경오염을 최소화시킬 수 있는 환경소재

* 스마트 다공성 소재, 생물오염 능동정화소재 등 유해물질을 차단하거나 저감시킬 수 있는 신개념 소재 개발 필요

□ 신기후변화체제 대응 및 국민건강 보호를 위한 대책 필요

- 대기 중 존재하는 다종의 입자상, 가스상 오염물질을 감지하고, 정전기/자기/빛/열 등을 이용하여 흡착-정화하는 스마트 다공성 소재 개발
 - 다종오염물에 대해 반복사용이 가능한 자가세정형 흡착 정화소재
 - 현장에서 즉시 다양한 오염물을 감지할 수 있고, 자가세정이 가능한 오염물 다중감지소재 기술
- 광활성화 및 전기화학적 방법으로 바이러스 감염을 사전에 차단 분해할 수 있는 능동형 정화소재 개발
 - 질병유발 바이러스를 자체적으로 진단하고 인지시킬 수 있는 변색소재 등 기술 포함
 - AI, MERS 등 인수공통 전염병의 원인이 되는 유해 바이러스의 능동제거를 위한 소재 기술 개발 필요

□ 물소비량 급증에 따른 정수장의 과부하 발생으로 수처리 시설의 소형화 및 고효율화 필요

- 가정, 빌딩, 지역사회에서 발생하는 생활하수를 자체적으로 저비용, 저에너지 처리 및 재이용이 가능하게 해주는 고투과성 분리막 소재

(3) 미래대응소재

◆ 대기 중 존재하는 다종의 입자상, 가스상 오염물질을 감지하고, 정전기/자기/빛/열 등을 이용하여 능동적으로 흡착, 정화하는 스마트 다공성 소재

18. 다종오염물 제거 스마트 다공성소재

기술 개요	다종 오염물 제거 스마트 다공성 소재기술은 여러 종류의 오염물질을 빠르고 정확하게 감지하고 깨끗하게 정화할 수 있도록 물리적, 화학적, 구조적 특성이 최적화된 소재로 지구의 기후변화에 심각한 영향을 미치는 환경오염 문제를 획기적으로 해결할 수 있는 핵심소재가 될 것으로 기대되고 있음. - 기술적 한계점에 놓여있는 시스템 위주의 환경오염 정화 기술을 구조 및 기능 소재기술과 융합하는 방식으로 접근하여 지구 기후변화를 유발하고 인간의 생명을 위협하는 환경 오염 물질의 효율적 제거를 가능하도록 할 필요가 있음.
----------	--

1. 주요 현황

- (연구현황) 다양한 기능성 소재를 적용하여 에너지 소모량은 최소화하며 환경오염물질 제거 효율은 극대화 하는 방향의 환경 신소재 기술 개발이 국내외 대학 및 연구기관에서 원천기술 개발단계로 수행되고 있음.

	주요성과	주요내용
논 문	Transparent air filter for high-efficiency PM2.5 capture (Stanford 대학)	○ 95% 이상의 미세먼지 제거효율과 90% 이상의 광투과율을 유지할 수 있는 투명필터소재를 세계 최초로 개발 (Nature Communication 2015년 게재) ⇒ 창호형 청정환기 필터소재로 활용될 수 있는 기반 마련
논 문	Electrospun polyacrylonitrile-ionic liquid nanofibers for superior PM2.5 capture capacity (New South Wales 대학)	○ 나노섬유 표면에 이온용액을 코팅하는 방법으로 비표면적 및 쌍극자 모멘트 증가를 유도하여 미세먼지를 효과적으로 제거할 수 있는 복합필터소재 개발 (ACS AMI 2016 게재) ⇒ 복합소재를 이용하여 미세먼지 제거율을 극대화 하는 기술 소개
논 문	Al-coated conductive fibrous filter with low pressure drop for efficient electrostatic capture of ultrafine particulate pollutants (재료연구소)	○ 일반 부직포 필터에 알루미늄을 코팅하여 높은 전도성을 유지한 후 여과집진법과 전기집진법을 동시에 사용할 수 있도록 하여 낮은 압력손실을 유도하면서도 높은 미세먼지 제거효율을 달성하였음. (ACS AMI 2017년 게재) ⇒ 에너지 사용량을 최소화하며 미세먼지 제거는 극대화할 수 있는 소재로 공기청정기, 크린룸 필터, 자동차 필터 등에 활용할 수 있는 기반기술 마련

□ (시장동향)

- 신산업 중국 등 신흥국의 산업화 및 대기오염에 대한 관심증가 및 심각성 제고로 산업 분야 오염원에서의 입자상, 가스상 오염물 발생억제/제거를 위한 필터 및 오염정화소재 시장의 급격한 성장 예상
- 글로벌신시장 발전소, 제철소 등 건설로 대기오염이 확대되고 있는 개도국 등을 중심으로 입자상 및 기상 오염물 정화를 위한 산업용 공기 정화소재 수요가 확대되고 있으며 시장은 2025년까지 6조원 규모에 도달할 것으로 전망 (Grand view research, 2016)
- 일자리창출 아직 국내의 대기오염 정화용 필터 및 정화소재 산업은

1일반 플랜트 산업의 하부구조로 기술혁신형 기업이 부족하며 영세한 수준임. 향후 신산업 시장 개척 및 확대에 관련 기업의 창업 및 성장 가능성이 큰 분야이며, 관련 인력에 대한 요구가 지속적으로 성장할 것으로 예상됨

□ (정부 R&D 투자)

- 환경부에서 대기환경 관련 사업을 주로 수행하고 있으며, 환경부, 산자부, 한국공기청정협회 등에서 관련 소재의 인증을 진행하고 있음
- 정부 R&D 투자 비중은 15년 기준 3%로 비교적 낮은 수준이나 지속적으로 증가되는 추세임. 주로 환경 보건 예측 (1,562억원, 26%) 및 기후기상 (1,503억원, 27%) 등에 집중되어 있음

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 다양한 대기 오염원의 발생 및 확대에 의해 오염억제 및 제거를 위한 소재기술의 필요성이 증대되고 있고 최고 기술 보유국 미국 대비 70% 수준으로, 일상적 측정과 장비 활용은 우수한 편이나 원격측정 등 핵심기술의 국산화는 미흡
- (미래문제 해결 기여도) 다종오염물 제거 스마트 공정소재를 통해 산

업에서의 오염물 배출을 최소화할 수 있게 되고, 또한 수질 및 토양의 오염물 제거에 응용하여 오염된 환경의 개선에 활용 가능함

- (기술의 미래원천성) 사업장 규제 등 정책 지원 성격이 큰 분야로서 중요도는 보통이나, 미세먼지 문제해결을 위해 조속한 성과도출이 필요한 분야로 평가
 - 단, 측정·분석기술*은 산업적 파급효과를 고려하여 정부 차원의 원천 기술 확보 및 중소기업 지원의 필요성이 큼
 - * 측정·분석기술은 유체역학, 열역학, 정전기학, 광학, 센서공학 등 다양한 분야의 기반지식을 필요로 하는 복합기술(fusion technology)의 특성을 보유
- (국내 R&D 역량) 국내에서도 다종 필터소재를 복합화하여 다기종 필터시스템 개발 (예기연), 입자 하전 및 물 이용 포집시스템 개발 (기계연), 고분자 하전 섬유소재를 이용한 미세먼지 포집 필터 (생기연) 및 나노물질을 코팅 필터소재 개발 (연세대), 고효율 저에너지 환경오염물질 제거용 다공질 필터소재 개발 (재료연) 등 관련 분야 기초적 연구 성과가 있으며 향후 성장가능성이 높은 분야로 평가
- (글로벌 리딩 가능성) 해외에서는 고효율 미세먼지 제거 나노섬유 필터 (미, 스탠포드대), 입자 및 가스 복합처리용 MOF 필터소재 (중, 북경공대), 수분함유 입자 필터소재 (호주, 뉴사우스웨일즈대) 등 기술 개발이 일부 진행 중이나 나노소재의 단순활용에 머무르고 있으며, 소재차원의 본격적인 접근은 미미한 상태임

3. 연구개발 내용 및 계획

□ (연구개발 내용)

- 고온 내구성이 확보된 전기집진기용 다공성 전기집진판 소재 개발; 화력발전소에서 발생하는 입자상 및 가스상 오염물질의 효과적 제

거를 위해 고온 전기집진 시스템 개발 절실히 필요

- 우리나라 전력생산의 약 40%를 차지하는 석탄 화력 발전소에서 배출되는 가스 및 입자상 오염물질이 우리나라 미세먼지 문제의 주 원인으로 판명
- 두산 중공업 등 화력발전 및 환경정화 시스템 전문 업체에서는 가스 및 입자상 오염물질을 동시에 효과적으로 제어할 수 있는 공정을 위해 고온 전기집진 시스템을 개발 노력 중에 있으나
- 800℃ 이상의 고온 배출가스에 내구성을 지닌 전기집진판으로 활용될 수 있는 소재의 부재로 새로운 환경정화 시스템 개발이 늦어지고 있는 실정임.
- 이에 800℃ 이상의 고온 분위기에서도 부식되지 않고 집진 및 가스 흡착 기능을 다할 수 있는 구조 및 기능 환경 소재 개발은 우리나라 미세먼지 문제를 해결하기 위해 매우 시급하게 해결되어야 할 숙제라 할 수 있음.

○ 낮은 압력손실과 높은 미세먼지 제거효율을 구현할 수 있는 기능성 필터소재 개발

- 다양한 오염원으로부터 발생되어 배출된 미세먼지에 대한 보건 및 산업적 노출을 최소화 하는 방법으로는 필터를 이용한 여과집진 방식이 주로 활용되고 있음.
- 현재 사용되는 여과재는 대부분 미세먼지 제거효율이 99.97% 이상인 HEPA 필터를 사용하고 있으나 높은 압력손실로 에너지 소모량이 크고 소음 진동 문제 등도 야기되고 있음.
- 이에 여과집진기술 분야에서 해결하고자 하는 궁극적 목표는 낮은 압력손실을 유지하며 미세먼지를 효과적으로 제거할 수 있는 필터소재 개발
- 이와 더불어 항균, 탈취 등과 같은 부가적인 기능이 추가적으로 구현될 수 있는 복합 소재의 필요성이 더욱 커지고 있음.

○ 환경오염물질의 종류와 농도를 신속 정확하게 측정할 수 있는 센서 소재

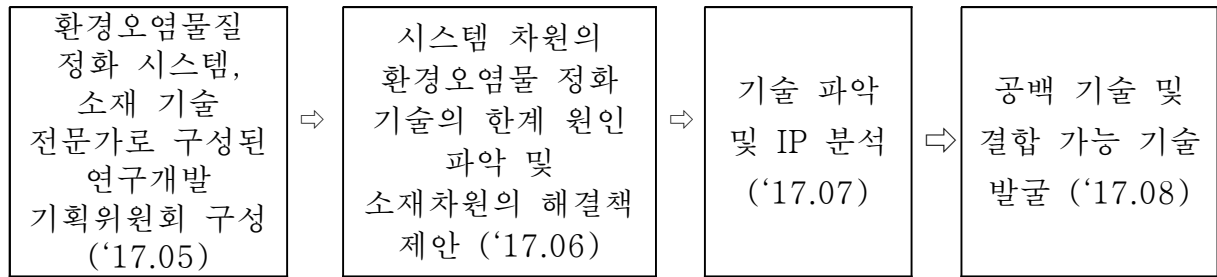
기술 개발

- 가스상 오염물질을 선택적으로 신속하게 분류하고 정량화하기 위해서는 특정 물질에만 반응하는 선택적 반응 소재 등이 필요
- 미세먼지 등의 입자상 오염물질의 신속한 정량화감지를 위해서는 농도에 따라 물질의 특성 변화가 명확하게 유도될 수 있는 기능성 소재가 절실하게 필요함



- (활용 분야) 기존 환경정화 시스템의 기술적 한계를 극복할 수 있는 환경 신소재 기술 개발을 통해 심각한 지구 기후변화 및 인간의 생명위협을 유발하는 환경오염물질을 신속 정확하게 감지하고 깨끗하게 제어할 수 있는 새로운 개념의 환경정화 기술이 기능성 환경 신소재를 기반으로 확립될 수 있을 것으로 기대
- (연구개발 계획) 환경오염물질 정화 시스템 기술 전문가와 소재 기술 전문가로 구성된 연구개발 기획위원회를 구성하고 현재 사용되는 환경오염물질 정화 시스템의 기술적 한계 원인을 파악한 후 이러한 문제를 소재 차원에서 해결할 수 있는 방안을

마련하기 위한 방법을 단위연구 테마로 도출하고 진행할 계획



4. 투자 방향(안)

◆ 소재차원의 접근을 통해 현재 개발된 환경오염물질 정화시스템의 한계점을 해결하고, 실제 환경정화시스템에 활용가능한 환경정화소재 개발을 위해서는 연구, 개발, 실제 시스템 적용 과정까지 정부 중심의 지속적 R&D 투자 필요

- 현재 사용되는 환경오염물질 정화 시스템의 한계점을 해결하기 위한 소재차원의 접근법은 연구, 개발, 실제 시스템 적용 과정까지 확보된 정부 중심의 지속적 R&D 투자가 필요
- 실제 환경정화시스템에 활용 가능한 환경정화소재 개발을 위해서는 환경오염물 제거 시스템 기술과 병합된 R&D 지원 확대 필요
 - － 초기에는 현재 국내외 환경정화시스템 기술의 면밀한 분석 및 기술적 임계점을 해결할 수 있는 아이디어를 발굴할 수 있도록 지원하고 하고, 장기적으로는 아이디어 기반의 기술 선점형 원천기술로 확보될 수 있도록 투자 강화
- 현안해결 측면에서는 환경오염물 측정, 분석, 제거 시스템 전문가 등과의 긴밀한 협력이 필수로 관련 분야 전문가들의 컨소시엄 구성 및 유지를 위한 제도 지원 필요

3.2.3.2 Green Engineering 기반 지구환경

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 지구의 한정적인 자원 및 자연환경을 고려하고 지구의 인류 문명 부양능력을 유지하기 위한 그린 엔지니어링 청정소재 기술

□ 지구부양능력을 고려한 그린 엔지니어링 청정소재 기술

- 잉여 에너지 활용 및 에너지 소비 감소 Green 에너지 공정 개발
- 국제사회 환경부담금 확대 및 자원보유국 삶의 질 향상
- 수생태 건강성 증대 소재 개발

(2) 기술현안

◆ 인구증가와 경제성장에 따른 환경부하를 최소화하는 대체소재*와 청정소재화** 기술개발이 필요

*잉여 에너지 활용 공정개발: 고효율 재생에너지 생산용 기초 소재

**그린 엔지니어링 자원화 공정개발: 오염물질 최소화 소재 제조기술

□ 잉여 에너지 활용 공정개발

- 지구가 가지고 있는 구동원을 활용하여 사용 가능한 에너지로 변환할 수 있는 기술
- 에너지 변환 소재를 이용한 신에너지(수소 등) 생산 및 저장 기술

□ 그린 엔지니어링 자원화 공정개발

- 강산, 시안화합물, 유기용제 다량을 활용하는 현재기술을 획기적으로 대체 할 수 있는 전식추출기술

- 탄소를 환원재로 사용하는 기술을 원천적으로 차단할 수 있는 신제련/재활용 기술

(3) 미래대응소재

◆ 잉여 에너지를 이용하여 재생에너지 및 신에너지 생산 및 저장을 위한 기초소재 및 응용기술 개발

19. 에너지 변환소재

기술 개요	자연환경에서 활용되지 않고 버려지는 진동, 열, 빛 에너지를 인간이 사용할 수 있는 전기 에너지로 변환하거나 혹은 새로운 신에너지원(수소 등)을 생산·저장할 수 있는 기술로 ① 고효율 에너지 변환소재 원천기술 개발 & 청정 에너지 저장 기술 및 ② 이의 응용 기술(공정, 소자 제조 등)등의 세부기술로 구분
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 에너지 하베스팅 소재, 광촉매 소재 관련 연구는 많이 진행되고 있지만 이를 복합화하는 기술은 아직까지 부족한 실정으로 이와 관련된 연구의 활성화가 필요
- 플렉서블 에너지 하베스팅 소재 : PMN-PT($\text{Pb}(\text{Mg}_{1/3}\text{Nb}_{2/3})\text{O}_{3-x}\text{PbTiO}_3$) 를 이용한 플렉서블 에너지 하베스팅 소자를 연구하고 있으며 이와 관련하여 최고 수준의 성능을 보고
- 반도체 소재를 이용한 수소생산 기술 : CIGS, TiO_2 등의 반도체 화합물을 광촉매로 직접 활용하여 태양광 에너지를 수소에너지로 저장

- (시장동향) 신재생에너지에 대한 관심 증대로 친환경 수소생산 기술 시장의 꾸준한 성장 예상
- 미래먹거리 : 국내 에너지소재 시장 중 수소 생산 시장 규모는 '12년 1.9조원에서 '20년 6.7조원 수준으로 증가할 전망(CAGR 16.3%).
- 글로벌신시장 : 국외 수소생산량은 '12년 84조원에서 '20년 102.5조원 수준으로 국내 시장 대비 약 15배 이상 큰 규모를 지닐 것으로 예상됨.(CAGR 10.0%)
- 일자리창출 : 현재 수소 생산·저장기술은 천연가스나 석탄을 이용한 제조방식으로, 친환경적인 공정으로 제조하는 산업구조는 전무함. 따라서 친환경 공정을 이용한 수소 생산 분야의 신규 인력 창출효과가 마땅히 기대됨.
- (정부 R&D 투자) 1988년부터 시작된 산업부의 대체에너지기술개발사업은 1992년부터 2013년까지 수소분야 49개 과제에 대하여 936억원(정부 618억원)을 지원함.
- 2000년대 이전은 대학중심의 기초연구, 2000년 이후는 단기 실용화 위주로 개편.
- 과학기술정보통신부에서는 차세대 수소에너지 원천 기술개발 사업을 2015년부터 2020년까지 총 140 억원 내외를 지원 예정이며, 산업통산자원부의 수소연료전지사업단에서는 2016년 기준 제조분야 9개, 저장 3개, 기타 1개 등 총 13개 과제를 지원함. 국토해양부는 2009년부터 2018년까지 바이오 수소 대량생산 기술 개발을 목표로 기술개발 진행 중.

2. 기술평가



- **(미래요구의 중요도)** 수소 발생을 위한 에너지 변환 소재는 미국에서 가장 높은 수준의 연구를 하고 있으며 국내에서는 단일 소재에 대한 연구는 세계 최고 수준과 근접하지만 복합 소재에 대한 기술격차는 있음.
- **(미래문제 해결 기여도)** 아직까지 세계적으로 친환경적인 수소 시장은 형성되지 않았지만 향후 급격한 성장이 예상되고 있어서 기술 선점을 통한 세계시장 진출이 가능함.
- **(기술의 미래원천성)** 수소 발생을 위한 에너지 변환 소재는 세계적으로 많은 관심과 연구가 이루어지고 있으며 미래에 꼭 필요한 기술이기 때문에 빠른 시일 내에 연구 개발이 이루어져야함.
- **(국내 R&D 역량)** 에너지 하베스팅, 광촉매 소재 등의 에너지 변환 소재에 대한 연구는 지속적으로 이루어지고 있지만 복합화를 통한 단일 소재 개발은 아직 미흡한 상황임.
- **(글로벌 리더링 가능성)** 친환경적인 수소를 생산하기 위한 연구의 필요성이 세계적으로 요구되는 상황에서 에너지 변환 소재의 복합화를 이용한 수소 발생 기술에 대한 원천성을 확보하여 글로벌 리더로 발돋움.

3. 연구개발 내용 및 계획

□ (연구개발 내용)

- 완화형 강유전 소재의 대칭성 정량 평가기술을 이용한 소재 해석 기술 및 DB 구축을 이용한 새로운 소재의 원천 제조 기술
 - 기존에 사용되는 강유전 소재는 납(Pb, lead)이 주성분으로 포함되어 있어 납 함유량을 낮추면서 기존 소재와 동등한 특성을 얻을 수 있는 무연 소재에 대한 연구
- 에너지 변환 소재의 복합화를 통한 효율 향상 기술
 - 에너지 하베스팅, 광촉매, 잠열 등의 다양한 에너지 변환 소재를 복합화하여 기존의 단일특성보다 특성을 향상시킨 복합 소재화 연구

□ (활용 분야)

- 수소 발생 에너지 소재 : 자연에서 발생하는 에너지를 활용하여 수소를 발생시키는 소재
- 플렉서블 에너지 하베스팅 소재: 인체의 움직임에 따라 전류를 발생시키고 이를 인체부착형 의료기기에 공급하는 소재
- 재생에너지 발전 소재 : 버려지는 기계 에너지(진동, 압력 등)를 전기 에너지로 변환하기 위한 소재
- 반도체 소재를 이용한 수소 변환 소재 : 반도체 화합물을 이용하여 광촉매 효과를 활용하여 수소 생산하는 소재

□ (연구개발 계획)

- 소재를 개발하기 위한 체계적인 기초연구의 활성화가 필요한 단계로 관련기술의 산학연 협력 체재를 구성하여 기술개발 지원 계획

산학연 전문가 협의체
구성

⇒

관련 연구 분야의 특허,
R&D 성과 분류

⇒

공백 기술 및 결합 가능 기술 발굴

4. 투자 방향

◆ 과학기술정보통신부, 국토해양부, 산업통상자원부 등으로부터 수소 관련 연구가 지속적으로 진행되고 있지만 아직까지 친환경적인 방법으로 수소를 생산하는 기술에 대한 연구는 미흡함. 국가적인 차원에서 수소 생산 및 저장 기술 연구를 지원하여 관련 원천기술을 확보하고 인프라를 구축해야함.

- 친환경적인 수소 생산 원천기술 확보가 가능하여 미래시장 선점이 가능하고 관련 산업에 파급효과가 높은 연구 분야로 정부 주도의 R&D 투자가 필요
- 지속적인 지구 환경을 유지하기 위해서 자연에서 발생하는 에너지를 포집하여 기술이 필요하며 이를 활용할 수 있는 기술에 대한 R&D 지원이 필요
- 그린 엔지니어링 연구는 미래에 보다 나은 삶을 후세에 물려주기 위한 우리의 숙제이며 이러한 연구는 국가적인 차원에서 지속적으로 지원해야함.

20. 급속 상온 고용량 수소저장 소재

기술 개요

상온에서 초고속으로 저장이 가능한 수소저장 소재의 기술 개발로서, 기존의 느린 수소저장 메커니즘을 복합신소재를 통해 극복하는 기술

1. 주요 현황

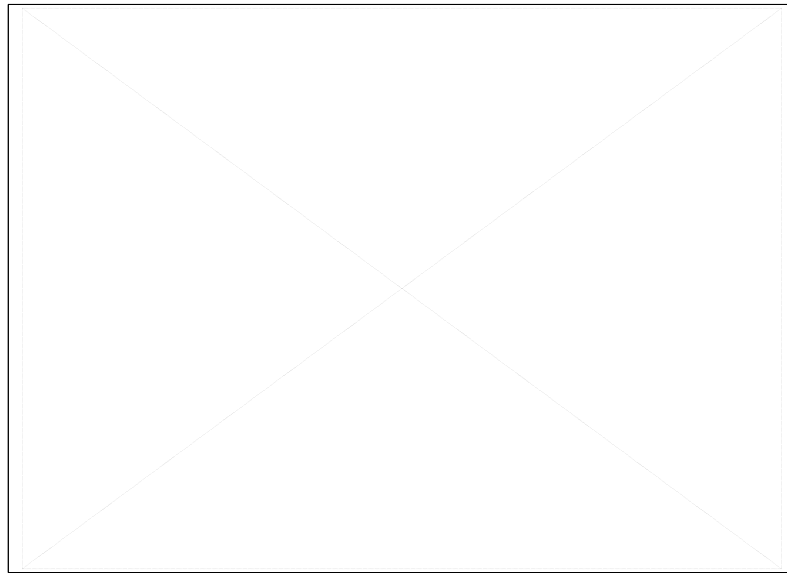
- (연구현황) 최근 수소저장 소재에 대한 연구는 청정 대체에너지원으로서 수소가 가지는 여러 장점과 수소경제에 대한 긍정적 예측(2030

년경 시장규모는 산업, 발전, 수송분야의 사용량 기준으로 약 350만 톤으로 매년 30조원 규모)에 힘입어 미국, 영국, 독일과 같은 선진국을 중심으로 경주되고 있음. 하지만 미국 에너지성에서 가이드라인으로 제시하고 있는 [무게용량 5.5 wt% (1.8 kWh/kg), 부피용량 40 g/L (1.3 kWh/L)](가솔린으로 440 km 주행가능 거리), 최종적으로는 시스템 기준으로 [무게용량 7.5 wt% (2.5 kWh/kg), 부피용량 70 g/L (2.3 kWh/L)](가솔린으로 600 km 주행가능거리)의 목표치에는 미치지 못하고 있음.

- 기존 연구는 초고압(70MPa) 실린더를 이용한 초고압 저장시스템 또는 물리흡착/화학흡착 기반의 수소 저장재를 활용한 기술개발로 현재 심각한 한계에 직면하여 연구방향성을 상실하였음. 초고압 저장시스템은 안전성 및 저장용량의 한계, 물리흡착은 저장용량의 한계, 화학흡착은 방출온도 및 시간 등 활용에 있어서의 한계에 직면하였음.
- 따라서 블랙아웃에 효과적으로 즉각 대처하기 위해서는 수소의 저장 및 방출에 요구되는 조건(온도 및 시간)의 개선이 절실히 요구됨.
- 따라서 상온에서 급속으로 수소의 저장 및 활용이 가능한 신뢰할 만한 수준의 경제적 수소 저장기술 개발이 절실히 요구됨.
- (시장동향) 수소저장 소재기술은 전체시장에서 특히 수소자동차 시장을 기반으로 가장 빠르게 성장할 것으로 예상되고 있으며 미국, 일본, 유럽연합 등 선진국을 중심으로 발빠르게 움직이고 있음.
- 2020년 글로벌 수소에너지 시장규모 1,400억 달러 이상, 2025년 수소자동차 글로벌 시장 25만대 규모로 성장을 예상함.
- 일본은 2014년 일본각의결의안으로 수소사회 실현을 위한 ‘전략에너지계획’을 수립하여 ‘무탄소 수소사회’를 목표로 2030년 100억 달러 규모 신시장 창출을 예상함.

- 유럽연합은 2020년까지 수소 충전소 1,000개소, 연료전지차 50,000대 보급을 목표로, 2050년까지 유럽의 수소차 비중이 전체의 10~15%, 연료전지 시장은 1,000억 유로 규모로 성장을 전망함.
 - 미국의 수소시장은 2015년에 40억 달러, 2026년에는 65억 달러로 증가할 것으로 예상함.
 - 중국 또한 일본에 이어 2030년까지 단계별 수소경제 실현 목표를 확정한 상황.
 - 미래 수소저장재 시장의 선점 및 대중화 성공의 열쇠는 상온 수소 저장량의 증대와 충전 시간의 단축의 성공 여부에 달려있음.
-
- (정부 R&D 투자) 2005년 정부주도 하에 수소경제 국가비전 및 실행계획 수립.
 - 2010~2020년 기술개발 집중, 2030년 이후 수소 연료 전지 등의 상용화 목표, 2040년 총 에너지 소비량 대비 수소에너지 소비비율 15%로 전망하는 장기 로드맵 제시
 - 정부의 R&D 투자와 함께 국내 굴지의 기업인 현대자동차는 수소 자동차의 국내시장 규모를 1조 7,500억원으로 예상하며, 2020년까지 50,000대 생산/보급 계획 세움.

2. 기술평가



- **(미래요구의 중요도)** 미국, 일본, 유럽연합 등 선진국이 앞서고 있지만, 현재의 물리/화학흡착 메카니즘기반의 수소저장 소재 기술로는 2020년 목표치 달성이 요원한 상황이며, 기존 수소저장 소재에서의 긴 충전시간 및 낮은 저장용량이 대중화의 걸림돌로 작용하고 있어, 반드시 해결되어야 하는 미래 핵심 기술임.
- 또한 수소자동차 및 수소에너지저장시스템의 효과적인 활용을 위해서도 급속 수소저장이 가능한 저장재 개발 기술을 반드시 필요한 임계기술임.
- **(미래문제 해결 기여도)** 세계적으로 상용화를 위해 국가 정책적으로 지원하고 있지만, 실질적 상용화의 최대 걸림돌인 낮은 저장용량 및 긴 충전 시간을 획기적으로 해결함으로써 상용화를 앞당길 수 있음.
- **(기술의 미래원천성)** 수소저장 용량은 지난 10년간 꾸준히 개선되어 왔지만, 현재는 답보상태에 놓여 있으며 상용화 측면에서 급속으로 상온에서 충전이 가능한 소재의 개발은 부족하였음.
 - 기존의 물리흡착/화학흡착 메커니즘 기반의 소재개발의 연장이 아닌, 새로운 패러다임 도입으로 상온 급속 수소저장 소재소재의 개발을 통한 접근이 필요한 시점임.
- **(국내 R&D 역량)** 기존 연구 방향에서는 높은 수준의 연구 결과를 보고

하고 있으나, 실질적인 수소에너지 활용을 위해서는 새로운 연구 방향 설계가 필요함.

- (글로벌 리딩 가능성) 국내 관련분야 연구개발 역량은 세계 최고 수준에 버금가지만 대기업과 학/연 각각에서 기존 물리/화학흡착을 고수하는 형태의 연구에 머무르고 있어 획기적인 새로운 패러다임 전환에 바탕한 수소 저장재 원천 기술 개발을 통해, 글로벌 리딩 지위를 선점할 수 있음.

3. 연구개발 내용 및 계획

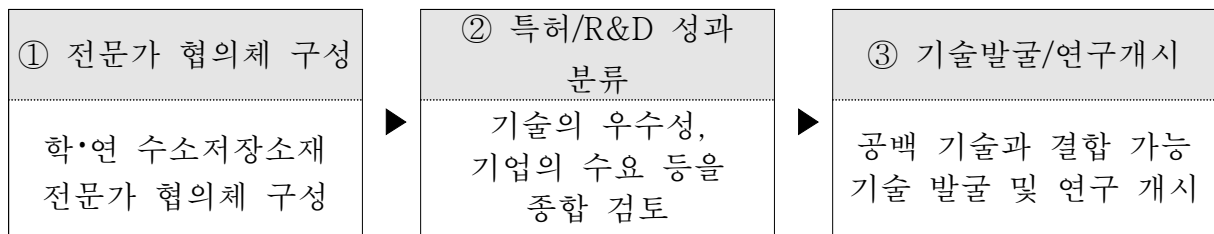
- (연구개발 내용) 수분 안에 EES, 전기자동차 등의 전원을 공급할 수 있는 상온 급속 수소저장 소재 개발을 위한 전극 소재 기술 개발
- 수소저장 소재기술은 지난 10여년간 물리흡착/화학흡착 메커니즘을 기반으로 꾸준한 수소저장량 증대를 보여왔으나, 기존 메커니즘에 내재한 한계로 인해 답보상태를 보이고 있음. 따라서 다가올 4차 산업혁명 시대의 필수 기술 중의 하나인 고속 충전기술은 미래 시장 선점을 위해서 획기적으로 충전 시간을 낮출 수 있는 소재 개발의 필요성이 꾸준히 제기 되고 있음.
- 전기자동차 및 ESS 용 차세대 상온 급속 수소저장 소재 기술로 새로운 메커니즘을 바탕으로 나노 구조 복합소재 제조 기술을 활용하여 상온에서 고속 저장 가능한 수소저장 소재 제조기술 개발이 요구됨.

**상온에서 고속 저장이 가능한
대용량 수소저장 소재 기반 수소경제사회**

- **(활용 분야)** 상온에서 수소의 고속 충전 및 활용이 가능해 짐에 따라, 고속충전 수소자동차, 고속충전 수소에너지 기반 ESS 등에 활용이 가능함.

① 수소자동차용 수소저장소재	② ESS용 수소저장소재
※ 상온에서 3분 이내 수소의 고속충전 및 활용이 가능하여 상용성이 보장된 청정 에너지 수소자동차	※ 3분 이내 고속충전이 가능하여 미래형 수소에너지 기반 ESS 시스템 구축 가능

- **(연구개발 계획)** 상온 고속 수소 저장소재 기술은 기존의 확보된 물리/화학흡착 메카니즘과 전혀 다른 새로운 메카니즘을 기반으로 함. 따라서 상온 고속 수소 저장소재 기술은 원천기술 개발단계로, 관련 기술의 학·연 협력 체재를 구성하여 기술개발 지원 계획



4. 투자 방향(안)

◆ 수소경제시장에 대한 밝은 전망과 청정에너지에 대한 니즈에 따른 친환경 자동차 및 대용량 에너지저장 시스템에 대한 관심 증대로 정부에서는 ▲국토교통부, 환경부, 산업부와 공동으로 수소경제사회 실현을 위한 정책방향 설정을 준비하고 있음. ▲ ‘2030년 수소차 10% 시대’를 구현하고자 △핵심기술개발 △충전소 확충 △제도정비 △민간보급활성화 △인센티브 등 5가지 분야별 과제를 도출해 추진

- 국토부(17.8.30)에 따르면, 국내 보급된 수소차는 114대이며 충전소는 11개에 머무는 수준. 일본은 도요타와 JX에너지 등의 협력으로 90여개의 수소충전소를 도입·운영 중이며, 수소연료전지버스 2개가 버스노선에 투입된 상황.
- 국토부는 수소충전소가 포함된 복합휴게소를 2025년까지 200개소를 짓겠다는 계획을 발표.
- 현재의 수소저장기술은 700bar 이상의 특고압에 기반한 기술이기 때문에 안전성의 문제를 간과할 수 없는 상황이며, 수소충전소 및 수소차 그리고 수소에너지저장시스템의 도입에 크나큰 걸림돌임.
- 따라서 신뢰성있는 안전한 상온 급속저장이 가능한 수소저장 소재 기술개발이 반드시 확보되어야 함.
 - 정부는 현재 고가의 수소차 가격 및 충전소 설치비용, 기술개발·제도적 기반 미흡 등이 문제점 극복 및 수소경제 이행을 위해서, ‘2030년 수소차 10% 시대’를 구현하고자 △핵심기술개발 △충전소 확충 △제

도정비 △민간보급활성화 △인센티브 등 5가지 분야별 과제를 도출해 추진하고 있음.

3.2.4 안전한 사회를 위한 안전소재

3.2.4.1 블랙아웃 대응 에너지소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 미래사회의 기후변화와 에너지 위기, 재해·재난 등으로부터 사회안전 확보와 위기관리 시스템 구축을 위해선 블랙아웃 시 안정적 에너지 공급이 가능한 자가발전 및 전기저장 기술이 요구

□ 미래사회 대응을 위한 안전소재 요구

- 고도의 기술 발전에 따른 기후변화, 자원고갈, 노령화 등의 복합적 요인에 의한 미래 사회의 각종 재난에 대응할 수 있는 시스템 구축이 요구됨
 - 미래사회는 4차산업혁명의 도래와 함께 모든 것이 연결되고 보다 지능적인 사회로 빠르게 진화할 것으로 예상
 - 미래사회의 메가트렌드인 초연결사회, 초고령사회 및 기후변화 등에서 예측되는 자연재해, 인공재난, 전염병, 테러발생 등으로부터 사회안전 확보를 위한 안전소재가 필요
- 재난 및 안전사고시 에너지 공급 및 독립 구동이 가능한 블랙아웃 대응 안전소재 개발 필요
 - 재난 안전사고 및 사고 대형화 양상으로 블랙아웃시 독립적으로 구동 가능한 자가전원 시스템 개발의 필요성이 대두되고 있으며, 이는 센서, 정보, 반도체, 인공지능, 신소재 등 첨단 기술과 기계, 전자, 항공 등의 전통기술이 복합된 고부가가치 첨단소재기술의 복합체임
 - 자가전원 소재와 함께 위기상황시 대응 가능한 고안전성 에너지 공급 시스템 구축을 통해 사회안전 확보 및 위기관리 시스템 구축이 가능

□ 블랙아웃 대응 에너지 소재를 통한 사회 안전용 위기관리 시스템

확보

- 경주 지진('16.9.12, 진도 5.8)을 비롯, 최근 이상기후로 인한 태풍·집중호우 등 대규모 자연재해 위험성 증가로 인한 사회 안전용 위기관리 시스템 확보가 중요함.

※ 2000년대 시간당 50mm 이상 강우 평균발생 횟수 '80년대 대비 1.8배 증가

- － 재해/재난관리 국가경쟁력*은 OECD 국가 중 하위권이며, 부처간 긴밀한 협력체계(R&D) 미확립

* 2014년 기준 OECD 34개국 중 25위(국가안전관리기본계획('15~'19))

- － 재난·재해 대응 핵심기술은 주요국과 상당한 격차를 보이며, 재난 현장의 특수성을 고려하지 않은 연구자 위주의 R&D로 개발한 기술의 활용도 미흡*

* R&D 성과의 산업현장 적용 비중은 1.5%에 불과(방재학회, '13)

- － 실용적이며, 재난 현장의 특수성이 고려된 안전관리 시스템 구축이 시급함.

(2) 기술현안

◆ 독립 구동이 가능한 자가전원 시스템과, 위기상황에서 안정적으로 에너지 공급이 가능한 고안전성 에너지 저장 시스템을 통해재해·재난 등으로부터 사회안전 확보

□ 자가발전 소재 및 시스템 구축

- 에너지 효율이 높고 블랙아웃시 비상 구동이 가능한 자가발전 세라믹 소재 개발 및 이에 기반한 시스템 구축

- － 모바일기기, 자동차, 건물 유리 등 일상에서 쉽게 접할 수 있는 디스플레이에 자가전원 기능을 부여하여 에너지 효율 증가 및 블랙아웃시

비상구동을 통한 사회안전 확보

□ 효율적인 에너지 저장 신소재 및 시스템 개발

- 기존의 이차전지 소재가 아닌 초고속 충전 전용 신소재의 개발을 통해 초고속 충전이 가능한 신개념 이차전지 시스템 개발
 - 초고속 충전 전용 신소재의 개발과 개발된 소재의 미세구조 조절 및 신소재 전용 단전지/패키지의 개발을 통한 위기관리 시스템용 초고속 충전 에너지 저장 장치 개발

(3) 미래대응소재

◆ 블랙아웃시 에너지 공급을 위해 절전상황시 비상전원을 공급하는 자가발전 소재 및 단전 발생시 단기 초고속 및 상시적 전기에너지 저장이 가능한 전기저장 소재

21. 5분 완충가능 대용량 전지소재

기술 개요	5분 내 급속 충전이 가능한 전기자동차용 이차전지의 신개념 복합소재 기술 개발로서 전극, 전해질, 분리막 등의 모든 이차전지 소재를 고속 충전 전용 신소재로 대체하는 기술
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 최근 이차전지 연구는 기존의 소재를 활용하여 에너지밀도를 향상 시키거나, 고에너지밀도용 신소재를 개발하는 연구에 집중되어 있어, 전기자동차 및 ESS용 이차전지의 고속 충전 시간은 20-30분의 한계를 뛰어넘지 못하고 있음.
- 고속 충전 시간의 한계는 전기자동차의 대중화에 가장 큰 걸림돌이 되고 있어 개선이 시급하나, 기존의 소재로는 한계가 있음.

- 대표적인 미래 청정에너지 기술로 알려진 전기자동차의 대중화를 위해서는 고속 충전 전용 신소재의 개발을 통해 충전시간 문제를 우선적으로 해결해야 함.
- 재해/재난 상황 대비 위기관리 시스템의 안정적인 운영을 위해서는 ESS용 에너지 저장 시스템 또한 초고속 충전 기능이 필요함.
- (시장동향) 중대형 이차전지 기술은 EV/ESS 전체시장에서 가장 빠르게 성장하고 있으며, '15년부터 급성장 진행 중.
- 과거 모바일 IT 중심으로 성장해 왔으나, 중대형 이차전지기술의 성숙과 정보보조금 정책 수립 및 각 국별 기후변화조약의 목표조항 달성이 요구되고 있어 전기차 및 전력저장장치시장 본격성장* 임박
 - * 전체 이차전지 시장 1,300억불('20년 전망) 중, EV용 전지시장 450억불(24% 연평균 성장율), ESS용 전지시장 200억불(54% 연평균 성장율) (Fuji economics, '15)
- 현재 전기자동차용 이차전지의 에너지밀도의 급속한 발전에 따라, 미래 전기자동차용 이차전지 시장의 선점 및 대중화 성공의 열쇠는 충전 시간의 단축의 성공 여부에 달려있음.
- 국내의 이차전지 산업은 완성품 시장에서는 세계 시장은 선도하고 있으나, 소재의 경우 수입의존도*가 매우 높아서 구조 개선이 필요함.
 - * 국내 이차전지 소재 평균 국산화율: 10% 내외 (한국에너지신문, '16)
- 소재의 수입의존도가 높은 국내 이차전지 산업구조의 개선은 고속 충전 전용 소재의 개발을 통한 신소재 선점을 통해 가능하며, 그로 인한 일자리 창출 효과가 매우 클 것으로 예측됨.
- (정부 R&D 투자) 과학기술정보통신부에서 발표한 “2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준”에 의하면, 정부의 2018년 투자방향에서 이차전지는 차세대 이차전지 원천기술 확보에 주력

할 예정임.

- 2018년 정부의 이차전지 연구개발 투자방향은 차세대 이차전지 원천기술 개발 지원과 중대형 이차전지 실용화를 위한 기반조성 지원으로 요약할 수 있음.

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 국내 기술이 세계 최고 수준이지만, 전기자동차에서의 긴 충전시간이 대중화의 걸림돌로 작용하고 있어, 반드시 해결되어야 하는 미래 핵심 기술임.
- (미래문제 해결 기여도) 급속 충전을 통해 블랙아웃에 필요한 대량의 전원을 예비전력으로 빠르게 충전하여 유사시 사용 가능
- (기술의 미래원천성) 이차전지는 높은 에너지밀도 달성의 연구는 꾸준히 진행되어 왔지만, 급속 충전 전용 소재의 개발은 부족하였음.
 - 기존의 소재에서 충전 속도를 높이는 개념이 아닌, 급속 충전 전용소재의 개발을 통한 접근이 필요한 시점임.
- (국내 R&D 역량) 국내 관련분야 연구개발 역량은 세계 최고 수준으로 주로 대기업을 중심으로 선도국의 위상을 유지하고 있음.

- (글로벌 리딩 가능성) 국내 관련분야 연구개발 역량은 세계 최고 수준으로 선도국의 위상을 유지하고 있으나, 대기업의 고에너지밀도 달성을 통한 시장 점유 기술에 한정되어, 학/연 중심의 급속 충전 전용 소재 개발을 위한 원천 기술 개발을 통해, 글로벌 리딩 지위를 확고히 유지할 필요 있음.

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 블랙아웃 상황 시 단전 발생 전 수분 안에 EES, 전기자동차 등의 전원을 공급할 수 있는 초고속 충전용 이차전지의 개발을 위한 전극 소재 기술 개발
- 이차전지 기술은 삼성전자와 LG전자 등에서 세계 최고의 기술을 보유하고 있으나, 다가올 4차 산업혁명 시대의 필수 기술 중의 하나인 고속 충전기술은 현재 20-30분 수준의 급속 충전에 머물고 있어, 미래 시장 선점을 위해서 획기적으로 충전 시간을 낮출 수 있는 소재 개발의 필요성이 꾸준히 제기 되고 있음.
- 전기자동차 및 ESS 용 차세대 이차전지 소재 기술로 나노구조 복합소재 제조 기술을 활용한 5분 이내 완충 가능한 이차전지 제조 기술 개발이 요구됨.

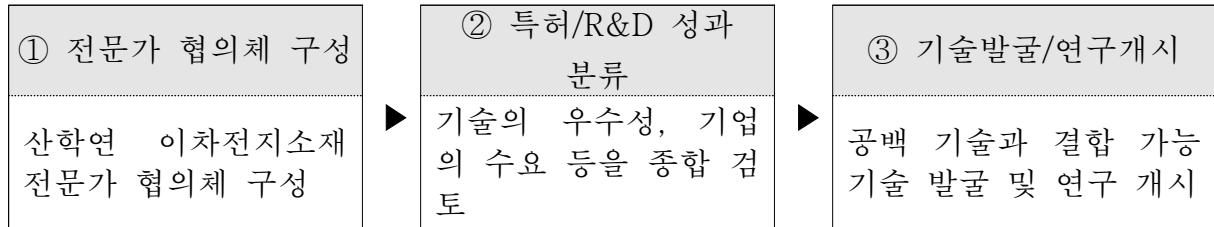
5분 이내 완충가능 대용량 전지 소재 기술

- ☐ (활용 분야) 5분 이내 고속 충전이 가능해 짐에 따라, 고속충전 전기 자동차, 고속충전 ESS, 고속충전 스마트폰, 긴급 상황용 의료기기 등에 활용이 가능함.

① 전기자동차용 이차전지	② ESS용 이차전지
※ 5분 이내 고속충전이 가능하여 대중화에 성공하는 청정에너지 전기자동차	※ 5분 이내 충전이 가능하여 블랙아웃이 확실히 대비되는 미래형 ESS

③ 모바일기기용 이차전지	④ 의료기기용 이차전지
※ 5분 이내 완충으로 블랙아웃 대비가 가능한 미래형 모바일 기기	※ 인명이 좌우되는 급박한 시점을 대비하기 위한 미래형 휴대용 의료기기

- (연구개발 계획) 현재 전극 소재 기술은 응용기술 개발단계로, 관련 기술의 산학연 협력 체재를 구성하여 기술개발 계획



4. 투자 방향(안)

◆ 최근 이차전지 시장의 급격한 증가로 인해 정부에서는 ▲차세대 전지 원천기술개발 지원(과기정통부), ▲사업화기술 지원 집중(산업부)의 정책이 마련되었으며, 그 중에서 사업화기술 지원의 경우, 중대형 이차전지 실용화를 위해 전기자동차용 이차전지의 급속 충전 시간의 단축을 위한 연구 지원의 확대 필요.

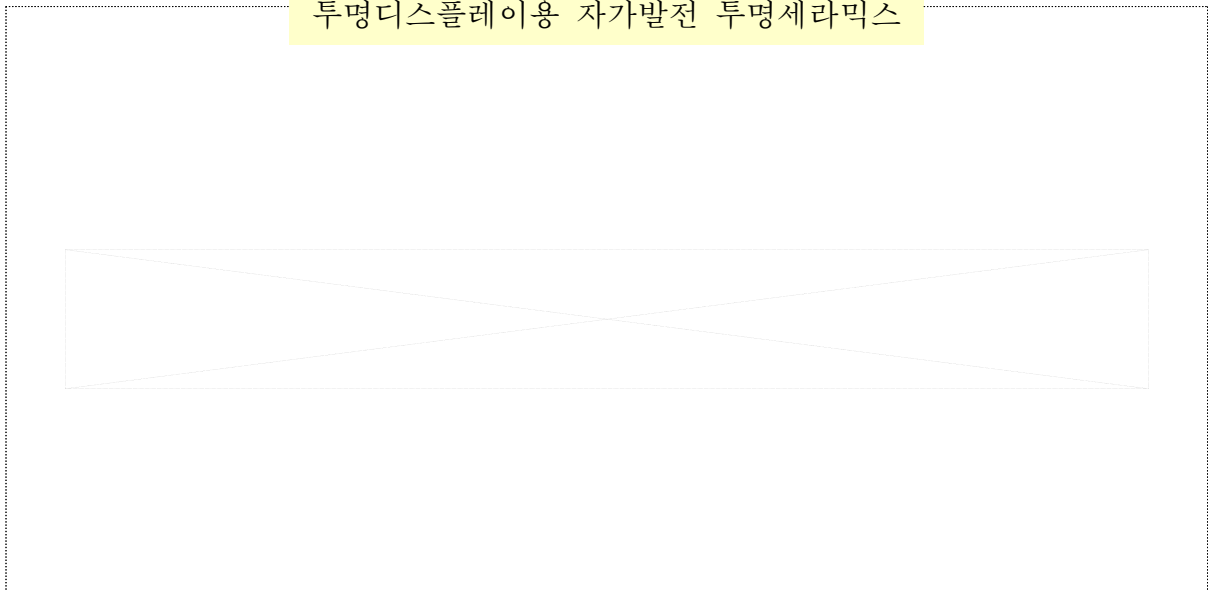
- 2018년 정부의 이차전지 연구개발 투자방향에서 제시된 바와 같이, 차후 이차전지 연구 지원은 차세대 이차전지 원천기술 개발 지원과 중대형 이차전지 실용화를 위한 기반조성 지원에 집중하는 것이 바람직함.
- 이차전지 시장의 차세대 기술개발로서 리튬공기전지기술, 전고체전지기술 등의 미래형 이차전지 소재원천기술개발 지원 강화는 반드시 필요한 정책임.
- 산업적 측면에서, 대표적인 청정에너지 기술인 전기자동차의 대중화를 위해서 급속 충전 전용 신소재 개발에 대한 R&D 지원 확대 필요

- 정부는 2018년도 정부연구개발 투자방향 및 기준으로 중대형 이차전지 실용화를 위한 기반조성 지원 전략을 공표하였으나, 전기자동차의 대중화를 위해서는 고에너지밀도 확보 보다는 급속 충전 시간 단축을 위한 원천연구 지원이 필요함.

22. 자가발전 투명세라믹스

기술 개요	자가발전 투명세라믹스 소재는 투명디스플레이에 자가발전 기능을 추가하여 화면을 터치하면 진동 및 전기에너지가 발생하여 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 미래형 신개념 청정에너지 기술임
-------	--

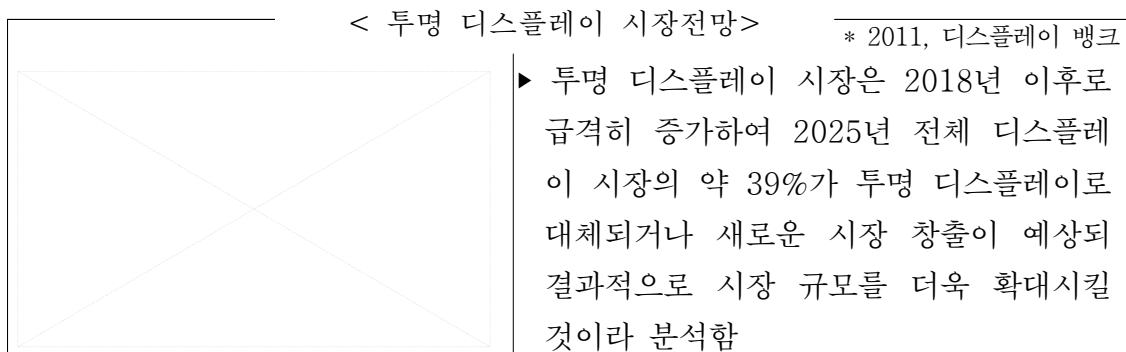
투명디스플레이용 자가발전 투명세라믹스



1. 주요 현황

- (연구현황) 우리나라는 세계 최고의 디스플레이와 햅틱 관련 시스템 기술과 함께 압전 소재 관련 세계 최고 기술을 보유하고 있어 투명 압전 디스플레이 신개념 시장 선점이 기대됨.

- 모바일 및 자동차용 디스플레이에 방수·방진 및 내구성 증가와 실감 부여등을 위해 진동을 통한 햅틱 기능을 부여하려는 연구개발이 활발히 진행중임 (애플 아이폰7, HAP2U, 아우디/폭스바겐 CES2016 출품, BOSCH airhaptic 등)
- 미래형 투명 디스플레이에는 햅틱기술은 물론 블랙아웃시에도 사용 가능한 자가발전기능 부여를 통해 신시장 창출이 가능할 것으로 판단되며, 이를 위해선 투명압전 소재기술 개발이 필수
- 국내 투명압전소재 연구개발면에서는 서울대와 고려대에서 PLZT 투명압전체 및 KNN등의 다양한 무연압전 세라믹 조성 및 공정기술을 개발한 바 있으며, 재료연구소는 대형 무연압전 단결정 제조원천특허를 보유하고 있음
- (시장동향) 투명 디스플레이는 구조상 기존의 반도체 인프라를 그대로 이용 할 수 있고, 기술발전 속도가 매우 빠르며, 그 응용분야가 다양하다는 점에서 기존 디스플레이시장을 대체하고 신시장을 창출할 것으로 예상



- 미래먹거리: 투명 디스플레이를 이용한 스마트 창, 스마트 쇼윈도우, 투명네비게이션 등 투명 IT 전자기기는 2010년부터 시장이 형성되어 왔으며 소형 투명디스플레이 시장과 대면적 투명 디스플레이 시장을 합하게 되면 전체 시장은 2020년 약 314억 달러에 이를 것으로 예측됨 (차세대 디스플레이 산업분석, 중소기업기술로드맵 수립사업 보고서, 2013)
- 글로벌신시장: 미국과 일본, 유럽 등의 선진국에서 미래시장 선점

및 차세대 기술 확보를 위한 경쟁이 치열하게 전개중이며, 중국정부는 정부의 강력한 지원책 및 거대 내수시장을 통해 LCD 2015년 세계 LCD시장점유율의 15.5%를 차지하였으며, 투명 디스플레이 사업 선점을 위한 모바일기업과의 연계를 진행중임.

- 일자리창출: 디스플레이 사업은 라인건설에만 수십조원이 투자될 만큼 큰 산업규모를 가지며, 투명 디스플레이는 2018년 이후 CAGR 87%의 급격한 증가와 함께 기존 디스플레이 시장을 대체하여 2018년 이후 일반 평판 디스플레이보다 시장 점유율이 높아질 것으로 전망.

- (정부 R&D 투자) 투명 디스플레이 관련하여 '17년 총 15개 과제, 33.0억원의 R&D가 진행 중임

- LCD, OLED 등 전통적 디스플레이 관련 정부 R&D 투자는 최근 최근 지속적인 감소 추세에 있음

※ 2011년 디스플레이 관련 정부R&D 투자액 276억원에서 2015년 195억원으로 감소

- 반면, 투명디스플레이 관련 정부 R&D 과제는 급격한 증가 추세에 있음.

※ 2011년 투명 디스플레이 관련 정부R&D 과제 21건에서 2015년 41건으로 증가

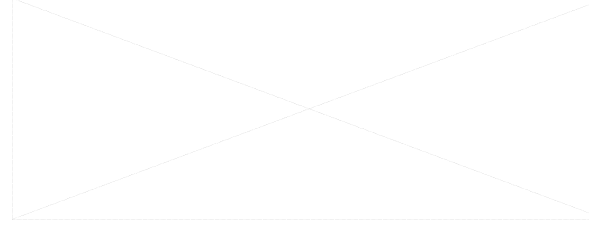
2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 투명 디스플레이는 모바일 기기는 물론 차량 유리나 가정용 창문 및 거울 등을 대체하여 일상생활 어디서나 볼 수 있는 소재가 될 것이며, 투명압전소재를 통한 디스플레이 자가발전 기능 부여는 에너지 절감은 물론 블랙아웃시의 안전장치 등으로 중요한 역할
- (미래문제 해결 기여도) 자가발전 투명 디스플레이는 미래사회의 에너지를 해결할 수 있을 뿐만 아니라 새로운 기능의 터치패널 디스플레이 플랫폼을 제공함
- (기술의 미래원천성) 치열한 경쟁이 예상되는 미래형 투명 디스플레이 시장의 원천성 및 부가가치 확보로 중국 등의 후발주자와의 경쟁 우위 확보위한 핵심 원천기술
- (국내 R&D 역량) 우리나라는 세계 최고의 디스플레이 기술과 함께 햅틱 관련 시스템 기술 및 압전 소재 관련 세계 최고 기술을 보유하고 있음
- (글로벌 리딩 가능성) 디스플레이 분야에서 LCD는 물론 OLED의 중국과의 기술 격차는 급격히 줄어들고 있으며, 햅틱 및 자가발전 기능은 지속적인 기술력 우위 유지를 위해서 확보해야 할 투명 디스플레이 핵심 기술로 예상

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 모바일 기기의 디스플레이에 자가발전 기능이 부여되어, 디스플레이터치로 전기가 공급되는 인체친화형 전기에너지생산 투명 디스플레이 소재
- 모바일 기기의 슬림화 및 배터리 효율 향상을 위한 신기술로 화면 터치만으로 전기에너지를 생산할 수 있는 자가발전 투명 압전 디스플레이 기술은 전 세계적으로 제안된 바 없는 신개념 청정에너지원 연구임.
- 자가발전 투명 압전 디스플레이 기술 개발을 위해서는 투명 압전 세라믹 소재, 투명 전극소재, 전극 패터닝 기술, 투명 자가발전 디스플레이 회로 디자인 기술 등이 요구됨.

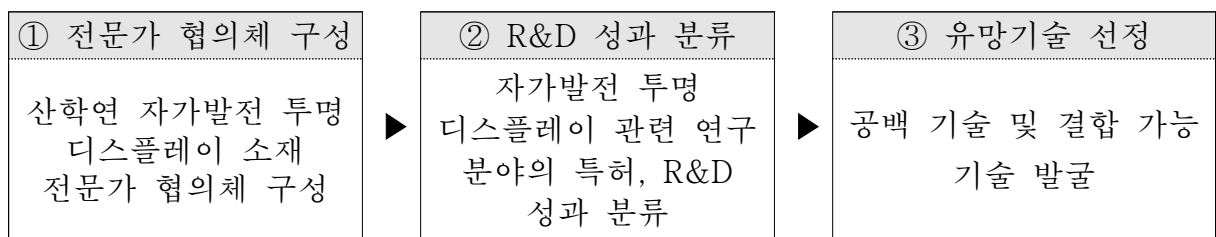
① 투명 압전 소재 및 공정기술 개발	② 햅틱 및 자가발전 시스템 기술 개발
 * 높은 에너지 하베스팅 특성을 보이는 투명압전 세라믹스 소재 및 투명화 공정기술 개발	 * 투명 전극 패터닝 기술과 햅틱/자가발전 기능 부여 디자인 기술 개발

- (활용 분야) 스마트폰, 차량용 디스플레이, 자가발전 디스플레이 및 미래형 투명 디스플레이 등에 적용
- 투명 햅틱의 적용으로 기존 스마트폰의 두께를 획기적으로 감소하고, 투명 모바일 기기의 개발을 앞당길 수 있음
- 화면을 터치하는 것만으로도 전기에너지가 생산되어 배터리 소모를 줄이고 블랙아웃시 비상구동이 가능한 신개념 자가발전 디스플레이

개발

활용 분야 (예시)	slim 스마트폰	자가발전 스마트폰	자가발전 디스플레이	투명 모바일 기기
활용 개념	투명 햅틱의 적용으로 기존 스마트폰의 두께를 획기적으로 줄인 스마트폰	화면 터치 동작으로 전기에너지가 생산되어 배터리 소모를 줄일 수 있는 자가발전 스마트폰	화면을 터치하는 것만으로도 전기에너지가 생산되는 신개념 디스플레이	햅틱 소재의 투명화로 투명 모바일 기기의 개발을 앞당길 수 있음.
예상 제품	(투명햅틱 slim 스마트폰)	(자가발전 slim 스마트폰)	(자가발전 디스플레이)	(투명 모바일 기기)

- (연구개발 계획) 현재 자가발전 투명 압전소재 및 디스플레이 기술은 원천기술 개발단계로, 관련기술의 산학연 협력 체재를 구성하여 기술 개발 지원 계획



4. 투자 방향(안)

◆ 디스플레이 산업의 핵심 미래기술 확보를 위한 필수 소재로, ▲투명 세라믹스 조성 설계 및 제어 기술, ▲ 투명 세라믹 제조 공정기술, ▲ 투명 전극소재 및 패터닝 기술, ▲ 햅틱 기능부여 디자인 개발 연구 등 원천소재기술부터 응용기술개발, 사업화 연구까지 모두 이루어져야 하는 파급력이 큰 장기 투자 연구 과제임

- 모바일, 자동차 산업은 물론 가정용 유리, 스마트 팩토리 등 다방면에 큰 수요가 예상되는 미래형 투명 디스플레이에 차별화된 핵심 가치 부여를 위해선, 정부 중심의 핵심 소재기술 R&D 투자 및 성과확산 필요
- 개발된 소재기술의 성공적인 적용을 위해선 시스템 기술과 융합되는 2단계부터 중소기업 위주의 기술 선점형 원천기술 확보를 위한 투자 강화가 요구

3.2.4.2 자가전원 초소형 자율이동체 소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

◆ 재난이나 극한환경에서 스스로 자율적으로 움직이며 탐사, 진단 등의 임무수행이 가능한 자가전원 초소형 자율이동체 필요

□ 재난이나 극한환경에서 제어나 충전없이 자율적으로 이동, 탐사, 진단, 협업을 수행하는 소형이동체 요구

- 개미, 나비, 벌 등을 모사한 특수목적형 소형 자율이동체 소재기술은 세계적으로 이제 막 시작된 태동기기술.
- 재난현장 탐사 및 진단, 극지 또는 오지 탐사, 스마트 협업, 민군용 정보수집 등을 수행하기 위해서는 별도의 제어도 하지 않고 에너지를 충전하지 않아도 주어진 임무를 자율적으로 수행할 수 있어야 함
- 소형자율이동체를 구현하기 위해서는 자율이동에 필요한 센서네트워크, 자가전원, 극한환경 내구성, 자가치유, mass customization등이 가능한 새로운 소재가 전략적 핵심소재로 주목 받고 있음

- 민감도, 에너지발생 및 저장 성능, 열/진동/충격에 대한 내구성 등은 유지하면서 코팅 또는 프린팅이 가능하고 자가치유 특성이 있고 다품종 대량 제조가 가능한 신규 소재 필요
- 재난 현장 탐사 진단, 극지 오지 등의 탐사, 다양한 협업을 통한 임무수행 등의 분야에 활용 가능
 - * 대표적 활용 분야: 예시 : 재난대응, 극한환경 탐사, 스마트공정 협업, 군사용 정보수집 등

(2) 기술현안

- ◆ 재난이나 극한환경에서 제어나 충전 없이 자율이동하며 탐사, 진단, 협업 등을 수행하는 특수목적용 자가전원 소형 자율이동 체용 센서네트워크, 에너지공급, 자기치유 소재 개발 필요
 - * 태동기기술이므로 선제적 집중투자를 통하여 원천기술 확보 및 세계시장 선점 필요

□ 자율 주행에 필요한 소재와 mass customization에 필요한 소재

- 자율주행 및 탐사, 진단을 위한 센서네트워크
 - 자율주행에 필요한 소형이동체 사이의 상호작용, 재난 극한 환경에서의 탐사 및 진단에 필요한 센서를 비평면 또는 3차원구조로 직접 프린팅 할 수 있는 신규 3D 공정소재
 - 소형이동체에 적합한 유연/연신 전극을 비평면 또는 3차원구조로 프린팅 할 수 있는 신규 3D 공정소재
- 충전이 필요없는 에너지발생 소자와 에너지 저장소자
 - 다양한 에너지원 (진동, 변형, 온도, 마찰 등)으로부터 에너지를 발생 하는 소자를 비평면 또는 3차원 구조로 제조할 수 있는 신규 3D 공정소재

- 발생된 에너지를 저장할 수 있는 소자를 비평면 또는 3차원 구조로 제조할 수 있는 신규 3D 공정소재

○ 극한환경용 봉지재

- 소형이동체에 실장된 소자를 극한 환경으로부터 보호할 수 있는 고신뢰성 봉지소재
- 비평면 또는 3차원 구조체에 균일하게 고신뢰성 봉지막을 제조할 수 있는 3D 공정소재

○ 자가치유형 소재

- 극한 환경에서 자율이동 중 발생할 수 있는 균열, 파손 등을 능동적으로 감지해 스스로 치유하는 자가치유형 신규소재

(3) 미래대응소재

◆ 재난이나 극한환경에서 제어나 충전 없이 자율이동하며 탐사, 진단, 협업 등을 수행하는 특수목적용 자가전원 소형 자율이동체용 센서, 에너지, 자기치유 소재 개발 필요

23. 센서 네트워크 제어용 다차원 용액공정 소재

기술 개요	다차원 용액공정을 통하여 비평면 상에 또는 자체가 3차원구조를 갖는 유연/연신형 위치/이미지/변위/온도/압력/화학센서 및 연산소자를 실장할 수 있는 소재기술
----------	---

1. 주요 현황

□ (연구현황)

- 최고기술 보유국인 미국은 3차원 비평면상에 회로를 3D 노즐프린팅하는 연구 진행 중 (미국, 하버드대학)이며 기술격차는 1년 정도임

- 유연한 비평면 3D 구조물에 전도성 배선을 인쇄하는 소재 및 공정 기술은 초기 연구 단계임 (화학(연))
- 유연한 비평면 3D 구조물에 반도체, 절연성 소자 인쇄 연구는 태동기 단계임
- (시장동향) 위험을 무릅쓰고 인간이 직접 해오던 일을 빠르면서도 정확하게 무인기 또는 가 할 수 있기 때문에 급격한 시장 확대가 예상되며, 현재는 주로 군사용이 대부분이며 향후 민수용 시장 확대 예상.
- 미래먹거리 : 소형자율이동체를 포함하는 무인기는 미래먹거리로써 세계시장은 2013년 약 66억달러, 2022년 114억달러로 급성장 예상. (미국 방위컨설팅사 , 2015), 중국의 JD.com에서는 소형 자율주행 로봇 기반 배송서비스를 테스트 중임
- 글로벌신시장 : 무인기 산업의 글로벌 선두는 미국과 이스라엘임. 특히 이스라엘은 무인기 관련 최대 수출국임
- 일자리창출 : 산업규모가 충분히 커서 해당산업의 고용을 최서 10% 이상 증가시킴
- (정부 R&D 투자) '16년 총 90개 과제, 약 200억원의 R&D가 추진되었으며, 주로 인프라 구축, 중대형 무인기, 통신시스템, 에너지 및 엔진 등에 투자가 이루어졌음

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 형 자율이동체 구현의 핵심 기술로써, 자율주행을 위한 각종 정보의 수집 요구에 매우 중요한 기술임
- (미래문제 해결 기여도) 소형 자율이동체에 각종 정보를 수집할 수 있는 센서 네트워크를 실장할 경우, 자율주행 및 유기적인 협업 등이 가능함
- (기술의 미래원천성) 비평면상의 소형이동체에 센서네트워크를 실장하는 기술은 용액공정이 가능하면서 감지 특성을 갖는 독창적인 기술임
- (국내 R&D 역량) 유연한 비평면 3D 구조물에 전도성 배선을 인쇄하는 소재 및 공정기술은 초기 연구 단계임 (화학(연)) 유연한 비평면 3D 구조물에 반도체, 절연성 소자 인쇄 연구는 태동기 단계임
- (글로벌 리더링 가능성) 최고수준의 기술을 보유하고 있는 미국과의 기술 격차는 1년 내외로써 연구자원을 집중 투자한다면 세계 최고 기술 확보 가능

24. 에너지 발생·저장용 3D 공정소재

기술 개요	자율이동체의 에너지공급을 위한 자가전원용 에너지발생 및 저장용 소형 3D 에너지디바이스를 제조할 수 있는 3D 공정소재기술
----------	--

1. 주요 현황

□ (연구현황)

- 초소형 3D 에너지발생소자연구는 태동기 단계임
- 일반적인 정전기방식 에너지하베스터 (미, MIT), 일반적인 압전방식 에너지하베스터 (미, 조지아공대) 등이 앞서가고 있으며, 기술격차는 1~2년 정도임
- 3D 구조의 에너지저장소자 제조 공정연구를 수행 중(미, 하버드대). 그러나 상용소재를 활용하여 3D 노즐 프린팅공정기술 개발에 집중되어 있으며 최적화된 고성능 3D 공정용 신규 소재 연구는 없음.
- 에너지하베스팅 연구는 국내외에서 많은 연구가 이루어지고 있으나 (성균관대, 서울대), 3D 마이크로 디바이스 구조에 최적화된 소재연구는 이루어지고 있지 않음
- 3D 직접인쇄용 양극,음극 소재 및 마이크로 디바이스를 개발하는 연구가 수행 중임 (화학(연), KAIST)

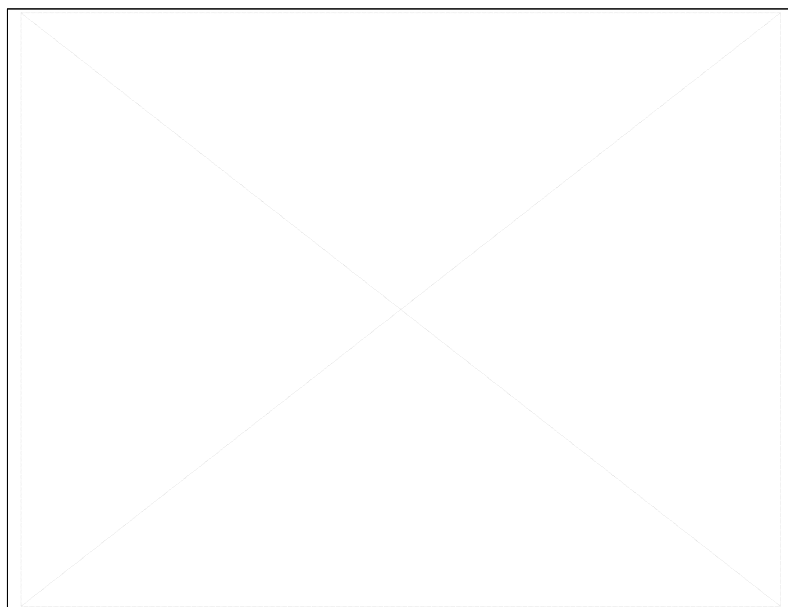
□ (시장동향) 위험을 무릅쓰고 인간이 직접 해오던 일을 빠르면서도 정확하게 무인 비행기가 할 수 있기 때문에 급격한 시장 확대가 예상되며, 현재는 주로 군사용이 대부분이며 향후 민수용 시장 확대 예상.

- 미래먹거리 : 소형자율이동체를 포함하는 무인기는 미래먹거리로써

세계시장은 2013년 약 66억달러, 2022년 114억달러로 급성장 예상. (미국 방위컨설팅사, 2015), 중국의 JD.com에서는 소형 자율주행 로봇 기반 배송서비스를 테스트 중임

- 글로벌신시장 : 무인항공기 산업의 글로벌 선두는 미국과 이스라엘임. 특히 이스라엘은 무인기 관련 최대 수출국임
- 일자리창출 : 산업규모가 충분히 커서 해당산업의 고용을 최서 10% 이상 증가시킴
- (정부 R&D 투자) '16년 총 90개 과제, 약 200억원의 R&D가 추진되었으며, 주로 인프라 구축, 중대형 무인기, 통신시스템, 에너지 및 엔진 등에 투자가 이루어졌음

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 소형 자율이동체 구현의 핵심 기술로써, 충전 없이 이동하기 위한 에너지 공급에 매우 중요한 기술임

- (미래문제 해결 기여도) 소형 자율이동체에 전원을 발생하고 저장할 수 있는 에너지시스템을 실장할 경우, 자율주행 및 유기적인 협업 등이 가능해져 재해/재난시 자율이동체의 보다 능동적인 탐사 및 구조활동이 가능해짐
- (기술의 미래원천성) 비평면상의 소형이동체에 에너지발생 및 저장소자를 실장하는 기술은 3D 공정이 가능하면서 에너지발생 저장 특성을 갖는 독창적인 기술임
- (국내 R&D 역량) 에너지하베스팅 연구는 국내외에서 많은 연구가 이루어지고 있으나 (성균관대, 서울대), 3D 마이크로 디바이스 구조에 최적화된 소재연구는 이루어지고 있지 않음. 3D 직접인쇄용 양극,음극 소재 및 마이크로 디바이스를 개발하는 연구가 수행 중임 (화학(연), KAIST)
- (글로벌 리딩 가능성) 최고수준의 기술을 보유하고 있는 미국과의 기술 격차는 1~2년 정도로 연구자원을 집중 투자한다면 세계 최고 기술 확보 가능

3.2.4.3 방사선 대응 안전소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

- ◆ 의료용 방호, 원자력 발전, 우주개발 등 미래산업에서의 방사선 안전성 확보를 위한 다목적 방사선 차폐 소재 필요
- ◆ 특히, 미래 국가번영의 미션인 우주개발에 있어 우주방사선으로부터 구조물 및 전자기기를 보호

□ 방사선 위협으로부터 인체를 보호하는 안전소재

- 미래 성장산업으로 예상되는 의료·원자력·국방·우주산업에서 작업자 및 구조물 방호용 방사선 대응 핵심 원천소재 개발을 통해 고성능·장수명화를 구현하기 위한 소재 플랫폼 기술

- 보론화합물 첨가 금속 및 고분자소재로 구성된 중성자 흡수재 및 차폐재가 널리 사용되고 있으나, 낮은 감마선 차폐/흡수능, 팽윤 (swelling) 및 취약한 성형성, 낮은 내열성 등의 문제가 있음. 따라서 기존 소재의 특성한계를 뛰어넘는 중성자 차폐/흡수소재 기술과 함께 우수한 감마선 차폐성능까지 발현 가능한 융합 신소재의 개발은 필수적

□ 우주방사선 대응 프론티어 소재

- 2020년 달탐사, 2030년 화성탐사, 2040년 소행성 등 국가적 차원의 우주개발계획을 고려할 때 우주환경에 적합한 방사선 차폐/흡수 소재를 우리기술로 개발하여, 우주개발에 능동적인 대응이 필요

(2) 기술현안

◆ 방사선 차폐·흡수성능 향상을 위한 내방사화, 가속시험 및 자가진단을 거쳐 원천소재 및 기술개발을 통해 미래산업 방사선 이용분야에서의 안전 확보

□ 중성자/감마선 차폐·흡수 소재

- 중성자 및 방사선을 동시에 차폐 가능한 방사선 방호 신규 소재 개발
 - Metal Hydride 소재는 감마선 차폐에 용이한 금속원소의 특징과 더불어 높은 수소함량으로 중성자선 차폐 성능 또한 뛰어남.
 - UHB(Ultra High Barn) 원소기반 소재 또한 높은 동시차폐 성능을 보일 것으로 기대됨.
- 방사선 차폐·흡수 융합소재기술 개발과 함께 구조안전성 소재와의 하이브리드화를 통한 고성능/장기건전성 방사선 재난 안전 및 우주개발에 능동적 대응을 위해 우주방사선으로 구조물 및 전자 기기를 보호하는 안전소재 개발

(3) 미래대응소재

- ◆ 우수한 방사선 차폐/흡수 및 구조성능 등으로 인해 원자력 발전 뿐만 아니라 의료, 우주분야에서 요구하는 미래원천 융합소재

25. 중성자&감마선 차폐·흡수 소재

기술 개요	미래산업에서의 안전성 확보를 위해 기존 소재의 특성 한계를 뛰어넘는 방사선 차폐/흡수능과 구조성능을 가지는 융합 신소재로 모든 방사선으로부터 안전 확보 가능
----------	---

1. 주요 현황

- (연구현황) 현재 방사선 차폐소재 관련 연구는 단일 목적 차폐소재 위주로 진행되고 있음
- 세계 최대 철강회사인 ArcelorMittal을 포함 특수강 전문업체인 일본 Sumitomo Metal, 미국 ATI, Carpenter, 그리고 유럽 Outokumpu 사 등에서 고농도 B 첨가 오스테나이트계 스테인리스강 합금 개발



- 복합재의 경우 이미 1950년대에 B4C 입자를 알루미늄 판재사이에 넣어 열간 압연한 Boral을 개발하였으나, 보론화합물의 불균일한 분포와 수분침투로 인한 수소발생의 문제로 최근 미국과 일본에서는 금속복합재 개념의 소재(BORTEC, MAXUS)가 개발되어 중성자 흡수체에 대한 적용 확대 중
- 기존 연구는 중성자 및 감마선 차폐성능 시험에서 한 방면에서는 우수한 특성을 보이거나, 다른 방면에서의 성능은 전무한 실정임. 방사선 관련 미래산업에서는 단일 소재의 다목적 사용이 예상되며, 이에 따른 중성자 및 감마선의 동시차폐가 가능할 뿐만 아니라 구조적 안정성·경량화 등의 특성을 보유한 융합신규소재 개발이 요구됨.
- (시장동향) 중성자&감마선 차폐·흡수 소재의 응용분야는 원자력, 의료기기, 비파괴 분석장비, 우주산업임.
- 방사선 차폐·흡수소재 : 2018년 기준으로 원자력 분야는 약 40억 불이며, 산업전체로는 약 470억불 규모이며 14% 이상의 연평균 성장률로 높음. 따라서 현재 전량 수입에 의존하는 핵심소재에 대한 해외 의존성을 탈피하고 미래 세계시장 선도할 수 있는 독

자적인 원천소재 개발이 필요

- (정부 R&D 투자) '16년까지 총 4개 과제의 기초연구 수준의 R&D 과제가 진행되었으며, 연구비 규모는 약 15억원 규모
- 수행내용은 ‘보론화합물 분산 알루미늄 복합재 분말야금제조기술’, ‘나노기술 기반 내열 중성자 차폐재 개발’, 나노기술 기반 중성자 차폐/흡수재 기술 개발’ 등의 기초연구 중심

2. 기술평가



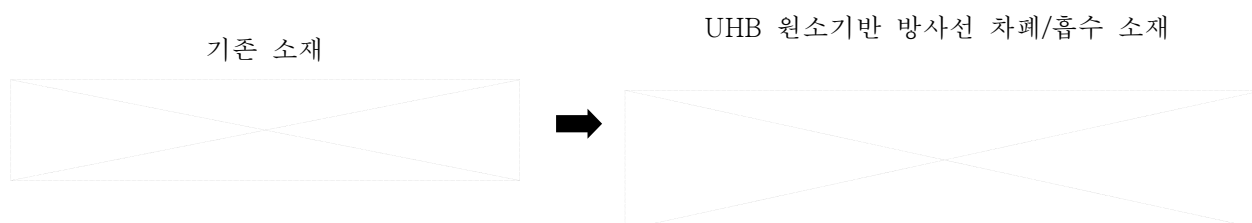
- (미래요구의 중요도) 의료 및 우주산업 진출에서의 우리나라의 독자적 기술 확보 및 원자력 발전소, 핵연료 관리시설, 동위원소 생산시설 등에서 중대사고 안전 대응전략 마련에 능동적으로 대응하는 것이 필요
- (미래문제 해결 기여도) 방사선 방호 및 중대사고 발생 억제에 있어 가장 중요한 요소인 방사선 차폐·흡수기능의 독자적인 핵심소재를 개발함으로써 미래사회의 안전문제 해결
- (기술의 미래원천성) 낮은 감마선 차폐·흡수능, 팽윤(swelling) 및 취약한 성형성, 낮은 내열성 등의 문제를 갖는 현 방사선 차폐소재

를 대체할 신규소재 개발은 미래 방사선 관련 산업에서의 입지를 다지기 위한 필수기술로 평가됨.

- (국내 R&D 역량) 기초연구 수준의 B₄C 입자강화 Al 복합재 개발과 Boron 첨가 스테인레스스틸 개발연구가 수행되었으나, 원천소재 개발부터 응용까지 체계적 연구는 진행된 바 없음.
- (글로벌 리딩 가능성) 국내의 우수한 융합소재 개발에 대한 R&D 역량을 바탕으로 제안된 신개념의 융합소재 및 핵심기술을 개발한다면 방사선 대응관련 소재기술에 있어 글로벌 리딩이 가능.

3. 연구개발 내용 및 계획

- (연구개발 내용) 다목적 방사선 차폐·흡수 소재 및 이를 구조안정성 기지에 균일 분산/분포된 융합소재개발을 통해 방사선 방호소재, 원자력 사용후 핵연료 안전한 처리 및 우주방사선 대응 핵심소재로 응용



- (활용 분야) 원자력, 우주/항공, 의료분야에 활용 가능

활용분야	원자력 안전소재	의료용 소재	우주/항공 소재
활용 개념	원자력 발전/처리 시 발생하는 방사선 대응 안전소재	의료 및 바이오 기기의 방사선 대응 안전소재	우주 방사선 대응 구조소재 및 전자장치 하우징 소재
예상 제품	(원자력 안전소재)	(의료/바이오용 소재)	(우주 소재)

□ (연구개발 계획)

- 3단계 연구개발추진 : 원천소재 → 융합소재 → 응용/실용화기술
 - 동시차폐 특성 발현 원소 함량/분산/분포제어 임계특성 방사선 차폐·흡수기능 원천소재 기술
 - 방사선 차폐·흡수 및 구조안정성 융합소재 및 하이브리드 기술
 - 방사선 차폐·흡수 대형판재 및 near-net 형상 부품화

4. 투자 방향(안)

- 단기적으로는 방사선 차폐·흡수 다기능성 독자적인 원천소재 개발, 구조안전소재와의 하이브리드 융합소재, 이에 대한 응용 및 실용화 기술, 설계/해석/평가기술을 포함하는 전주기 기술에 대한 정부차원에서의 안정적 지원 필요

3.2.4.4 재난 대비 자기복원/치유 소재

(1) 미래사회 현안 및 요구

- ◆ 기후 변화와 지진, 폭풍우, 폭설 등의 자연재해의 강도가 높아짐에 따라 초고층 빌딩/교량, 원자력/석유화학/극지심해 해양플랜트 등의 거대 인프라 구조물의 안전성 위협

□ 거대인프라의 안전성을 확보해 줄 수 있는 소재 기술 필요

- 전세계적인 기후 변화와 지진, 폭풍우, 폭설 등의 자연재해에 따른 초고층 빌딩/교량, 원자력/석유화학/극지심해 해양플랜트 등의 거대 인프라 구조물의 안전성 확보를 위한 자기복원/치유 소재개발 필요

- 외부의 점진적인 또는 급격한 변형에 높은 저항성을 가지거나 변형 이후 발생하는 균열의 자가치유가 가능한 고변형능 자가치유 소재의 필요성이 점진적으로 증가함.
- 한반도 지진 발생 빈도 및 규모 증가로 인한 건축구조물의 붕괴 우려와 재건축 단지의 고층화와 내진 설계 의무화로 인한 사회 인프라의 안전성 확보 소재 요구
- 정상적인 환경 하에서는 경량 구조물이나 압축 외력이 작용 시 수축하고, 인장 외력이 작용 시 팽창하는 독특한 특성을 가짐으로서 지진에 의한 지각 변동에 유연하게 대응할 수 있는 원천적인 소재 기술. 항

(2) 기술현안

◆ 자기복원/치유형 구조소재개발을 통해 거대 인프라의 구조 안전성 향상

□ 자기복원/치유를 통한 거대인프라의 사고저항 소재

- 미래사회의 거대 인프라 안전성을 보장할 수 있는 사고저항성 향상 소재 기술 개발의 필요성이 증대됨
 - 지진, 해일 등의 자연재해에 따른 예기치 못한 사고 발생시 인프라의 붕괴를 억제 및 지연하거나 미세한 충격에는 자기복원성을 가지게 하는 소재

(3) 미래대응소재

◆ 재난사고 발생시 인프라의 붕괴를 억제 및 지연하거나 미세한 충격에는 자기복원성을 가지는 소재로 인명의 손실을 최소화하며 인프라 손상에 따른 사회 불안정성을 해소함.

26. 극한환경 자기복원/치유형 고신뢰성 소재

기술 개요	특정 형상의 단위셀이 규칙적으로 배열되어 다공구조를 형성한 소재로 다공구조의 형상, 크기, 배열 및 원료 소재를 달리함으로써 자기 복원/치유의 기능을 부여함
----------	---

1. 주요 현황

□ (연구현황)

□ 자기복원/치유 소재의 경우 고분자 중심의 연구가 진행중이나 극한환경에 대응하기 위한 연구는 태동기임.

- 고분자 및 복합소재의 자가치유를 위한 캡슐 및 미세혈관모양의 네트워크구조를 이용하여 변형치유 연구 위주의 기초연구 수준 (미 Uni. Illinois at Urbana-Champaign, 영 Bristol uni., 중 Zhongshan 대학).
- 국토교통성 인증을 통하여 초고강도 내진용 철근 상용화(일본, JFE). 항복강도 690MPa급과 830MPa급의 MMFX 철근 개발을 통해 고강도 철근 적용 철근콘크리트 구조물 연구(미국 MMFX)

□ (시장동향) 자기 복원/치유형 구조소재의 개념을 가진 구조소재의 상용화 사례가 철강산업을 중심으로 확인됨.

□ (정부 R&D 투자) 관련목적을 달성하기 위한 구조용 소재로 철강분야를 중심으로 정부 투자가 진행중임.

- 건축물 및 API용 저항복비 후판소재 상용화 연구(포스코, 포스텍, 현대제철)
- 내진용 철근콘크리트 복합재 연구 (고려대, 현대제철, 동국제강)
- 내진/내화 형강 및 후판 철강소재 상용화 연구(재료연구소, 현대제철, KIST)

2. 기술평가



- (미래요구의 중요도) 거대 인프라의 안전성확보를 위해 필수적인 기술임. 또한, 기술은 자율주행을 통한 임무 수행시 발생할 수 있는 각종 파손, 결함발생 방지로 파생될 수 있음.
- (미래문제 해결 기여도) 미래 사회의 안전성을 확보해 주는 기반기술임. 자율이동체로 확대될 경우 자율이동체의 장기활용 안정성을 확보할 수 있음
- (기술의 미래원천성) 소형이동체 상의 센서네트워크, 에너지저장 발생 소자, 자율이동체 본체 등의 자가치유 가능한 신뢰성 유지소재는 독창적인 기술임
- (국내 R&D 역량) 극한환경용 소재는 타용도로 일부 연구가 진행되고 있어서 자가전원 초소형 자율이동체분야로 활용이 가능하나, 유연한 비평면 상에 소자를 제조하는 소재 및 용액공정기술은 개발이 필요함
- (글로벌 리딩 가능성) 현재 태동기 단계로 국가간 기술 격차가 거의 없기 때문에 연구자원을 집중 투자한다면 상대적으로 쉽게 세계 최고 기술 확보 가능

3. 연구개발 내용 및 계획

☐ (연구개발 내용)

○ 자가치유형 다공구조 소재

- 특정형상의 단위셀이 규칙적으로 배열되어 다공구조를 형성한 소재로 다공구조의 형상, 크기, 배열 및 원료 소재를 달리함으로써 균열, 파손 등을 능동적으로 감지해 스스로 치유하는 자기복원/치유 소재

☐ (활용 분야)

○ 전세계적인 기후 변화와 지진, 폭풍우, 폭설 등의 자연재해에 따른 초고층 빌딩/교량, 원자력/석유화학/극지심해 해양플랜트 등의 거대 인프라 구조물

- 의료, 항공, 자동차 분야 경사기능 경량구조부품
- 전자, 자동차, 에너지 분야 경사기능 방열부품
- 바이오, 환경 분야 자기치유부품

☐ (연구개발 계획) 거대인프라 안전 확보를 위한 자기 복원/치유 소재는 태동기 기술 개발단계로 다양한 원천기술개발이 필요함.

4. 투자 방향(안)

○ 주기적 구조 등 구조를 micro 단위에서 제어할 수 있는 공정기술을 기반으로 한 소재 설계, 제조기술(3D printing을 포함)에 투자

○ 자기 복원/치유 소재의 특성과 적용 인프라를 연계하는 기술투자가 필요

3.3 미래소재 R&D 전략에 대한 후속조치

□ 3-5년 주기로 미래소재 연구동향 파악 및 업데이트

○ 국내외 R&D 현황 파악

- 국내외 정부과제 동향 및 성과 파악
- 관련분야 시장 및 산업동향 파악

○ 새로운 미래소재 R&D 수요 조사

- 학술단체를 통한 white paper 수집
- 과기정통부 RFP 수요조사
- 포럼, 학술회의 발표회를 통한 전문가 의견 수렴

3.4

전략소재 원천기술 R&D 추진일정

3.4.1

초연결 사회를 위한 스마트소재

과제명	연도									
	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27
1 초연결 사회를 위한 스마트소재										
Exa스케일 인지연산 소재										
초병렬 연산지능 소재	초병렬 지능 연산 구현 요소소재 개발		초병렬 지능 연산 요소 융합기술 개발		상용화 응용기술 개발					
인지가소성 나노전자소재	인지가소성 나노전자 소자 구현 요소소재 개발		인지가소성 나노전자 소자 구현 요소 융합기술 개발		상용화 응용기술 개발					
극저손실 신호전달소재	극저손실 신호전달 구현 요소소재 개발		극저손실 신호전달 구현 요소 융합기술 개발		상용화 응용기술 개발					
Mobile 인공지능용 소재										
인공지능용 스케일링 돌파형 초저전력 정보 저장 소재	저장소재 데이터베이스 구축 및 동작원리 규명		최적소재기반 소자 디자인 및 제작		저장소자 어레이화 연구		저장소자/연산 소자 on-chip 집적화 연구			
인공지능용 로직소재	행렬곱셈 연산 및 의사결정용 반도체 재료 데이터베이스 구축		연산소자 디자인 및 제작		연산소자 어레이화 연구					
IoH 기반 복지서비스										
자극감응형 유연성 조절소재	소재합성, 원천IP획득		자극에 따른 물리적특성 조절, 공정기술확보		외부자극에 의한 유연성조절 시스템확립					
감각저장·구현 전자소재	감각저장 및 구현 요소소재 개발		감각 저장구현 요소 융합기술 개발		상용화 응용기술 개발					
초경량 유연·신축성 전자소재	초경량 유연/신축성 전도체, 기판 소재 발굴						부도체/반도체 소재 개발			

3.4.2

건강한 사회를 위한 웰니스 바이오소재

과제명	연도					
	'18	'19	'20	'21	'22	'23
② 초고령 건강사회를 위한 바이오웰니스 소재						
만성질환해결 올인원소재						
AI기반 고신뢰도 바이오센서	IoT/AI 기반 바이오센서용 소재 기술 개발 바이오마커의 인터페이스 기술개발		신호전달모듈의 IoT연계		맞춤형 스마트 바이오센서 사업화	
인체이식형 바이오소자	면역 거부반응이 제어된 바이오 기초소재 개발		바이오소재를 도입한 인체이식형 소자 모듈개발		인체 이식형 바이오소자 사업화	
체내자가구동 바이오배터리	생체에너지전환을 위한 생체적합성을 갖는 기초소재 개발		부착 부위별 자가발전이 가능한 바이오배터리 소자개발		장기간 배터리 구동성 시험 및 체와의 결합	
100세시대 인체장기 대체 복원기술						
신체감각 보조용 바이오닉 소재	생체 적합성 바이오닉 소재 개발/외부 자극 - 생체 신호 변환 및 증폭 기술 개발		감각 기관별 소재 기능 및 신호 효율 최적화		임상시험을 위한 IND 승인 및 사업화 전략 구축	
콜 대사 조절소재	콜대사의 임의 제어가 가능한 신소재 개발			환자 상태 반응형 콜이식재 개발		
결손공간 감응 4D 프린팅 소재	4D프린팅 소재 디자인 및 프린팅 기술 개발		전임상시험을 통한 안전성 유효성 최적화		임상시험을 위한 IND 승인 및 사업화 전략 구축	
장기기능 맞춤 매트릭스	장기기능 맞춤 매트릭스 소재 디자인 및 프린팅 기술 개발		전임상시험을 통한 안전성 유효성 최적화		임상시험을 위한 IND 승인 및 사업화 전략 구축	
스마트 약물전달 소재						
부작용 억제소재	생체조직-바이오 소재의 표면 제어 기술 개발		전임상시험을 통한 안전성 유효성 최적화		임상시험을 위한 IND 승인 및 사업화 전략 구축	
고감도 약물전달 매트릭스	인체유래 재 발굴 및 합재료의 데이터베이스화	약물전달 및 약물별 소액별 데이터베이스화	약물 방출의 제어가 가능한 소재 개발	능동적 약물 전달	임상시험을 위한 경피 약물전달 제형 포플레이션 개발	

3.4.3

지속가능한 사회를 위한 환경소재

과제명	연도									
	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27
③ 지속가능한 사회를 위한 환경소재										
오염물질 Zero화 소재										
다종오염물 맞춤형 스마트 다공성소재	환경정화 시스템 효율 극대화 스마트 다공성 소재개발			환경정화 시스템 적용을 위한 다공성 스마트 소재 다메이스 개발			사업화 규모의 다메이스 구축 및 실증			
Green Engineering 기반 지구환경										
에너지 변환소재	Long Bag Filter 기술 실증			에너지 하베스팅 소재 및 소자 설계			고효율 에너지 변환 소재 복합화 연구			
	수소 발생 기초 소재 연구			수소 발생 소재 integration			수소 발생 복합 소재 실증화 연구			
3분 급속 상온 고용량 수소저장 소재	준안정 수소저장재 전산설계 및 저장재 제어기술 개발					수소 저장/방출 제어기술 개발			시작품 모듈 개발 신뢰성 검증	

3.4.4

안전한 사회를 위한 안전소재

과제명	연도									
	'18	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'27
4 안전한 사회를 위한 안전소재										
블랙아웃 대응 에너지소재										
자가발전 투명세라믹스	투명세라믹스 원천소재 조성 및 공정기술 개발				모듈 설계 및 시스템 제어기술 개발			실증화 및 사업화 기반 구축		
5분 완충가능 대용량 전지소재	급속 충전 소재 전산설계 전극/전해질/분리막 소재 개발					소재 상용화 연구 단전지 구조 설계		패키지 기술		
자가전원 초소형 자율이동체										
센서네트워크 제어용 다차원 용액공정 소재	센서용 탐지소재 합성기술		탐지소재를 3D로 실장하는 기술			소형자율이동체 제조 및 평가 기술			소형자율이동체 운영 및 실증 기술	
에너지발생·저장용 3D 공정소재	에너지발생·저장용 소재 합성기술		3D 에너지소재 프린팅 기술							
대형 원자력사고 대비 안전소재										
방사선 차폐·흡수 소재	방사선 차폐·흡수 원천소재		융합 하이브리드화 기술			near net shape implementation 기술				
극한환경 자가복원/치유형 고신뢰성 소재	자기 복원/치유 소재 (Auxetic구조 3D printing)				인프라 구조물 위상최적화 기술			인프라 적용 실증기술		

4. 미래소재 R&D 기대효과

4.1 기초연구의 패러다임 전환

□ 신산업 창출을 타겟으로 한 원천기술 R&D

- 미래사회의 메가트렌드를 반영한 수요기술 분석을 토대로 원천기술의 개발이 공백 기간 없이 산업화로 연계되는 타겟형 연구개발 확대

□ 경쟁 & 집중형 R&D

- 연구개발방법론의 다양성을 고려하여 주제중복*을 허용함으로써 선택과 집중에서 경쟁과 집중으로 연구개발 패러다임 전환
- 분야나 방법에 제한을 두지 않는 자유공모방식을 도입하여 연구자의 다양한 아이디어 발굴을 극대화함으로써 새로운 개념의 원천기술 확보

4.2 소재연구의 시너지효과

□ 소재연구의 효율성 제고

- 연구데이터 플랫폼을 활용한 포스트-미래소재 개발의 효율성 제고
- 부처간 연계를 통해 원천소재기술의 상용화 가능성 향상 및 기술개발 기간비용 단축
- 다양한 연구개발방법론간 경쟁을 통해 성과활용의 효율성 제고 및 적용분야의 확대
- 다양한 아이디어 발굴을 극대화함으로써 새로운 개념이나 새로운 종류의 소재개발 촉진

4.3 산업 및 경제 파급효과

- 각 산업 분야별 특성에 하기의 4가지 시장, 산업 및 고용창출 등의 파급효과를 가짐

- (신산업) 현재 내지는 5년 이내의 수요가 매우 큰 산업
- (미래 먹거리) 10년 후 수요가 급증할 것으로 판단되는 산업
- (글로벌 신시장) 개도국부터 선진국에 이르기까지 전세계적으로 수요가 있는 시장
- (일자리 창출) 해당산업의 고용을 최소 10% 이상 증가시킴

<미래소재의 대표연관산업과 파급효과>

대분류 (4)	중분류 (12)	전략소재 원천기술 (26)	대표연관산업	파급효과
① 스마트 소재	Exa스케일 인지연산 소재	- 초병렬 연산지능 소재 - 인지가소성 나노전자소재 - 극저손실 신호전달 소재	AI기반의 반도체 및 전자소재부품 산업	미래먹거리 글로벌신시장 일자리창출
	모바일 인공 지능용 소재	- AI용 스케일링 돌파형 초저전력 정보저장소재 - AI용 로직소재		
	IoH기반 복지서비스	- 자극감응형 유연성 조절소재 - 감각저장·구현 전자소재 - 초경량 유연·신축 전자소재	IoT & 센서 산업, 프린팅 일렉트로닉스 산업	신산업 일자리창출
② 웰니스 바이오소재	토탈 라이프케어 소재	- IoT/AI기반 고신뢰도 바이오센서 - 인체이식형 바이오소자 - 체내자가구동 바이오 배터리	IoH & 센서 산업	미래먹거리 글로벌신시장 일자리창출
	인체 장기 대체/복원 기술	- 신체감각 보조용 바이오닉스 소재 - 골대사 조절소재 - 결손공감 감응 4D 프린팅 소재 - 장기기능 맞춤 매트릭스 - 생체조직-소재 인터페이스 - 부작용 억제소재	인공장기 & 바이오닉 산업	
	스마트 약물전달 소재	- 고감도 약물전달 매트릭스	의약품질 및 소재 산업	신산업 미래먹거리 글로벌신시장 일자리창출
③ 환경변화 대응소재	오염물질 Zero화 소재	- 다종 오염물 맞춤형 스마트 다공성소재	환경·그린소재 산업	신산업 글로벌신시장 일자리창출

	Green Eng. 기반 지구환경	- 에너지 변환 소재 - 3분 급속 상온 고용량 수소저장 소재	에너지소재산업	신산업 미래먹거리 글로벌신시장 일자리창출
④ 안전소재	블랙아웃 대응소재	- 5분 완충가능 대용량 전지 소재 - 자가발전 투명세라믹스	차세대 배터리산업	신산업 미래먹거리 글로벌신시장 일자리창출
	자율이동체 소재	- 센서 네트워크 제조용 다차원 용액공정 기술 - 에너지발생·저장용 3D 공정소재	무인기기 소재산업	
	방사선 대응 안전소재	- 방사선 차폐·흡수 소재	의료·우주·방사선 산업	미래먹거리 글로벌신시장
	재난 대비 자기복원/치유 소재	- 극한환경 자가치유형 고신뢰성 소재	메가스트럭처 및 안전소재 산업	

□ 원천 기술을 토대로 Fast follower에서 First mover로 성장

- 미래소재 포트폴리오를 기반으로 한 전방 원천기술 연구의 성과 연계 이어달리기 R&D를 통해 기술력과 산업경쟁력 강화
- 소재선진국의 대열을 넘어 “Creative First Mover”수준으로 도약

5. 미래소재 R&D 제언

5.1 우리나라 소재부품 R&D의 현주소

- 우리나라의 소재부품산업의 현 주소: Fast follower
 - 우리나라의 2017년 상반기 소재·부품 수출입량은 수출 1,344만 달러, 수입 814억 달러. 무역흑자 또한 530억 달러를 기록
 - 11년 3분기 이후 6년 만에 수출성장률 11.0%로 두 자리대 증가율로 진입 [출처: 산업통상자원부 소재부품무역동향 보고서]
 - 그러나 기업이 필요로 하는 후방(Downstream) 부품 연구에 집중하여 상대적으로 전방(Upstream) 원천기술 연구를 도외시하여 원천기술의 부재로 인한 국가경쟁력을 떨어뜨림과 동시에 특정 국가와의 무역적자 상황이 지속되는 상황을 초래
 - 핵심부품의 대일본 의존도가 매우 높고 적자를 면하지 못함
- 양적 성과 중심의 R&D의 결과
 - 우리나라의 미국 특허청 소재 분야 특허 등록건수는 해마다 지속적으로 증가하여 2015년도에 722건으로 세계 4위, 전체 점유율 5.9%를 기록
 - 특허 질적 수준의 판단 기준이 되는 특허영향지수(PII, Patent Impact Index)는 0.58로 전세계 평균(1.05)보다 떨어짐 [출처: 재료연구소 2016년 소재기술백서]

5.2 앞으로 나아가야 할 R&D 추진 방향

- 소재분야 R&D 투자 포트폴리오의 질적 변화
 - 소재산업 환경의 악순환을 끊고 4차 산업혁명시대를 선도하는 원천소재 개발국으로서의 First Mover가 되기 위해서는 소재분야 R&D 투자 포트폴리오의 질적 변화가 요구
- 창의적이고 도전적인 아이디어 반영
 - 상기의 포트폴리오의 질적 변화를 위해 연구자의 아이디어를 중요시하는 도전적 소재탐색 추진으로 공격적 연구를 지원해야 함

- 미래지향적 소재에 대한 성공적 R&D를 위해 연구자의 아이디어를 적극적으로 채택함과 동시에 분야나 연구방법에 제한 없는 도전적 연구를 장려해야함

□ 국가주도의 연구개발사업의 바람직한 추진방향

- 국가 주도 중장기적 대형연구사업에서 한 연구주제에 대해 중복연구를 지양하는 관행으로 인해 선정되지 못한 연구자들이 원하는 연구를 하지 못하게 되어 국가 인력 손실이 발생하는 일이 빈번히 일어남
- 국가연구사업이라는 그늘 아래 독점적 연구 수행은 미래원천소재의 획득 가능성 및 다양성을 저해함은 물론 연구 실패 시 타 국가보다 소재 기술수준이 뒤쳐지게 되는 리스크를 떠 안고 있어 득보다 실이 많은 상황임
- 이러한 문제는 초기 과제선정만 된다면 손쉽게 다 년차 연구수행이 가능한 현 시스템의 약점이며, 이러한 부분을 개선함은 물론 관련분야 연구자 간 유기적 네트워크 연구수행을 통하여 진정한 의미의 국가주도 연구개발사업으로 거듭나도록 기획, 추진되어야 함





- ☐ 총 5개 학술단체 해당 분과의 12인의 전문가로부터 설문답변
과 의견 수집함











대분류	중분류	해외 연구현황 (2013-2017)
① 스마트 소재	Exa 스케일 인지연산 소재	• DRAPA SyNapse과제 수행중, Cognitive computing이 가능한 chip개발 (IBM) • 뉴런 10억개, 시냅스 10조개의 인공 두뇌급 개발 목표로 연구 진행 중(EU연합 연구단) • 상변화 메모리 소자의 확률적인 거동을 제어함으로써 패턴인식 기능 탐색 연구진행 (IBM) • PMC 계 소자의 시냅스 STDP 특성을 이용한 뉴로모픽 시냅스 소자 연구 (AIST) • 빛으로 신호를 전달하는 실리콘포토닉스 반도체의 기술개발 (LETI) • 뉴런회로기반 계산용 프로세서 칩 개발 (LETI) • 멤리스터와 CMOS기반 Hybrid reconfigurable 로직 회로 개발 (HP) • 스핀소자와 뉴로모픽구조를 이용한 초저전력 CPU개발 (Intel) • 화합물 반도체 기반 저전력 터널링펫 소자 개발 (도쿄대) • 커패시터를 사용하지 않는 새로운 형태의 임베디드 메모리 소자 구조 개발 (스페인) • GaN기반 HEMT(High Electron Mobility Transistor) 소자를 활용한 초고속 테라헤르츠(THz)급 RF칩 개발 (코넬대) • 지능형 검색 시스템 및 무인 자율 자동차 (Google) • 자동 통역 서비스 (MicroSoft)
	모바일 인공지능용 소재	• 나노이오닉현상 기반 고집적 저항변화 메모리개발 (Univ. Michigan) • 상변화메모리 기반 인공지능시스템 (IBM) • Microphotonic elements, circuits, and systems (MIT) • Development of 2D Metal Dichalcogenides as Active Elements of on-chip silicon-integrated optical communication (Stanford) • Non-reciprocal nanophotonic devices & CMOS-compatible plasmonics (Stanford) • Thin-film chalcogenide glass materials for high-quality integrated photonics (MIT) • Integrated Nanophotonic solid state memories for telecom wavelength quantum repeaters (Yale) • On-Chip 3D spiral inductors by self-rolled-up membranes (UIUC) • Microchip photonic devices for quantum communication over fiber (UC San Diego) • An integrated quantum communication transmission node (U. Washington)

② 웰니스 바이오소재		• Monolithic 3D integration of memory immersed in logic (Stanford) • Perpendicular all-spin non-volatile logic devices and circuits with hybrid interconnection (U. Minnesota) • Superlattice-FETs, Gamma-L-FETs, and Tunnel-FETs: Materials, Devices and Circuits for Fast Ultra-Lower-Power Ics (UC Santa Barbara)
	IoT 기반 복지서비스	• Organic digital mechanoreceptor (Stanford) • Bionic skin (U of Tokyo) • Fully-integrated wearable sensor array (UC Berkeley) • Highly stretchable polymer (Stanford) • Stretchable organic materials and sensors (Univ. of Osaka) • Biocompatible skin sensors and organic transistors (Univ. of Tokyo) • Silk-based electronic materials (Tufts Univ.) • Biomaterials-Based Electronic (Carnegie Mellon Univ)
	토탈 라이프케어 소재 인체 장기 대체/복원 기술	• 패치형태의 의료용 웨어러블 바이오센서 및 블루투스 무선통신 시스템 (VitalConnect) • 비침습 젖산 Tatto 바이오센서(UCSD) • 연속적 혈당모니터링용 체내삽입 바이오센서 (Sensonics Inc.) • 체내삽입용 혈압센서 (Fraunhofer) • 나노 열전제너레이터 개발 (Georgia tech) • 자가발전식 심장박동기 적용 가능한 압전에너지 하베스팅 기술 개발(Vienna Univ) • 바이러스기반 압전소자 제작 기술 개발 (Berkeley Univ) • 약물전달용 임플란트 소재 (Maxon) • 휘발성화합물질 기반 유방암 진단 휴대용 바이오센서(Menssana Res) • 감정탐지 및 모니터링용 웨어러블 센서 개발 (MIT) • 베타 아밀로이드 검출용 분자센서 개발(Weizmann Institute) • 베타 아밀로이드 검출용 전기화학적 면역센서 개발(Instit. Neuroimmune) • 시각 신경을 자극 렌즈 개발중(미, 존스홉킨스 대학) • 3D프린팅 기술을 이용, 귀형상의 청각신경 자극센서를 포함하는 바이오닉 귀 개발(미, 프린스턴 대학) • 3D 프린팅 공정을 이용한 골 대사 조절 임플란트 소재 (캐나다, 맥길대) • 골 대사 조절 약물이 코팅된 임플란트 소재 (영국, 옥스포드 대학) • Composite hydrogel을 이용, 프린팅후 자가변형 하는 4D 프린팅 바이오소재 개발 (미, 하버드 대학)

		• 자가조립소재를 이용한 4D프린팅 기술 개발 (미, MIT-Stratasys) • Sheer-thinning 하이드로젤을 이용한 정밀 세포 프린팅 기술 개발 (미, 펜실베이니아 대학) • High-throughout 3D 바이오프린팅 조직 모델 개발 (미, 웨이크 포레스트 대학) • 미세구조 제어 가능 세포 프린팅 잉크소재 개발 (미, Harvard) • Trizole의 표면 코팅으로 체내 안정성 증가 및 부작용 억제 기술개발 (미, MIT) • nanoporous tungsten oxide 코팅을 적용하여 장기간 지속가능한 소수성 표면처리 기술개발 (미, 하버드 대학) • 산소방출 하이드로젤을 이용한 상처치료 향상 기술 (미, 아크론 대학) • 산소발생 입자를 이용한 체내이식 줄기세포 생존률 향상 기술 (미, 존스홉킨스 대학) • 휘면서 색이 변하는 카멜레온 피부소재 개발 (미, 버클리 대학) • 터치에 의해 색이 변하는 카멜레온 소재 (미, 스탠포드 대학) • 피부를 모방하여 움직임을 인지하는 전자피부소재 개발 (미, 일리노이대 & 서울대 공동) • 피부의 감각기관을 모방한 전자 피부개발 (미, 스탠포드 대학)
	스마트 약물전달 소재	• 하이드로젤 기반 스캐폴드 개발(미국, 미시간대) • 생분해가능한 다공성 스캐폴드 개발 (영국, 임페리얼 칼리지 런던) • 전기방사법을 이용한 생분해성 스캐폴드 개발 (미국, 드렉셀대) • 엑소좀 기반의 RNA 전달 기술 개발(영국, 옥스포드대) • 단백질이 담지된 나노케이지 개발(독일, MPI of biochemistry) • 체내에서 흡수가능한 생분해성 약물전달 시스템 개발 (미국, MIT) • 약물전달을 위한 생분해성 나노입자 개발 (미국, 네브래스카대) • 생분해성 약물전달 시스템 개발 (영국, 노팅엄대) • 땀을 효과적으로 모을 수 있고 질병진단이 가능한 패치 개발 (미국, 노스웨스턴대) • 장기간 피부에 부착 및 자극에 의한 약물 방출 패치 개발 (미국, 스탠포드대) • 마이크로니들 기반 약물전달 패치 개발 (미국, 조지아텍)
③ 환경변화 대응소재	오염물질 Zero화 소재	• 고효율 미세먼지 제거 나노섬유필터기술 (미, stanford 대학) • 입자 및 가스 복합 처리용 MOF 필터 소재 (중, 북경공대) • 수분함유 입자 필터소재 (호주, 뉴사우스

		• 웨일스대학) • 초미세다공체의 유기오염물 흡착 및 형광기반탐지기술 개발 (미, 텍사스대) • 광촉매 박막에 의한 독감 바이러스 무독화(일, 동경대) • 광활성 나노입자에 의한 항생제 내성 세균 정화 (미, 콜로라도대) • MEMS 및 CNT 이용 센서어레이 및 네트워크 연결기술 개발 (미, NASA AMES 연구소) • 분자광센서 개발 진행 (미, Florida Tech) • 중공사막 및 평판형막을 통한 세라믹 분리막 소재(독, Fraunhofer) • 원통형 허니컴형태의 세라믹 분리막 개발 (일, NGK)
	Green Eng. 기반 지구환경	• 용액 공정의 나노 입자 기반 태양전지 최고 효율 보유 (토론토 대학) • 고에너지 전하를 이용한 태양전지 최초 개발 (미국신재생에너지연구소) • Caloric 효과를 이용한 자기냉각소재 및 모듈개발 (미국 Ames Lab., 독일 Vakuumschmelze사 등) • 자기구조상전이소재, 자기형상기억합금 소재 연구 (독일 Darmstadt대학 등) • 멀티스케일 상전이를 이용한 자기냉각발전 효과 연구는 연구초기상태임 • 투명 친환경 압전 세라믹스 조성 개발 연구. (홍콩공대 등) • 친환경 압전 단결정 연구. (펜실베이니아주립대 등) • 디젤연료용 APU를 위한 6X12cm² 고온형 금속지지체 셀 개발하였으나 성능 낮음 (Plansee사) • 12X12cm² 금속지지체 셀 개발하였으나 통전 및 가스누설로 출력 달성 실패 (Topsoe 중심 METSOFC) • 산화물 나노튜브를 이용하여 Li 이차전지와 DSSC 태양전지가 결합된 하이브리드 소자가 구현(미국 조지아공대) • 실리콘 솔라셀과 Li 이차전지가 결합된 하이브리드 에너지전원이 구현(UNIST) • Ether 전해액, Ether-treated MWCNT 를 활용해 CO₂와 반응 시 200 cycle 이상 구동가능한 시스템 구현 (중국 Nankai 대학) • O₂/CO₂ 혼합 가스 사용으로 가역성이 높은 전지 시스템 구현 (미국 Cornell 대학) • 단축 및 고에너지밀도 연구 (파나소닉, AESC 등)
④ 안전소재	블랙아웃 대응소재	• 용액 공정의 나노 입자 기반 태양전지 최고 효율 보유 (토론토 대학) • 고에너지 전하를 이용한 태양전지 최초 개발 (미국신재생에너지연구소) • Caloric 효과를 이용한 자기냉각소재 및 모듈개발 (미국 Ames Lab., 독일 Vakuumschmelze사 등) • 자기구조상전이소재, 자기형상기억합금 소재 연구 (독일 Darmstadt대학 등) • 멀티스케일 상전이를 이용한 자기냉각발전 효과

		연구는 연구초기상태임 - 투명 친환경 압전 세라믹스 조성 개발 연구. (홍콩공대 등) - 친환경 압전 단결정 연구. (펜실베이니아주립대 등)
	자율이동 체 소재	3차원 비평면상에 회로를 3D 노즐프린팅하는 연구 진행 중 (미, 하버드대학) - 초소형 3D 에너지발생소자연구는 태동기 단계임 - 일반적인 정전기방식 에너지하베스터 (미, MIT) - 일반적인 압전방식 에너지하베스터 (미, 조지아공대) 3D 구조의 에너지저장소자 제조 공정연구를 수행 중(미, 하버드대). 그러나 상용소재를 활용하여 3D 노즐 프린팅공정기술 개발에 집중되어 있으며 최적화된 고성능 3D 공정용 신규 소재 연구는 없음 - 반도체, OLED용 봉지제는 기업이 앞서가고 있음 (LG화학)
	방사선 대 응 안전소 재	- Westinghouse에서 Zr 피복관을 대체하기 위한 신탐금 피복관 연구 수행 - ORNL에서 FeCrAl 기반한 방사성 사고 저항성 소재 시험 평가 - COOH- 와 OH- 기를 포함한 Fe₂O₃ 나노입자를 이용한 방사선 물질 흡착소재 개발 (Tsuyama National College of Technology 등) - Borated 스테인리스 스틸 개발(미 Carpenter, 영 British steel 등) - B₄C/Al 복합재 개발 및 상용화 (미 Metamic, 캐 Ceradyne, 일 Nikkeikin Aluminium Core Tech 등) - 폴리에틸렌, 에틸렌/프로필렌 고무에 보론입자를 첨가한 차폐 블록 및 에폭시에 보론을 컴파운딩한 상용소재 판매 (미 BISCO, Themo Elctron 등)
	재난 대비 자기복원/ 치유 소재	- 고분자 및 복합소재의 자가치유를 위한 캡슐 및 미세혈관모양의 네트워크구조를 이용하여 변형치유 연구 위주의 기초연구 수준 (미 Uni. Illinois at Urbana-Champaign, 영 Bristol uni., 중 Zhongshan대학) - 변형에 대한 치유위주이며, 변형에 대한 물성 및 변형 자가복원 및 선제적 보호소재 기술 개발은 연구 태동기 - 정상적인 환경하에서는 경량구조물이나 압축외력이 작용시 수축하고, 인장외력이 작용시 팽창하는 특성을 가짐으로서 지진에 의한 지각변동에 유연하게 대응할 수 있는 소재 기술 - 국토교통성 인증을 통하여 초고강도 내진용 철근 상용화(일본, JFE) - 항복강도 690MPa급와 830MPa급의 MMFX 철근 개발을 통해 고강도 철근 적용 철근콘크리트 구조물 연구(미국 MMFX) - 현재 수소연료전지차를 양산하고 있는 도요타, 현대차 뿐 아니라 혼다, BMW 등 선두 자동차 업체들이 수소차 양산 또는 양산계획을 본격화하고

		있는 상황임(미국,일본,독일) • AFRL(Air Force Research Laboratory)과 합작하여 Scorpis program의 일환으로 Carbon 복합재료를 이용한 극저온용 액화산소 저장용기를 Full-scale로 제작하여 극저온 시험 및 안전성 평가를 수행(미국 Microcosm사)
--	--	--