2023 글로벌프런티어사업

미래를 향한 9년의 도전

Global Frontier Program
9-Year-Long Future-Facing Endeavor



과학기술정보통신부 NRF 한국연구재단 COMPA 과학기술사업화진흥원

2023 글로벌프런티어사업

미래를 향한 9년의 도전

Global Frontier Program
9-Year-Long Future-Facing Endeavor

biocon

CHIC 실감교류인체감응솔루션연구단
Center of Human-centered Interaction for Coexistence

ABC
Advanced Biomass R&D Center

멀티스케일 에너지 시스템 연구단
Global Frontier Center for Multiscale Energy Systems

CASE
나노기반 소프트일렉트로닉스 연구단
Center for Advanced Soft Electronics

CISS
Center for IT-Specified Smart Systems
IT융합시스템 연구단

ISBC
Intelligent Synthetic BioLogy Center

(재)하이브리드인터페이스기반 미래소재연구단

H-GUARD
(재)바이오나노헬스가드연구단

파동에너지극한제어연구단
Center for Advanced Meta-Materials

CONTENTS

Part. 1 총괄

1. 글로벌프런티어사업의 탄생

01. 글로벌프런티어사업의 태동 14
02. 글로벌프런티어사업의 발자취 17
03. 사업비 및 인력 현황 27
04. 연구단 연구성과 종합 29

Part. 2 연구단

1. 의약바이오컨버전스연구단

01. 연구단 9년사 57
02. 사업목표 62
03. 연구성과 66
04. 기술사업화 성공스토리 86
05. 미래제언 93

2. 실감교류인체감응솔루션연구단

01. 연구단 9년사 101
02. 사업목표 106
03. 연구성과 112
04. 기술사업화 성공스토리 128
05. 미래제언 131

3. 차세대바이오매스연구단
01. 연구단 9년사 139
02. 사업목표 145
03. 연구성과 150
04. 기술사업화 성공스토리 169
05. 미래제언 172

4. 멀티스케일에너지시스템연구단
01. 연구단 9년사 181
02. 사업목표 188
03. 연구성과 192
04. 기술사업화 성공스토리 206
05. 미래제언 208

5. 나노기반소프트일렉트로닉스연구단
01. 연구단 9년사 215
02. 사업목표 222
03. 연구성과 226
04. 기술사업화 성공스토리 246
05. 미래제언 251

6. 다차원스마트IT융합시스템연구단
01. 연구단 9년사 260
02. 사업목표 267
03. 연구성과 269
04. 기술사업화 성공스토리 287
05. 미래제언 293

7. 지능형바이오시스템설계및합성연구단
01. 연구단 9년사 301
02. 사업목표 308
03. 연구성과 314
04. 기술사업화 성공스토리 332
05. 미래제언 336

8. 하이브리드인터페이스기반미래소재연구단
01. 연구단 9년사 343
02. 사업목표 351
03. 연구성과 355
04. 기술사업화 성공스토리 376
05. 미래제언 382

9. 바이오나노헬스가드연구단
01. 연구단 9년사 389
02. 사업목표 395
03. 연구성과 400
04. 기술사업화 성공스토리 420
05. 미래제언 425

10. 파동에너지극한제어연구단
01. 연구단 9년사 433
02. 사업목표 441
03. 연구성과 447
04. 기술사업화 성공스토리 467
05. 미래제언 473

발간사
Greeting

4차 산업혁명의 도래로 인해 기술의 발전 속도가 더욱 빨라지고 있으며, 국가 간 기술패권 경쟁이 날로 심화되고 있습니다. 이제는 기술이 국가 안보와 경제의 중추가 되어가고 있습니다.

기술패권 전쟁, 디지털 전환, ESG(환경·사회·지배구조), 회복 탄력성과 지속 가능성 등 오늘날 전 세계의 공통 현안에 대응하기 위해서는 대한민국 기술의 기초체력을 쌓아야만 합니다.

기존의 R&D 사업이 선진국을 추격하거나 먹고살기 위한 기술개발에 초점을 두었다면 글로벌프런티어사업은 기존 기술의 한계를 극복하는 세계적 원천기술과 연구그룹 확보라는 한 단계 발전된 목표를 설정하였습니다. 이를 위하여 전략적 집단 융합연구와 네트워크 구축, 지속 가능한 녹색성장을 선도할 수 있는 기반기술 확보에 주력하였습니다.

글로벌프런티어사업은 세계 최초의 기술, 세계 최고의 기술, 혁신 플랫폼을 이용한 산업화 가능 기술, 미래 산업 주도형 기술 연구를 목적으로 추진되었습니다. 각 분야의 연구단장을 중심으로 전문성과 우수성을 기반으로 하여 각 산업에 직면한 문제를 극복하고자 하였습니다.

그 결과, 2010년부터 2023년까지 총 3만 4,245명이 연구단에 참여해 9,467건의 논문을 발표하고 8,455건의 국내외 특허를 출원 또는 등록하였습니다.

연구성과의 양과 질에서 국가 전체 R&D 사업보다 크게 앞서며, 상위 10% 학술지 비율은 39.75%로 2021년 국가 전체 R&D의 3.17배 높았으며, 우수특허 비율은 14.45%로 2021년 국가 전체 R&D의 8.21배 높은 수준입니다. 연구성과의 가치는 2조 8,636억 원에 이르는 것으로 평가되었습니다.

“
글로벌프런티어사업은 기술의 한계를 극복하고
세계적인 원천기술과 연구그룹을 확보함으로써
진보된 과학 연구를 추진하고 있습니다.
”

이는 논문, 특허, 기술이전 및 기술료 수입 등 직접적 효과에 머무르지 않고, 간접적 파급효과로서 과학기술적 성과가 경제적, 사회적 파급효과로 연계되었으며, 특히 의약, 바이오, 에너지, 환경, 나노, 정보기술 및 융복합 기술을 한 단계 높여 주었습니다.

이 자리를 빌려 글로벌프런티어사업에 참여한 연구단장 및 연구자, 관계자 여러분께 그동안의 노고에 대하여 과학기술계를 대표하여 경의를 표합니다.

그리고 그동안의 투자와 결과를 담은 백서를 통해 국민 여러분께 글로벌프런티어사업의 성과를 자신 있게 보고 드릴 수 있어 뜻깊게 생각합니다.

본 백서가 지난 9년간 10개 연구단의 결실과 노력을 모두 담기에는 부족하지만 역사를 기록한 발자취로서, 그리고 다가올 미래를 준비하는 지침서로 활용되기를 기대합니다.

끝으로 백서 발간에 참여해주신 관계자 여러분의 노고에 감사드립니다.

과학기술정보통신부 장관

이 종 호

숫자로보는
글로벌프런티어



상위 10% 학술지 비율

39.75%

- 상위 10% 학술지 총 3,146건
- 연구비 1억 원당 0.375건*
  * 2021년 국가 전체 R&D 대비 36배
  * 2021년 과기부 주요 R&D 대비 3배

연구비 1억 원당 SCI 논문

1.08건

- 2021년 국가 전체 R&D 대비 **13.2배**
- 2021년 과기부 주요 R&D 대비 **1.50배**

연구비 1억 원당 국내 특허 출원
과기부 주요 R&D의

2.85배

- 2021년 국가 전체 R&D 대비 **2.50배**

연구비 1억 원당 국내 특허 등록
과기부 주요 R&D의

3.81배

- 2021년 국가 전체 R&D 대비 **2.46배**

국내 특허 등록률

58.40%

- 연구비 1억 원당 국내 특허출원 **0.45건**
- 연구비 1억 원당 국내 특허등록 **0.27건**

우수특허 비율

14.45%

- 2021년 국가 전체 R&D 대비 **8.21배**
- 2021년 과기부 주요 R&D 대비 **13.5배**

1건당 기술이전료

1.45억

- 2021년 국가 전체 R&D 대비 **4.49배**

총 기술이전 건수

302건

총 기술가치평가액

28,636억

연구단 창업

76건

연구단별 평균 기술가치액

약 2,864억

2023 글로벌프런티어사업
미래를 향한 9년의 도전

Global Frontier Program 9-Year-Long
Future-facing Endeavor

Part. 1
총괄

글로벌프런티어사업의 탄생

OVERVIEW

글로벌프런티어사업의 탄생

Birth of the Global Frontier Program

01 글로벌프런티어사업의 태동

1. 사업추진배경 14
2. 사업철학 16

02 글로벌프런티어사업의 발자취

1. 글로벌프런티어사업 연구단 설립 경과 17
2. 사업추진체계 21
3. 사업목표 및 내용 26

03 사업비 및 인력 현황

1. 사업비 투입 현황 27
2. 투입 인력 현황 28

04 연구단 연구성과 종합

1. 종합성과 29
2. 논문 및 학술발표 30
3. 특허 34
4. 기술사업화 36
5. 국제공동연구 논문 39
6. 인력양성 39
7. 종합의견 40



01 글로벌프런티어사업의 태동

1. 사업추진배경

우리나라 과학기술시스템은 과거 선도기술개발사업('92), 21C 프런티어사업('99)과 같은 대한민국 대표 브랜드 사업으로 혁신적 진화를 통해 발전해왔으나, 2010년 「21C 프런티어사업」의 종료에 따라 한국을 대표하는 국가 전략 R&D 프로그램이 부재하였다.

또한 기존의 단기적 성과를 추구하는 R&D 시스템으로는 10년 이상의 선행주기를 갖는 원천기술 확보가 불가능하고 선진국 기술 종속이 가속될 수밖에 없을 것으로 예측되면서, 10년 주기로 발생하는 국가 전략 R&D 시스템 업그레이드의 기회로 국가의 미래성장 잠재력 확충을 위해 상대적으로 투자가 미흡했던 공공 영역, 기초과학 영역, 그리고 시장 실패 영역에서의 R&D 강화가 필요한 시점이었다.

새로운 시대에 새로운 시스템에 의한 창의적 국가 발전 전략을 선도할 수 있는 새로운 R&D 시스템을 구축하여, 세계 1위 미래 기술 경쟁력 확보가 가능한 대표적 국가 R&D 사업이 필요하였으며, 특히 중장기 투자가 필요한 영역, 고위험·고수익으로 투자위험이 큰 영역, 산업 간 전이 효과(Spill-Over)가 커서 민간이 투자하기 어려운 영역 등 공공재 성격이 강하면서 대규모 중장기 R&D 투자가 필요하여 정부의 역할이 강하게 요구되는 분야에 대한 R&D 투자를 강화하는 전략이 필요했다.

정부는 새로운 국가발전계획을 뒷받침할 수 있는 R&D 전략 프로그램을 추진하고자 새로운 국가정책 아젠다 '저탄소 녹색성장 국가 비전', '신 성장동력 개발' 등을 발표하였으나, 구체적인 실행 프로그램 및 미래 사회 파급성이 큰 분야의 한계돌파형(Break-through) 기술, 기초·원천 연구를 추진하는 중장기적 국가사업 전략이 필요하였다. FTA 등 시장개방이 가속화되고 기업 간 M&A 및 R&D 단계부터 국제협력이 활발해 지면서 과학기술의 글로벌화 및 개방화 즉, 글로벌 협력 능력이 국가경쟁력을 좌우하고 글로벌 수준의 지식 확보가 중요해졌으며, 글로벌화에 따른 경쟁력 확보를 위하여 개인 창의성보다 집단 창의성(집단지성)을 활용할 수 있는 역량과 글로벌 스탠다드가 중요해졌다.

이러한 필요성에 의해 추진된 「글로벌프런티어사업」은 앞선 연구개발사업과는 다른 제4세대 미래 창조형 국가 R&D 프로젝트를 통해 세계 1등 기술, 세계 1등 두뇌가 모이는 글로벌거점우수센터(Global Center of Excellence), 즉 우리나라에 뿌리를 내린 과학기술 영토 개척을 통해 미래 국가전략 기술 분야의 글로벌 인재들이 모이는 R&D 거점을 육성하고 해당 분야의 글로벌 허브(Global-Hub)를 육성하고자 하였으며, 사업기간 2020년까지 녹색 성장을 선도할 수 있는 세계 최고 수준의 원천기술력을 확보하고, 세계적 수준의 지명도를 가지는 기초·원천 연구거점 네트워크를 육성하는 것을 목표로 하였다.

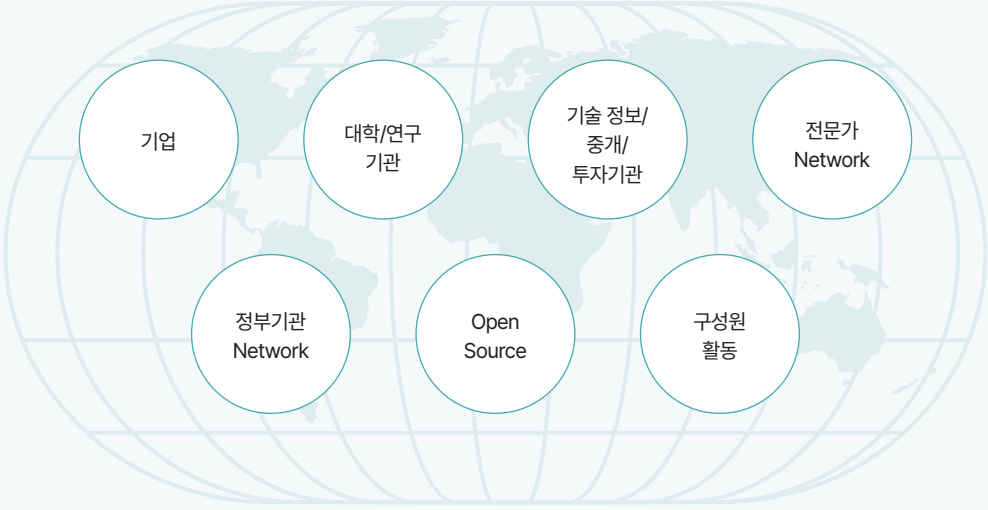
한국을 대표하는 국가 전략 R&D 프로그램

세계적 수준의 기초·원천기술이 국가 경쟁력의 핵심	미래 사회에 파급성이 큰 분야의 원천연구를 위한 장기 국가전략사업 필요
세계 1등 기술이 시장을 지배하는 시대에 과거의 모방 추격형 R&D 전략으로는 지속적 경제성장 곤란	21세기 프런티어사업의 종료에 따라 국가 발전전략을 견인하는 새로운 대형장기 연구개발 사업의 추진 필요

1992-2002	G7 프로젝트	◆ 주력사업기반 마련 ◆ 선진국 추격형
1999-2013	21세기 프런티어사업	◆ 전략기술 분야에서 선진국 수준의 기술력 확보 ◆ 선진국 추격형
2010-2022	글로벌 프런티어사업	◆ 세계 1등 원천기술 개발 ◆ 글로벌 선도형

GLOBAL FRONTIER PLAYER

글로벌프런티어 주체



2. 사업철학

글로벌프런티어사업의 철학은 '4G'라는 상징적인 개념을 통해 나타나는 데, '4G'는 사업의 4가지 기본개념(Global R&D, Ground-Breaking R&D, Group approach, Growth & Sustainability), 미래 개척 분야의 글로벌 인재들이 모이는 세계 연구거점 구축 및 개방형 R&D 시스템을 의미하는 제4세대 R&D 전략(4th Generation R&D strategy) 개념과 본 사업의 비전인 '2020 기초·원천기술 세계 4강(Group of 4)'을 의미한다.

2020년까지 녹색성장을 선도할 수 있는 세계 최고 수준의 원천기술력을 확보하고 세계적 수준의 지명도를 가지는 기초·원천 연구거점 네트워크 육성을 목표로 1) 글로벌 수준의 과학 기술 톱 브랜드 구축(Global R&D), 2) 10년 이상을 내다보며 기존의 기술체계를 획기적으로 개편할 수 있는 세대진화형 기초·원천 연구(Ground-Breaking R&D), 3) 전략적인 집단 융합연구 및 연구거점 네트워크 구축(Group approach), 4) 미래의 지속가능한 성장을 뜻하며 국가의 지속가능한 미래성장을 뒷받침할 수 있는 기술개발(Growth & Sustainability)을 위해 사업을 추진하고자 하였다.



02 글로벌프런티어사업의 발자취

1. 글로벌프런티어사업 연구단 설립 경과

가. 기획추진위원회 구성

대형 국가 R&D 사업의 추진 필요성이 대두되면서 사업 추진을 위한 타당성 연구를 위해 2009년 산·학·연·관 각계 전문가 15인 내외가 참여하여 글로벌프런티어사업 기획추진위원회가 구성되었으며, 과학기술정책관이 당연직으로 참여하였다.

기획추진위원회는

- 사업추진방향 및 총괄기획에 대한 자문
- 기획대상 중점추진분야에 대한 투자우선순위 평가
- 연구단 프로젝트에 대한 기획 및 예산배분 심의
- 연구단장 선정 평가

등의 활동을 통해 기획과제 공모, 후보과제 도출, 연구단 공모 및 선정, 연구단 R&D 관리 및 평가에 이르기까지 글로벌프런티어사업 전반의 운영관리를 수행하였다.

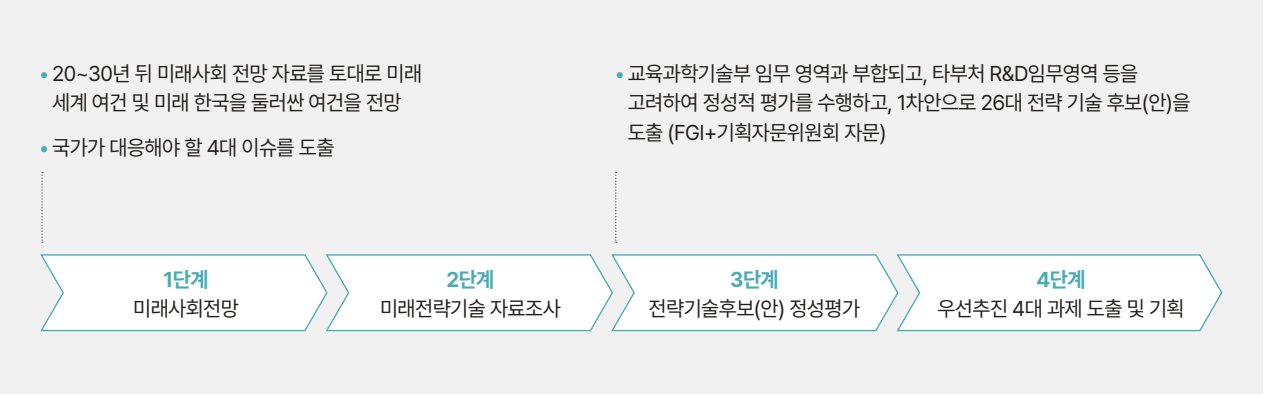
글로벌프런티어사업 기획 추진 경위를 살펴보면,

- 2008.09 ~ 12 대형 국가 R&D 사업 추진 필요성에 대한 타당성 연구 추진
- 2008.12 글로벌프런티어사업 기획자문위원회 구성
- 2009.03 **중점추진후보분야 도출을 위한 전문가회의 :** 한국과학재단 전문위원 및 외부 전문가의 참여하에 1,080여개의 후보기술 리스트로부터 기술의 통합과 선별작업을 진행하고 30여개의 후보기술(안)을 작성
- 2009.04 **상세기획 TF 1차 모임 개최 :** 바이오매스활용, 인지바이오로봇, 의약품R&D, 나노융합원천소재 4개 분야 상세기획에 대한 기본 가이드 라인 제공, 기획추진 범위 및 방향 토의
- 2009.04.14 **제5차 기획자문위원회 개최 :** 우선 기획대상과제 4개 분야에 대한 결정, 사업의 특성이 잘 드러나도록 세부 R&D 기획 추진 방향 및 30대 후보기술(안) 도출 방안에 대한 토의
- 2009.04.24 ~ 25 **상세기획 TF 3차 모임 개최 :** 4개 분야의 세부 R&D 기획 내용에 대한 검토 및 토의 확정
- 2009.04.28. **제6차 기획자문위원회 개최 :** 6대 분야 상세기획 결과에 대한 결과 발표 및 토의(타 부서로부터 검토 요청 받은 해양바이오 및 항공우주 부품 등 2개 분야 포함)를 통하여 글로벌프런티어사업 부합성 검토
- 2009.05 **글로벌프런티어 기획자문위원회 분야 전문가 회의 :** 4대 분야 상세 기획안에 대한 최종 검토
- 2009.06 대형 중장기 국가 R&D 사업의 필요성 검토 및 기획연구
- 2009.09 예비타당성 조사 인정(기획재정부)
- 2009.12 '10년도 글로벌프런티어사업 추진과제 선정 및 사전기획 연구 실시 : 세부 추진 계획 수립, 연구단 후보과제 및 '10년도 지원과제 선정

나. 유망후보사업 도출

유망후보사업 도출은 기획추진위원회 주도 하에 아래의 과정에 따라 수행되었으며, 앞서 기획추진위원회의 활동내역에서 볼 수 있듯이 국가 대응 전략 4대 이슈 도출, 미래 전략 기술 후보 리스트 1,080개 구성, 미래 전략 기술 후보(안) 26개를 선별하고, 우선 추진 4대 과제를 도출하고 기획하였다.

중점투자분야 도출 과정



❶ 미래사회전망

20~30년 뒤 미래사회 전망 자료(미래한국 2030, INNOVATION 25 전략 등)를 토대로 미래 세계 여건 및 미래 한국을 둘러싼 여건 전망을 통해 국가 수준에서 대응해야 할 4대 이슈 도출

❷ 미래전략기술 자료조사

4대 이슈별로 대응 가능한 국가전략기술도출을 위한 기술후보 자료 수집(미래기술예측자료, 선진국 R&D전략계획/TRM, 우리나라 중장기 R&D 계획, 국내 전문가 설문조사, 자문위원 제안, 미래기술웹사이트 조사 등) 및 유사기술 통폐합·분류

❸ 전략기술후보(안) 정성평가

FGI를 통한 미래전략기술 후보 분야 도출 및 정성적 분석 평가를 통하여 1차안으로 26대 전략 기술 후보(안) 도출(분야별 전문가 및 기획자문위원회)

❹ 우선추진 4대 과제 도출 및 기획

당시 정부의 국가기술개발계획인 신성장동력, 녹색기술R&D계획과 합치되는 4개 프로젝트를 우선지원 고려 대상 과제로 도출하고 시범 기획 실시, 26개 기술 분야 중 녹색기술과 신성장동력기술 분야 중 기존 R&D 투자 상황을 고려하여 기초원천 R&D 투자의 확대가 필요한 4대 분야 도출

이로부터 도출된 4대 미래 이슈 대응을 위한 26대 전략기술 분야는 다음과 같다.

4대 미래 이슈 대응을 위한 글로벌프런티어 중점추진 후보 26대 분야

생애주기 건강사회 구현 (6대 과제)

- **그린파마(Green Pharma)**
- 세포바이오닉스(Cellular Bionics)
- 에피지노믹스(Epigenomics)
- 세포대사제어(Cell Metabolom)
- 시스템즈바이올로지(System Biology)
- 실버과학(Silver Science)

품격있고 개방된 지식경제사회 (6대 과제)

- **나노구조기능(Functional Nanomics)**
- 인지과학(Cognitive Science)
- 미래교육과학시스템
- 나노전자(Nano Electronics)
- 유연일렉트로닉스
- SW원천기술

세계와 공존하는 지속가능사회 구현 (8대 과제)

- 해양바이오 기반(Ocean bio Resource)
- **합성바이오매스(Synthetic Biomass)**
- 혁신적 CCS(Breakthrough CCS)
- 신개념에너지저장(Next Energy Storage)
- 그린에너지(Green Energy)
- 우주태양에너지활용(Space Solar Energy)
- 토륨에너지(Thorium Energy)
- 그린화학(Green Chemistry)

안전하고 편리한 사회기반 인프라 구축 (6대 과제)

- **인지바이오CPRS(Cyber-Physical Robotics)**
- Network of Things
- 바이러스사이언스(Virus Science)
- 우주핵심기술플랫폼
- 차세대계측과학(Next generation Instrument)
- 생체모방시스템(Biomimetic System)

※ **굵은 글씨**는 시범기획 추진 과제를 나타냄

다. 연구단 선정 경과

2009년 기획추진위원회에서 주관하여 전문가 의견 수렴 등을 통해 도출한 4대 전략 분야 26개 기술 중 2010년 3개 사업을 추진하고, 2011년 4개 사업, 2013년 2개 사업, 2014년 1개 사업 등 총 10개의 사업이 연차적으로 추진되었다.

2010년
3개 신규과제 추진

혁신형 의약바이오 컨버젼스 기술, 탄소순환형 차세대 바이오매스 생산/전환 기술, 현실과 가상의 통합을 위한 인체감응 솔루션

- 신규과제 및 연구단장 공모·접수·평가('10.06~08)
- 신규과제 및 연구단장 선정 및 착수('10.08~10)

2011년
4개 신규과제 추진

멀티스케일 기반 미래에너지 연구, 나노기반 소프트 일렉트로닉스 연구, 다차원 스마트 IT 융합 시스템 연구, 지능형 바이오시스템 설계 및 합성 연구

- 신규과제 및 연구단장 공모·접수·평가('11.06~08)
- 신규과제 및 연구단장 선정 및 착수('11.08~10)

2013년
2개 신규과제 추진

하이브리드 인터페이스기반 미래소재, BINT 융·복합 헬스가드

- 신규과제 및 연구단장 공모·접수·평가('13.01~06)
- 신규과제 및 연구단장 선정 및 착수('13.07~10)

2014년
1개 신규과제 추진

극한물성시스템 구현을 위한 파동에너지 제어기술

- 신규과제 및 연구단장 공모·접수·평가('14.02~05)
- 신규과제 및 연구단장 선정 및 착수('14.06~09)

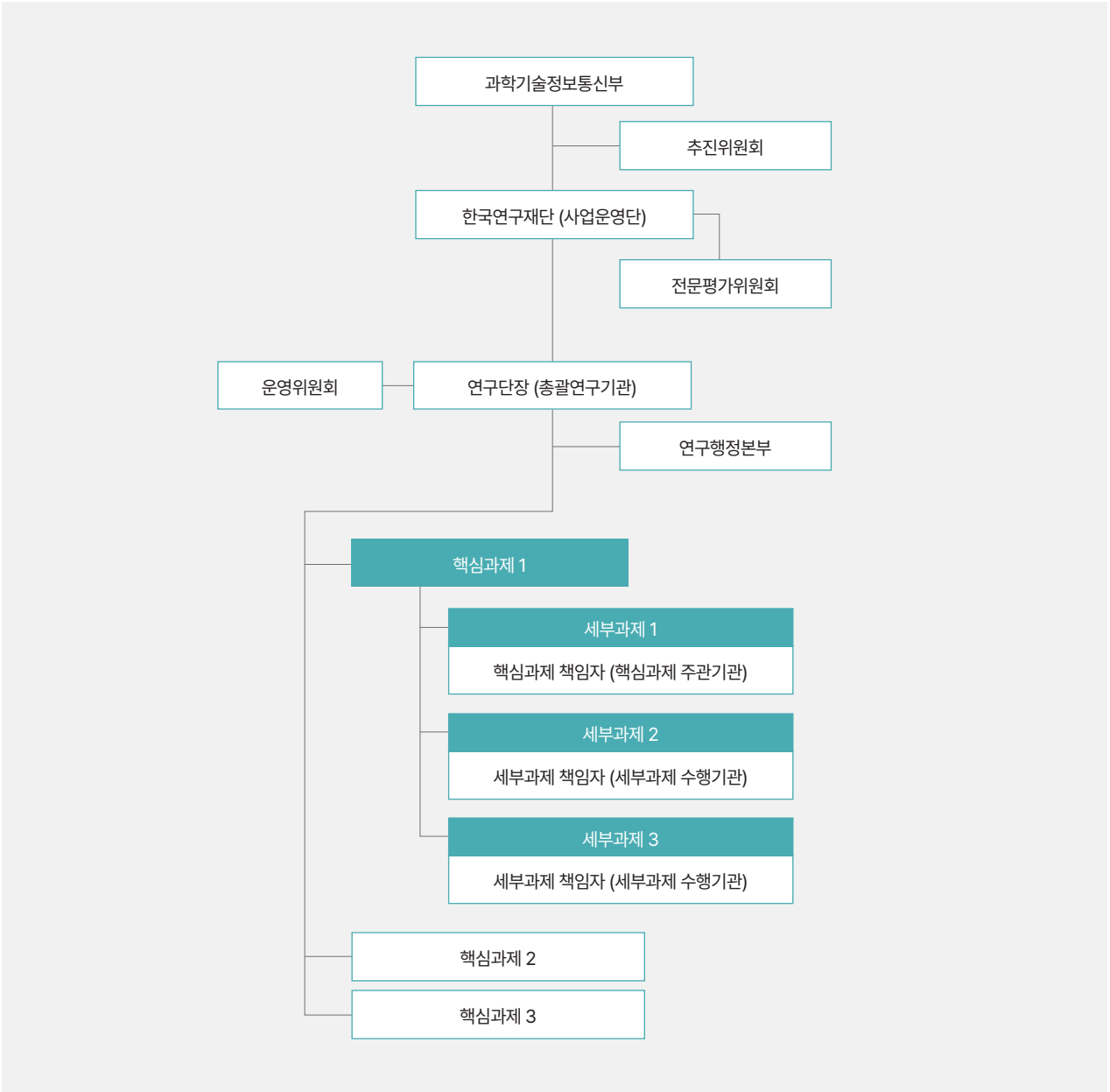
2. 사업추진체계

가. 글로벌프런티어사업 운영관리 거버넌스 시스템

글로벌프런티어사업은 과학기술정보통신부(舊 교육과학기술부)의 신규 국가 R&D 사업 설계 기본 방향에 따라 추진되었다.

과학기술정보통신부는 최상위 의사결정기관으로서, 글로벌프런티어사업의 추진과 관련한 정책적 판단 및 의사결정, 시행계획 수립, 투자우선순위 결정, 추진위원회 운영 등의 역할을 담당하고, 한국연구재단은 글로벌프런티어사업 운영관리에 대한 프로그램 단위의 관리 및 평가 업무를 담당하였다.

또한, 연구단은 세부 연구과제 수행에 대한 책임과 예산의 집행 관리의 업무를 담당하고, 각 연구단의 연구단장에게는 글로벌프런티어사업 프로젝트에 대한 실질적인 총괄관리 및 책임 권한을 위임하고 업무를 수행할 수 있도록 하는 반면 지배구조 측면에서 도덕적 해이가 나타나지 않도록 모든 정보를 투명하게 공개하도록 제도화하여 정보의 비대칭성을 최소화하도록 하고 글로벌프런티어사업의 성공적 운영 관리를 위한 책임과 권한의 견제와 균형이 잘 이루어질 수 있도록 하였다.



나. 연구단의 구성·운영 및 연구단장의 선정

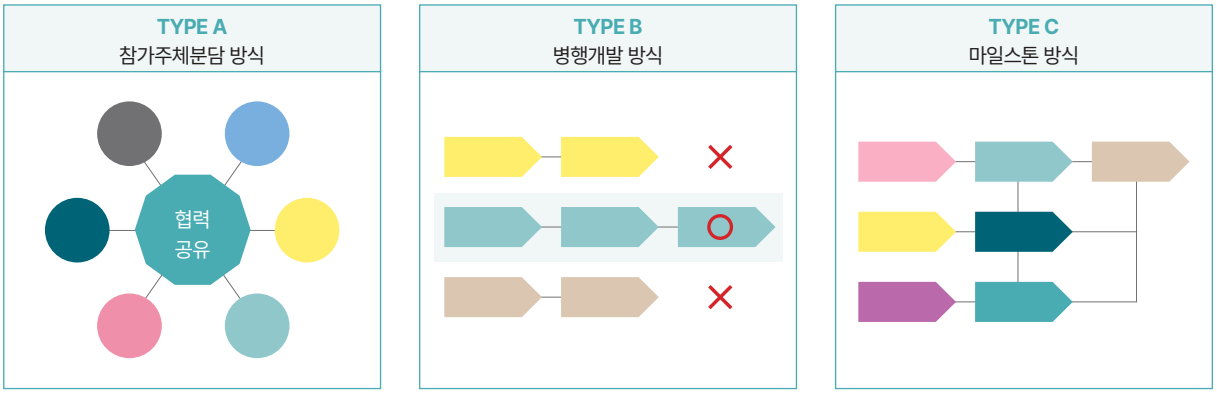
❶ 연구단의 구성

연구단은 기존의 우수한 연구그룹(Center of Excellence)이 참여하는 우수 연구 네트워크(Network of Excellence) 사업으로 우수한 연구자가 아닌 우수한 연구그룹을 선정하여 공통의 연구목적과 방향성을 추구하는, 즉 다수의 연구그룹이 공동의 목표를 향해 집단으로 연구를 수행하는 시스템 중심의 목표 지향성을 갖는다.

각 연구단은 연구단의 해산으로 인한 우수한 연구성과가 사장되지 않도록 별도의 비영리법인으로 설립되어 사업을 통한 성과를 바탕으로 유지 및 존속을 원칙으로 하며, 특히 글로벌프런티어사업의 취지에 부합되도록 연구단 연구행정본부 또는 연구실의 해외존속을 가능케 하고, 국제전문단을 구성하고 자문회의를 개최함으로서 여러 국가의 우수 연구그룹들과 힘을 모아 혁신 기술(Path Breaking Technology)을 개발하고자 하였다.

❷ 연구단의 프로젝트 구성

글로벌프런티어사업은 기술분야의 특성 및 도전과제의 성격에 따라 R&D 추진체계 유형을 다르게 적용할 수 있도록 하였다. 기업, 대학, 공공연구소 등 각 참여주체가 각각의 테마를 분담하여 연구를 수행하는 1) 참가주체분담 방식, 복수의 참여주체에게 동일 목표의 중복된 연구개발테마를 수행하여 경쟁을 촉진하는 2) 병행개발 방식, 개별 연구팀들이 각각 역할분담을 통해 연구테마의 부품이 되는 테마를 연구하고 시스템으로 통합하여 최종연구성과를 창출하는 3) 마일스톤 방식 등 복합적인 R&D 추진체계 유형을 적용할 수 있어 기술분야 특성 또는 목표에 따라서 적절한 방법을 선택하도록 하였다.



❸ 연구단의 운영

글로벌프런티어사업은 연구분야의 전문성이 높은 연구단장의 책임과 권한을 강화하여 연구단의 자율성을 높이고, 이를 통해 창의적 연구성과를 도출하는데 연구단 운영 방향을 설정하였다.

특히 연구단을 별도 법인화하여 연구단 자체의 독립성을 보장하고, 도출되는 창의적 연구결과물의 산업적 활용과 이로부터 발생되는 기술료의 연구 재투자를 통한 선순환구조를 확보하고자 하였으며, 책임과 전문성이 있는 연구단장에게 연구단 전체 연구 및 운영에 대한 권한을 부여하여 연구단 목적에 부합되는 과학적, 기술적, 경제사회적 성공률을 제고하기 위한 연계 및 융합연구를 활성화하였다. 또한 도출된 우수성과의 산업적 활용성을 높이기 위한 성과관리체계를 각 연구단 특성에 맞게 구성하여 지원하도록 하였다.

창의적·자율적 연구환경 보장을 위해 연구단장의 책임과 권한을 강화하고 성과중심의 연구 지원	
1. 별도법인	연구단의 독립성을 보장하고, 지재권 확보·관리의 주체가 되어 기술료 수입의 연구 재투자 유도
2. 융합연구	연구단장의 연구를 허용하고, 연구단장이 직접 전체 과제의 연계·융합 연구를 주도
3. 성과관리	우수기술을 선점하고 기술사업화 등 성과확산을 촉진하기 위해 논문, 특허, 시장 분석 및 기술마케팅 지원

❹ 연구단장의 선정

글로벌프런티어사업은 국제협력 활동의 중요성을 인식하고 이를 적극적으로 추진할 수 있는 우수한 연구리더를 연구단장(Program Director)으로 영입하고자 하였으며, R&D 관리 권한 및 책임을 위임하여 각 연구단의 목표 달성에 이를 수 있도록 하였기 때문에 연구단장의 연구 수행, 관리, 운영 능력이 중요하게 작용한다고 볼 수 있다. 연구단장은 연구단 운영계획에 대한 서류 및 면접전형을 통한 후보인사 평가의 3단계 절차를 통해 선정되었다.

1단계

❶ 전문위원회 구성
기획추진위원회에서 연구단장 선정업무 담당

❷ 후보자 모집 및 Pool 구성
전국자연대학장협의회, 한국공과대학장협의회, 관련학회, 과총 단체 등 다양한 경로의 후보자 추천 및 미래 그룹연구의 리더로 주목하고 있는 인재에 대한 조사를 통해 후보자 모집

2단계

❸ 후보자 2배수 압축
당해 기획추진위원회 위원장 및 위원, 타 사업 연구단장, 연구단장, 사업기간 동안 정년 등 임기보장이 어려운 자 및 기타 교육과학기술부장관이 연구개발 사업 참여가 불가하다고 인정하는 자는 연구단장 신청 제한

❹ 후보자 연구단 운영계획서 접수
비전 및 목표, 4G 전략, 연구단 운영 계획 중심의 자료 작성 제출

3단계

❺ 평가패널 구성
외부전문가 5인 선정

❻ 서류평가
후보자가 제출한 연구단 운영계획서 평가

❼ 후보자 면접평가
후보자 인사 면접평가

❽ 연구단장 선정
교육과학기술부 장관 최종 선정

다. 연구단의 평가, 진도관리

❶ 진도관리

개별 연구단의 연구행정본부는 연구단 하위 과제에 대한 진도 관리를 위해 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각한 목표달성도 평가를 통해 연구과제의 지속 혹은 중단 여부와 연구내용/연구비를 조정하도록 하였다.

❷ 자체평가

자체평가는 한국연구재단에서 마련한 자체평가매뉴얼을 참고하여 연구단이 자율적으로 추진하며, 연구단장은 전담평가단과 함께 해당 연구단의 특성을 고려한 성과지표를 선정하고 평가기준 및 성과측정방법을 구상하도록 하였다. 평가 결과 및 후속조치 등 전반적 사항에 대한 책임과 권한은 연구단장이 보유하도록 하였다.
연 1회 실시를 기본으로 하는 연차평가 형식으로 진행되나 각 단계 마지막 시점에서는 단계평가 형태로 진행하였으며, 자체평가 결과를 추진위원회 및 과기부에 보고하여 연구단에 대한 진도관리를 수행하도록 하였다.

❸ 단계(결과)평가

단계(결과)평가는 기획추진위원회 주관 하에 2+3+4 방식으로 수행하되, 연구단이 작성한 성과보고서를 토대로 컨설팅사가 제3자 평가보고서를 작성하며, 이를 토대로 단계평가를 실시하도록 하였다.
성과가 부진하여 연구단 내 탈락 또는 지원 중단된 하위 과제에 대해서는 단계적인 연구비 삭감 기간(Phase-down) 1년을 인정하여 지원하고 성과가 우수한 과제에 대해서는 상세 추적 평가를 실시하도록 하였다.
글로벌프런티어사업은 연구단 개별적으로 국제 자문단(평가실명제 실시)을 구성하여 연구단 성과에 대한 자체평가를 실시, 자체평가 보고서를 제출하도록 하여 평가결과는 사업의 운영방향 설정 및 개별 연구단 운영 방향 등을 설정하는데 활용하고자 하였다.

평가대상		연구단		핵심과제/세부과제 (연구단 내부)
추진주체		선정평가위원회 전문평가위원회		전담평가단
선정	0년차 (연구단 출범)	선정평가		
1단계	1년차		진도관리	1차년도 평가
	2년차	1단계 평가		2차년도 평가 (1단계 평가)
2단계	3년차		진도관리	3차년도 평가
	4년차		진도관리	4차년도 평가
	5년차	2단계 평가		5차년도 평가 (2단계 평가)
3단계	6년차		진도관리	6차년도 평가
	7년차		진도관리	7차년도 평가
	8년차	3단계 평가		8차년도 평가 (3단계 평가)
	9년차 (종료시점)	종료평가		9차년도 평가 (종료평가)
종료 후	10년차 ~ 14년차	성과활용 평가		

특이사항

- 필요시 연구단장 및 연구단에 대한 특별평가 진행
- 연차평가는 연구단 자체적으로 진행하되, 매년 추진위 회의를 통해 그 결과를 발표(진도관리)

3. 사업목표 및 내용

글로벌프런티어사업은 미래 사회의 글로벌 이슈 및 국가적 이슈에 대응할 수 있는 전략 기술 분야의 혁신을 이룰 수 있는 기초·원천 R&D에 중점 투자하는 대형 중장기 R&D 사업으로, 2020년까지 녹색 성장을 선도할 수 있는 세계적 수준의 지명도를 가지는 기초·원천 연구거점 네트워크 육성을 목표로 시작되었다.
연구단은 TOP-DOWN 방식으로, 상호 유기적 관계의 15~30여개 프로젝트로 구성되어 1) 기존의 우수한 연구그룹이 참여하는 우수 연구 네트워크 사업으로 공통의 연구목적과 방향성을 추구하고, 2) 국제공동연구 또는 국제협력 활동을 통한 세계적 수준의 과학기술 브랜드를 구축하며, 3) 전문성, 공정성, 투명성에 입각하여 프로젝트를 구성하되, 프로젝트의 상호 연계 구조는 분야별 특성에 맞도록 설정하여 혁신적인 신기술을 개척하는 목표(Target) 중심 R&D를 수행하도록 구성되었다.
글로벌프런티어사업 10개 연구단의 연구목표는 아래 표와 같다.

선정년도	연구단명	단장	연구목표
2010 (3개)	의약바이오 컨버젼스연구단	서울대/김성훈	· 약물타겟 선정부터 선도물질 도출까지 핵심과정을 효과적으로 연계할 수 있는 통합적 플랫폼 구축
	실감교류인체감응 솔루션연구단	KIST/유범재	· 현실-가상-원격공간이 구분 없이 일체화된 인체감응 실감교류 확장공간 실현을 위해 원격 사용자들이 정보, 4D+감각 및 감성을 공유·소통하고 협업할 수 있는 인체감응솔루션 개발
	차세대바이오매스 연구단	KAIST/장용근 (KAIST/양지원)	· 바이오연료 및 바이오소재 기술강국 실현을 위한 경쟁력 있는 원천기술 확보 및 통합 생산 시스템 구축
2011 (4개)	멀티스케일에너지 시스템연구단	서울대/최만수	· 화석연료 대체 가능한 광에너지 및 분자에너지를 이용하는 혁신적인 청정 고효율 미래 에너지 시스템 개발
	나노기반 소프트일렉트로닉스연구단	POSTECH/조길원	· 고성능 소프트 일렉트로닉스 시스템 구현을 위한 응용 가능 원천 기술 개발 및 기술 실용화를 통한 가치 창출
	다차원스마트IT 융합시스템연구단	KAIST/경종민	· IT 발전을 선도할 혁신적인 소자, 회로, 알고리즘 및 시스템 요소 기술 개발 및 이를 집적하여 새로운 시장을 열어줄 수 있는 다차원 전방위적 시스템 최적 설계 기술 개발 · 바이오, 헬스, 모바일, 환경, 자동차 등 인류 안전을 지켜주기 위한 핵심 응용 분야를 위한 '다차원 스마트 IT 융합 시스템' 공통 플랫폼 개발 및 다수의 에너지 절감형 스마트 센서 창출
	지능형바이오시스템 설계및합성연구단	KAIST/김선창	· 고효율 바이오 합성 모듈, 유전자 회로 설계 및 지능형 인공 세포공장 구축을 위한 고기능생리활성 물질, 항균바이오 소재, 친환경 소재, 의약소재, 바이오화학 기반 물질 생산 융합원천기술 개발 및 산업화
2013 (2개)	하이브리드인터페이스기반 미래소재연구단	부산대/김광호	· 하이브리드 인터페이스 기반 미래소재/부품/제품 개발 · 스마트 소재 가공 기술, 대형화 공정 기술, 융복합 제품화 기술 개발
	바이오나노헬스가드연구단	KRIBB/신용범 (KRIBB/정봉현)	· 국가 재난형 질병이나 신종, 재출현 바이러스, 박테리아에 의한 미 확인 질병 등의 모니터링, 조기검출, 진단이 가능한 헬스가드(H-GUARD) 시스템 구축을 위한 원천기술 개발 및 실용화
2014 (1개)	파동에너지극한제어연구단	KIMM/이학주	· 전자기/역학 파동에너지 극한제어 원천기술 개발 및 플랫폼 구축 · 파동에너지 극한제어 기반 극한 물성 시스템 융합기술 실용화

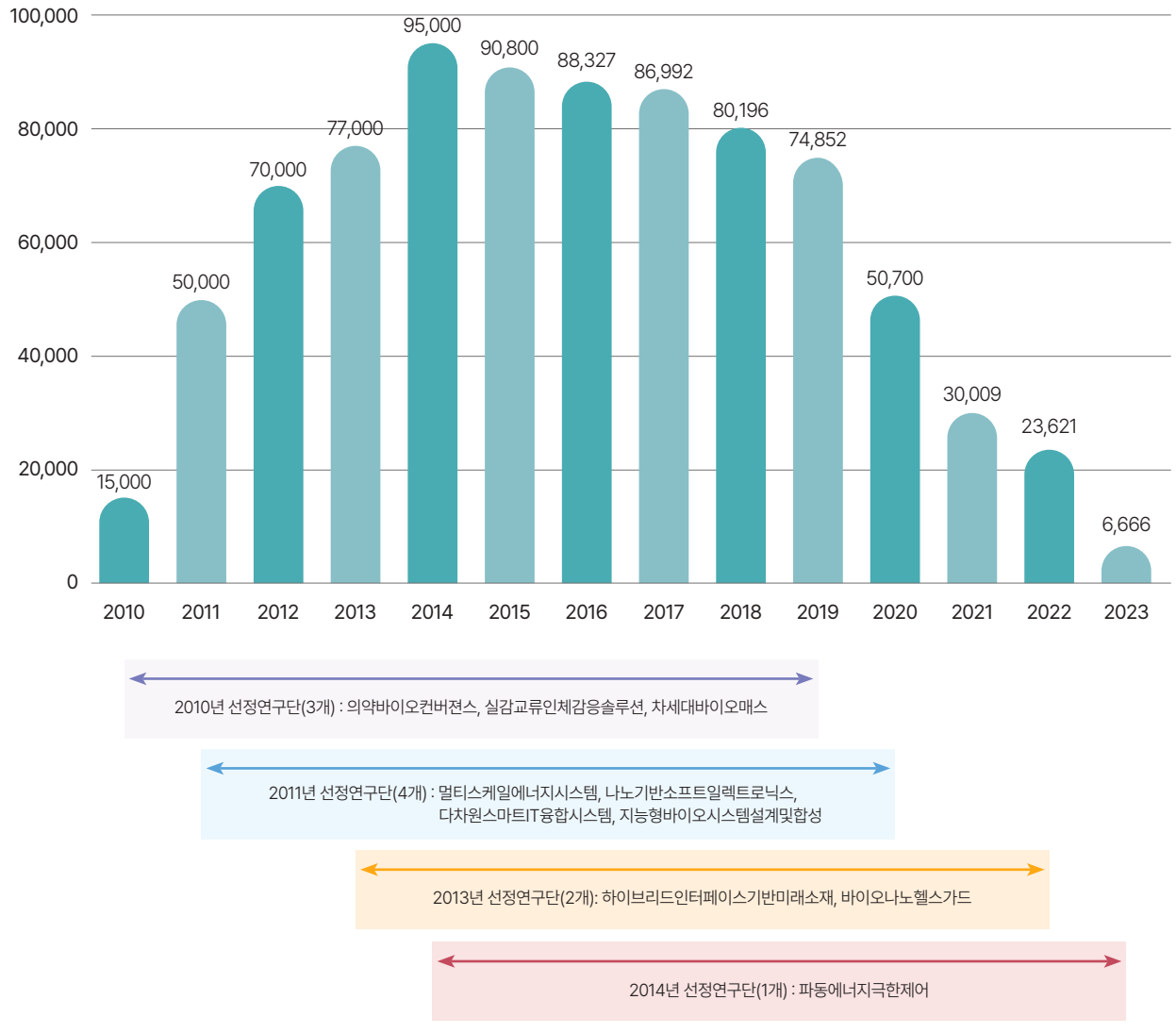
03 사업비 및 인력 현황

1. 사업비 투입 현황

글로벌프런티어사업의 2010년부터 2023년 누적 연구개발투자는 정부연구비 약 8,436억 원(과기부 약 8,391.63억 원/타부처 (지자체 포함) 45억 원), 민간 연구비 약 68.42억 원(현금 약 9.207억 원/현물 약 59.217억 원)으로, 총 8,505.05억 원의 연구개발비가 투입된 것으로 나타났다.

글로벌프런티어사업 연도별 연구개발비 현황(과학기술정보통신부 지원 기준)

(단위: 백만 원)

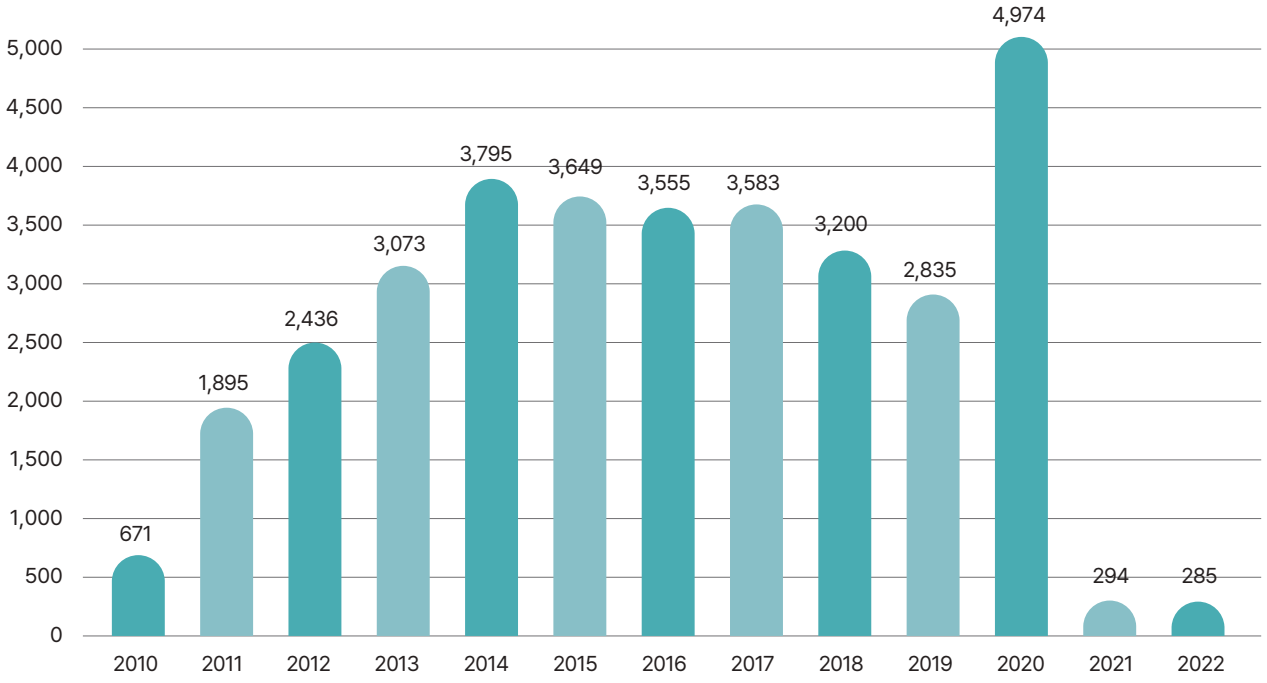


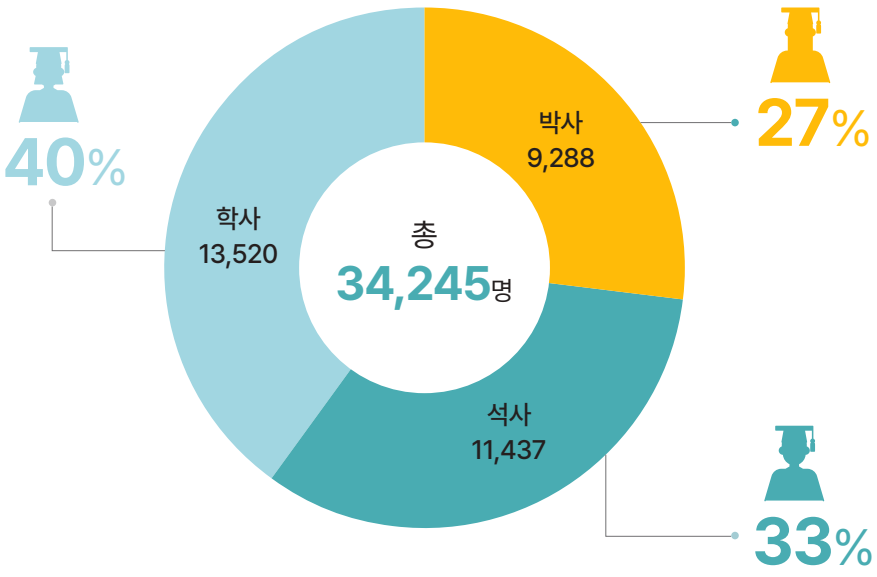
2. 투입 인력 현황

2010년부터 2022년까지 글로벌프런티어사업 10개 연구단에 투입된 참여인력은 총 34,245명이었으며, 학위별 분포를 살펴보면 박사급은 9,288명으로 27.1%를 차지하고 있고, 석사급 11,437명으로 33.4%, 학사급 이하는 13,520명으로 39.5%를 차지하는 것으로 나타났다.

연도별 연구인력 투입 현황

(단위 : 명)





04 연구단 연구성과 종합

1. 종합성과

글로벌프런티어사업의 전체 성과현황을 살펴보면, SCI 논문은 9,048건 게재하였으며 전체 논문 9,467건의 약 95.6%를 차지하였으며, 연구비 1억 원당[1] SCI 논문 산출성과는 약 1.08 건으로 분석된다. 특허는 총 8,455건으로 국내 출원 3,816건, 국외 출원 1,800건, 국내 등록 2,275건, 국외 등록 564건이었다. 전체 특허출원 건수는 5,616건으로 연구비 1억 원당 특허출원 성과는 약 0.67건, 전체 특허등록 건수는 2,839건으로 연구비 1억 원당 특허등록 성과는 약 0.34건으로 분석된다. 또한 302건의 기술이전 성과를 창출하였고, 기술이전을 통해 43,899백만 원의 기술료 수입을 창출하였다. 이는 연구비 1억 원당 약 0.04건의 기술이전과 5.21백만 원 성과를 획득한 것으로 분석된다.
3,005여 명의 학위배출을 통해 인력양성에 기여하였으며, 10,305건의 국내외 학술 발표 및 159건의 MOU 체결 및 2,111건의 공동연구 논문 발표 등의 국제협력을 통한 과학기술의 글로벌화 및 국가경쟁력 확보를 위해 노력하였다.

글로벌프런티어사업 연도별 전체 성과 현황

(단위 : 건, 명, 백만 원)

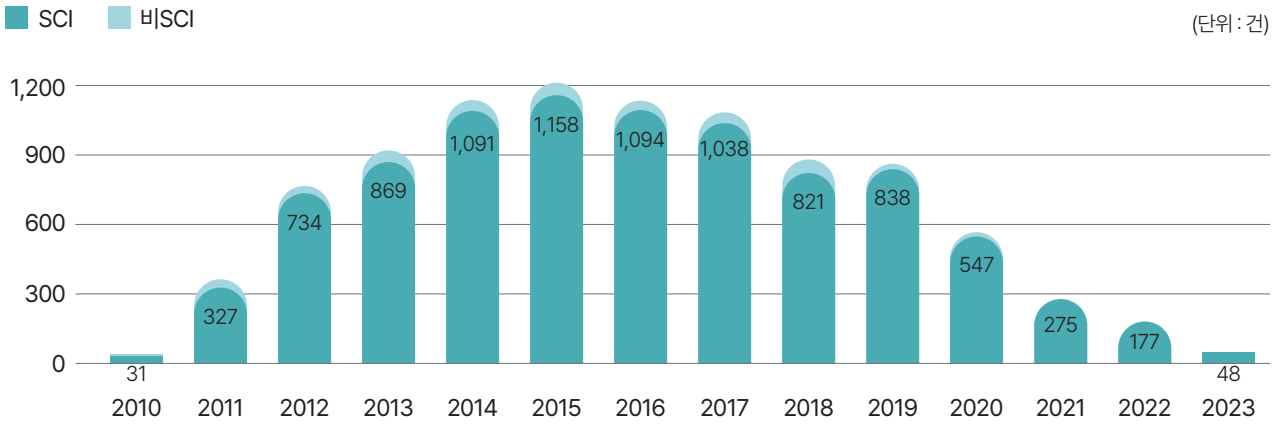
구분/연도			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	총합계
특허	국내	출원	48	232	299	398	529	498	431	429	362	240	183	94	53	20	3,816
		등록	3	29	74	176	245	242	281	329	260	289	189	80	56	22	2,275
	국외	출원	10	65	131	161	232	243	220	218	189	158	77	41	42	13	1,800
		등록	3	7	10	22	48	41	71	76	84	96	70	14	18	4	564
	계		**64**	**333**	**514**	**757**	**1,054**	**1,024**	**1,003**	**1,052**	**895**	**783**	**519**	**229**	**169**	**59**	**8,455**
논문	SCI		31	327	734	869	1,091	1,158	1,094	1,038	821	838	547	275	177	48	9,048
	비SCI		6	36	32	50	47	55	41	46	60	23	18	2	3	0	419
	계		**37**	**363**	**766**	**919**	**1,138**	**1,213**	**1,135**	**1,084**	**881**	**861**	**565**	**277**	**180**	**48**	**9,467**
기술이전/사업화	기술이전		0	2	8	4	39	36	41	42	42	42	22	12	9	3	302
	기술이전료(정액기술료)		0	780	1,062	231	5,297	2,947	8,983	3,509	9,449	6,062	2,662	1,233	1,409	75	43,699
	창업[2]		0	0	1	3	5	9	14	12	13	6	7	4	2	0	76
학위배출	박사		11	76	100	111	147	116	149	128	67	104	94	49	38	0	1,190
	석사		28	145	223	201	219	178	181	149	76	99	82	24	24	0	1,629
	학사		2	16	39	28	21	17	20	12	1	18	6	2	4	0	186
	계		**41**	**237**	**362**	**340**	**387**	**311**	**350**	**289**	**144**	**221**	**182**	**75**	**66**	**0**	**3,005**
학술발표	국내		0	243	417	593	945	870	875	848	589	666	326	152	125	0	6,649
	국외		0	182	330	444	614	472	455	385	340	315	62	43	14	0	3,656
	계		**0**	**425**	**747**	**1,037**	**1,559**	**1,342**	**1,330**	**1,233**	**929**	**981**	**388**	**195**	**139**	**0**	**10,305**
국제협력	MOU		5	27	21	17	21	20	12	13	10	8	1	2	2	0	159
	공동연구 논문		4	40	140	198	247	298	266	266	216	203	133	62	32	6	2,111

1) 정부지원 연구개발비 기준
2) 창업성과는 연구단 종료 이후 발생한 성과 2건이 추가됨

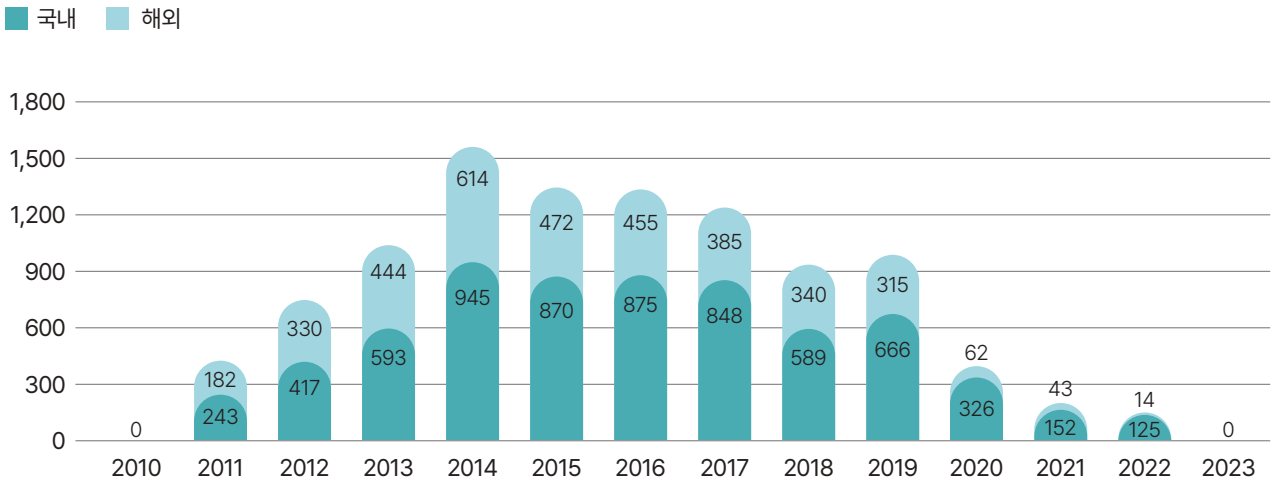
2. 논문 및 학술발표

글로벌프런티어사업의 논문 현황을 살펴보면, 전체 9,467건의 논문 중 SCI급 논문이 9,048건으로 95.6%의 비중을 차지하였다. 논문 및 학술발표 실적은 국내 6,649건, 국외 3,656건으로 총 10,305건의 성과를 창출하였다.

논문 성과 현황

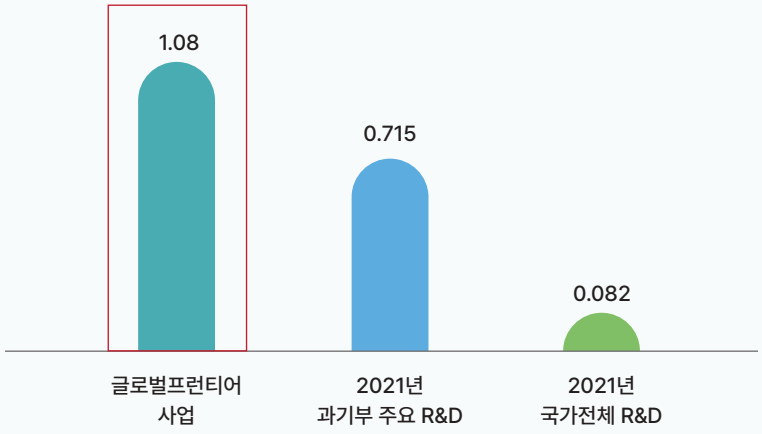


학술발표 성과 현황



국가 전체 R&D 사업, 과기부 주요 R&D 사업의 SCI 논문 산출 성과를 비교하면, 글로벌프런티어 연구단의 연구비 1억 원당 SCI 논문 산출실적이 2021년 국가 전체 R&D[3] 대비 13.2배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 1.50배로 분석되었다. 즉, 글로벌프런티어 연구단의 SCI 논문 산출 실적은 일반 및 과기부 주요 R&D 성과대비 높은 성과를 낸 것으로 분석된다.

연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교



또한, 글로벌프런티어 연구단의 논문 질적 수준을 알아보기 위해 각 연도별 SCI논문의 IF지수와, 표준화된 순위보정영향력지수(mrnIF)의 평균을 산출하였다. 그 결과, 글로벌프런티어사업이 시작된 기간부터 최근까지 평균 IF지수와 mrnIF 평균지수가 전반적으로 상승하는 추세를 보였으며, 이는 연구단의 출범 이후 관련 연구를 지속적으로 수행함으로써 우수한 연구 성과가 축적된 결과로 볼 수 있다.

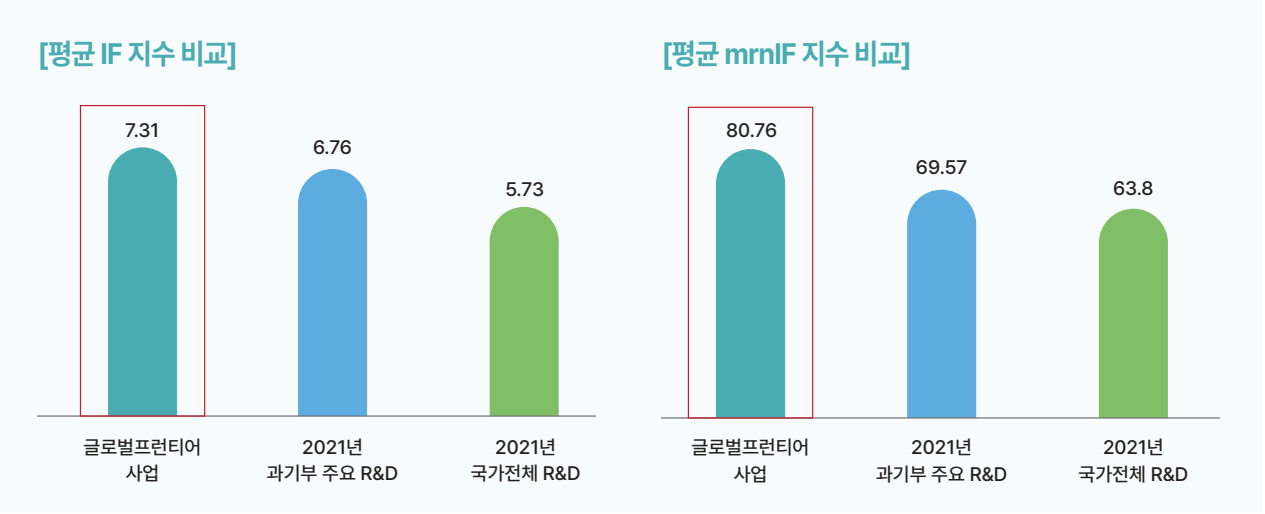
3) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

글로벌프런티어사업 연도별 SCI 논문 영향력 지수

구분/연도	논문건수(건)	평균 IF 지수	평균 mrnIF 지수[4]
2010	31	4.12	76.38
2011	282	5.08	77.28
2012	708	5.53	78.04
2013	850	5.91	79.27
2014	1,106	6.45	80.51
2015	1,158	7.16	81.45
2016	1,143	7.39	80.21
2017	1,053	7.20	80.55
2018	829	8.05	81.27
2019	841	8.01	81.08
2020	547	10.52	85.64
2021	275	9.86	80.43
2022	177	10.21	83.91
2023	48	11.00	92.56
총합계	**9,048**	**7.31**	**80.76**

글로벌프런티어 연구단의 평균 mrnIF 지수는 80.76으로 산출되었으며, 이는 연구단의 논문이 게재된 학술지가 평균 상위 19.24%라는 것을 의미한다. 이러한 수치를 통해 연구단의 학술적 성과가 질적으로도 매우 우수함을 알 수 있다.

또한, 글로벌프런티어 연구단의 전체 평균 IF 지수는 7.31로 국가 전체 R&D(5.73) 보다 1.73이 높았으며, 과기부 주요 R&D(6.76) 보다도 0.55 높은 수치를 보인다. 표준화된 순위보정영향력지수(mrnIF)의 경우, 80.76으로 국가 전체 R&D(63.80)보다 16.96, 과기부 주요 R&D(69.57) 대비 11.19 높은 수치로 분석된다. 이러한 결과는 글로벌프런티어 연구단의 논문 성과가 국가 R&D 평균보다 우수한 것으로 해석할 수 있다.



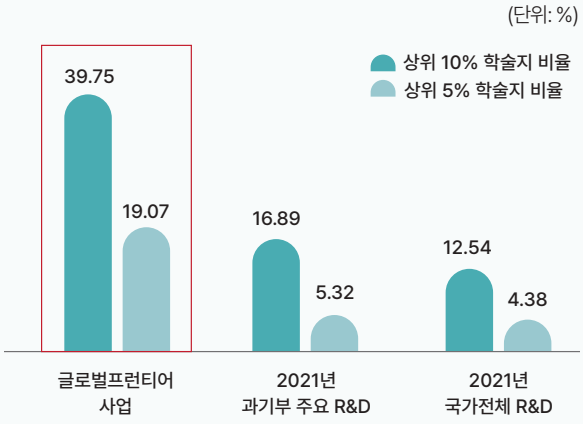
* 글로벌프런티어 성과의 경우, mrnIF지수가 90 및 95 이상인 논문을 기준으로 카운팅, 2021 국가전체 및 과기부 주요 R&D 성과의 경우, JCR 상위 5% 학술지 데이터를 활용

4) 다차원스마트IT융합시스템 연구단 종료 직후 mrnIF 지수에 대한 데이터가 없는 상황으로 다차원스마트IT융합시스템 연구단을 제외한 평균값 산출

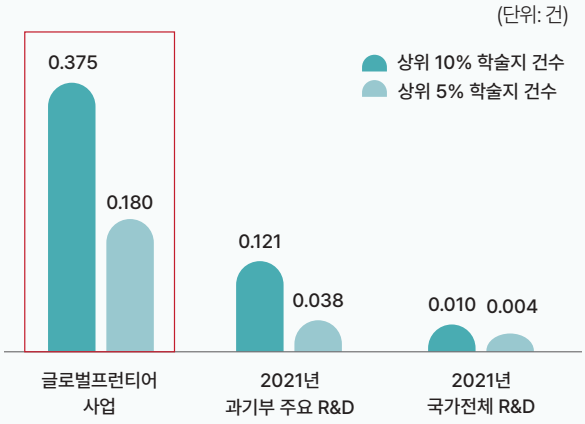
뿐만 아니라, 글로벌프런티어 연구단의 상위 10% 학술지에 게재된 논문의 건수는 3,146건으로 전체의 39.75%를 차지하는 것으로 나타나 연구단 논문이 평균적으로 우수한 학술지에 게재된 것을 알 수 있으며, 상위 5% 학술지에 게재된 논문의 건수는 1,509건으로 전체의 19.07% 차지하는 것으로 분석되어 글로벌프런티어 연구단의 논문이 세계적으로도 우수한 성과를 창출한 것으로 분석된다.

이를 국가 전체 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교해보면, 상위 10% 학술지에 게재된 논문의 비율이 2021년 국가 전체 R&D 사업(12.54%) 대비 3.17배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업(16.89%) 대비 2.35배 높은 것으로 분석된다. 상위 5% 학술지에 게재된 논문의 비율은 2021년 국가 전체 R&D 사업(4.38%) 대비 4.35배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업(5.32%) 대비 3.58배 높은 것으로 분석되어 글로벌프런티어 연구단의 논문 성과가 글로벌뿐만 아니라, 국내 R&D 사업과 비교해서도 높은 수준이며, 국가 R&D 사업에서 논문 성과의 질적 수준을 높이는 데 기여하고 있다는 것을 알 수 있다.

[상위 10%/5% 학술지 비율]



[연구비 1억 원당 10%/5% 학술지 건수]

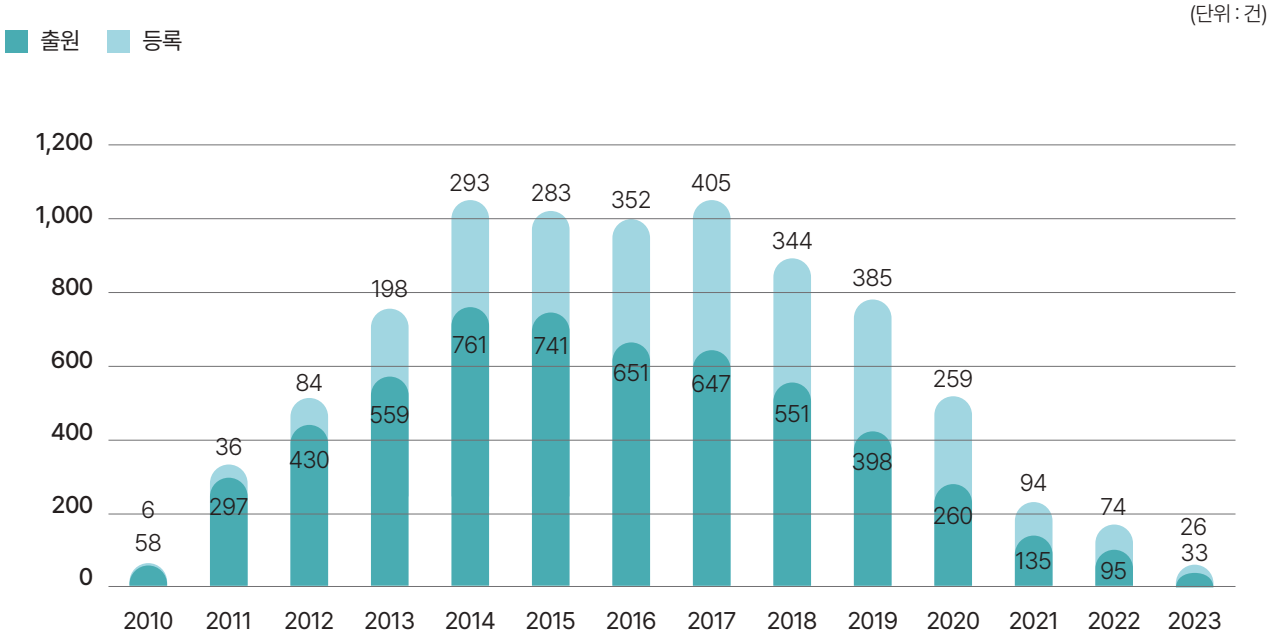


3. 특허

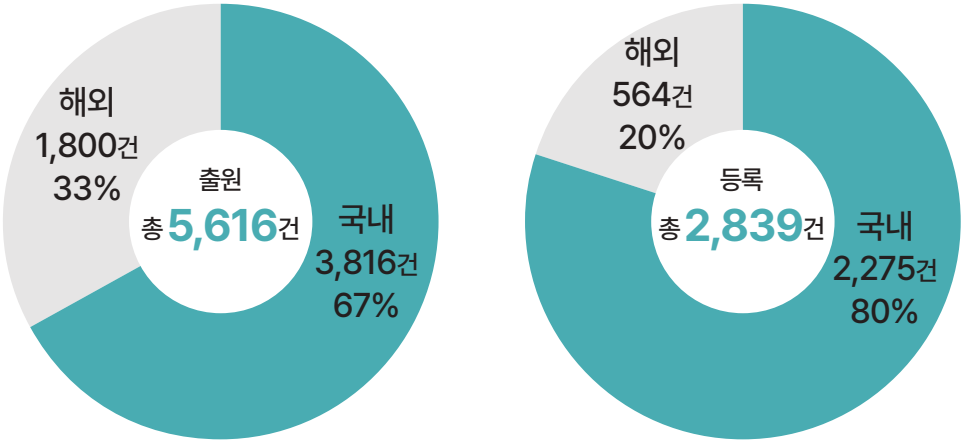
글로벌프런티어사업의 국내 특허출원 건수는 총 3,816건, 연도별 평균 272건이며, 특허등록 건수는 총 2,275건이었다. 국외 특허출원 건수는 총 1,800건, 특허등록 건수는 총 564건으로 전체 특허 출원 및 등록 현황은 8,455건이었다.

연도별 특허출원 및 등록 건수

(단위 : 건)

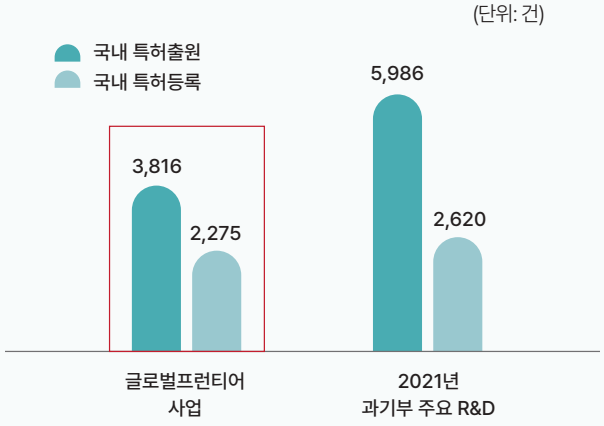


(단위 : 건)

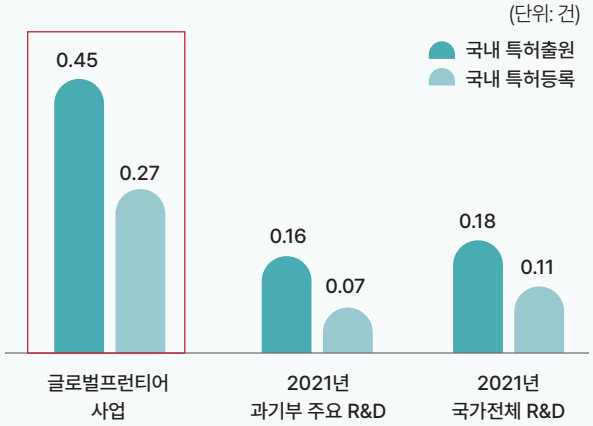


글로벌프런티어 10개 연구단의 국내 특허출원 실적은 3,816건으로 연구비 1억 원당 약 0.45건으로 분석되었으며, 총 국내 특허등록 건수는 2,275건으로 연구비 1억 원당 약 0.27건으로 분석된다.
해당 수치는 이는 2021년 국가 전체 R&D 국내 특허출원 실적(연구비 1억 원당 0.18건)의 약 2.5배, 과기부 주요 R&D 국내 특허출원 실적(연구비 1억 원당 0.16건)의 약 2.85배 수준이다. 특허등록 성과를 비교해보면, 2021년 국가 전체 R&D 국내 특허등록 실적(연구비 1억 원당 0.11건)의 약 2.46배, 과기부 주요 R&D 국내 특허등록 실적(연구비 1억 원당 0.07건)의 약 3.81배 수준이다. 즉, 글로벌프런티어 10개 연구단의 1억 원당 특허 출원 및 등록성과는 2021년 국가 전체 R&D 및 과기부 주요 R&D 성과 대비 2배 이상으로 국내 특허 출원 및 등록부분에서도 우수한 성과를 거두고 있음을 알 수 있다.

[국내 특허 출원 및 등록 건수]



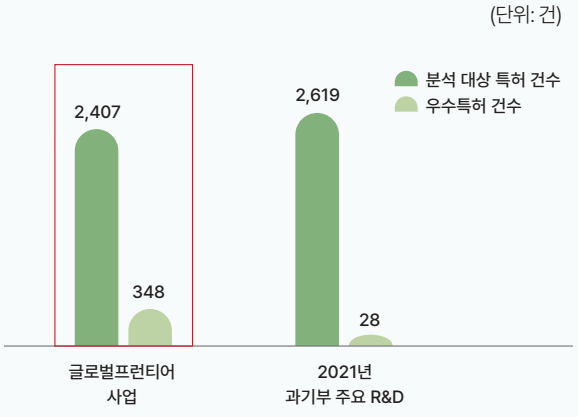
[1억 원당 국내 특허 출원 및 등록 실적]



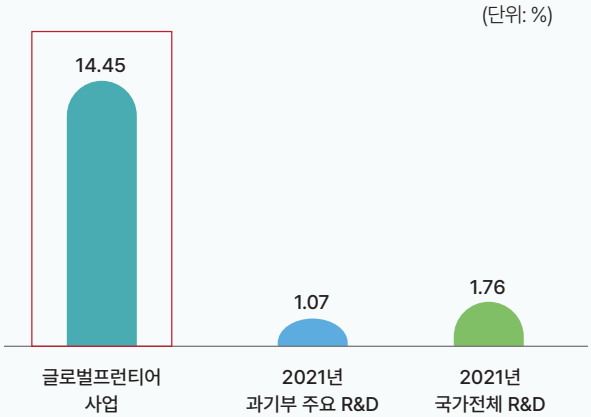
* 국내 특허 출원 및 등록 실적을 기준으로 분석
* 국가 전체 R&D 국내 특허출원 실적은 1억 원당 성과만 나와 있어 건수를 기재하지 않음

특허의 질적 수준을 비교하기 위해, 연구단의 국내 등록특허 중, SMART 3.0 또는 K-PEG를 통해 분석이 가능한 특허 2,407건으로 특허의 등급을 분포를 살펴본 결과, 우수특허가 총 348건으로 분석대상특허의 14.45%를 차지하는 것으로 분석된다. 이는 2021년 국가 전체 R&D 사업성과의 우수특허 비율(1.76%) 대비 약 8.21배 높으며, 2021년 과기부 주요 R&D 사업성과의 우수특허 비율(1.07%) 대비 약 13.5배 높은 수치이다. 즉, 연구단에서 질적으로 매우 높은 수준의 특허를 다수 창출하였으며 특허의 질적으로도 우수한 성과가 창출된 것을 의미한다.

[분석대상 특허 및 우수특허 건수]

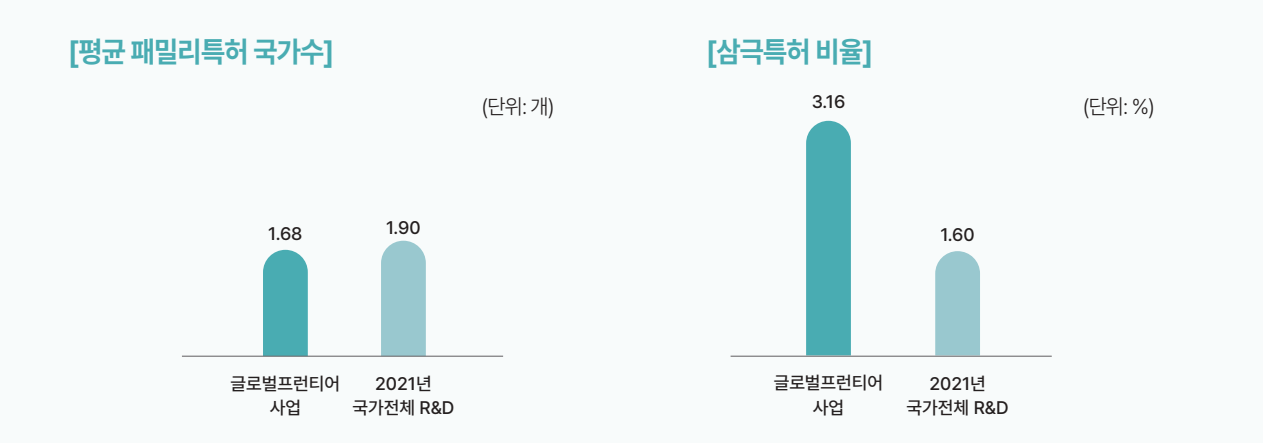


[우수특허 비율]



* 연구단 우수특허: SMART, K-PEG를 이용한 AAA-A/S-A1 특허
* 2021년 과기부 주요 R&D 사업 특허: AAA등급 특허
* 2021년 국가 전체 R&D: 한국특허전략개발원(KISTA)의 분석 결과 활용
* 연구단 우수특허는 자산실사 분석 데이터 활용

글로벌프런티어사업의 국내 출원 특허의 1건 당 평균 패밀리국가수는 1.68개국으로 2021년 국가 전체 R&D(1.90개국)와 유사한 수준을 보이고 있으며, 삼극 특허 비율은 3.16%로 2021년 국가 전체 R&D의 삼극 특허 비율 1.60%[5] 대비 약 2배 높은 수치를 나타내고 있다. 국가 전체 R&D 사업의 경우, 민간기업의 참여가 포함된 수치이다. 민간기업의 해외 다국 출원이 대학 및 연구기관에서의 다국 출원보다 활발하기 때문에 국가 전체 R&D 사업의 평균 패밀리 국가수도 높게 산출된 것으로 분석된다.

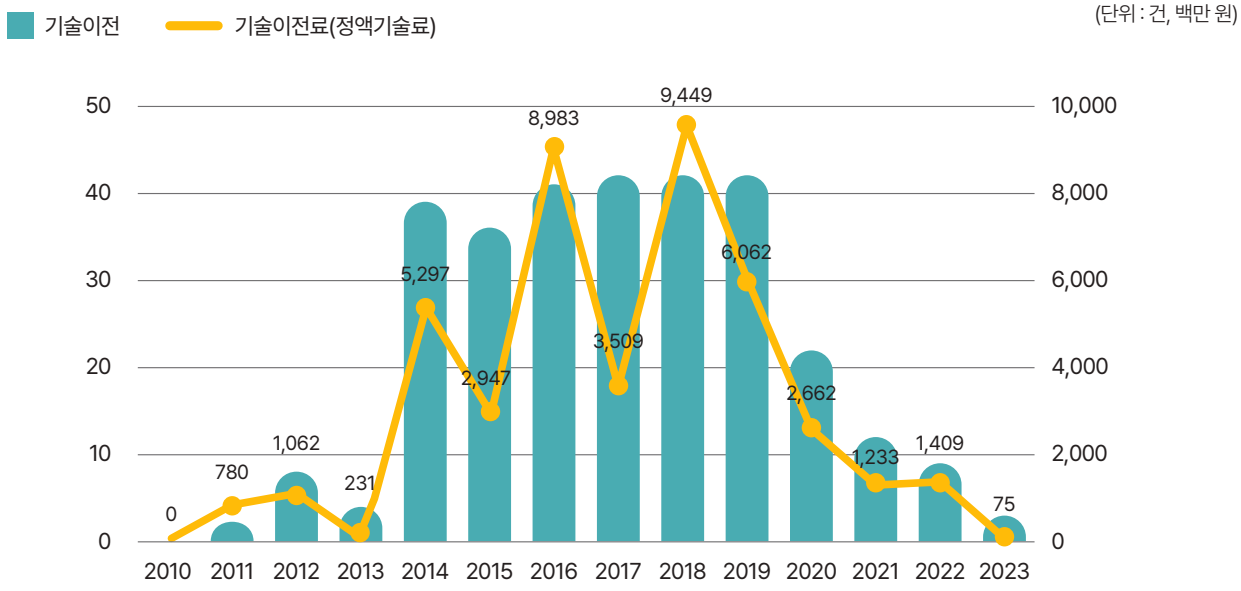


* 분석대상 국내 출원 특허 수: 2,844건(취하, 분할출원 등으로 미공개 특허 제외)
* 삼극특허 대상: 미국, 일본, 유럽 출원 특허

4. 기술사업화

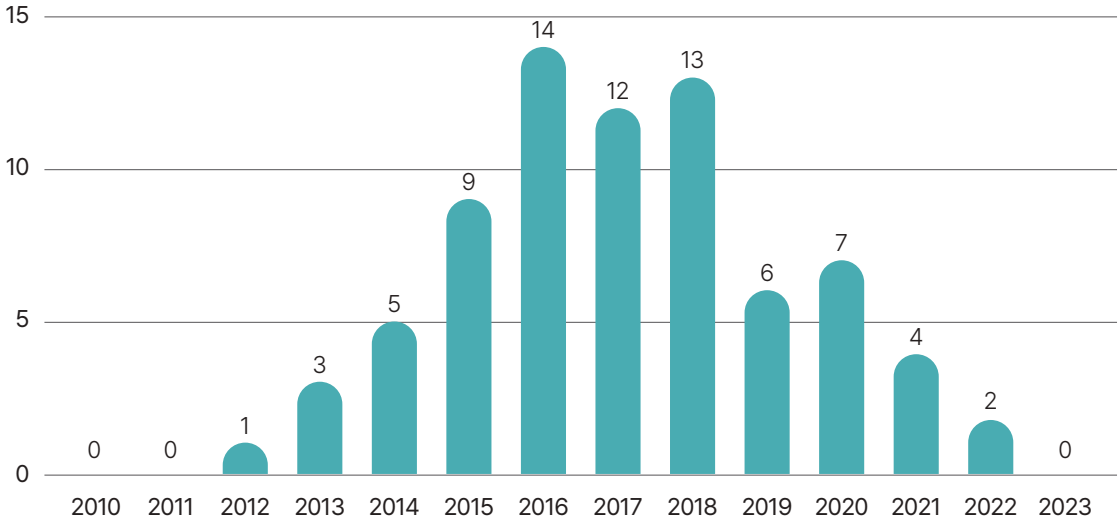
2023년까지 글로벌프런티어사업의 기술이전 및 창업 현황을 살펴보면, 기술이전은 전체 10개 연구단이 총 302건, 약 43,699백만 원의 정액기술료 성과를 창출하였으며, 76건의 창업을 통해 일자리 창출에 기여하였다. 10개 연구단이 현재에도 기술이전 및 창업을 통한 기술사업화를 진행 중에 있으며, 통상 성과창출 후 기술이전 및 사업화, 그리고 매출 창출까지는 수년의 시간이 필요하므로 지속적인 노력이 필요할 것으로 보인다.

기술사업화 성과 현황



5) 2021년도 정부 R&D 특허성과 조사·분석 보고서(한국특허전략개발원)

창업성과 현황



연구단의 총 기술이전 계약건수는 302건, 총 기술이전료는 약 436.99억 원이며, 글로벌프런티어 연구단의 1건당 기술이전료는 약 1.45억 원이며, 연구비 1억 원당 기술이전료[6]는 약 5.21백만 원으로 분석된다.
이를 2021년 과기부 주요 R&D 사업과 비교해보면, 건당 기술이전료(과기부 437.51 백만 원)는 292.81백만 원 낮으나, 연구비 1억 원당 기술이전료(과기부 1.58백만 원)는 3.63백만 원 높은 것으로 분석된다.

※ 2021년을 제외한 2017~2020 과기부 주요 R&D 기술이전액은 평균 406.5억 원 수준이며, 2021년의 경우 연세대학교의료원에서 400억 원 규모로 기술이전을 진행함에 따라 2021년 기술이전료가 전반적으로 상승된 것을 고려한다면, 글로벌프런티어 연구단과 과기부 주요 R&D 1년 평균 기술이전액은 유사한 수준이다.
※ 과기부 주요 R&D 사업의 2017~2020년 건당 기술이전료 평균은 225.79백만 원

6) 연구비 1억 원당 기술이전료는 타 R&D 사업에서 발생한 기술료를 분석하기 위한 것으로, 연구비 투입 대비 거둔 경제적 성과를 의미하는 것은 아니며, 해당 수치로 경제적 성과 또는 효과를 판단할 수 없음

글로벌프런티어사업 및 국가 전체 R&D 사업 기술이전 성과 비교

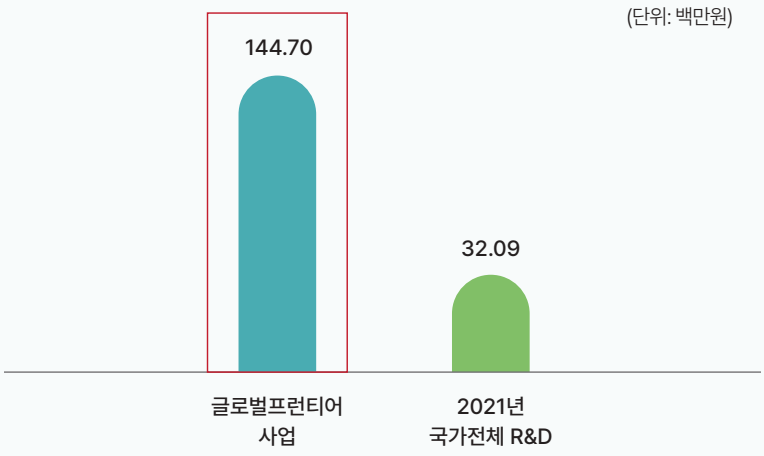
(단위: 건, 백만원, 백만원/건)

구분	기술이전 건수	기술이전료	건당 기술이전료
글로벌프런티어 10개 연구단	**302**	**43,699**	**144.70**
2021년 국가 전체 R&D(1)	4,600	147,610	32.09
2021년 국가 전체 R&D(2)	8,484	262,900	31.00

* 2021년 국가 전체 R&D(1): 2021년도 정부 R&D 특허성과 조사/분석 보고서(특허청, KISTA)
  2021년 국가 전체 R&D(2): 2021년 국가연구개발사업 성과분석보고서(과기부, KISTEP)
* 각 분석보고서의 대상 과제, 성과 등이 상이하여 각각 기재하였으며, 분석 대상 과제의 연구비 정보가 불투명하여 연구비 1억 원당 기술이전료 성과는 제외

글로벌프런티어 연구단의 기술이전 성과와 국가 전체 R&D 기술이전 성과를 비교하면, 글로벌프런티어 연구단의 건당 기술이전료가 국가 전체 R&D 건당 기술이전료 대비 4배 이상 우수한 것으로 분석된다. 즉, 글로벌프런티어 연구단의 질적으로도 우수한 연구성과들이 일반적인 R&D 대비 높은 기술료로 산업계로 확산되고 있는 것이다.

[1건당 기술료]

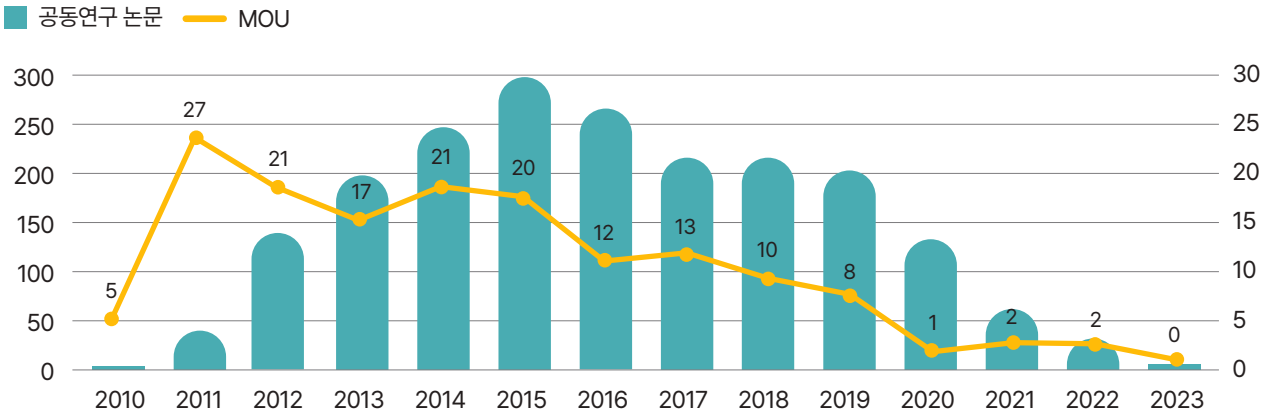


5. 국제공동연구 논문

글로벌프런티어사업 10개 연구단은 2010년 ~ 2023년 사이에 159건의 국제 MOU와 2,111건의 공동연구 논문 발표를 통한 국제협력 성과를 창출하였다.

국제협력 성과 현황

(단위 : 건)



6. 인력양성

인력양성은 박사 1,190명, 석사 1,629명, 학사 186명으로 2010년부터 2023년까지 글로벌프런티어사업을 통해 총 3,005명의 인력이 배출되었다.

인력양성 성과 현황

(단위 : 명)



7. 종합의견

글로벌프런티어는 G7(선도기술개발)과 21세기프런티어에 이은 정부의 간판 대형 톱다운 R&D 사업이다. G7과 21세기프런티어가 선진국 추격, 먹고살기 위한 기술개발과 기술사업화에 초점을 뒀다면 글로벌프런티어는 기존 기술의 한계를 깨는 세계적 원천기술과 연구그룹 확보라는 한 단계 발전된 목표를 설정했다. 이를 위해 전략적 집단 융합연구와 네트워크 구축, 지속 가능한 녹색성장을 선도할 수 있는 기반기술 확보에 주력했다.

각 사업단은 최장 10년 동안 집중적인 집단 융합연구를 펼침으로써 전 산업과 생활, 국가현안 해결에 쓰일 수 있는 연구성과를 쏟아냈다. 2010년부터 2023년까지 총 3만4,245명이 연구단에 참여해 9,467건의 논문을 발표하고 8,455건의 국내외 특허를 출원 또는 등록했다. 302건의 기술이전을 하고 3,005명의 학위를 배출했다. 국내외 학술발표는 1만 305건에 달한다.

R&D의 범위와 규모, 깊이에서 국내 대표 프로젝트인 만큼 연구성과의 양과 질에서 전체 국가 R&D 사업보다 크게 앞선다. 상위 10% 학술지 비율은 39.75%로 2021년 국가 전체 R&D의 3.17배, 같은 해 과기부 주요 R&D의 2.35배였다. 연구비 1억 원당 SCI 논문은 1.08건으로, 2021년 국가 전체 R&D의 13.2배, 과기부 주요 R&D의 1.5배에 달했다. 연구비 1억 원당 국내 특허 출원·등록은 과기부 주요 R&D의 각각 2.85배, 3.81배였다. 우수특허 비율(14.45%)은 2021년 국가 전체 R&D의 8.21배, 과기정통부 주요 R&D의 13.5배였다. 총 기술이전 건수는 302건이고 기술가치평가 총액은 2조 8,636억 원에 달했다. 연구결과를 토대로 이뤄진 연구단 창업은 76건이었다.

이는 안정적인 장기 연구에 규모 있는 투자를 하고, 연구자들이 융합연구를 펼쳤을 때 양과 질에서 모두 뛰어난 연구성과를 얻을 수 있음을 시사한다. 글로벌프런티어사업에서 뿌린 연구의 씨앗은 디지털전환, ESG(환경·사회·지배구조), 기술패권 전쟁, 회복 탄력성과 지속 가능성 등 오늘날 전세계의 공통적 현안에 대응하기 위한 대한민국의 기술 기초체력으로 쌓였다. 적절한 후속 연구사업이 이어져서 이 사업을 통해 싹을 틔운 기술과 성장한 연구인력들이 글로벌 협력과 경쟁, 미래성장의 주역이 되도록 뒷받침돼야 할 것이다.

[종합 통계 비교]

▪ 논문성과 및 생산성 비교

글로벌프런티어 연구단의 전체적인 논문의 정량적인 성과창출은 국가 전체 R&D의 13.2배 및 과기부 주요 R&D 사업의 1.50배 등 **국가 전체 R&D 성과와 비교해 매우 높은 수준**을 보이고 있다.
또한 질적으로도, **평균 논문영향력** 지수(IF)와 표준화된 순위보정지수(mrnIF)는 물론이고, 전체 상위 10%/5% 논문 비율, 연구비 1억 원당 10%, 5% 논문성과의 건수는 국가 전체 R&D 및 과기부 주요 R&D 사업 대비 현저히 높은 수치를 나타내고 있다. 특히, **상위 10% 및 5% 논문의 비율이 국가 전체 R&D사업 대비 3.17배, 과기부 주요 R&D사업과 비교해 2.35배** 높다.

▪ 특허의 양적 및 질적 비교

먼저 양적으로 글로벌프런티어 연구단의 국내 특허출원 생산성은 국가 전체 R&D 성과와 비교하면 약 2.4배, 과기부 주요 R&D 성과와 비교하면 2.85배 수준이다. 특허등록 생산성은 국가 전체 R&D 성과의 2.46배, 과기부 주요 R&D 성과와 비교하면 3.81배 등 **매우 높은 수준을 보이고 있다.**
질적 비교를 위해 먼저 SMART 3.0 또는 K-PEG 시스템을 통해 분석이 가능한 우수특허 건수의 비율은 14.37%로 **국가 전체 R&D 성과와 비교하면 8.16배, 과기부 주요 R&D사업과 비교하면 13.43배 높은 수치**이다. 또한 평균 패밀리 특허 국가수는 1.68개로 국가 전체 R&D와 유사한 수준이며, **연구단 성과 중 삼극 특허 비율은 3.16%로 국가 전체 R&D 사업 대비 약 2배 높은 수치**를 나타내고 있다.

▪ 기술이전 성과 비교

연구단의 기술이전 계약건수는 302건, 총 기술이전료는 약 436.99억 원이며, 글로벌프런티어 연구단 1건당 기술이전료는 약 145백만 원이며, 특허이전율(활용률)은 약 7.9%이다.

먼저 2017~2021년 5년동안 **국가 전체 정부 R&D 건당 기술료는 대학 19.4백만 원 공공연 39.8백만 원과 비교해서 최소 3.6배, 최대 7.4배 높은 성과**를 보이고 있다. 평균 국내 특허이전율은 대학이 4.6%, 공공연이 9.4%인 것을 비교해 보면 대학과 공공연의 중간정도 수준을 보이고 있다.

2017~2021년 과기부 주요 R&D사업와 비교해 보면, 건당 기술료는 **국가 전체 정부 R&D의 건당 기술료인 평균 266.2백만 원보다는 다소 낮은 반면**에, **특허이전율(활용률)은 국가 전체 정부 R&D 성과인 연평균 5.6% 수준보다 2.3% 높은 수준**을 보이고 있다.

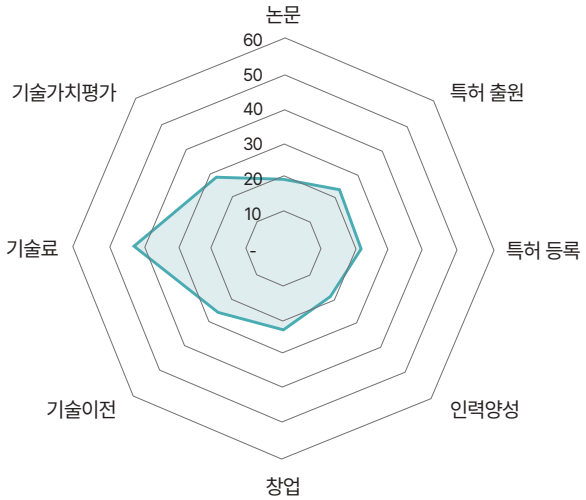
[연구단 기술분야별 시사점]

글로벌프런티어 연구단을 BT, NT, IT, ET로 분류하여 **성과에 대한 특징점과 성과 창출 이후의 추진방향, 시사점을 살펴보았다.** 성과는 총 8가지 인자로, 논문, 특허출원, 특허등록, 인력양성, 기술가치평가액, 기술료, 기술이전건수, 창업건을 %로 비교해 보면 다음과 같다.

▪ BT

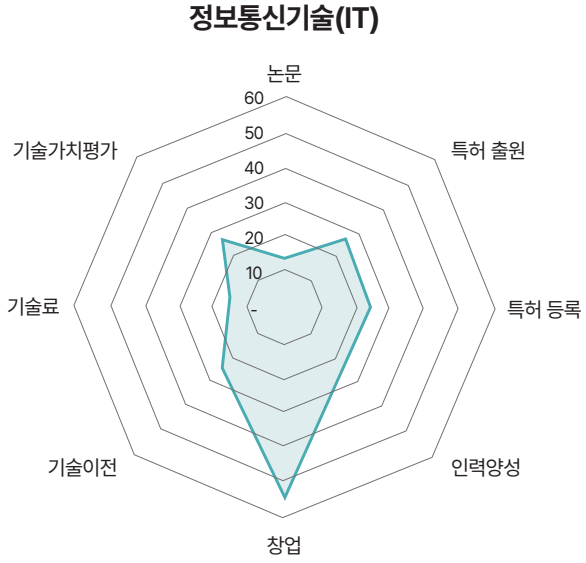
BT로 분류되는 의약바이오컨버젼스, 지능형바이오시스템설계및합성, 바이오나노헬스가드 3개 연구단은 **8가지의 성과 중 기술료 금액에서 강세**를 보였는데, **기술료 금액 부분이 전체의 40%이상을 차지할 정도로 기술가치를 인정받고 있음**을 알 수 있다. 이에 따라, 정확한 타겟 선정과 그에 따른 원천기술의 집중 투자 및 그에 따른 산업계의 확산을 지원한다면 국가전략산업으로서 높은 가능성을 확보할 수 있을 것으로 평가된다.

생명공학기술(BT)



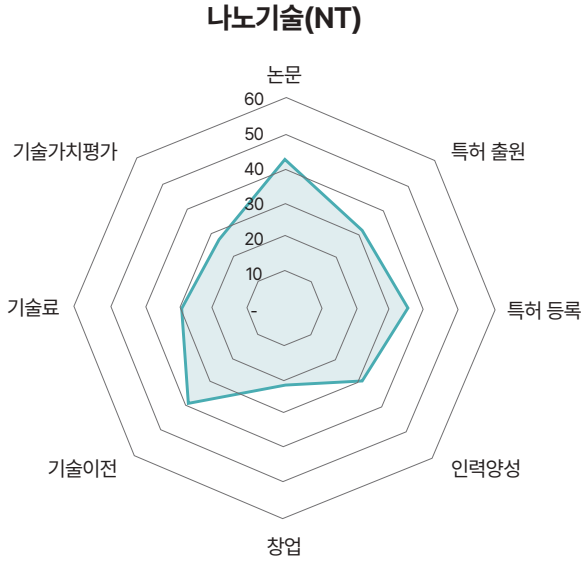
▪ IT

IT로 분류되는 실감교류인체감응솔루션, 다차원스마트IT융합시스템 2개 연구단은 **8가지의 성과 중 창업건수에서 50% 이상의 독보적인 활약**을 보이고 있다. 이에 따라, 사업화 및 창업에 대한 관심도가 높은 분야임을 알 수 있어 꾸준한 기술개발 지원을 통해 **학술적 및 산업적 가치가 높은 기술개발과 대학, 공공연이 용이하게 기술이전 및 기술창업까지 이르게 할 수 있는 아이템을 지속적으로 발굴**하는 데 핵심 기반으로 성장할 수 있을 것으로 평가된다.



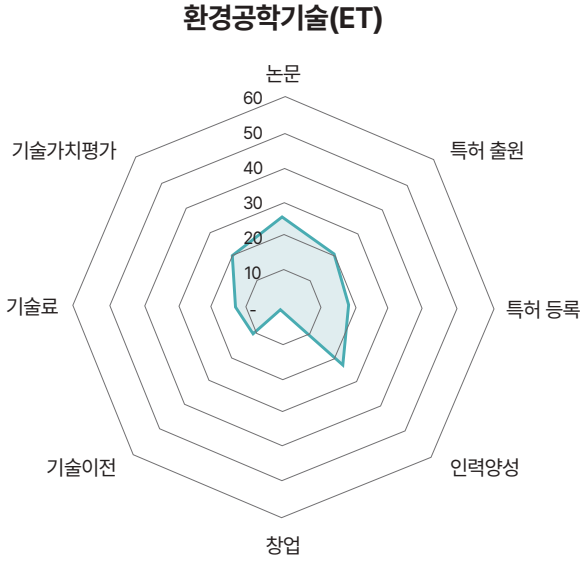
▪ NT

NT로 분류되는 나노기반소프트일렉트로닉스, 하이브리드인터페이스기반미래소재, 파동에너지극한제어 3개 연구단은 **8가지의 성과 중 학술적 기반의 논문과 기술이전 건수 부분에서 강세**를 보였는데, **SCI논문건수와 기술이전 건수에서 전체의 40% 정도를 차지하고 있음**을 알 수 있다. 나노기술 자체가 기반기술로서 기존 사업을 영위하고 있는 기업이 기술적인 우위를 점하거나 신규 사업 진출, 연구소 기업 출자 등을 위해 꾸준하게 기술이전이 이루어지고 있으며, 앞으로도 공공기술의 산업화에 소재부품 기술이 큰 기여를 할 것으로 보인다. 나노기술 분야는 **새로운 분야의 진입에 다소 시간이 소요될 수 있는 기반 분야이기 때문에, 지원 종료 이전 타 부처 과제와의 연계, 수요기반 연구의 런칭 및 기획 등을 통해 다양한 외부와의 접목 시도 등을 할 필요가 있을 것**으로 사료된다.

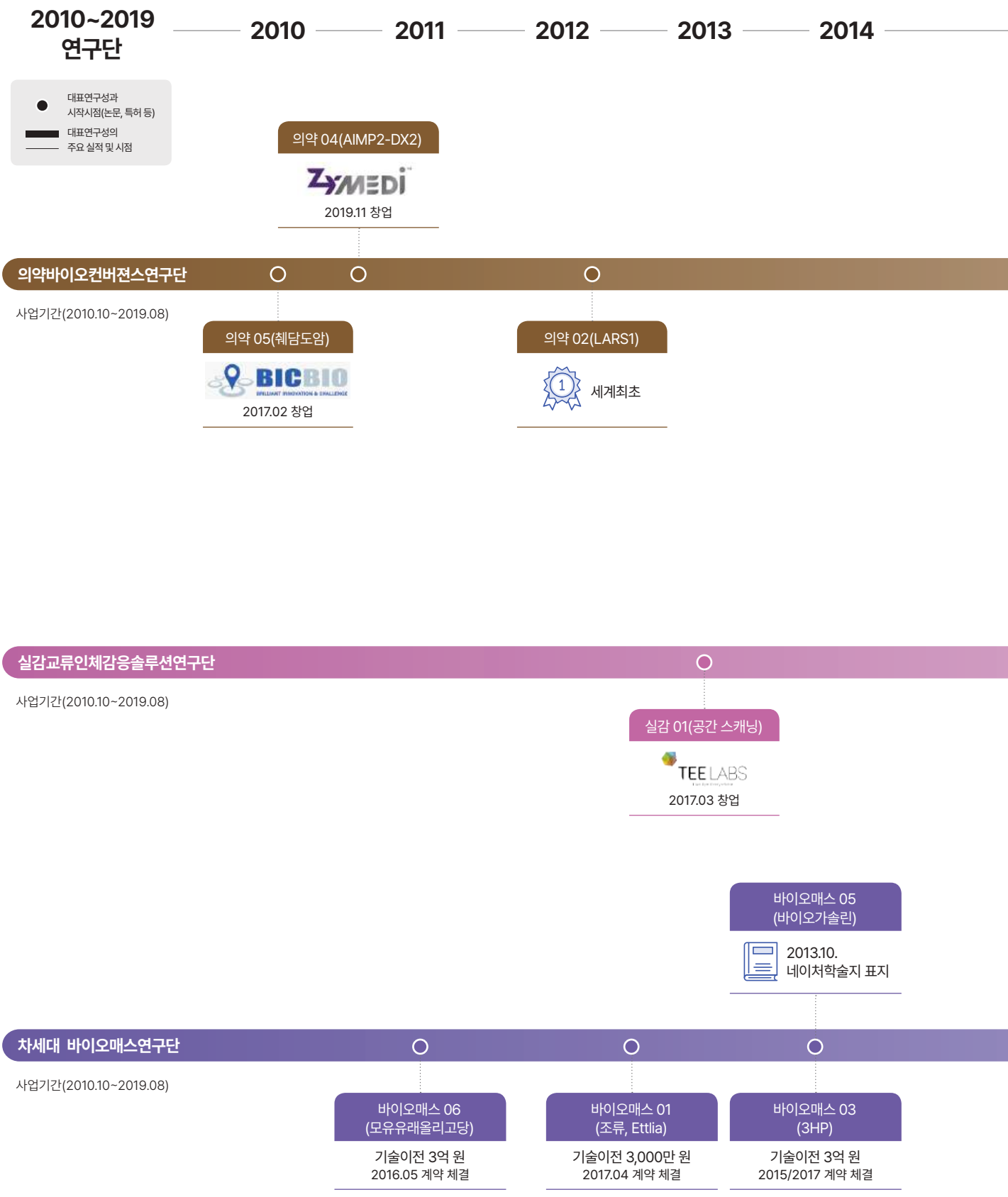


▪ ET

ET로 분류되는 차세대바이오매스, 멀티스케일에너지시스템 2개 연구단은 **8가지의 성과 중 전체적으로 균형잡힌 형태**를 보이고 있다. 이에 따라, 전체적으로 성과가 다소 낮은 감이 있으나 **에너지 관련 연구가 국가 전략적인 목적을 가지고 있어, 단지 학술적, 경제적 성과만으로 비교하는 것은 적절하지 않아** 보인다. 다만, 창업 부분의 성과가 전무한 점은 기술분야 특성상 대규모 공공 자본 및 인프라를 요구하는 분야임을 감안해야 할 것으로 보인다.



사업 대표 연구성과 파이프라인 종합



2015 2016 2017 2018 2019

의약 09(3차원 세포 배양)
MBD Medical & Bio Decision
2015.01 창업

의약 10(엑소좀 분리)
METAPORE
2018.07 창업

의약 07(면역증강물질)
후속연구 진행

의약 06(패혈증)
기술이전 1.5억 원
2016.05 계약체결

의약 08(생체 측정기)
IVIM TECHNOLOGY
2017.06 창업

의약 03(섬유화증)
기술이전 4,128억 원
2023.01 계약 체결

의약 01(섬유화증)
ZyMEDi
2019.11 창업

투자유치 300억,
코스닥 상장

실감 04(원격 협업)
인투엔엑스
2017.04 창업

실감 06(HMD)
VIRNECT
2016.10 창업

실감 07(착용형 AR)
후속연구 진행

실감 05(동작예측)
로그온유
2015.09 창업

실감 02(모션 캡처)
moin
2017.08 창업

실감 03(아바타 모델링)
기술이전 6.3억 원
2014, 2015, 2018 계약 체결

바이오매스 09
(고순도 분리정제)
기술이전 23억원
2019.04 계약 체결

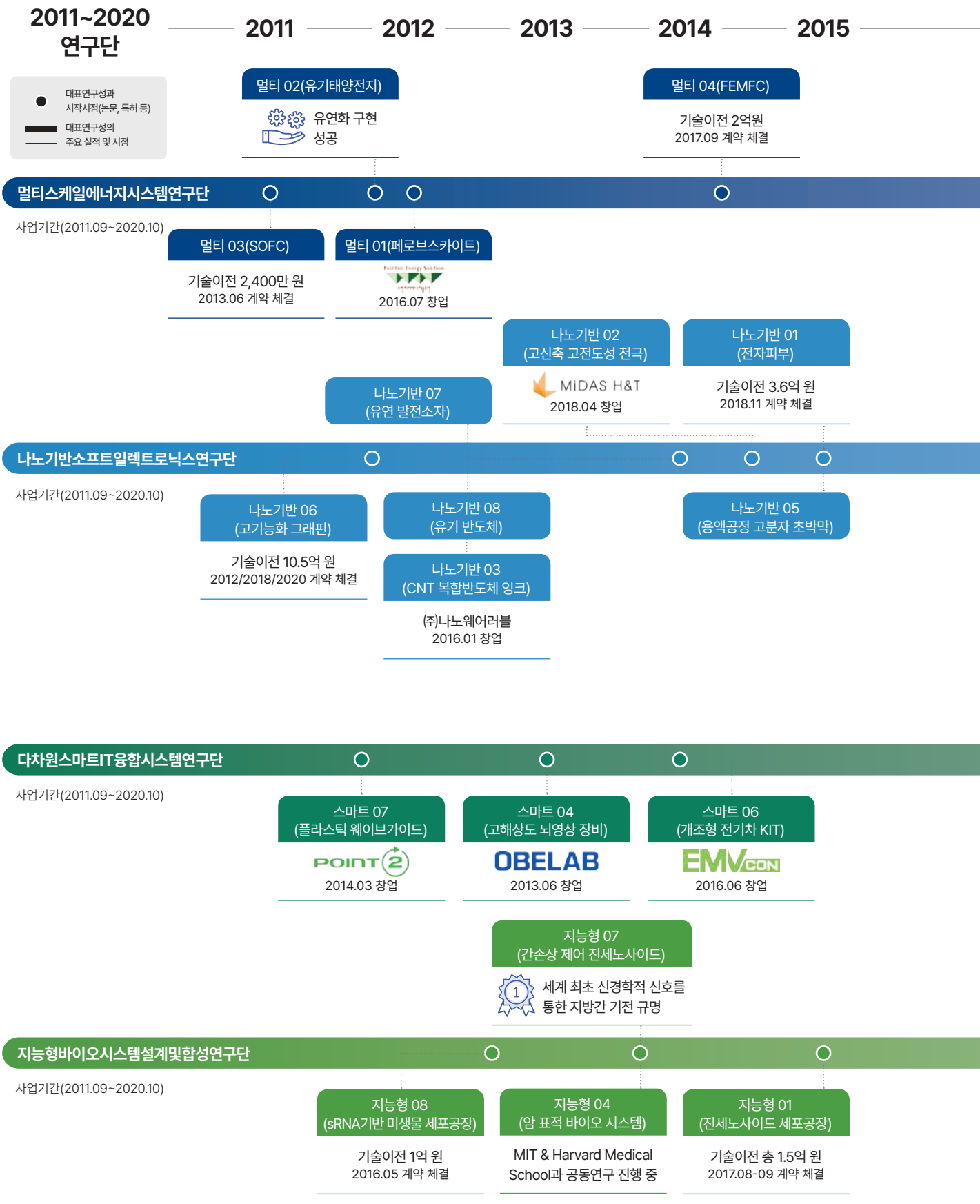
바이오매스 02
(바이오항공유)

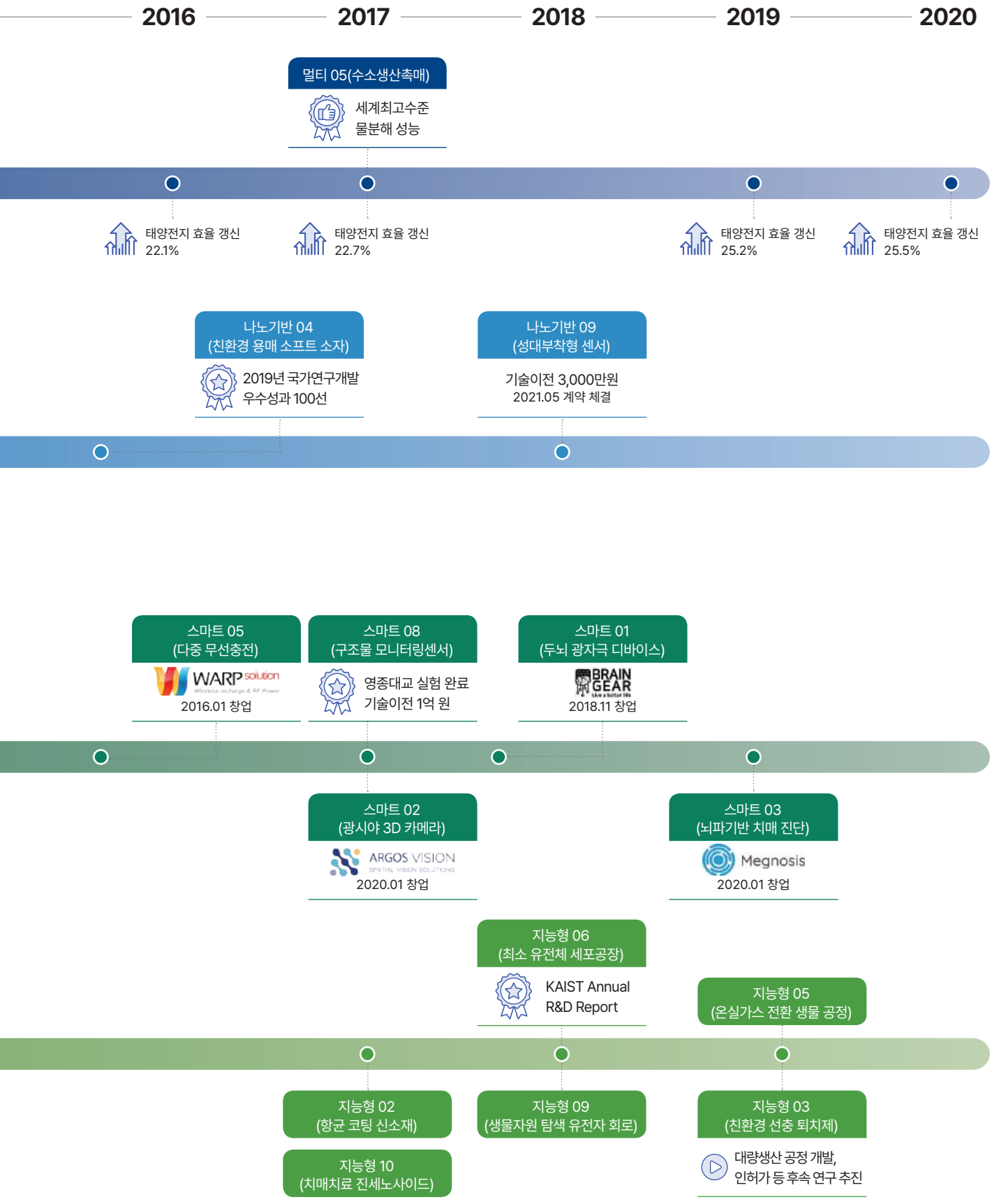
바이오매스 04
(바이오리파이너리)

바이오매스 07
(수첨분해 촉매)

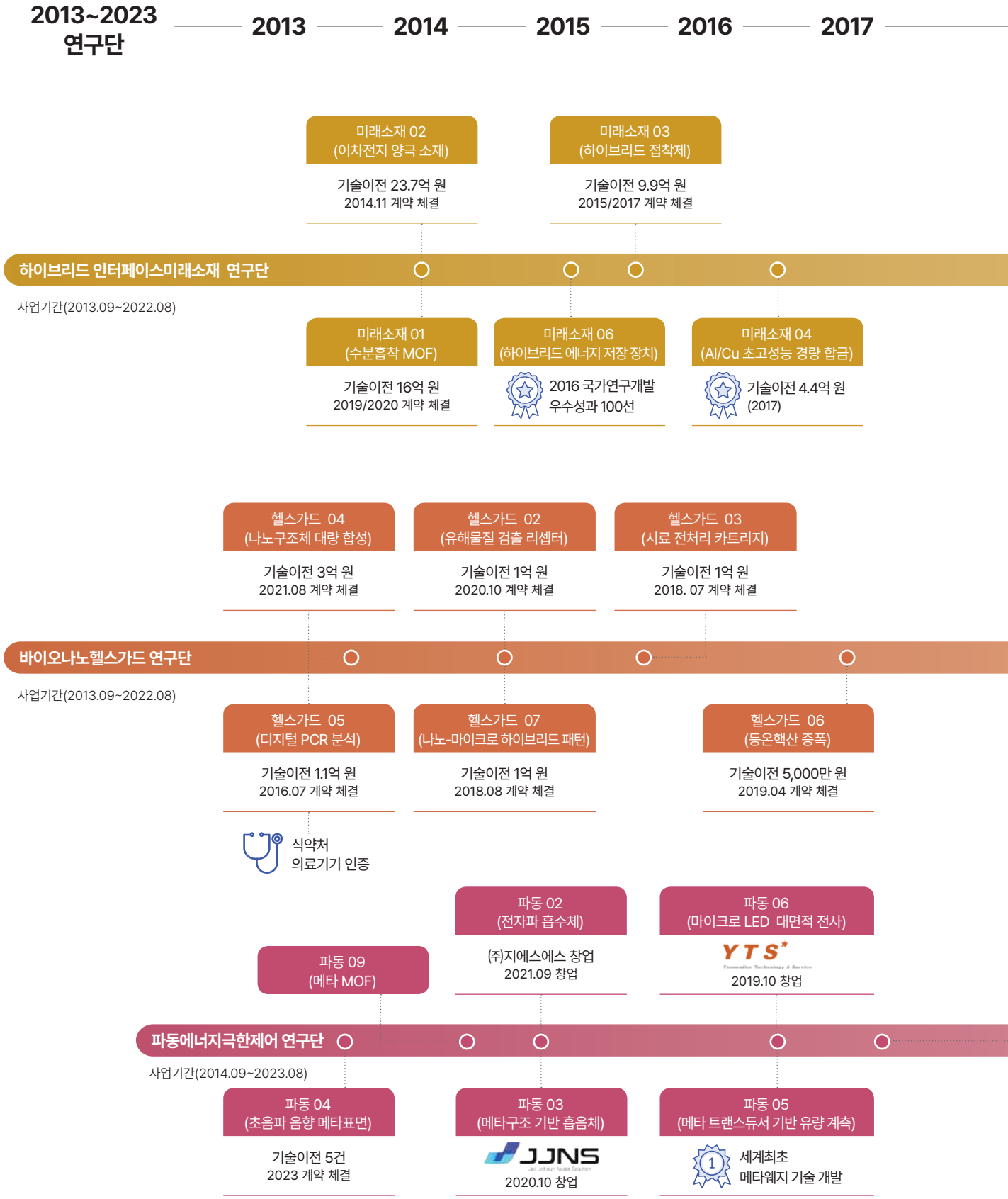
바이오매스 08
(클로렐라 배양액)

사업 대표 연구성과 파이프라인 종합




2016
2017
2018
2019
2020
멀티 05(수소생산촉매)
세계최고수준
물분해 성능
태양전지 효율 갱신
22.1%
태양전지 효율 갱신
22.7%
태양전지 효율 갱신
25.2%
태양전지 효율 갱신
25.5%
나노기반 04
(친환경 용매 소프트 소자)
2019년 국가연구개발
우수성과 100선
나노기반 09
(성대부착형 센서)
기술이전 3,000만원
2021.05 계약 체결
스마트 05
(다중 무선충전)
WARP solution
2016.01 창업
스마트 08
(구조물 모니터링센서)
영종대교 실험 완료
기술이전 1억 원
스마트 01
(두뇌 광자극 디바이스)
BRAIN GEAR
2018.11 창업
스마트 02
(광시야 3D 카메라)
ARGOS VISION
2020.01 창업
스마트 03
(뇌파기반 치매 진단)
Megnosis
2020.01 창업
지능형 06
(최소 유전체 세포공장)
KAIST Annual
R&D Report
지능형 05
(온실가스 전환 생물 공정)
지능형 02
(항균 코팅 신소재)
지능형 09
(생물자원 탐색 유전자 회로)
지능형 03
(친환경 선충 퇴치제)
지능형 10
(치매치료 진세노사이드)
대량생산 공정 개발,
인허가 등 후속 연구 추진

사업 대표 연구성과 파이프라인 종합



2018 2019 2020 2021 2022 2023

미래소재 05
(무선센서용 자율전원)

2018. Energy & Environmental Science 표지

미래소재 08
(열전 에너지 하베스터)

기술이전 2.12억 원
2019/2020/2021 계약 체결

미래소재 07
(그래핀-반도체 이종접합 광센서)

ALPHA GRAPHENE
2017.08 창업

미래소재 09
(원자크기 소자 검증)

기술이전 1.81억 원
2018/2020 계약 체결

미래소재 10
(하이브리드 인터페이스 플랫폼)

연구 DATA
플랫폼 구축

헬스가드 08
(미세유체기반 진단기기)

KINGO Bio
2018.06 창업

헬스가드 09
(유전자 가위 기반 진단)

기술이전 1억 원
2023.06 계약 체결

헬스가드 10
(병원체 검출 플랫폼)

인플루엔자
신규 인터페이싱 화합물

헬스가드 01
(감염병 무인감시)

H-GUARD
자체 사업화 추진 계획

파동 01
(메타물질 설계 플랫폼)

MCK TECH Material Reinvented
2019.03 창업

AIT
2020.11 창업

파동 10
(홀로그램 메타표면)

삼성전자, LG 디스플레이 등과
렌즈 상용화 논의

파동 07
(DNA 니들 패치)

ADM BIOSCIENCE
2018.07 창업

메타투피플(주)
2022.09 창업

파동 08
(메타물질 적용 능동안테나)

Expikx
2022.02 창업

2023 글로벌프런티어사업
미래를 향한 9년의 도전

Global Frontier Program 9-Year-Long
Future-facing Endeavor

Part. 2
연구단

1. 의약바이오컨버젼스연구단
2. 실감교류인체감응솔루션연구단
3. 차세대바이오매스연구단
4. 멀티스케일에너지시스템연구단
5. 나노기반소프트일렉트로닉스연구단
6. 다차원스마트IT융합시스템연구단
7. 지능형바이오시스템설계및합성연구단
8. 하이브리드인터페이스기반미래소재연구단
9. 바이오나노헬스가드연구단
10. 파동에너지극한제어연구단

RESEARCH
GROUP

01
의약바이오컨버젼스연구단

Medicinal Bioconvergence Research Center

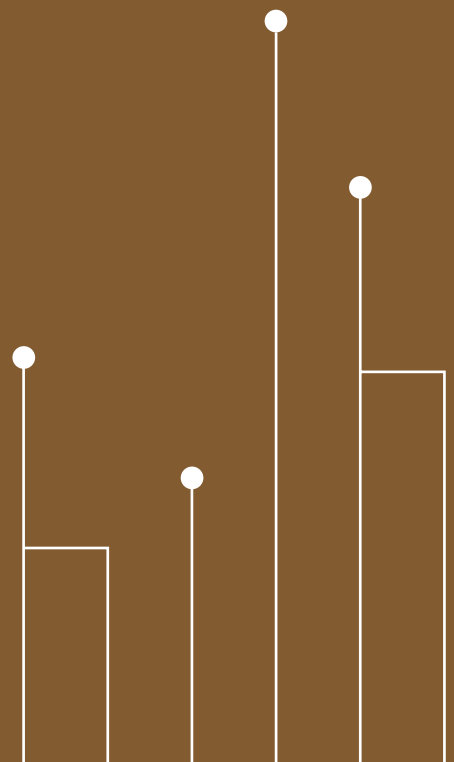
01 연구단 9년사 57

02 사업목표 62

03 연구성과 66

04 기술사업화 성공스토리 86

05 미래제언 93



대표 연구성과별 파이프라인

2010 — 2011 — 2012 — 2013 — 2014 — 2015

의약 01 (섬유화증)

의약 02 (ARS효소)

(2012.02)

1 세계최초

Cell Leucyl-tRNA Synthetase Is an Intracellular Leucine Sensor for the mTORC1-Signaling Pathway

의약 03 (섬유화증)

(2013.09)

Conformational changes in human prolyl-tRNA synthetase upon binding of the substrates proline and ATP and the inhibitor halofuginone

의약 04 (AIMP2)

(2011.03)

Cancer-Associated Splicing Variant of Tumor Suppressor AIMP2/p38: Pathological Implication in Tumorigenesis

의약 05 (췌담도암)

(2011.03)

PNAS Dual role of methionyl-tRNA synthetase in the regulation of translation and tumor suppressor activity of aminoacyl-tRNA synthetase-interacting multifunctional protein-3

의약 06 (패혈증)

의약 07 (면역증강물질)

의약 08 (생체 현미경)

의약 09 (3차원 세포 배양)

(2015.01)

MBD Medical & Bio Decision

의약 10 (엑소좀 분리)

의약바이오컨버션스연구단

2016 — 2017 — 2018 — 2019 — ~ 2023

(2016.03)
섬유화증 예방 외 특허 2건

(2017.09)
라이실 tRNA 타겟 항체 특허 1건

(2018.03)
라이실 tRNA 타겟 항체 특허 1건

(2019.11)
ZYMEDI

(2023.05)
투자유치 (350억 원)

2017.09
nature COMMUNICATIONS

(2020.01)
Science

(2019.08)
FDA 희귀 의약품 지정

(2023.01)
폐섬유증 치료제 기술이전

(2019.11)
ZYMEDI

(2022.10)
Social IBMS Innovation Challenge

(2017.12)
ONCOTAG DIAGNOSTICS

(2018.02)
췌담도암 진단 기술이전 2건

(2022.02)
보건 신기술 인증

(2016.05)
패혈증 진단 키트 기술이전 1건

제품 개발, 임상 허가 중

후속연구 진행

(2016.05)
nature microbiology
Secreted tryptophanyl-tRNA synthetase as a primary defence system against infection

(2017.06)
IVIM TECHNOLOGY

(2022.03)
코스닥 상장 예비 심사

(2016.05)
Novel Morphologic and Genetic Analysis of Cancer Cells in a 3D Micorenvironment Identifies STAT3 as a Regulator of Tumor Permeability Barrier Function

(2021.03)
투자유치 (235억 원)

(2018.07)
METAPORE

한눈으로 보는 의약바이오컨버전스연구단의 9년

비전

Target Factory(For Healthy & Happy Life)
인류의 건강과 행복에 기여하는 세계 최고 신약 타겟 개발거점 구축

미션

질병으로부터 자유로운 건강장수의 꿈을 실현하기 위한 고효율 신약 타겟 개발 시스템 구축과 산악타겟 개발

연구성과

1개 이상의 후보물질, 8개 이상의 타겟과 선도물질,
5건 이상의 혁신기술제품 개발, 3,000건 이상의 연구 서비스

성과목표

Global R&D 세계적 수준의 과학기술 톱 브랜드 구축	Ground-Breaking 10년 이상을 내다보는 중장기 기초원천연구	Group approach 전략적인 집단 융합연구 및 네트워크 구축	Growth & Sustainability 원천기술 확보를 통한 미래 성장동력 확보
· Global SAB(Science advisory board)을 통한 리뷰시스템 운영 · 국내외 공동연구 네트워크 구축	· 고효율 신약개발 인프라 구축 · 신기전 타겟 연구를 통한 원천기술 확보	· 세부과제 연계 협력 시스템 구축 · 다학제 융합연구팀의 활성화	· 개방형 과제 발굴을 통한 신기술의 확충 · 다양한 기술사업화 파트너쉽 구축

전략과제

중앙연계		실용화 개발	
타겟발굴검증	약물설계	약물검색	질환모사

성과목표

1단계	2단계	3단계
중점 타겟 및 모델 사업 구축 · 중점질환 및 타겟 선정 · 기술정보 데이터베이스화 · 기술 플랫폼별 연계 인프라 구축 · 중점질환 모델사업 구축	단위 혁신기술 검증 · 개발 타겟의 실용성 검증 · 개발 기술의 효율성 검증 · 개발 기술의 경제성 검증 · 타겟 및 기술 간 연계성 확보	기술 집적화 및 실용화 기술 개발 · 타겟 개발을 위한 통합형 연구 플랫폼의 완성 · 개발 중인 타겟 파이프 라인의 실용화 구현 · 혁신형 기술 제품 실용화

정량적 연구성과

논문건수			특허					
SCI	비SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
340	8	348	184	171	355	51	51	102

학위배출				국제협력		기술사업화		
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전		창업
						건수	기술료(백만원)	
89	112	16	217	27	61	33	14,515	6

01 연구단 9년사

1. 설립배경

의약산업은 신약을 개발하기 위한 연구개발 투자 비용이 꾸준히 증가하고 있음에도 불구하고, 새로운 약의 발굴이 감소하면서 생산성 약화(Productivity crisis)에 직면한 상태이다. 이는 신약개발을 위해 높은 비용을 들여 임상시험을 진행하는 동안에도 신약으로써의 기능성이 불확실하기 때문인데, 이러한 불확실성을 극복할 수 있는 방법으로 안정성 및 유효성 검증을 임상 시험 전에 정확히 예측 가능한 기술이 필요하다. 이에 의약바이오컨버전스연구단은 신약개발에 필요한 타겟 발굴과 각종 질병모델에 대한 약물설계, 약물검색, 유전체·단백질·세포 등을 분석하는 인프라를 구축함으로써 신약개발의 낮은 효율 문제를 해결할 수 있는 기술적 플랫폼을 구축하고자 하였다.

가. 기술적 측면

신약개발은 신규 물질을 발견하고 이를 신약후보물질로써 발굴하는 단계가 중요하다. 그러나 부정확한 약물검색 시스템과 질병모델을 통해 검색된 후보물질은 그 효능이 충분하지 않거나, 예측하지 못했던 독성이나 부작용이 야기되는 문제가 발생하는 어려움이 있다.
이에 연구단은 신약개발 플랫폼 구축을 통해 질병의 진행 상태를 정확히 반영할 수 있는 분자 지표, 세포기반, in vivo 및 in silico system의 통합적 시스템 개발과 여태껏 수평적으로 연구되어오던 지노믹스, 프로테오믹스, 셀로노믹스 등의 연구기법을 수직적으로 연결함으로써, "from gene to disease"의 연관성을 통합적으로 이해할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 이를 통해 기초생명과학과 의·약학 분야를 망라하는 기술 개발을 통해 기존의 연구 패러다임에 거대한 변화를 유발할 수 있을 것으로 기대되었다. 대표적으로 저효율 고비용 프로세스로 간주되는 신약개발 과정에 정밀성과 신속성, 예측성을 제공하여, 질병의 예측과 치료제 개발 연구에서 세계적인 리더십을 확보하고자 하였다.

나. 경제적·산업적 측면

제약 산업은 고부가가치의 미래핵심 전략산업으로 꼽히고 있으며, 의약품 시장은 시장에서 독점적 위치를 가지고, 가격 변동의 영향이 적은 산업적 특징을 가진다. 또한 하나의 신약을 개발하여 특허 권리확보를 통해 20년 이상 시장의 독점적 권리를 가지게 되면 연간 최대 11조 원의 고수익을 창출할 수 있는 산업으로, 신약개발은 신규 타겟 1개의 검증과 활용만으로도 검색방법, 진단방법, 후보물질 도출의 지재권 산업적 파급효과를 가져오며, 전임상 진입을 통해 수백억 원에 이르는 가치 창출이 가능하다.
그러나 고수익의 장점 이면에 하나의 신약을 개발하여 제품을 출시하기 위해서는 대부분 10~15년의 개발기간이 소요되고 비용 역시 적게는 수백억에서 수천억에 이르는 투자가 필요하여 현재까지 거대 다국적 제약사들이 그들의 풍부한 경험과 투자, 연구인력 등을 통해 신약개발을 지속해왔다.
연구단은 신약개발에 필요한 플랫폼 기술, 즉 약물 타겟 선정부터 후보물질 도출까지 핵심과정을 통합적으로 분석할 수 있는 시스템 구축을 통해 국내 신약개발 기술력에 혁신성을 제공함으로써 글로벌 경쟁력을 제고하고, 해외의 의존적이던 초기 신약개발 연구를 국내 주도로 전환할 수 있는 기능성을 높이고자 하였다. 또한 연구단 자회사 설립 추진을 통해 연구기술의 산업적 활용 및 일자리 창출 등 경제적 파급효과를 극대화할 수 있는 방안을 추진하였다.

다. 사회적 측면

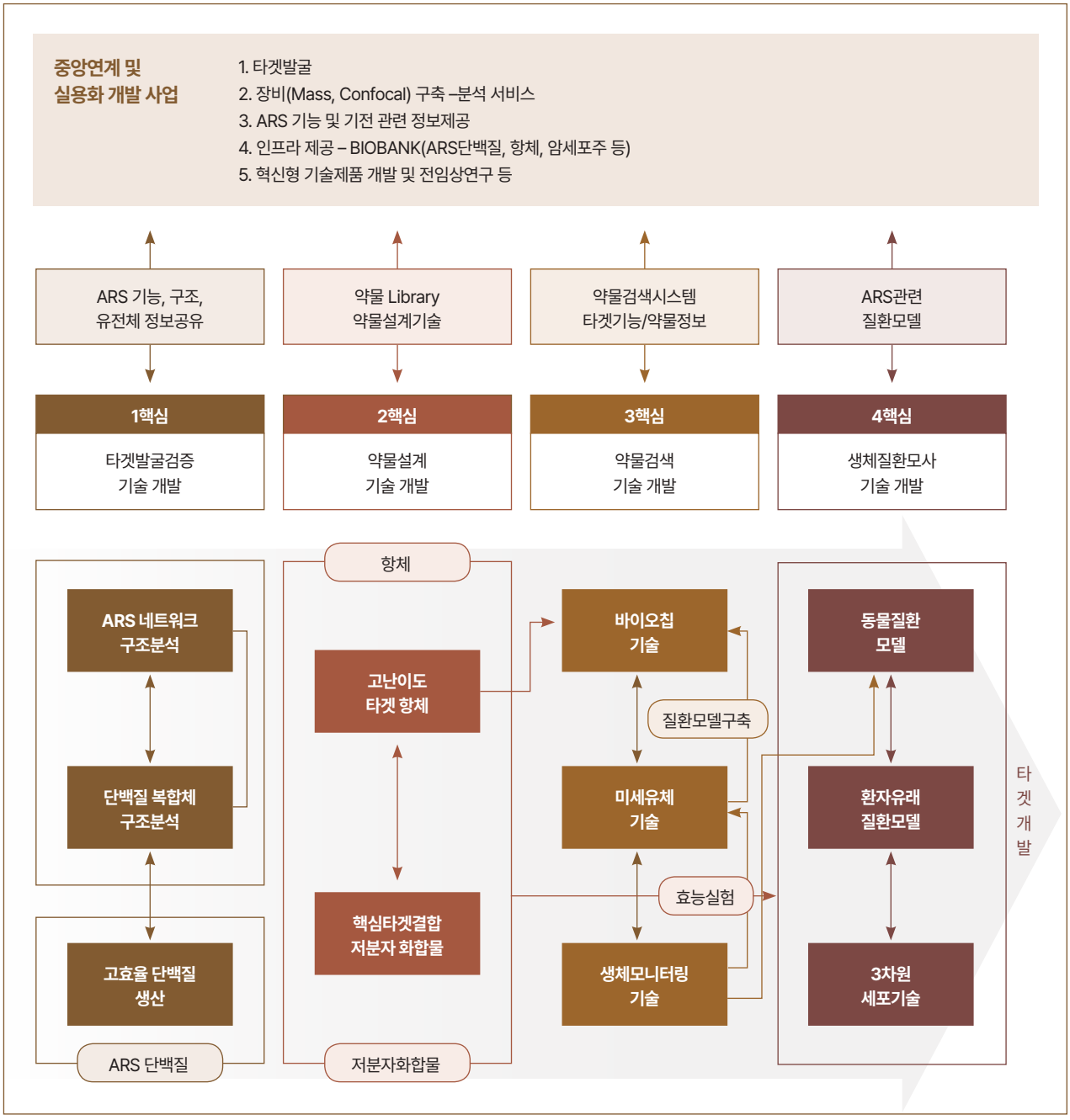
신약개발은 신약후보물질 도입과 임상시험, 허가 등 신약을 선보이기까지의 과정에서 보통 1조 원 이상의 막대한 비용과 10년 이상의 긴 시간이 소요되며, 임상시험 중 신약개발에 실패하는 경우도 절반이 넘어, 국내 연구는 신약보다는 복제약과 개량신약 개발에 집중해온 경향이 있었다. 신약후보물질을 글로벌 제약사에 기술이전하는 사례도 현재까지 상당하다.
이렇듯 신약개발 연구는 침체되고 있었고, 이에 반해 증가하는 질환과 난치병의 위협, 맞춤의료시장에 대한 대응을 위해서는 신약개발 패러다임을 근본적으로 변화시키는 시스템 구성이 절실하다. 또한, R&D를 통해 개발되어온 혁신적인 의약품들은 수 많은 사람들의 기대수명 연장 및 사망률 감소에 기여하고 있으며, 삶의 질 개선, 의료비용 절감, 미래성장동력 등 지속적인 혁신 신약개발을 통한 사회적

가치에 기여할 수 있다.
연구단의 혁신적인 신약개발 플랫폼 기술은 국내 신약개발 연구에 활력을 불어넣고 국민들의 건강한 삶과 환자들의 삶의 질 향상에 기여할 것으로 기대된다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

의약바이오컨버전스연구단은 타겟발굴검증, 약물설계, 셀로믹스약물검색, 질병모델의 4개의 핵심과제와 중앙연계 및 실용화 개발과제로 나누어 연구를 수행함으로써, 기존의 신약개발 비용과 기간을 획기적으로 줄인 고효율 융합형 신약개발 플랫폼을 개발하고자 하였다.



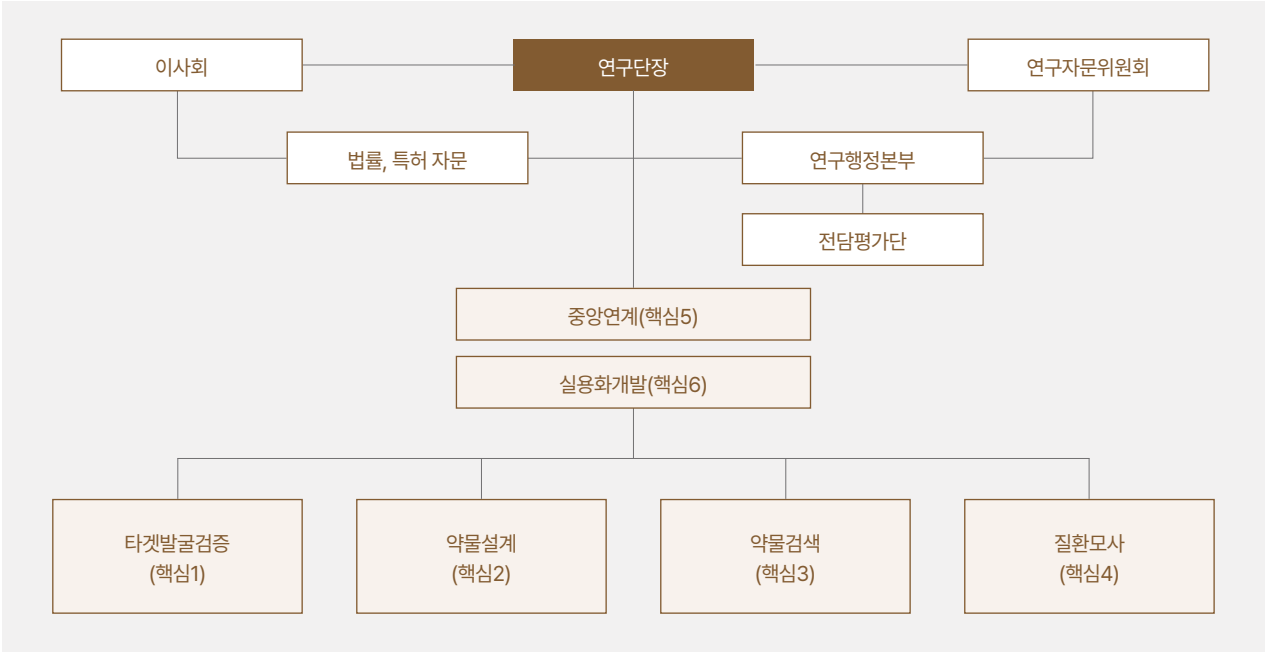
나. 사업추진 전략

의약바이오컨버젼스연구단은 타겟발굴, 약물설계, 약물검색, 질환모사, 중앙연계, 실용화 개발의 6가지 핵심별 연구개발 전략을 수립하였으며, 이를 통해 최종 연구 목표를 달성할 수 있도록 하였다.

핵심	핵심명	주요추진전략
1	타겟발굴	· ARS 단백질 복합체의 입체구조 분석 · ARS 단백질의 고효율 대량 생산법 개발 · ARS 네트워크 구조 분석
2	약물설계	· 고효율 약물 전달 시스템의 개발 · ARS 기능 조절 저분자 화합물 개발 · ARS 유래 바이오로직 약효물질 개발 · ARS 타겟 진단 및 치료용 항체 개발
3	약물검색	· ARS 활성 측정을 위한 분자 및 세포 기반 검색 기술 개발 · 미세유체를 이용한 마이크로베지클 분리 기술 개발 · 고효율 ARS 중심 분자결합 조절 물질의 검색 기술 개발
4	질환모사	· 동물질환 모델 개발(마우스 모델 등) · 환자유래 질환 모델 구축(환자 유래 세포수) · 3차원 세포 기술(세포 배양 및 세포/단백질 이미징 정보)
5	중앙연계	· 집중된 연구결과를 토대로 과제 간 상호 연계 추진 · 중점 타겟의 우선 순위 선정 및 전체 세부과제 조율 · 인프라 구축 및 분석 서비스의 실용화 · 연구 핵심 소재들의 발굴 및 실용화 · 1~4 핵심 연구결과의 검증 및 집적
6	실용화 개발	· 혁신형 기술제품의 시제품 설계, 제작 및 실용화 추진 · 핵심 타겟들의 시장 중심 수요 분석 및 개발 연구 추진(화합물 대량 합성, 독성 및 약동학 연구, 화합물 최적화 등)

다. 운영관리 체계

의약바이오컨버젼스연구단은 신약개발 플랫폼 구축을 위해 4개의 핵심과제 연구를 수행하였으며, 연구단에서 연구성과의 집적화를 이루는 중앙연계 사업, 성과의 사업화와 실용화를 진행하는 실용화 연구를 통해 성과의 극대화를 추진하였다.



연구단은 글로벌프런티어사업의 4G 철학에 부합하면서 연구단의 최종목표 도달을 위하여, 매년 새로운 과제를 자체적으로 기획하여 연구를 추진하는 오픈과제 기획(공모 후 선정)과 노벨상 수상자 4인을 포함한 해외 자문단의 자문을 통해 연구 추진 전략 및 목표를 설정하였다.

3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

총 연구비 약 1,013.85억 원이며, 이 중 정부출연금은 955.83억 원이 지원되었고, 이외 민간 13.02억 원, 기타 지자체 지원이 45억 원이 투입되었다.

[단위 : 백만원]

연도	연구개발비					총계
	정부	민간		기타(지자체)		
		현금	현물	현금	현물	
2010	5,500	-	-	1,100	-	6,600
2011	10,000	-	-	1,600	-	11,600
2012	10,000	124.7	277.3	1,300	-	11,702
2013	10,000	113	187	300	-	10,600
2014	10,000	113	187	200	-	10,500
2015	11,746	13	87	-	-	11,846
2016	10,855	13	87	-	-	10,955
2017	10,722	13	87	-	-	10,822
2018	9,871	-	-	-	-	9,871
2019	6,889	-	-	-	-	6,889
합계	**95,583**	**389.7**	**912.3**	**4,500**	**-**	**101,385**
		1,302				

나. 참여기관 현황

1단계 24개, 2단계 31개, 3단계 32개 기관이 연구에 참여하여, 단계별 연구과제 증가를 통한 연구 개발 및 실용화에 노력을 기울였으며, 참여기관은 주로 학계의 참여가 높았다.

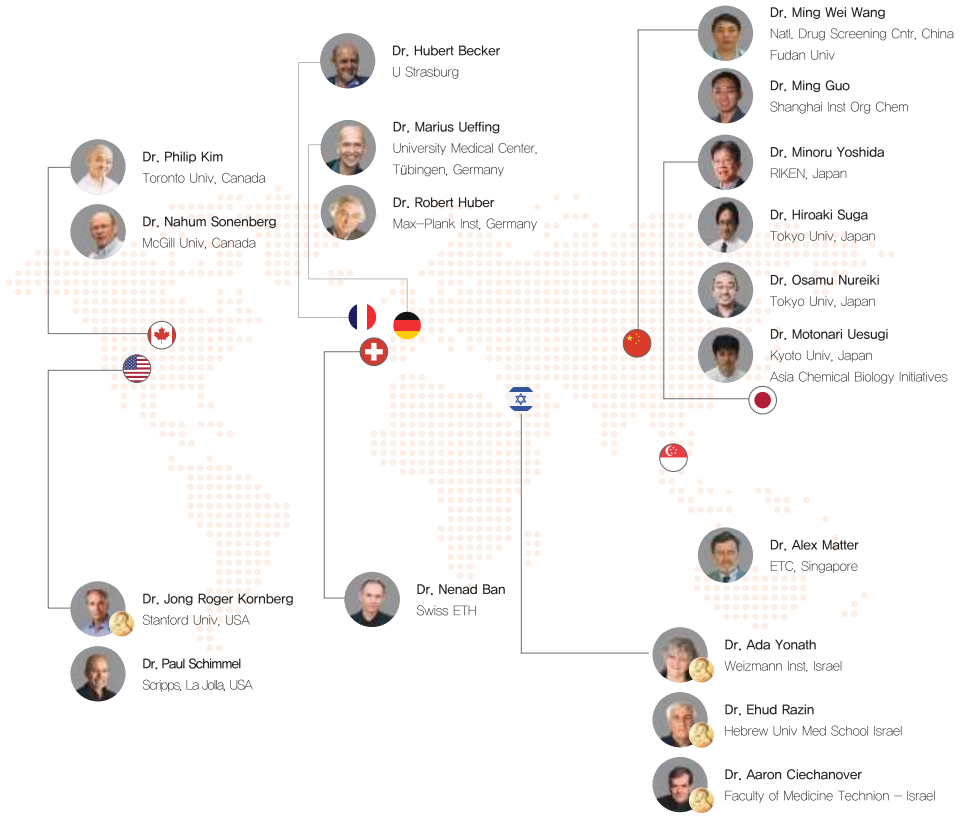
구분		산	학	연	합계
1단계	세부	5	8	3	16
	위탁	1	7	-	8
	합계	**6**	**15**	**3**	**24**
2단계	세부	8	14	3	25
	위탁	-	6	-	6
	합계	**8**	**20**	**3**	**31**
3단계	세부	6	18	4	28
	위탁	2	2	-	4
	합계	**8**	**20**	**4**	**32**

4. 사업 및 성과 관리

가. 연구기획

의약바이오컨버젼스연구단은 연구단 과제 기획에 있어, 매년 새로운 과제를 자체적으로 기획하여 공모 후 선정하는 오픈과제 기획 방식으로 연구를 추진하였다. 또한, 노벨상 수상자 4인을 포함한 해외 자문단을 보유하고 있어 과제 기획 시, 상시적으로 연구 추진 전략, 목표 등에 대한 자문을 구함으로써 글로벌 연구 트렌드에 부합하는 연구를 수행하고자 하였다.

의약바이오컨버젼스연구단 해외 자문단 POOL



나. 연구성과 평가 및 관리

연구단은 각 세부 연구과제에 대한 자체평가를 실시하여, 연구 실적 및 계획에 대한 점검을 실시하고, 산학연 전문가를 활용하여 해당연도의 연구성과에 대해 집중 검토하였으며, 향후 추진 전략에 대해 점검하였다. 또한 PLS(Project Landscaping System) 시스템을 활용하여 세부과제 연구 현황을 실시간으로 점검 및 평가할 수 있도록 하였으며, 중앙연계사업에 참여하는 연구원과 세부과제 연구진의 지속적 회의를 통해 각 세부 연구과제가 연구단 최종목표에 부합할 수 있도록 지속적인 모니터링을 실시하였다.

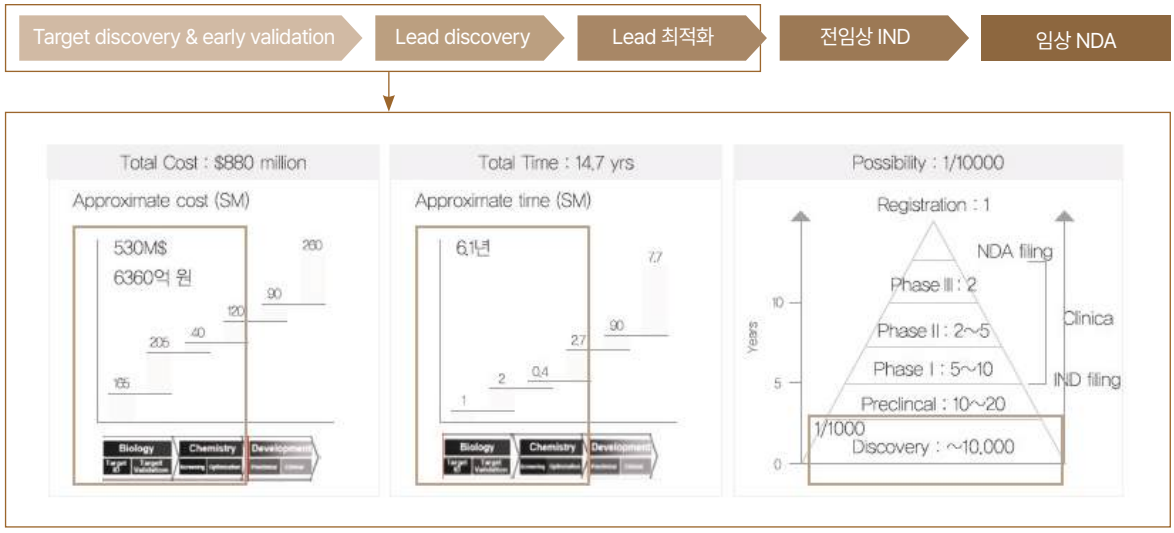
연구과제 마일스톤 점검

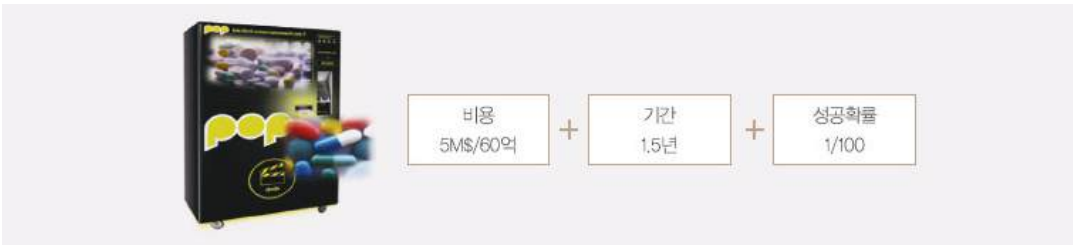
실시시기	분기당 1회 및 상시, 연구단장의 의사소통은 수시	
점검내용/방법	· 점검내용 - 계획대비 연구진행 현황 및 애로사항	· 점검방법 - 분기별 미팅 - 전체 워크샵 - 연구단장 수시 확인 및 의사소통 - 화상회의 - 본부장 순회 - PI 연구원 파견 근무 등

02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

의약바이오컨버전스연구단은 약물타겟 선정에서부터 선도물질 도출까지의 핵심 신약개발 과정을 효과적으로 연계할 수 있는 통합적 플랫폼 구축을 통해 인류의 건강과 행복에 기여하는 세계최고 신약 타겟 개발거점을 구축하고자 하였다.





1단계('10~'11)

중점 타겟 및 모델 사업 구축

- 중점 질환 및 타겟 선정
- 기술정보 데이터베이스화
- 기술 플랫폼별 연계 인프라 구축
- 중점질환 모델사업 구축

2단계('12~'14)

단위 혁신기술 검증

- 개발 타겟의 실용성 검증
- 개발 기술의 효율성 검증
- 개발 기술의 경제성 검증
- 타겟 및 기술 간 연계성 확보

3단계('15~'19)

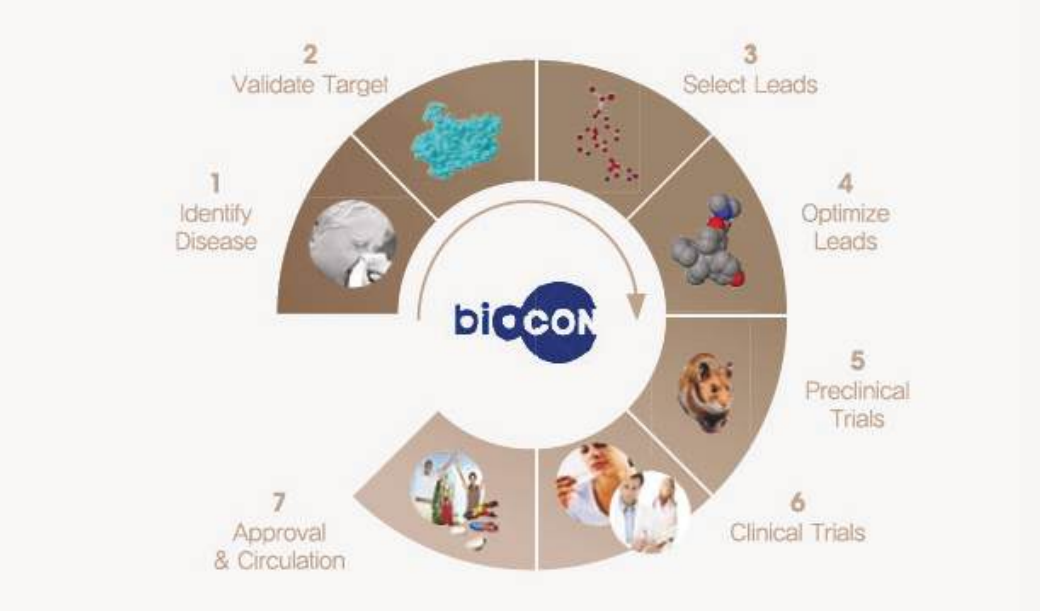
기술집적화 및 실용화기술 개발

- 타겟 개발을 위한 통합형 연구 플랫폼의 완성
- 개발 중인 타겟 파이프라인의 실용화 구현
- 혁신형 기술제품 실용화

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

의약바이오컨버젼스연구단은 약물타겟 선정부터 전임상까지의 신약개발 전반부를 효율적이고 빠르게 진행할 수 있는 통합적 연구를 수행하고 관련 인프라를 구축하기 위한 연구를 수행하였다.



나. 핵심과제별 연구분야 및 내용

핵심1 타겟발굴검증
단백질 합성효소(ARS)군을 중심으로 하는 신기전 타겟 개발

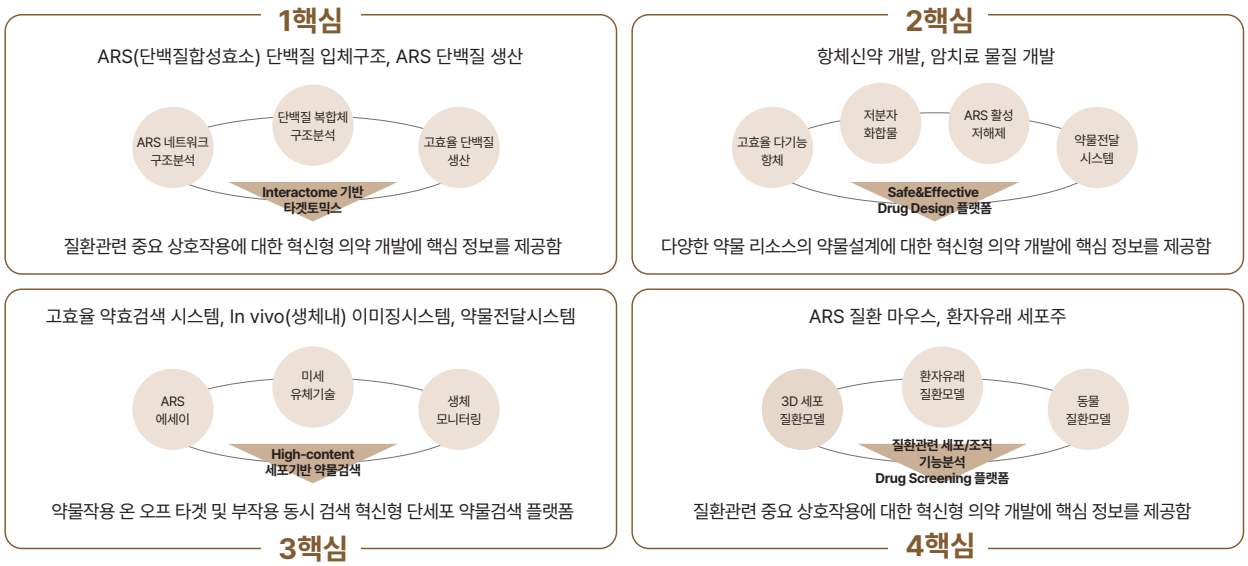
핵심2 약물설계
각 ARS의 질병관련 활성을 타겟으로 하는 소분자, 항체, 단백질 치료제의 설계

핵심5 중앙연계
중점 개발 타겟의 전략수립과 각 핵심에서 개발된 연구내용과 기술을 융복합한 통합플랫폼의 완성

핵심6 실용화 개발
타겟 및 혁신기술의 실용화를 위한 개발 연구 및 사업화 추진

핵심3 약물 검색
ARS들의 활성을 모니터 할 수 있는 분자, 세포수준의 효율적 검색 기법 개발

핵심4 질환모사
3차배양세포, 동물질환모델, 환자 유래질환 모델을 통한 효율적 약물 예측 시스템 구축



1핵심: 타겟 발굴 검증 기술

상호작용체(Interactome) 기반으로 막단백질을 포함한 미래 유용 핵심 단백질 타겟들의 3D 입체구조 및 기능조절 연구를 수행하여, 질환과 관련된 중요 상호작용체(Interactome)에 대한 핵심 정보를 제공할 수 있도록 하였다.

2핵심: 약물설계 기술

약물설계 기술 연구를 통해 고효율 다기능 항체 설계, cyclic peptide 활용 기술 및 secretomics 등을 이용한 항암 약물 발굴과 설계 기술 플랫폼을 구축하여 다양한 약물 리소스에 대한 약물 설계 원천기술을 확보하고자 하였다.

3핵심: 셀로믹스 기반 약물검색 기술

약물 작용 ON-OFF 타겟 및 부작용을 동시에 검색할 수 있도록, 고성능의 코드화된 미세운반체를 제작하고 요소기술을 개발하여 단세포의 생체분자 반응 및 약물반응을 자동으로 다중 탐침하는 기술 및 나노입자를 프로브로 결합하고 다중 약물 타겟을 동시 검출하는 초다파장 세포기반 이미징 시스템 개발 연구를 수행하였다.

4핵심: 생체질환 모사 기술

환자로부터 유래된 세포 및 조직, 동물의 질환 유발 기전 규명을 통한 신규 타겟 발굴, 새로운 치료제 스크리닝 개발 및 이로부터 개발된 치료제의 평가를 위한 기반 기술을 제공하고자 하였다.

5핵심: 중앙연계사업

앞서 수행되는 4개의 핵심연구에서 개발된 결과를 검증하고, 연계 지원 사업을 추진하였다.

6핵심: 실용화 개발 사업

의약바이오컨버전스연구단의 타겟 파이프라인 중 실용화에 가장 근접한 A등급 타겟에 대한 연구개발 집중화와 타 연구 주제의 실용화 추진을 위한 문제를 해결하고, 국내외 유관기관과의 협력 및 공동연구를 통한 연구성과의 실용화를 확대하고자 하였다.

다. 단계별 연구내용

1단계(2년)

1차년도 (2010년)	2차년도 (2011년)
신약개발용 타겟 선정을 위한 연구기반 구축 - 항체라이브러리 구축 - 약물리포지셔닝 설계기반 구축 - 구조분석 기능 단백질 확보 - 셀로믹스 시스템 디자인 확보 - 암질환모사 3D 세포모델 구축 진행 - 중점타겟 확보 및 검증, 분석장비 및 인프라 확보	신약개발용 중점 타겟 2개 이상 선정 - human secretome 및 항체의 검증 및 발현 - 고난이도 단백질 분리 정제기술 확립 - 단백질 상호작용체 입체구조 분석 - 최소 3개 이상의 암관련 타겟들의 발굴 및 검증

2단계(3년)

1차년도 (2012년)	2차년도 (2013년)	3차년도 (2014년)
질환관련 핵심타겟에 대한 통합 분석 - ARS 구조분석 - 효율적인 ARS 단백질 생산 및 정제 시스템 분석 - 암조직에서의 ARS and AIMP 돌연변이 및 유전자 발현 정보 분석 - ARS-뇌질환네트워크 구축 및 신규약물 타겟 발굴 - GARS1, WARS1, YARS1의 줄기세포 migration 조절 기전 규명 - AIMPs KO:APCmin 생쥐 대장암 모델의 조직병리학적 상세분석 - 환자유래세포 기반 항암치료제 평가 시스템 비교 분석 c-MET, WNT 등 신호전달체계의 저해제에 대한 반응성 조사	핵심타겟에 대한 유효물질 발굴 - 기능이 검증된 비항체 단백질 발굴 - mTOR과 결합단백질을 인식/저해하는 발굴 - 인간막 항원에 대한 후보항체 도출 - 유효물질의 후보물질화(IC50<1uM) - GBM 동물세포모델에서의 약효가 검증된 약물 발굴 - 세포 현상 defect를 suppression하는 유전자들의 발굴	유효물질에 대한 in vitro/in vivo 효능 검증 - hMSC culture system을 활용한 GARS1과 WARS1 effect의 검증 - 새롭게 제작된 ARS conditional KO, KI 생쥐 모델의 분석 - 환자유래세포 기반 in vitro/in vivo모델에서 치료내성 관련 유전자의 효과 검증 - DX2/K-Ras double Tg를 이용한 DX2-p14 binding 억제제의 항암 효과 검증 (2 month survival rate expansion, 2개 약물 테스트) - ARS 중 AARS/KARS virus vector 제작/ AARS/KARS 관련 CMT-질병 모델 모사

3단계(4년)

1차년도 (2015년)	2차년도 (2016년)	3차년도 (2017년)	4~5차년도(2018~2019년)
약물타겟 통합 플랫폼 구축 및 활용 - 전임상 플랫폼 구축을 위한 고난이도 복합형광표지 ARS/AIMP 마우스모델 이용 ARSs /AIMPs 세포 내외 in vivo 이동 모니터링 플레이트 - 단일 암세포 어레이 기반의 약물효능 검증 시스템 구축 - 3차원 미세유체소자 에세이를 이용한 Drug screening 라이브러리 구축 및 시스템 상용화 전략 수립	유효물질에 대한 최적화 - 평가시료 제조/합성공정 개발 - 약효검색/작용기전 분석 - 동물효능 평가/약동력학 분석 - 단기 독성평가	후보물질에 대한 전임상 - 재제화 연구 - 전임상 효력/안전성 평가 - 암환자/진단키트 상관성 분석	약물타겟의 실용화 및 산업화 - 신약개발용 타겟물질/후보물질 기술이전 및 실용화 진행

03 연구성과

1. 총론

제약바이오 산업에 디지털전환, 인공지능 활용이 화두인 가운데 의약바이오컨버젼스연구단은 바이오에 IT, NT 등을 접목해 신약개발 비용과 기간을 크게 줄인 고효율 신약개발 체계를 개발함으로써 기반기술과 플랫폼을 선제적으로 확보하는 성과를 거뒀다. 연구단은 생체 내 질환의 현상과 메커니즘을 최대한 반영한 한국형 신약개발 플랫폼을 개발해 타겟 발굴에서 전임상 전단계까지 비용과 기간을 대폭 줄이고 성공확률은 높이는 도전적인 비전을 수립했다.

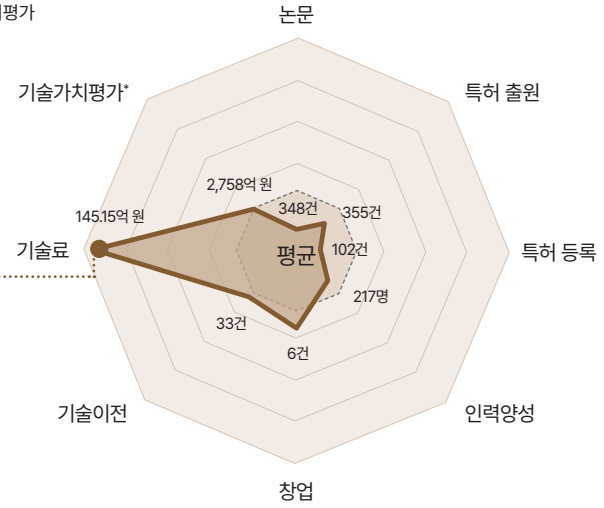
혁신형 신약개발 플랫폼 개발은 신약발굴 과정의 생산성 향상으로 이어졌다. 이를 토대로 특발성 폐섬유증 치료제 후보물질을 발굴해 국내 제약사와 함께 글로벌 제약사에 최대 4,000억 원 규모에 기술이전하는 성과도 냈다. 신약개발의 시스템화·체계화를 통해 산업 전반의 경쟁력을 끌어올렸다는 평가다.

연구단은 총 348편의 논문을 발표했고 그중 340편은 SCI 논문이었다. 355건의 특허를 출원하고 102건을 등록했다. 총 217명의 학위인력을 배출했다. 33건의 기술이전 계약을 맺었고 기술이전료 총액은 145억 1,500만 원에 달했다. 1단계 6개, 2단계 8개, 3단계 8개 기업이 연구에 참여, 연구과정의 노하우와 지식이 산업현장에 바로 축적됐다.

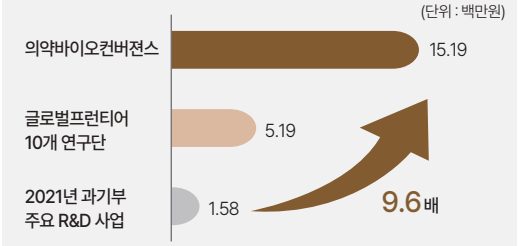
총 6건의 창업이 이뤄져 30명의 고용을 창출하고 총 660억 원의 투자를 유치했다. 분자 수준에서 동물실험까지 효율적으로 연계가 가능한 인프라를 확보하였으며, 단백질 합성효소 관련 유전체 및 단백체 정보를 포함하는 통합 DB를 구축해 신약개발에 쓰일 전망이다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 7건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 기술료 성과



- 의약바이오컨버젼스 연구단의 성과 중, 가장 두드러지는 특성은 기술료 부분으로 분석
- 의약바이오컨버젼스 연구단의 총 기술이전료는 14,515백만 원이며, 연구비 1억 원당 기술이전 성과는 15.19백만 원
- 해당수치는 글로벌프런티어 10개 연구단 총 성과의 약 2.9배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업의 약 9.6배 수준

2. 대표 연구성과

의약 01

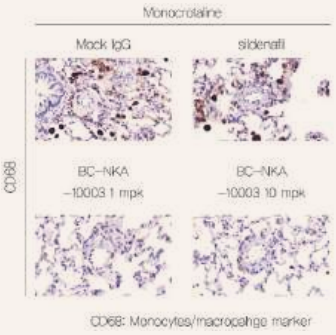
KARS1 항체를 이용한 섬유화 질환 치료제 개발 ((재)의약바이오컨버젼스연구단 김성훈)

- 폐동맥 고혈압은 진단 후 3년 생존율이 50% 정도로 매우 낮은 심각한 질환이지만 현재로서는 부작용 없이 병리 원인을 제거하는 동시에 생존율을 높이는 치료제는 없는 상태
- 연구단이 개발한 KARS1(lysyl-tRNA synthetase 1) 타겟 항체는 폐동맥 고혈압을 비롯한 다양한 섬유화 및 염증 질환에 적용 가능한 혁신적인 항체 치료제로, 마땅한 치료제가 부재한 폐동맥 고혈압을 부작용 없이 효과적으로 치료할 수 있으며 임상시험이 성공적인 경우 시장에 game changer로서 기대됨
- 연구단이 개발한 KARS1 치료항체는 항체 자체로 인한 부작용이 적어서 표적에 의한 부작용이 없고 기존 치료제 대비 안전성은 매우 높음
- 해당 기술은 ㈜자이메디에 기술이전되었고, 미국 FDA로부터 임상 1상 승인을 얻었으며 현재 미국 NIH와 공동으로 임상 1상 연구를 진행하고 있음

특허

· 섬유화증 예방 및 치료제 스크리닝 방법(KR 10-2016-0026436)
· Lysyl-tRNA synthetase (KRS) 저해 활성을 갖는 신규 화합물 및 이를 유효성분으로 포함하는 세포 이동과 관련된 질환의 예방 또는 치료용 약학적 조성물(KR 10-2016-0094727)
· 라이실 tRNA 합성효소 N-말단에 특이적으로 결합하는 항체를 유효성분으로 포함하는 면역세포 이동 관련 질환의 예방 또는 치료용 약학적 조성물 (KR 10-2017-0118917)
· 세포 외막에 노출되는 라이실-tRNA 합성효소 N-말단 영역에 특이적으로 결합하는 항체(KR 10-2018-0035446, BBB 등급)
· 라이실 tRNA 합성효소 N-말단에 특이적으로 결합하는 항체를 유효성분으로 포함하는 면역세포 이동 관련 질환의 예방 또는 치료용 약학적 조성물 (KR 10-2018-0111060, B등급)

창업일 : 2019.11
대표자 : 김성훈
주요 아이템 : 폐동맥 고혈압 치료 신약



[폐조직에서 면역세포 침유억제 확인]





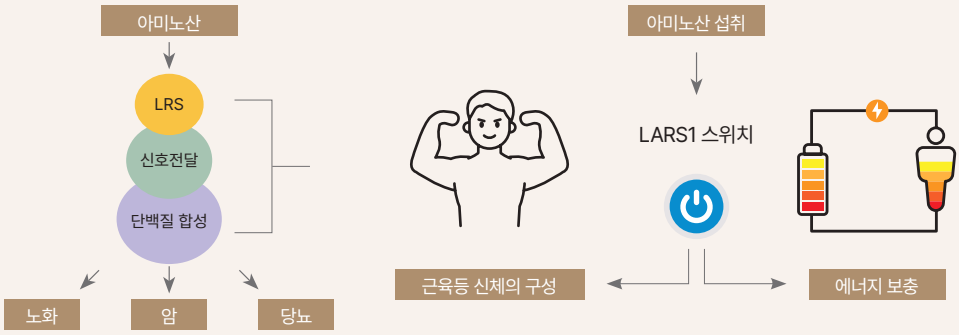
[미국 NHLBI 연구소 임상팀과 임상 협의]

- 'HOMEOS' 혁신신약 개발 플랫폼 보유
- Series A 및 브릿지 투자유치(350억원)
- 2022년 7월 미국 보건원 NIH 산하 심장, 폐, 혈액연구소(The National Heart, Lung, and Blood Institute · NHLBI)와 폐동맥 고혈압 신약 후보물질 ZMA001의 개발에 대한 공동 연구개발 협약(Cooperative Research and Development Agreement CRADA)을 체결

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	㈜자이메디 창업 (투자유치 350억 원)

의약 02

LARS1의 아미노산 센서로서의 기능 세계 최초 규명 ((재)의약바이오컨버전스연구단 김성훈)



[LARS1(leucyl-tRNA synthetase 1) 효소의 역활]

- 연구단은 LARS1(leucyl-tRNA synthetase 1) 효소가 세포 내 류신을 감지해 단백질 합성과정을 활성화하는 스위치로 작동한다는 사실을 규명한 동시에 단백질 합성과 에너지 생산의 균형을 이루는 통합형 대사 조절 스위치 역할을 한다는 사실을 규명
- 또한, 연구단은 LARS1이 mTOR라 불리는 단백질 합성조절 신호전달 체계의 활성을 조절한다는 사실을 밝혔고, 이를 토대로 mTOR에 결합하여 항암 효과를 가지는 라파마이신 항암제에 대해 내성을 지니는 암종의 새로운 치료제 개발 가능성을 열었음
- 연구단은 현재 추가적인 기초 및 중개연구를 통해 암 이외에도 치매 등의 질환에도 적용 가능할 수 있는 가능성을 연구하고 있음

논문

· Leucyl-tRNA Synthetase Is an Intracellular Leucine Sensor for the mTORC1-Signaling Pathway(Cell, 2012)
· Control of leucine-dependent mTORC1 pathway through chemical intervention of leucyl-tRNA synthetase and RagD interaction(Nature Communications, 2017)
· Glucose-dependent control of leucine metabolism by leucyl-tRNA synthetase 1(Science. ,2020)

Cell

Leucyl-tRNA Synthetase Is an Intracellular Leucine Sensor for the mTORC1-Signaling Pathway

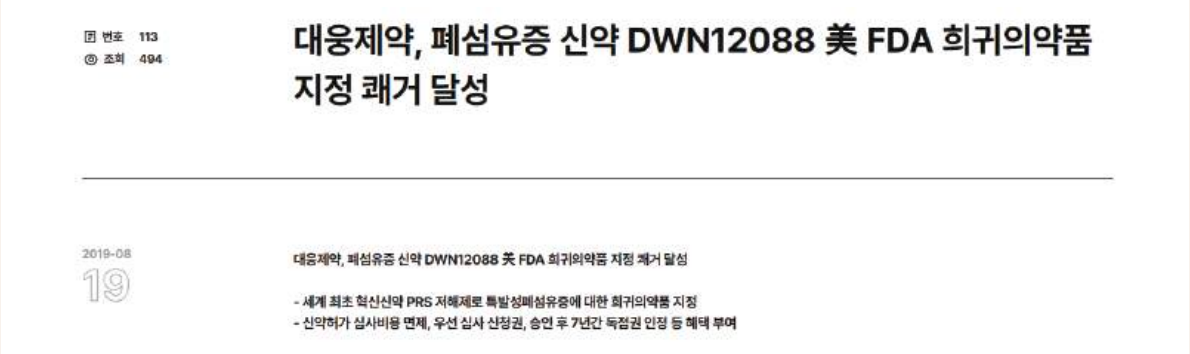
Jung Min Han,[1] Seung Jae Jeong,[1] Min Chul Park,[1] Gyuyoup Kim,[1] Nam Hoon Kwon,[1] Hoi Kyoung Kim,[1] Sang Hoon Ha,[2] Sung Ho Ryu,[2] and Sunghoon Kim[1,3,*]
[1]Medicinal Bioconvergence Research Center, Seoul National University, Seoul 151-742, Republic of Korea
[2]Division of Molecular and Life Sciences, POSTECH, Pohang 790-784, Republic of Korea
[3]WCU Department of Molecular Medicine and Biopharmaceutical Sciences, Graduate School of Convergence Science and Technology, Seoul National University, Suwon 443-270, Republic of Korea
*Correspondence: sungkim@snu.ac.kr
DOI 10.1016/j.cell.2012.02.044

[CELL 학술지 게재]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC 등재 (Nature Communications, Sicence, Cell)	-	-	-	-

의약 03

선택적 PARS1 저해제를 활용한 항섬유화질환 치료제 개발 ((재)의약바이오컨버전스연구단 김성훈)



번호 113
조회 494

대웅제약, 폐섬유증 신약 DWN12088 美 FDA 희귀의약품 지정 쾌거 달성

2019-08
19

대웅제약, 폐섬유증 신약 DWN12088 美 FDA 희귀의약품 지정 쾌거 달성

- 세계 최초 혁신신약 PRS 저해제로 특발성폐섬유증에 대한 희귀의약품 지정
- 신약허가 심사비용 면제, 우선 심사 산정권, 승인 후 7년간 독점권 인정 등 혜택 부여

- 특발성 폐섬유증은 폐에 콜라겐이 비정상적으로 축적되어 폐의 기능을 상실하는 난치병으로 세계적으로 인구 10만명당 약 13명의 빈도로 발생하며, 진단 후 5년 생존율이 40%에 불과할 정도로 예후가 좋지 않은 치명적 질환이나 기존에 허가받은 치료제들은 부작용이 심해 새로운 치료제 개발이 절실히 필요한 상황
- 연구단과 대웅제약이 공동으로 개발한 PARS1(prolyl-tRNA synthetase 1) 효소 활성 억제제인 DWN12088(Bersiporocin)은 기존 특발성 폐섬유증 치료제 대비 10배의 안정성을 가지며 부작용 또한 적은 것으로 나타남
- 또한, 연구단과 대웅제약은 DWN12088의 작용기전을 규명하여(EMBO Molecular Medicine, 2007) 세계적 학술지에 발표하였으며 새로운 섬유증 치료제 개발의 가능성을 높임
- DWN12088은 2019년 미국 FDA로부터 희귀의약품으로 지정되었고 글로벌 임상 2상을 진행 중에 있으며, 2023년 2월에는 글로벌제약회사인 CS 파마에 4,128억 원에 기술이전

논문

· Control of fibrosis with enhanced safety via asymmetric inhibition of prolyl-tRNA synthetase 1(EMBO Mol Med, 2023)



[대웅제약-CS파마 기술이전 체결]



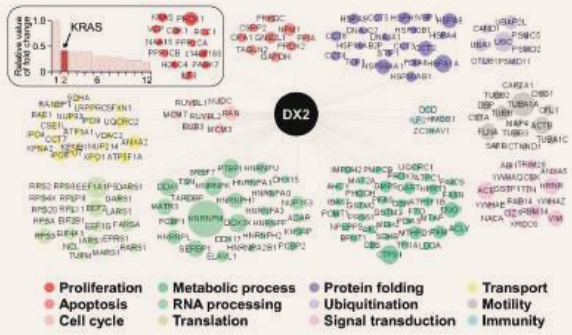
[CS파마 기술이전 체결 주요 내용]

- 대웅제약은 'DWN12088'을 세계 최초(First-in-class)로 PRS(Prolyl-tRNA Synthetase) 단백질을 저해하는 섬유증 치료제로 개발 중
- 미국 식품의약국(FDA)로부터 'DWN12088'이 특발성 폐섬유증에 대한 희귀의약품으로 지정됨(2019년)
- FDA의 희귀의약품 지정(Orphan Drug Designation, ODD)은 희귀난치성 질환의 치료제 개발 및 허가가 원활하게 이루어질 수 있도록 지원하는 제도로, ODD 승인을 받은 치료제는 신약 허가 심사비용 면제, 우선 심사(Priority Review) 신청권, 시판허가 승인 시 7년간 독점권 인정 등의 혜택이 부여
- 'DWN12088'은 콜라겐 생성에 영향을 주는 PRS 단백질의 작용을 감소시켜 섬유증의 원인이 되는 콜라겐의 과도한 생성을 억제하는 기전으로 최근 호주 임상 1상에서 안전성과 약동학적 특성, 특발성 폐섬유증 치료제로서 가능성을 확인

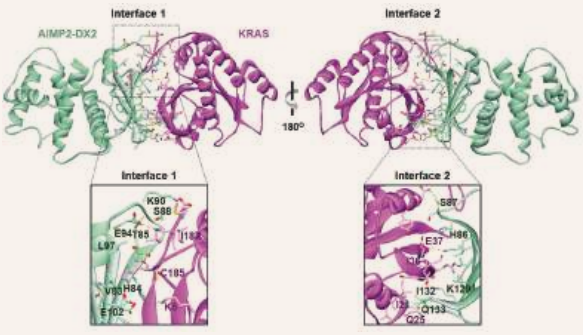
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	4,128억 원 (대웅제약→CS파마)	-

의약 04

AIMP2-DX2와 KRAS 결합 타겟 항암물질 개발 ((재)의약바이오컨버전스연구단 김성훈)



[DX2를 KRAS에 결합하기 위한 단백질 탐색]



[KRAS와 DX2 간의 결합 작용 방식 분석]

- 연구단은 이전 연구를 통해 AIMP2/p38라는 암 인자를 세계 최초로 발견하였고, 후속 연구를 통해 AIMP2의 변이체인 AIMP2-DX2가 정상세포에서 과다 발현이 되면 암으로 진행되고 반대로 억제하면 암의 성장이 억제되어 치료 효과가 나타난다는 사실을 규명
- 이후 연구단은 HSP70이라는 인자가 AIMP2-DX2의 안정성에 기여하는 것을 밝혀내어 새로운 항암제 개발의 전기를 마련했으며, AIMP2-DX2가 다양한 암의 주요 발병원인인 KRAS의 세포내 안정화에 기여하고 있다는 것을 밝혀 냈음
- 연구단은 산업계와 공동 연구를 통해 AIMP2-DX2 타겟을 활용한 항암제 개발을 진행하고 있으며 현재 (주)자이메디에 기술이전되어 후보물질 도출 연구를 진행 중
- 본 과제는 글로벌제약사 BMS와 서울시가 주최하는 Seoul BMS Innovation Competition에서 대상을 수상하여 BMS의 멘토링을 통해 연구의 성공률을 높이고 있음

논문

· Cancer-Associated Splicing Variant of Tumor Suppressor AIMP2/p38: Pathological Implication in Tumorigenesis(PLoS Genet, 2011)
· Targeting the interaction of AIMP2-DX2 with HSP70 suppresses cancer development(Nat Chem Biol, 2020)
· AIMP2-DX2 provides therapeutic interface to control KRAS-driven tumorigenesis(Nature Communications.,2022)



[서울 BMS 스퀘어 챌린지 시상식]

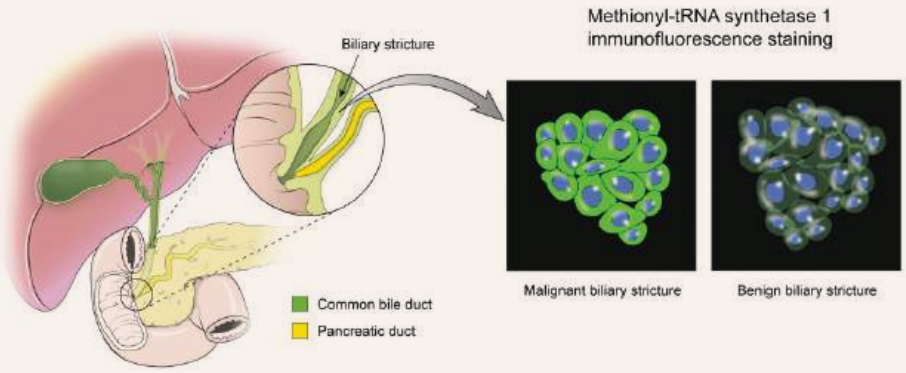


[BMS 멘토링 현장]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC 등재 (Nature Communications)	-	○	-	(주)자이메디창업 (투자유치 350억 원)

의약 05

MARS1을 활용한 췌담도암 진단 키트 개발 (연세대학교 이동기)



[MAR1(methionyl-tRNA synthetase 1)의 발현]

- 수술이 어려운 췌담도암 환자의 경우 진단이 어렵고, 그에 따른 처방이 불가능하여 정확도가 높고 특이성 높은 진단키트의 개발이 시급한 상황
- 췌담도암 진단을 위한 염색 방식(PAP staining)은 비정형세포로 모호한 진단을 내리는 경우가 21%에 달하고, 진단 민감도 또한 50~70% 불과한 수준
- 이에 연구단은 강남세브란스병원과의 공동연구에서 췌담도암에서 MAR1(methionyl-tRNA synthetase 1)의 발현이 높은 것을 확인하였고 진단 민감도가 98%에 이르는 MARS1 항체를 개발
- 이후 연구단은 (주)온코태그디아그노스틱(현 (주)빅바이오)를 창업하여 항체 및 진단 기술을 기술이전 하였고, 회사는 제품에 대한 식약처 허가 완료, 보건 신기술 취득
- 현재 해당 진단 제품은 강남세브란스병원 등 주요 병원에 판매되고 있음

논문

· New staining method using methionyl-tRNA synthetase 1 antibody for brushing cytology of bile duct cancer(Gastrointest Endosc,2020)

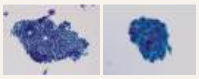
BICBIO
BRILLIANT INNOVATION & CHALLENGE

창업일 : 2017.12
대표자 : 최동재
주요 아이템 : 췌담도암 진단키트
* 인코스비스 그룹 자회사



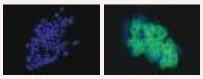
[Oncotag MARS1 ICF Kit 이미지]

Previous Technology



- 세포형태에 의존한 진단
- 비정형세포 진단의 어려움
- 진단 민감도 40~60%

Oncotag-M Technology



- 형광염색법을 활용한 특이적 감별
- 비정형세포를 정확하게 분별
- 진단 민감도 98% 이상

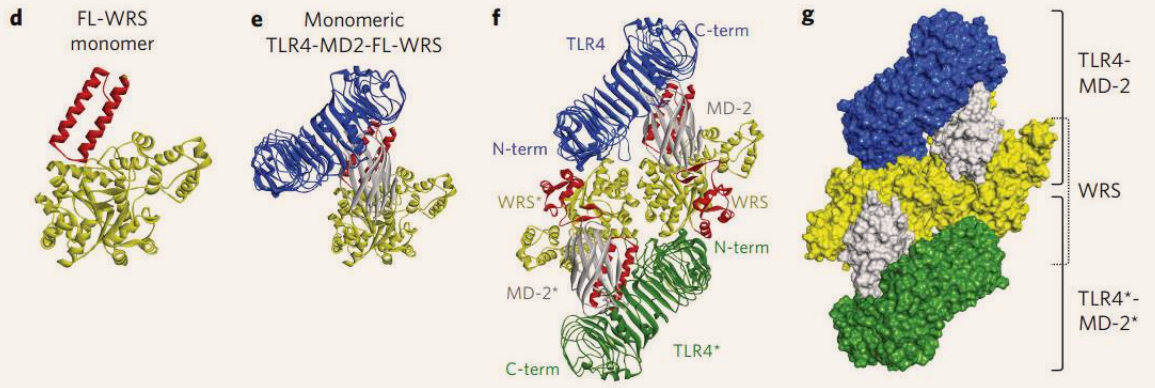
	Sensitivity (%)	Specificity (%)	PPV (%)	NPV (%)	Accuracy (%)
Conventional cytology method	70.4	96.2	97.4	56.8	78.8
MARS1 immunostaining	98.1	96.1	98.1	96.2	97.5
P value	<.0001	>.9999	.3248	<.0001	<.0001

MARS1, Menthionyl-tRNA synthetase 1; PPV, positive predictive value; NPV, negative predictive value.

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)빅바이오 창업 (투자유치 50억 원)

의약 06

WARS1을 활용한 패혈증 진단 키트 개발 (가천대학교 진미림)



[WARS1의 TLR2 and MD2와 직접 상호작용]

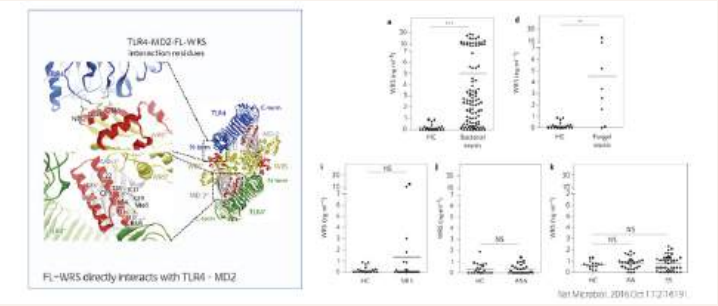
- 패혈증은 사망률이 매우 높은 감염질환으로, 환자 수가 전 세계적으로 매년 2천만명으로 추산되고 있고 그 수는 매년 증가하고 있으며, 사망률이 최대 70%로 매우 사망률이 높은 질환이지만, 발병 초기 반응하는 면역기전에 대해서 알려져 있지 않아 초기 진단이 어려운 상황
- 연구단은 WARS1(tryptophanyl-tRNA synthetase 1) 효소가 병원성 세균, 곰팡이, 바이러스 등에 감염 시 수 분 내에 단핵구로부터 분비되어 감염원을 제거하는 작용을 세계 최초로 규명
- WARS1을 활용한 진단 기술은 기존 패혈증 진단마커인 PCT 및 CRP와 비교할 때 특히 사망률 예측에서 탁월한 예측력을 보여주고 있음
- 해당 기술은 (주)JW바이오사이언스에 기술이전되었으며 기술이전 기업은 패혈증 환자의 조기 진단 및 사망률 예측을 위한 제품을 개발 중

논문

· Secreted tryptophanyl-tRNA synthetase as a primary defence system against infection(Nat Microbiol, 2016)

특허

· 트립토파닐 티알엔에이 합성효소를 이용한 패혈증의 진단용 조성물과 진단 마커 검출 방법(KR 10-2016-0025329)



[WARS1의 TLR2 and MD2와 직접 상호작용]



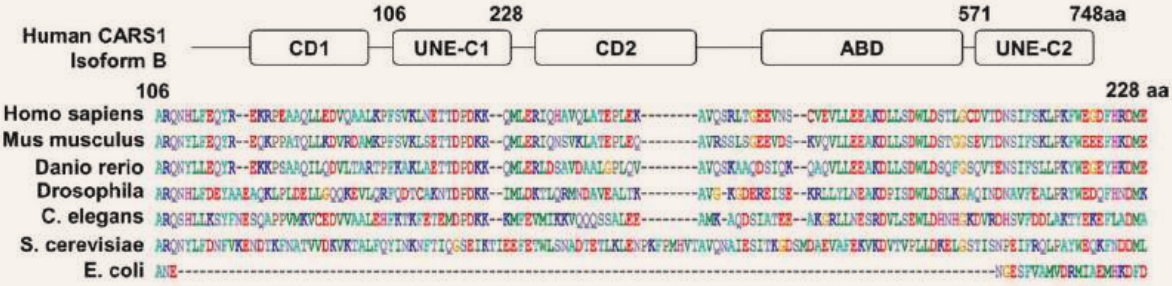
[JW바이오사이언스 기술이전 협약식]

- 기술을 이전받은 JW바이오사이언스는 2020년 'WARS1 진단키트'를 통한 패혈증 환자 조기예측에 성공
- WARS1 진단키트 개발을 위해 신촌세브란스병원, 가천대길병원, 서울성모병원 등에서 임상시험을 진행하였으며, 기존 바이오마커 대비 패혈증 조기발견 및 사망률 예측에 통계적 유의성 확인

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC 등재 (Nature Microbiology)	-	○	1.5억 원	-

의약 07

CARS1을 활용한 면역 증강 신물질 개발 ((재)의약바이오컨버전스연구단 김성훈)

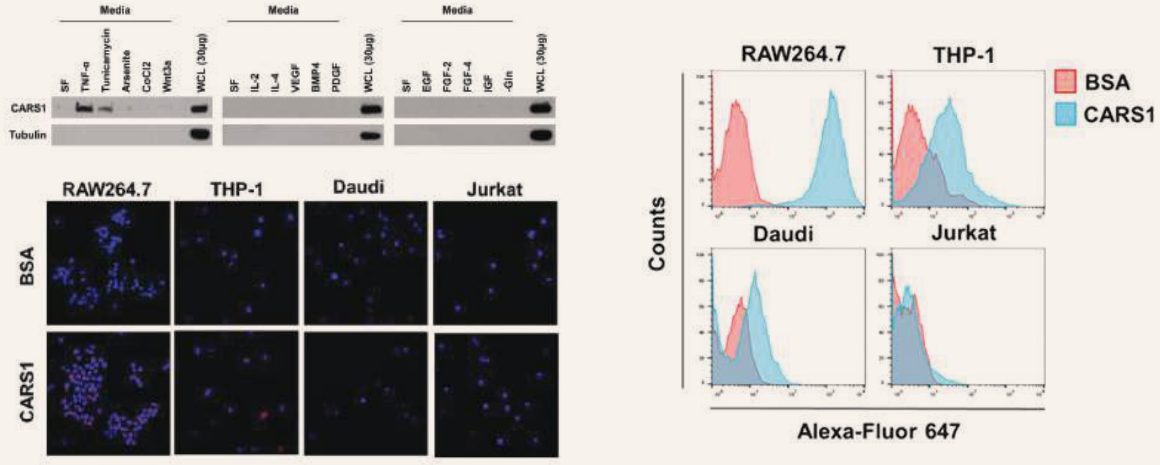


[다른 종과 UNE-C1 다중 서열 비교]

- 연구단은 CARS1(cysteinyl-tRNA synthetase 1) 효소의 활성부위에 인체의 면역력을 증가시키는 활성을 가진 부위(UNE-C1)가 존재하는 것을 규명하였고 이를 통해 단백질 합성과정이 질병의 방어기전과 연결되고 있다는 사실을 확인
- 또한, 이 물질은 수용성과 열 안정성이 매우 높아 다양한 병원체 및 암의 치료용 백신의 효능, 안정성 확보 및 물성 개선 등에 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있음
- 이 UNE-C1는 CARS1 효소로부터 물리적으로 분리하였을 경우에도 독자적으로 면역세포를 활성화하는 능력을 나타냈으며 암이나 바이러스 항원과 조합하는 경우 백신의 치료 효능을 크게 증가시킬 수 있다는 것을 밝혀냈음
- 연구단은 해당 기술을 범용성 바이러스 및 항암 면역 백신들에 활용하기 위한 적응증 확대 및 생산성 향상을 위한 후속연구를 진행하고 있음.

논문

· Endogenous TLR2 ligand embedded in the catalytic region of human cysteinyl-tRNA synthetase 1(J Immunother Cancer, 2020)

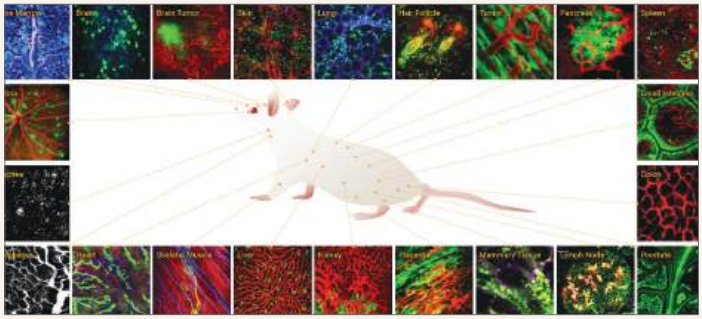


[대식세포로부터의 TNF-α 분비에 대한 분비된 CARS1의 효과]

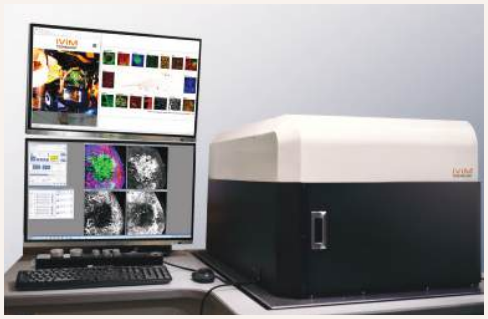
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
		○		

의약 08

초고속 레이저를 이용한 생체 내 세포수준 모니터링 시스템 개발 및 창업 (KAIST 김필한)



[현미경을 이용한 세포관찰 이미지]



[현미경 이미지]

- 연구단과 KAIST는 MRI나 CT 등 기존 생물의학 영상기술로 불가능했던 인체내 여러 장기의 세포를 세포 수준에서 실시간으로 관찰할 수 있게 하는 생체 현미경을 최초로 개발
- 개발된 현미경이 활용될 경우 동물의 장기와 세포들을 실시간으로 직접 관찰할 수 있어서, 신약개발 및 혁신형 의료기기 개발을 가속화할 수 있을 것으로 기대
- 연구단은 KAIST와 공동으로 2017년에 아이빔테크놀로지(주)를 창업하였고, 관련 기술들에 대해서 기술이전을 진행
- 아이빔테크놀로지(주)는 창업 첫 해에 30억 원 규모의 시리즈 A, 2019년에는 80억 원 규모의 시리즈 B, 2022년에는 150억 원 규모의 시리즈 C 투자를 유치
- 2023년 8월에 기술성 평가를 통과하였고 하반기 코스닥 상장예비심사 청구를 완료 예정

논문

* Secreted tryptophanyl-tRNA synthetase as a primary defence system against infection(Nature Microbiology, 2016)

IVIM TECHNOLOGY

창업일 : 2017.06
대표자 : 김필한(연구책임자, KAIST)
주요 아이템 : 생체 현미경



[IVM-C3 D 제품이미지]

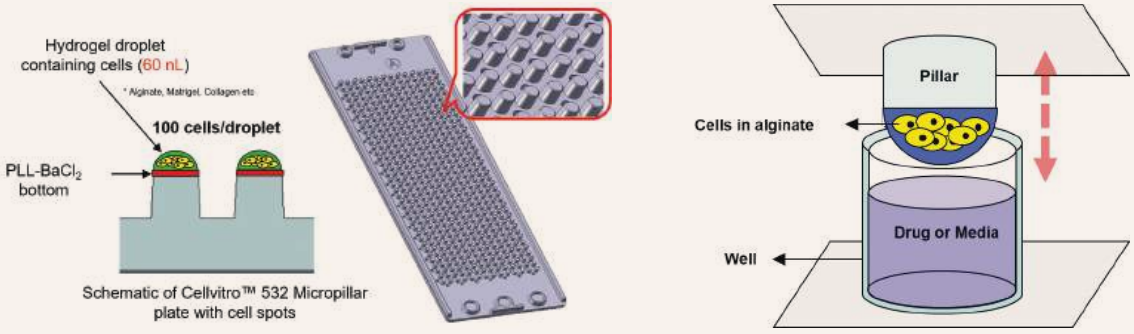
초기 모델 IVM-C3 D외
지속적인 제품모델 출시

- 2023.10 기준 코스닥 상장 예비심사 신청(기술특례상장), 2024년 1분기 코스닥 상장 추진 중
- 10개국 138개 업체와 데모 테스트 진행 중
- 미국 존스홉킨스 어린이병원, 하버드의대 줄기세포 연구소 등 납품 진행

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC 등재 (Nature Microbiology)	-	○	8천만 원	아이빔테크놀로지(주) 창업 (투자유치 260억 원)

의약 09

3차원 세포배양을 활용한 맞춤형 항암제 제시 플랫폼 개발 및 창업 ((재)의약바이오컨버젼스연구단 김성훈)



[Cellvitro®을 이용한 3차원 세포배양 방법]

- 암을 진단하기 위해서는 환자들의 복잡한 유전자 분석을 거쳐야 하고, 이를 토대로 치료의 방법도 달라짐
- 연구단은 유전적 배경과 종류가 다른 100가지 암세포를 3차원으로 배양했고, 모양에 따라 4가지 유형으로 구분된다는 것을 발견하였으며 각 유형의 암들은 기존의 항암제에 대해서 매우 다른 감수성을 가지고 있는 것을 밝힘
- 이러한 3차원 세포 배양기술은 항암제 개발과 치료를 위한 경제적인 방안이 될 수 있으며 환자에서 유래된 암세포를 활용하여 맞춤형 항암제를 제시할 수 있는 플랫폼으로 확장될 수 있음
- 연구단은 3차원 세포배양 플랫폼을 개발할 수 있는 MBD(주)를 창업하였고, MBD(주)는 2017년에 20억 원 규모의 seeding, 2019년에는 100억 원 규모의 시리즈 A, 2021년에는 115억 원 규모의 시리즈 B 투자 유치를 완료하였음
- 현재 MBD(주)는 제품개발에 박차를 가하고 있으며, 시리즈 C 투자 유치 및 IPO를 추진하고 있음

논문

Novel Morphologic and Genetic Analysis of Cancer Cells in a 3D Micorenvironment Identifies STAT3 as a Regulator of Tumor Permeability Barrier Function(Cancer Res, 2015)

MBD
MEDICAL & BIO DECISION

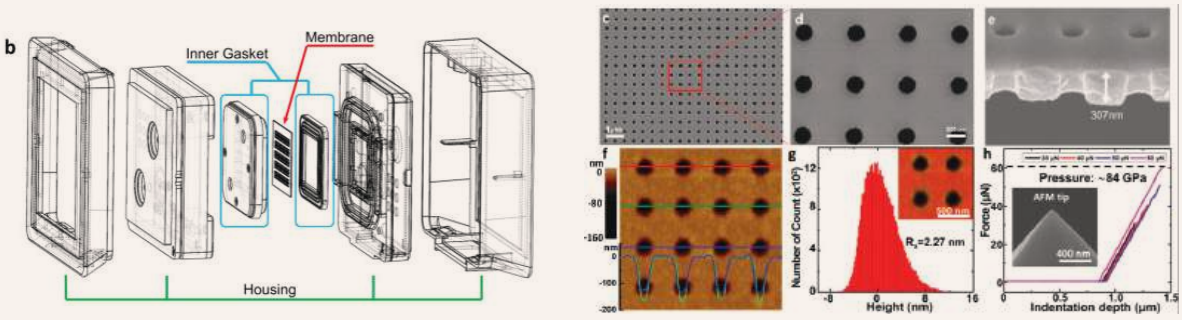
창업일 : 2015.01
대표자 : 구보성
주요 아이템 : 3차원 세포배양을 통한 약물 효능, 독성 예측 플랫폼 개발

- 암 환자 치료를 위해 신약 및 맞춤형 항암제 감수성 검사 플랫폼 개발 전문 기업
- JW중외제약의 연구법인 C&C신약연구소가 정밀의료 혁신기업 엠비디와 연구 협약을 맺고 3차원(3D) 암 오가노이드 진단 플랫폼 기반의 혁신 항암제 개발하는 등 다양한 곳에 세포배양 플랫폼을 납품 중
- 해당 제품은 국내 및 미국, 유럽 등의 의료기기 인증을 완료

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	MBD㈜ 창업 (투자유치 235억 원)

의약 10

엑소좀 분리 기술 개발 및 창업 ((재)의약바이오컨버전스연구단 김성훈)



[필터장치의 구성요소와 멤브레인의 물리적 특성]

- 엑소좀(exosome)은 세포내에서 만들어져 세포 외부로 방출되는 소낭의 일종으로 진핵생물의 세포 간 신호전달을 위해 활용되는 물질
- 최근 많은 연구를 통해 엑소좀은 질환의 진단 및 치료에 대한 광범위한 응용 가능성이 제시되고 있으나, 현존하는 분리 방식은 순도가 낮아 순도 높은 분리방식의 개발이 필요한 상황
- 연구단은 MEMS(Micro-ElectroMechanical System) 기술과 최적화된 미세유체(Micro Fludics) 제어 기술을 통해 엑소좀을 분리할 수 있는 기술을 개발하여 관련 분야 세계적인 학술지(Nanoscale Adv)에 발표하였고 본 논문은 학술지의 표지 기술로도 소개
- 연구단은 (주)메타포어를 창업하였고, 회사는 XOSOMTM과 MetaflowTM 제품을 개발 완료
- 해당 제품은 엑소좀을 분리할 수 있을 뿐만 아니라 크기에 따른 세포 또한 분리할 수 있어 개발된 제품이 시장에 본격적으로 진입하게 된다면 신약개발 등 다양한 바이오 분야 산업 전반에 획기적인 혁신을 가져올 것으로 기대

논문

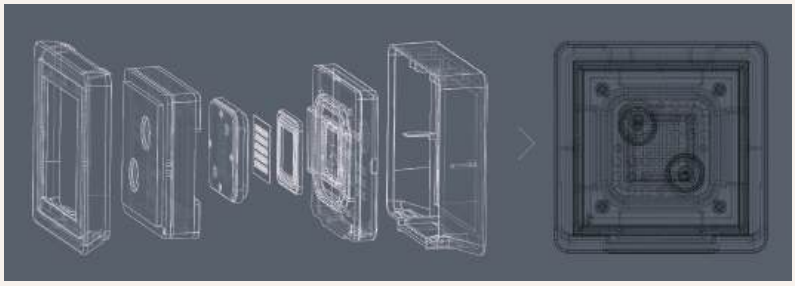
· Ultra-thin membrane filter with a uniformly arrayed nanopore structure for nanoscale separation of extracellular vesicles without cake formation(Nanoscale Adv, 2022)

METAPORE

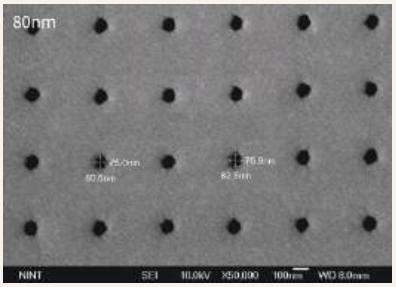
창업일 : 2018.07.26

대표자 : 정영

주요 아이템 : 엑소좀 분리를 위한 최첨단 필터 및 멤브레인



[XOSOM™필터 설계]



[나노포어필터 SEM 이미지]

- 의료 및 생명공학 분야를 위한 MEMS 기반의 혁신적인 생체 물질 분리 기술을 개발 및 관련 제품 공급 기업
- 현재 엑소좀 분리를 위한 필터 및 필터링 시스템 제품을 개발 완료
- 최근 인스코팜 등과 협력하여 엑소좀 대량 생산 기술인 'EPOTF' 개발에 성공하였으며, 관련 분야에 대한 활발한 연구개발 진행 중

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	6억 원	(주)메타포어 창업 (투자유치 10억 원)

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분/연도			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	총합계
특허	국내	출원	-	1	21	21	34	34	30	20	22	6	184
		등록	3	4	6	4	5	5	9	9	2	1	51
	해외	출원	2	5	14	27	29	29	27	26	18	6	171
		등록	3	4	6	4	5	5	9	9	2	1	51
	계		**8**	**14**	**47**	**56**	**73**	**73**	**75**	**64**	**44**	**14**	**457**
논문	SCI		1	23	51	47	37	35	47	50	27	22	340
	비SCI		-	-	2	-	-	1	1	4	-	-	8
	계		**1**	**23**	**53**	**47**	**37**	**36**	**48**	**54**	**27**	**22**	**348**
기술이전 /사업화	기술이전		-	2	2	2	2	2	5	8	6	4	33
	기술이전(정액기술료)		-	780	470	210	720	560	3,610	1,445	5,690	1,030	14,515
	창업		-	-	-	-	-	-	2	2	2	-	6
학위배출	박사		4	7	11	10	8	3	12	17	12	5	89
	석사		11	12	18	17	10	5	18	13	3	5	112
	학사		-	3	-	4	1	-	-	3	-	5	16
	계		**15**	**22**	**29**	**31**	**19**	**8**	**30**	**33**	**15**	**15**	**217**
국제협력	MOU		5	4	8	3	-	4	2	1	-	-	27
	공동연구 논문		1	11	11	9	7	2	8	5	3	4	61

나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

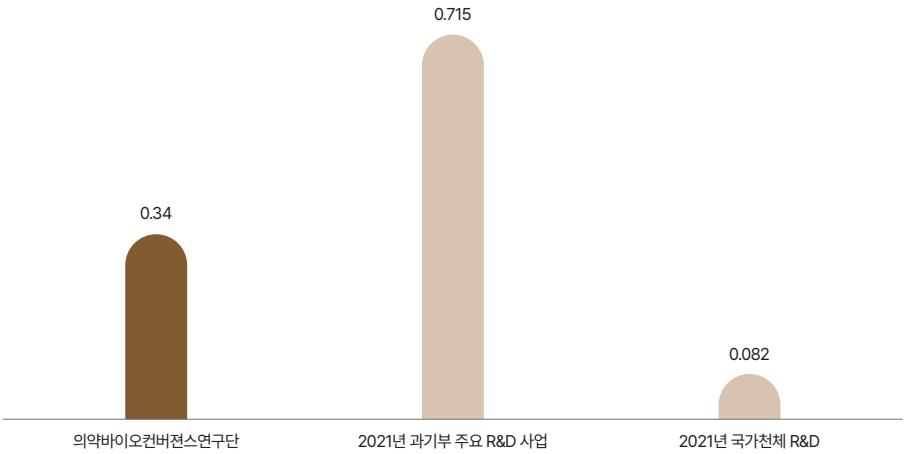
연구단은 연구기간 동안 총 348건의 논문 성과 중 340건의 SCI 논문을 게재하였으며, 전체 사업기간 동안 연구비(정부출연금 기준) 1억 원당 0.34건의 성과를 창출하였다.

특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 6.33이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)는 77.94(최하위 0, 최상위 100)으로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

또한, 연구단의 SCI 논문 게재 성과는 340건이며, 연구비(정부출연금 955.83억 원[1] 1억 원당 0.34건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 SCI 논문 창출 성과 0.082건[2]에 비해 약 4.4배가 넘는 수준으로 나타났다.

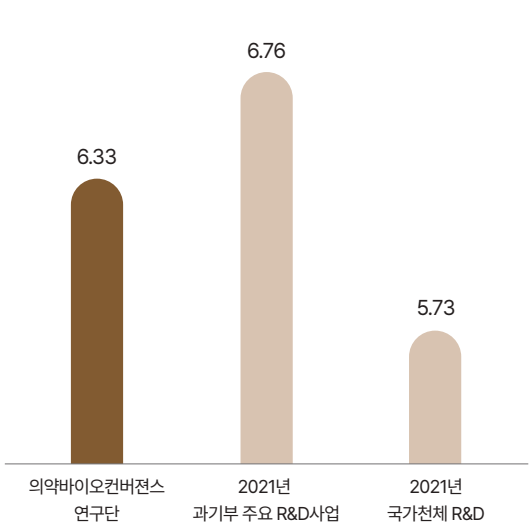
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위: 건)

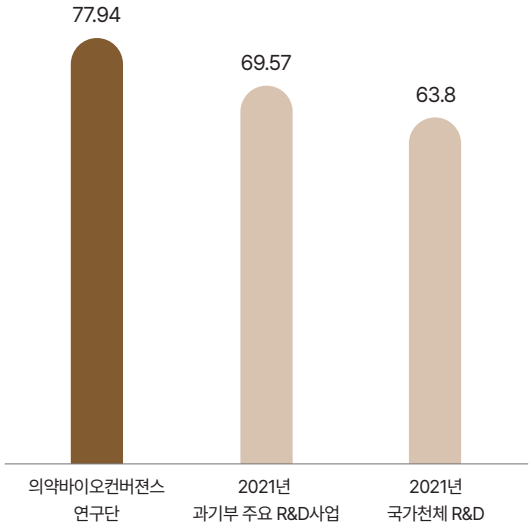


1) 연구비는 정부출연금 기준으로 함(타부처 및 민간 제외).
2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

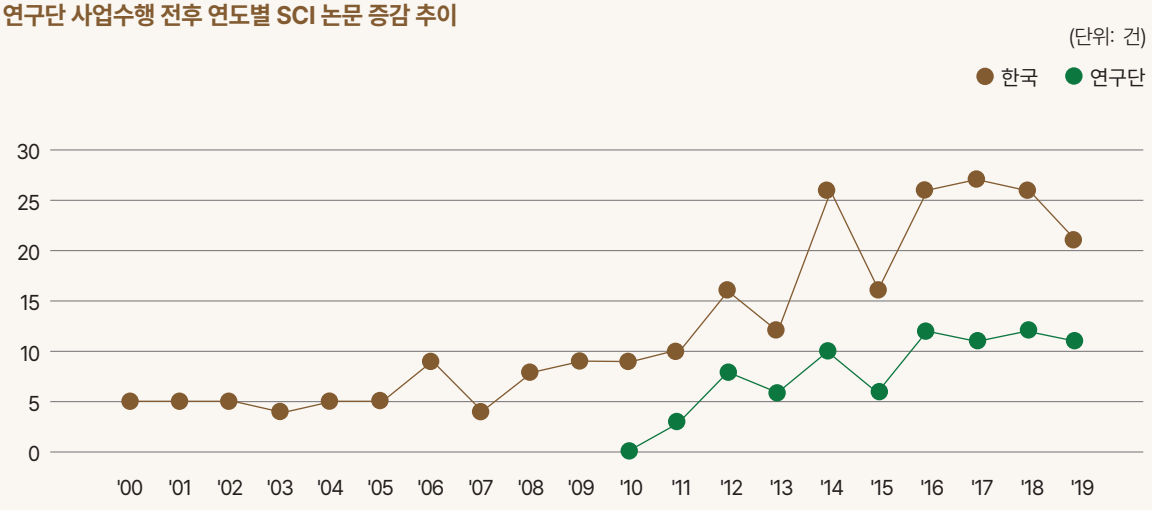


연구단 연구수행 전 후 10년간 논문 건 수 비중 분석

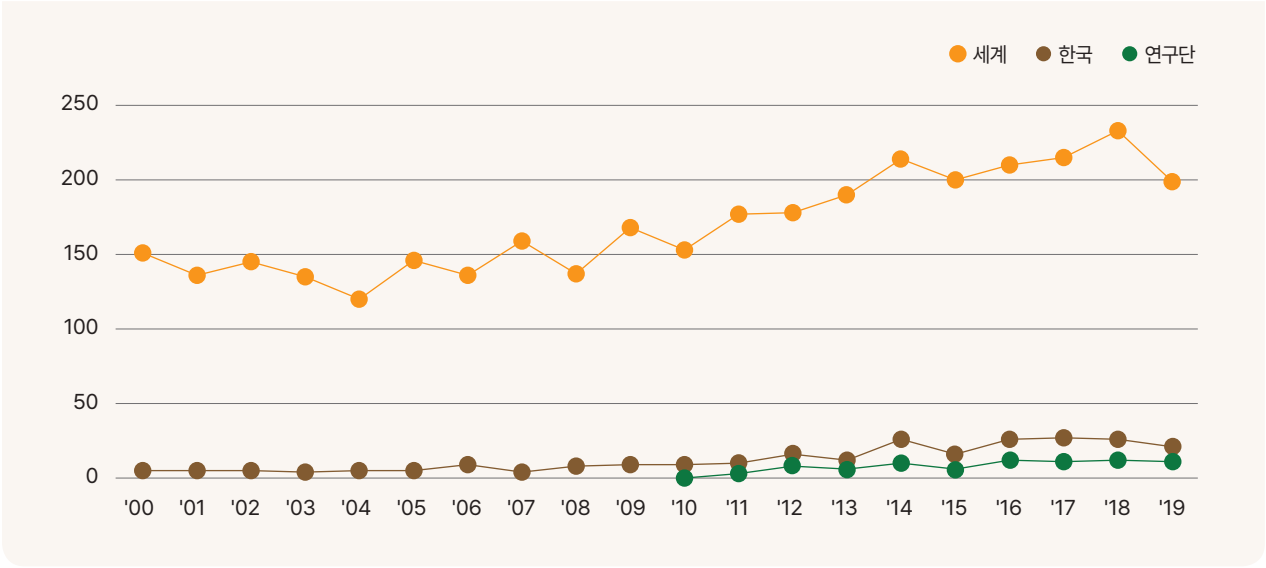
연구단 출범 이전(2000년~2009년)과 이후(2010년~2019년)의 연구단 중심 연구분야인 ARS(Aminoacyl tRNA Synthetase) 관련 분야의 논문을 분석한 결과[3] 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국의 논문 건수가 사업수행 전 59건에 비교하여 사업수행기간 동안 189건으로 약 3배 이상 증가하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전의 5.4%에 비교하여 사업수행기간 동안 9.4%로 약 2배 가까이 증가하였으며, 사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 3.9%이며, 한국 대비 39.1%로 한국에서의 본 분야에서 선도 연구기관임을 알 수 있다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



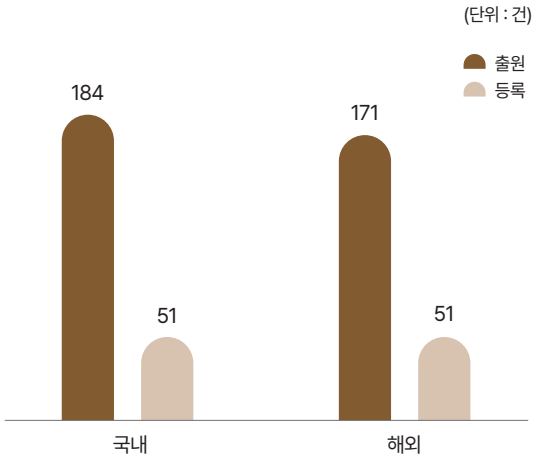
3) Web of Science Data Base에서 검색하였으며, 연구단 SCI 논문 성과 340건 중 ARS(Aminoacyl tRNA Synthetase) 관련한 성과 79건을 비교하였음.



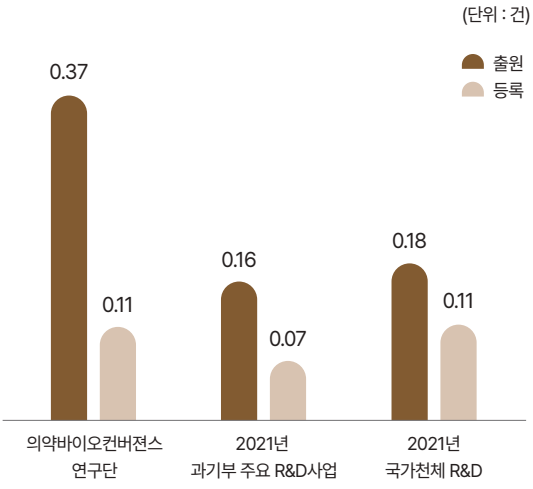
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 457건[4]이며, 이 중 출원건수는 355건, 등록건수는 102건이다. 특히, 해외특허는 171건을 출원하여 51건이 등록되는 성과를 창출하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



연구단의 특허출원 성과는 355건, 특허등록 성과는 102건으로 연구비(정부출연금 955.83억 원) 1억 원당 0.37건의 특허출원 성과와 0.11건의 특허등록 성과를 창출하였다.

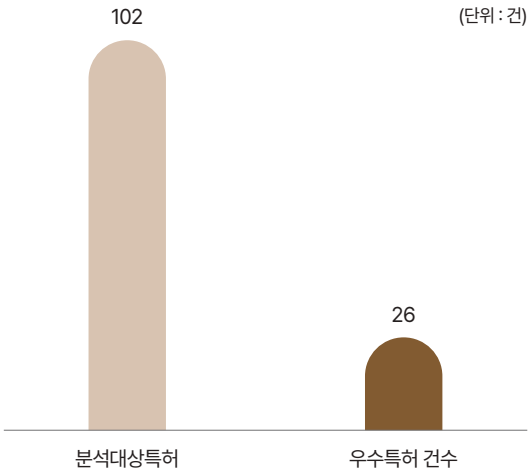
이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[5]에 비해 약 2.0배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 2.3배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과와 유사한 수준, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건에 비해 약 1.6배의 수준으로 성과를 창출한 것으로 분석된다.

4) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
5) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건 / 과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

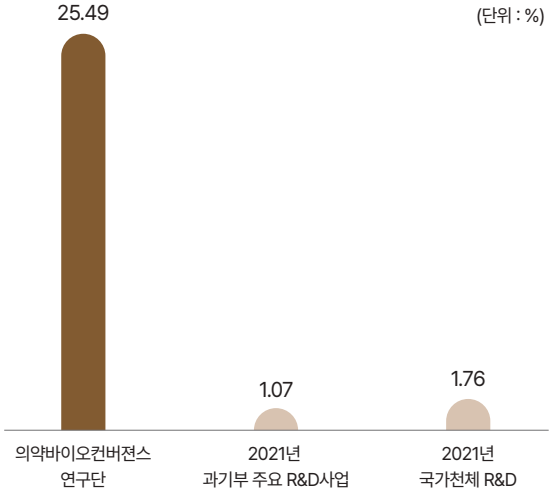
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[6)]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 전체 등록 특허 102건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 26건으로 약 25.49% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 14배, 24배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]

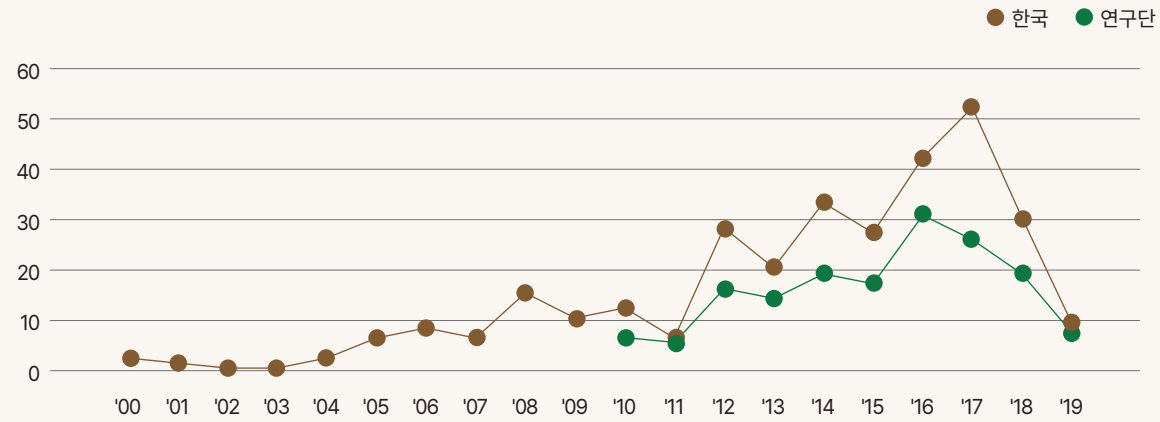


연구단 연구수행 전·후 10년간 특허 건 수/비중 분석

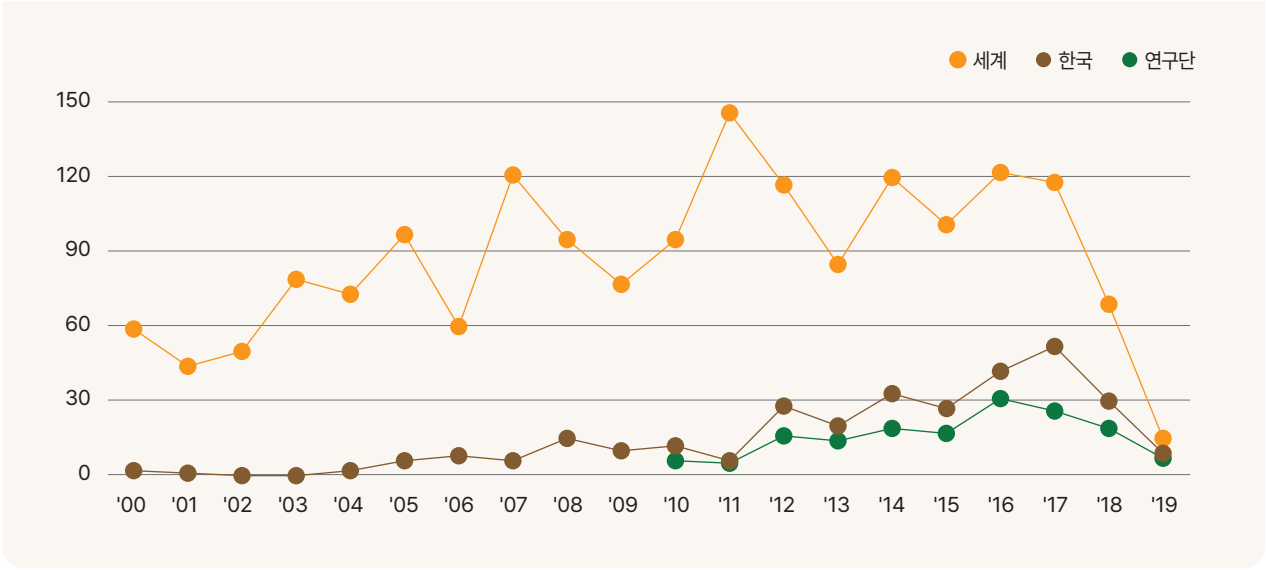
의약바이오컨버젼스연구단 성과분석은 연구단 출범 이전(2000년~2009년)과 이후(2010년~2019년)의 연구단 중심 분야인 ARS(Aminoacyl tRNA Synthetase) 관련 분야 특허[7)]를 중심으로 수행하였다. 검색결과 해당분야 세계 특허는 연구단 출범 이후, 이전(755건)에 비해 1.3배 증가한 988건이었으며, 한국 특허는 50건에서 259건으로 5.18배 증가하였다. 분석 대상기간 중 한국의 비중은 6.6%에서 26.2%로 약 3.96배 증가하였다.

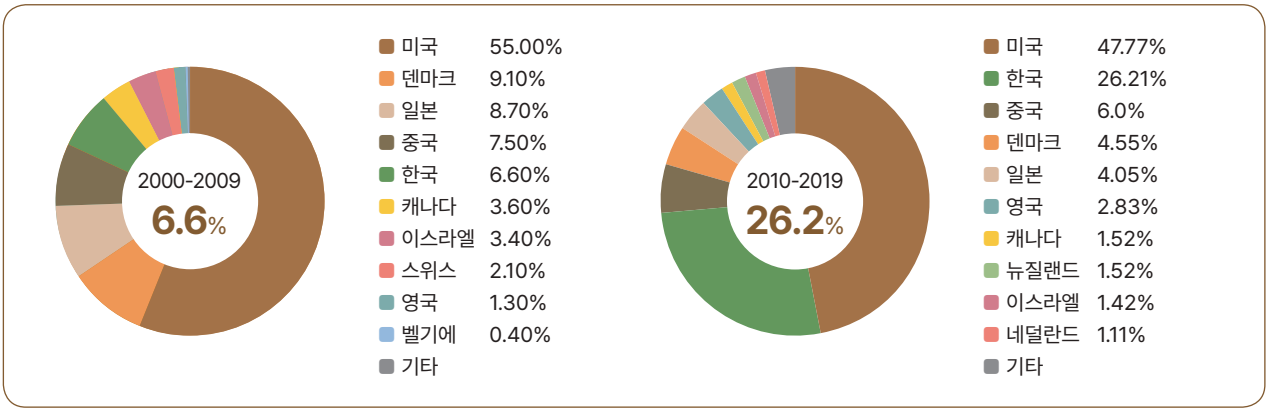
ARS 연구분야에 대한 국내 전체 특허 건수 중에서 연구단이 창출한 특허 비중은 61.8%, 세계 특허 건수 중 연구단 특허 비중은 16.2%로 나타나 연구단이 해당 연구분야의 선도 그룹임을 알 수 있다. 또한, 연구단 출범 이전과 이후 한국의 비중이 6.6%(5위)에서 26.2%(2위)로 4배 이상 증가하였다.

연구단 사업수행 전후 연도별 특허 출원 증감 추이



6) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용
7) Wisdomain Data Base에서 검색하였으며, 연구단 특허출원 성과 475건 중 ARS(Aminoacyl tRNA Synthetase) 관련한 성과 160건을 비교하였음.

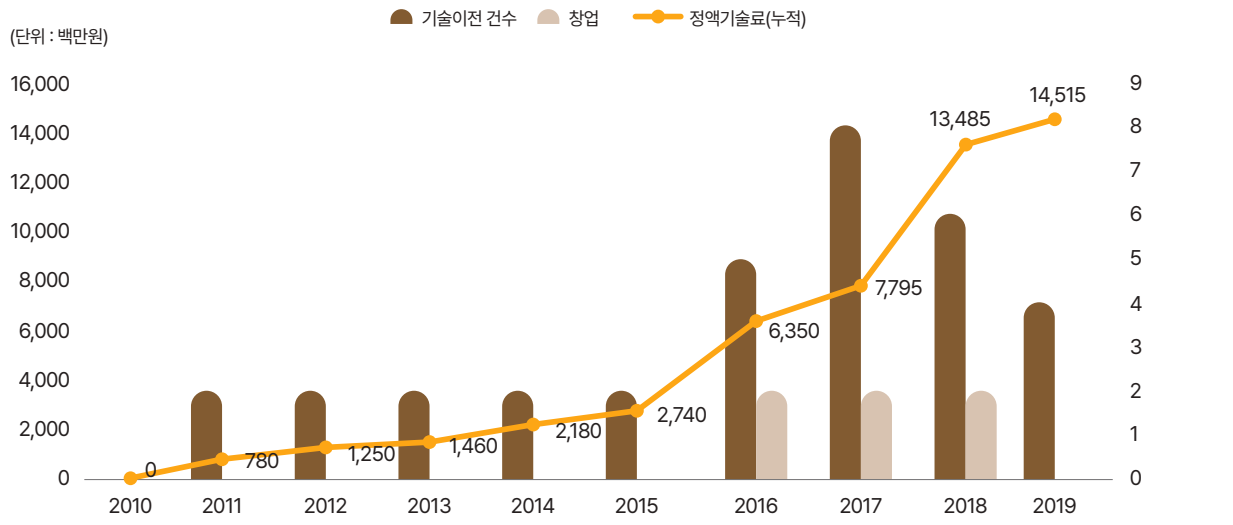

세계
한국
연구단
150
120
90
60
30
0
'00
'01
'02
'03
'04
'05
'06
'07
'08
'09
'10
'11
'12
'13
'14
'15
'16
'17
'18
'19


2000-2009
6.6%
미국 55.00%
덴마크 9.10%
일본 8.70%
중국 7.50%
한국 6.60%
캐나다 3.60%
이스라엘 3.40%
스위스 2.10%
영국 1.30%
벨기에 0.40%
기타
2010-2019
26.2%
미국 47.77%
한국 26.21%
중국 6.0%
덴마크 4.55%
일본 4.05%
영국 2.83%
캐나다 1.52%
뉴질랜드 1.52%
이스라엘 1.42%
네덜란드 1.11%
기타

(3) 기술이전 및 창업 실적

연구단은 연구기간 동안 총 33건의 기술이전 성과를 창출하였으며, 상용화 기술개발에 임박한 3단계 마지막 연차에 1,030백만 원의 기술료 수입이 발생하였다.

(단위: 건)



창업성과

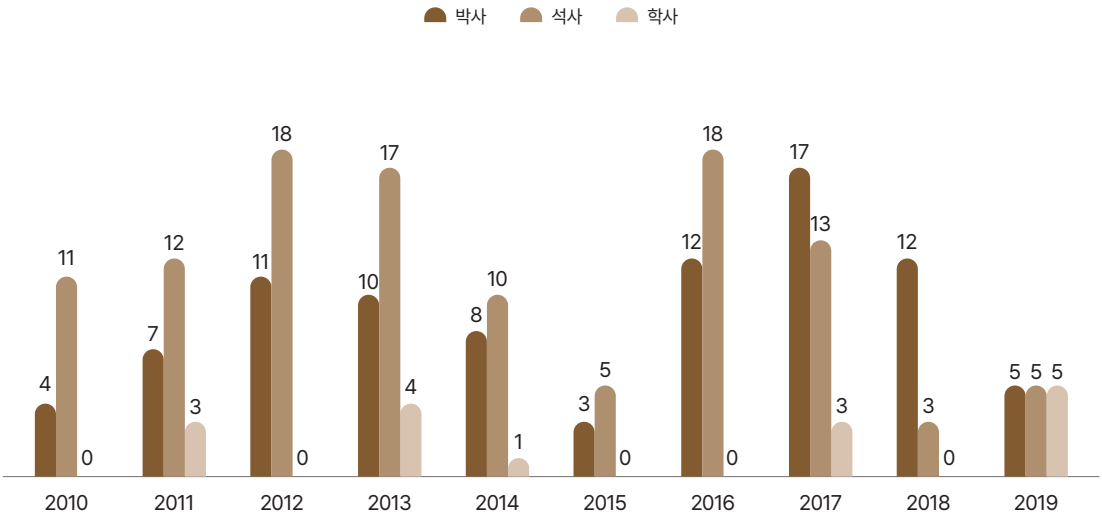
(단위: 백만원, 명)

사업연도	기업명	창업일자	사업내역	총 투자유치	고용창출
2016	㈜오름테라퓨틱	2016.08	iMAB(세포질 내 단백질 상호작용 제어 항체 기술) 기술 기반의 치료용 항체 개발	43,500	8
	닥터노아바이오텍	2016.11	의약학 빅데이터 분석과 인공지능 기술기반 제약기업	1,500	3
2017	아이빔테크놀로지(주)	2017.05	혁신적 생태현미경 원천기술	11,000	4
	㈜온코테그디아그노스틱	2018.02	Oncotag-M 진단기술을 바탕으로 한 항체기반 조직진단 의료기기 생산	3,500	7
2018	㈜메타포어	2018.10	원심분리를 사용하지 않는 엑소좀 분리기술 기반 MEMS 개발	3,000	4
	㈜에이바이오텍	2018.10	항체제작 기술 기반	3,500	4
합계				**66,000**	**30**

(4) 인력양성

연구단은 연구기간 동안 총 217명의 학위를 배출하였으며, 박사 89명, 석사 112명, 학사 16명을 지원하였다.

(단위: 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
KARS1 타겟 폐동맥 고혈압 질환 치료제	고혈압질환치료제 시장	652.59
PARS1 저해제의 섬유질환 치료제로의 용도	항섬유화제시장	662.43
LARS1 타겟 대장암/뇌전증 치료제	대장암 치료제 시장	279.00
WARS1 패혈증 조기진단 기술	패혈증 진단 시장	104.44
MARS1 타겟 췌담도암 진단 및 치료제	췌장암 치료제 시장	191.40
GARS1 신기전 항암 단백질	신장암 치료제 시장	556.50
AIMP2-DX2와 K-Ras 결합 타겟 항암 조성물	대장암 치료제 시장	311.85
총액		**2,758.21**

연구단의 우수 연구성과 7건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

의약바이오컨버전스연구단의 7건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 2,758.21억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

가. 언론보도

의약바이오컨버젼스연구단은 연구기간 동안 약 498건의 언론보도를 진행하였으며 연구단 성과에 대해 국민들에게 효과적으로 홍보하고자 하였다.

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	합계
횟수	35	128	32	25	25	2	94	77	53	27	498

나. 국내외 심포지엄 및 학술대회 참가

의약바이오컨버젼스연구단은 약 20회의 국내외 심포지엄 및 학술대회에 참가하여 연구성과를 홍보하기 위한 노력을 하였다.

구분	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	합계
국내	0	4	1	1	1	0	1	2	3	0	13
국외	0	0	0	2	0	0	3	0	1	1	7
합계	**0**	**4**	**1**	**3**	**1**	**0**	**4**	**2**	**4**	**1**	**20**

다. 글로벌 선도연구거점 구축

▪ **글로벌 신약개발 Target Factory 구축**

- 약물타겟 개발에 필요한 타겟발굴, 각종질병모델, 약물설계, 약물검색기술, 유전체·단백질·세포 등의 분석 인프라(고가장비, 대용량 라이브러리 등) 구축으로 신약 개발 거점화를 목적으로 한다.
- 신약개발 관련 기초연구를 지속하여 신약개발에 타겟을 연구하는 한편, 기초연구에 필요한 연구 인프라를 지원하고자 한다.

▪ **Global Science Review System 운영**

- 주기적으로 SAB 소속 위원들에게 세부과제 구성 및 연구내용에 대해 자문을 받아 연구단 운영전략에 반영하고 있다. (노벨상 수상자 다수 포함)

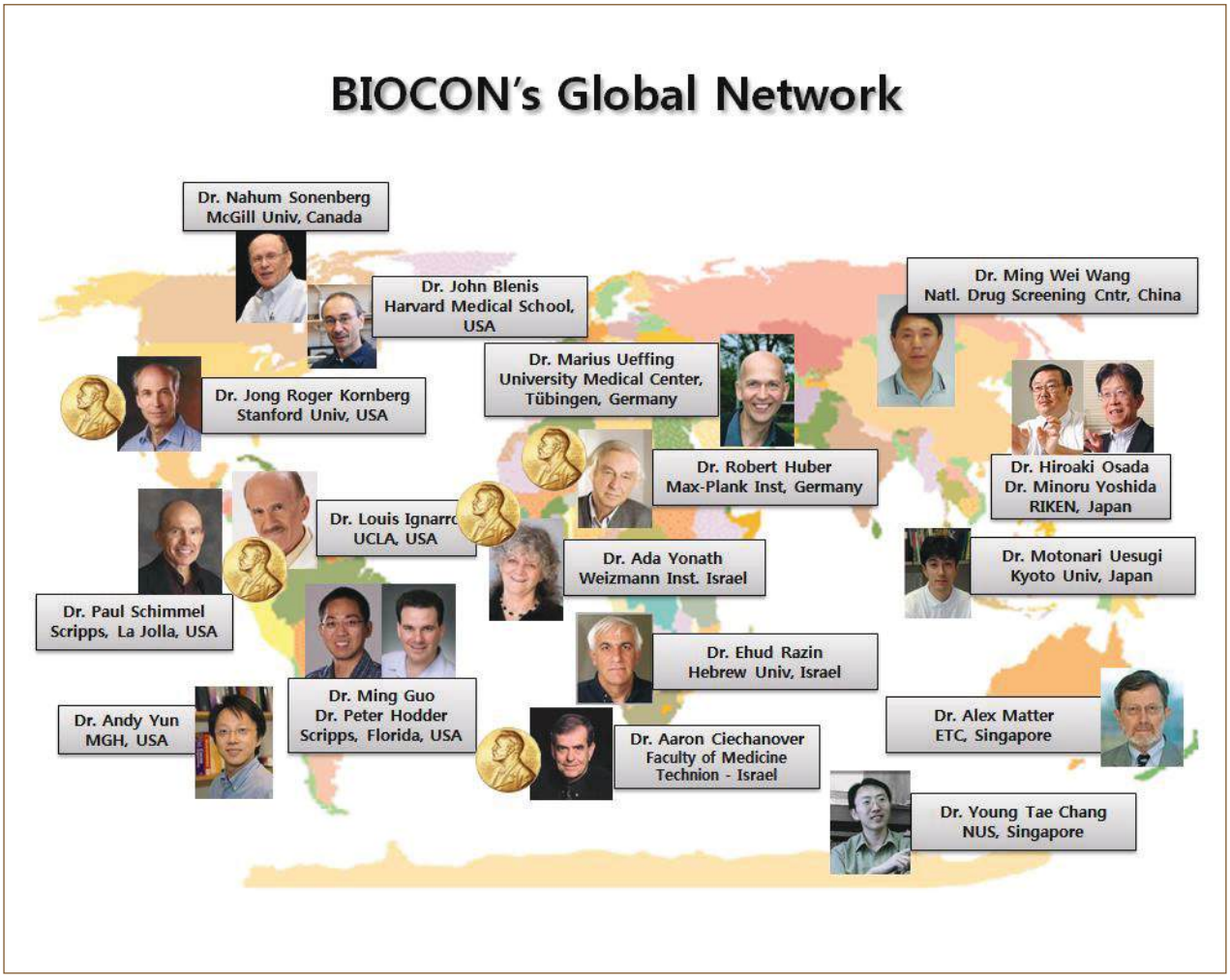
- 제26회 tRNA학회 개최
- Gordon Research Conference 개최
- 2018 Seoul forum on systems and Synthetic Biology of Aminoacyl-tRNA Synthetase 개최
- IO-ART 공모전 개최(2013년~2018년)





■ **해외 공동연구 네트워크 구축**

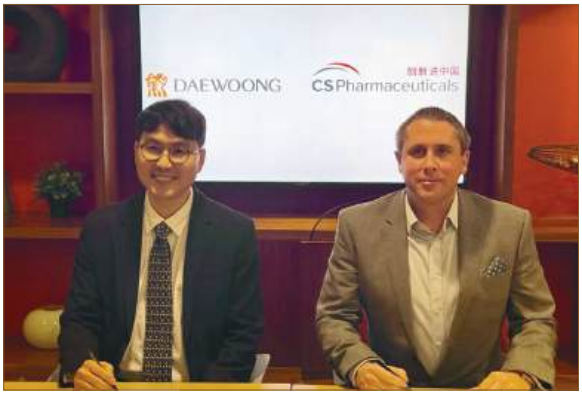
- 노벨상 수상자를 초함한 자문위원을 구성하는 한편, 전세계 글로벌 제약회사와 협력 네트워크를 지속적으로 구축 확보하고 있다.
- 해외 다양한 연구기관과의 공동연구를 진행하여 연구단의 글로벌 경쟁력을 확보하였다.



04 기술사업화 성공스토리

1. 대웅제약 인터뷰

- 기업명: (주)대웅제약
- 공동개발기술명: 특발성 폐섬유증 신약 후보물질 개발
- 기술개발성과: 4,000억원대의 중화권 기술 수출



(주)대웅제약은 의약바이오컨버전스연구단과 함께 '특발성 폐섬유증' 신약 후보물질을 개발하였다. 이 신약 후보물질은 현재 글로벌 임상 2상 중이며, 4,000억 원대에 중화권으로 기술수출 되었다. 대웅제약 관계자를 만나 공동개발 과정과 그 성공 비결을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

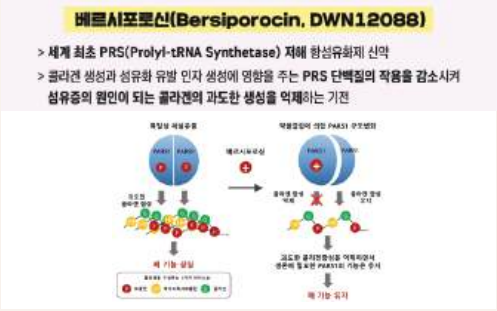
1945년 창립 이래로 대웅제약은 '좋은 약을 만들어 국민의 건강을 지키고 건강한 사회를 만든다.'는 경영 철학을 바탕으로 끊임없이 도전하고 혁신하는 대한민국 대표 제약기업입니다. 대웅제약은 국내 34호 신약인 '펙수클루정(역류성 식도염 치료제)'과 국내 36호 신약인 '엔블로정(2형 당뇨 치료제)'을 식품의약품안전처로부터 승인을 받았습니다. 펙수클루정은 미국, 중국을 포함하여 1.2조 원대에 기술 수출되었으며, 엔블로정은 중남미로 1,000억 원대에 기술 수출이 되었습니다. 또한 현재 글로벌 임상 2상중인 특발성 폐섬유증 치료 후보물질인 베르시포로신을 중화권으로 4,000억 원대에 미국 임상 1상을 준비 중인 자가면역 치료 후보물질인 DWP213388을 6,000억 원대에 글로벌 기술 수출을 성사시켰습니다. 대웅제약의 신약 파이프라인은 두 가지 승인 받은 약물처럼 계열 내 최고의 신약(Best-in-class)과 함께 임상 2상 이하의 초기 개발 단계의 프로그램인 세상에 없던 신약(First-in-class)으로 구성되어 있습니다. 이미 30여건의 신약 파이프라인이 자가면역, 대사, 섬유증, 암 질환으로 고통 받고 있는 환자의 생명을 구하고 삶의 질을 향상시키기 위해 개발 중에 있습니다. 앞으로도 대웅제약은 대한민국 대표 제약기업을 넘어 명실상부한 글로벌 헬스케어 기업으로 도약할 것입니다.

Q2 공동개발하게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

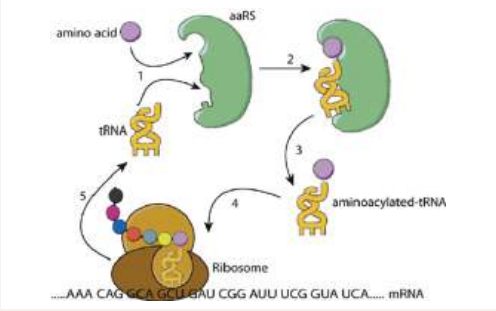
A2

2012년 하반기 당시 대웅제약 연구소장인 이봉용 박사와 김성훈 교수와의 협력을 시작으로 대웅제약, 서울대학교(연세대학교), 고려대학교 연구팀이 하나의 팀으로 진행하였습니다. 김성훈 교수팀은 PARS1(Prolyl-tRNA Synthetase)

의 biology 및 약물의 작용기전 연구를, 고려대학교 황광연 교수팀은 단백질 구조 연구를 담당하여 후보물질 도출에도 기여했으며 대웅제약은 PARS1 저해제 개발 및 비임상 연구를 담당했습니다.
처음에는 섬유화가 많이 진행된 고형암(폐암, 췌장암 등) 치료제 개발을 목표로 진행되었지만, 2015년 섬유증 동물모델에서 효력을 확인한 후 항섬유증 치료제 개발로 목표를 변경하였습니다. 이후 2017년 베르시포로신(Bersiporocin, DWN12088)이 도출되었고 2019년 호주에서 임상 1상을 시작으로 2022년에는 미국과 한국에서 특발성 폐섬유증 환자를 대상으로 임상 2상을 진행하고 있습니다.



<베르시포로신 기전 효과>



<PARS1(ProlyI-tRNA Synthetase)의 역할>

세계 최초 혁신 신약(First-in-class)인 베르시포로신은 PARS1 저해 항섬유화제입니다. 콜라겐 생성과 섬유화 유발 인자 생성에 영향을 주는 PARS1 단백질의 작용을 감소시켜, 섬유증의 원인이 되는 콜라겐의 과도한 생성을 억제합니다. 그동안 전 세계 많은 연구자들이 PARS1의 활성 조절을 통해 섬유화증을 치료하려 시도했지만, PARS1은 생명 유지에 필수적인 효소이기 때문에 PARS1의 과도한 활성 억제가 자칫 부작용을 야기할 수 있었습니다. 최근 연구팀은 효소 2개가 한 쌍을 이루는 형태로 존재하는 PARS1에 베르시포로신이 비대칭적으로 결합함으로써 과도한 활성 억제를 일으키지 않는다는 사실을 규명하였습니다.

Q3 공동 개발한 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

특발성 폐섬유증(Idiopathic Pulmonary Fibrosis; IPF)은 폐포(허파꽈리) 벽에 만성염증 및 콜라겐과 같은 섬유화 단백질이 과다 침착하여 폐가 서서히 굳어가며 기능을 상실하는 폐질환입니다. 특발성 폐섬유증은 질환 이름에 나타나는 '특발성'처럼 '원인을 모른다'는 뜻으로 현재까지 밝혀진 뚜렷한 원인이 없습니다. 다만, 이 질환에 걸릴 확률을 높이는 것으로 알려진 위험인자에는 흡연, 대기오염, 분진에 자주 노출되는 환경, 바이러스 감염, 미세 유해물질 흡인이 있습니다. 특발성 폐섬유증은 아직 근본적인 치료제가 없고 치료가 어려운 질환으로 진단 후 5년 생존율이 40% 미만에 불과합니다. 현재 시판 중인 특발성 폐섬유증 치료제는 질병 진행 자체를 완전히 멈추지 못하고 부작용으로 인해 약 복용을 포기하는 경우가 많아 신약개발이 시급한 상황입니다.



<특발성 폐섬유증 정의>



<특발성 폐섬유증 증상>

이번에 개발한 항섬유화제 신약인 베르시포로신은 경구용 약물로 섬유증의 대표적인 원인인 콜라겐의 과도한 생성을 억제해 항섬유화 효과를 나타낼 뿐만 아니라 기존 치료제와 병용 시 폐섬유증 치료 상승효과도 기대되고 있습니다.
2019년에 미국 식품의약국(FDA) 희귀의약품으로 지정된 베르시포로신은 2022년부터 미국 식품의약국으로부터 특발성 폐섬유증 환자를 대상으로 하는 임상 2상 시험계획(IND)을 승인 받고 패스트 트랙으로 지정되어 미국과 한국에서 동시에 글로벌 임상을 진행하여 안전성과 효능을 평가하고 있습니다. 2024년까지 이번 임상 2상을 통해 지난 비임상 효력시험에서 확인된 베르시포로신의 탁월한 항섬유화 효과 및 폐기능 개선 결과를 증명한다는 계획으로 시험 대상자에게 투약을 완료하고 결과를 확인하는 것을 목표로 하고 있습니다.

Q4 앞으로 공동 개발한 기술로 나아가고자 하는 계획 또는 비전을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

글로벌 시장조사기관 리서치앤마켓(Research And Markets)에 따르면, 특발성 폐섬유증 치료제 시장은 매년 7%의 높은 성장률을 보이며 2020년은 31억 달러(약 4조 원)이던 시장 규모가 2030년에는 61억 달러(약 8조 원)에 달할 것으로 전망되고 있습니다. 베르시포로신은 임상 진행 중인 특발성 폐섬유증 질환 외에도 다양한 섬유증 질환에서 효과가 기대되는 물질입니다. 왜냐하면 동물실험을 통해 신장 섬유증, 간 섬유증(NASH 등), 심장 섬유증, 피부 경화증 등의 질환에 대해 항섬유증 효력을 확인하였기 때문입니다. 대웅제약은 베르시포로신이 특발성 폐섬유증 질환에서 개념 검증(Proof of Concept)에 성공한다면 글로벌 기술 수출은 물론 다양한 섬유 희귀질환으로 확장할 계획입니다.



<'특발성 폐섬유증' 세계 시장 전망>

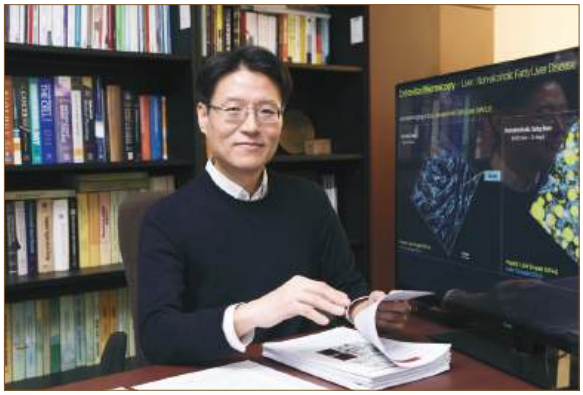
Q5 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술 개발에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 있으시다면 말씀해주세요.

A5

현재까지 국내에서 개발된 36종의 신약 중 글로벌 시장에서 블록버스터로 통하는 신약은 전무한 실정입니다. 이를 타개하기 위해서는 글로벌 시장에서 주목받을 수 있는 세계 최초 혁신 신약(First-in-class)이 개발되어야 합니다. 신약 개발의 출발점인 타겟 발굴 및 검증은 매우 중요한 과정임에도 불구하고, 특히 국내 제약사의 경우에는 자체적으로 신약 타겟을 발굴하는 것은 거의 불가능하다고 알려져 있습니다. 이를 타개하기 위해 대웅제약은 글로벌프런티어사업에 참여하면서 김성훈 교수팀과 협업하여 섬유증 치료 타겟으로 적합한 PARS1 저해제 개발을 하게 되었습니다. 이러한 정부 주도의 대형 국책사업은 큰 목표를 갖고, 우수한 연구자들과의 협력을 통해 기술을 더욱 발전시키고, 산업계와 협력을 통해 글로벌 산업을 리드할 수 있는 최고 수준의 성과물을 만들 수 있는 방향으로 연구를 수행해야 합니다. 본 과제도 다수의 훌륭한 연구진들이 단지 우수한 논문 발표가 목표가 아니었기 때문에, 세계 최초의 신약 후보물질을 개발할 수 있었다고 생각합니다.

2. 김필한 대표 인터뷰

- 기업명: 아이빔테크놀로지㈜
- 창업시기: 2017.06
- 도입기술명: 생체이미징 윈도우 기술
- 도입시기: 2017.08



2017년 6월에 창업한 아이빔테크놀로지㈜는 기술이전을 받아 세계 최초로 올인원(All-in-One) 일체형 생체현미경 장비의 상용화에 성공하였다. 이 생체현미경 기술의 혁신성과 글로벌 성장 잠재력을 인정받아 260억 원의 투자를 유치하였으며 현재는 코스닥 기술특례상장을 준비하고 있다. 성공적인 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 아이빔테크놀로지㈜ 김필한 대표를 만나 그 비결과 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 김필한 대표님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

아이빔테크놀로지(IVIM Technology, Inc)는 한국과학기술원(KAIST)이 개발한 혁신적인 생체현미경(IntraVital Microscopy: IVM) 원천기술을 토대로 2017년 6월에 설립되었습니다. 세계 최초로 올인원(All-in-One) 일체형 생체현미경 장비의 상용화에 성공하여 살아있는 생체 내부의 다양한 조직과 장기를 구성하는 세포들과 바이오 약물을 동시에 이미징 하는 혁신적인 솔루션을 제공하고 있습니다.

아이빔테크놀로지의 생체현미경은 생체 내(In Vivo) 단일세포 다이나믹스(Cellular Dynamics) 및 세포 간 상호작용과 단백질, 약물 분자의 3차원 실시간 영상화가 가능한 첨단 장비입니다. 생체현미경은 기존 자기공명영상(MRI)나 컴퓨터단층촬영(CT) 등으로는 불가능했던 살아있는 생체 내 개별 세포의 움직임과 상태를 3차원으로 관찰할 수 있습니다. 특히 생체현미경은 통상적인 조직분석 기술로는 불가능했던 살아있는 생체 내부 미세 환경에서 진행되는 세포수준 동적 현상의 실시간 관찰 및 분석을 가능하게 하는 혁신적인 기술로서 첨단 의생명연구는 물론 바이오 신약개발에 다양하게 활용되고 있습니다.

이와 같은 기술적 혁신성과 글로벌 성장 잠재력을 인정받아 2017년 창립 3개월 만에 30억 원 규모의 시리즈 A 투자 유치를 달성한데 이어 2019년 80억 원 규모의 시리즈 B 유치, 2022년 시리즈 C 투자금 150억 원까지 총 260억 원 누적투자를 유치하고 미래 글로벌 바이오헬스 시장으로의 도약에 박차를 가하며 꾸준히 성장하고 있습니다. 이어 최근 2023년 8월에는 코스닥 기술특례상장을 위한 기술성 평가 심사를 평가등급 A, BBB로 통과하며 상장을 위한 첫 관문을 통과하고 삼성증권을 주관사로 하여 2024년 1분기 코스닥 상장을 추진하고 있습니다.

Q2 연구에서 창업을 하시게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

A2

생체현미경 기술은 특히 바이오의약품 분야에서 큰 잠재력을 가지고 있습니다. 분자·세포 수준 병리기전을 조절하고 제어하는 바이오의약품의 개발을 위해 필수적인 치료 표적 발굴 및 증명(PoC: Proof of Concept) 단계와 이후

전임상시험을 통한 기전 및 효능 검증(MoA: Mode of Action) 단계에서 다양한 인간질환의 병태생리학적 특성의 고차원적 정밀 분석 목적으로 활용이 가능합니다. KAIST 연구실에서 개발한 생체현미경 기술을 2012년부터 글로벌프런티어사업 의약바이오컨버전스연구단과의 협력을 통해 실제 신약개발을 위한 연구에 본격적으로 활용하면서 생체현미경 기술의 높은 잠재력을 확인할 수 있었고 이를 실제 글로벌 바이오 헬스 시장과 산업에 적용해보고자 하는 결심을 할 수 있었습니다. 현미경 장비 프로토타입 개발과 외부 전문 투자자의 초기투자 유치 등의 연구단 지원에 힘입어서 1년 반 정도의 준비를 거쳐 2017년 6월에 아이빔테크놀로지(주)를 창업하게 되었습니다. 아이빔테크놀로지의 생체현미경 장비는 2018년 9월에 출시된 1세대 모델부터 꾸준한 연구개발을 통해 현재 3세대 모델인 'IVM-CMS3, CM3, MS3, C3, M3'의 출시까지 이루어진 상황입니다. 현재까지 국내에서는 서울대학교 의과대학, 부산대학교 의과대학, KAIST, GIST를 포함한 대학은 물론 서울아산병원, 분당서울대학교병원, 동국대학교일산병원 등의 연구중심병원과 기초과학연구원 등의 연구기관에 공급하였으며 국외에서도 2022년부터 미국 하버드대학교, 존스홉킨스대학교, 매사추세츠주립대학교, 중국 화중과학기술대학교, 우한대학교, 저장대학교 등에 공급하는 등의 괄목할만한 성과를 거두고 있습니다. 한편으로 아이빔테크놀로지는 내부에 생체현미경 기술을 이용한 신약개발연구를 수행할 수 있는 독자적인 연구시설을 갖추고 이를 바탕으로 수탁연구기관(CRO) 서비스를 국내외 연구기관 및 바이오텍, 제약사에 제공하고 있습니다. 현재까지 대웅제약, 에이비엘바이오, 펩트론, 파멥신, 일리아스바이올로직스 등의 바이오텍과 제약사를 포함해 삼성서울병원, 로체스터대학 등의 연구기관과 총 50여개 이상의 연구프로젝트를 수행하였습니다.

Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

아이빔테크놀로지의 최첨단 3차원 생체현미경은 독자적인 초고속 회전 거울 기반의 스캐닝 기술을 통해 기존 제품 대비 차별화 되는 초고속 영상 속도를 구현할 수 있습니다. 이를 통해 살아있는 내부에서 다양하게 움직이는 조직을 빠르게 촬영하고 자체개발한 고성능의 적응형 생체 모션 자동 보정 기능을 적용하여 선명한 고해상도 생체현미경 영상을 획득하는 것이 가능합니다. 이어 아이빔테크놀로지가 기술이전을 통해 도입한 생체이미징 윈도우 기술은 살아있는 생체 내부의 다양한 장기 및 조직별로 최적화된 이식형 이미징 윈도우 챔버와 영상화 솔루션을 구현하는 데 적용이 되었습니다. 이를 활용하여 단일 개체의 생체 내 조직을 수주부터 수개월까지의 장기간에 걸친 반복적인 생체현미경 영상 획득이 가능하게 되었습니다.

아이빔테크놀로지의 생체현미경 기술로 살아있는 생체 내 단일 세포 및 다종 세포 간 상호작용과 단백질, 약물 분자까지 3차원 실시간 영상화가 가능하여 다양한 질병의 생체 내 발생 과정의 분석은 물론 신약후보물질들의 생체 내 전달과 효능의 분석까지 수행하는 것이 가능합니다. 구체적으로 생체 내 세포 영상(In vivo 3D/4D cell imaging, tracking & monitoring), 생체 내 약물 효능 영상(In vivo imaging of drug efficacy), 생체 내 약물 전달 영상(In vivo imaging of drug delivery)을 폐, 심장, 뇌, 소장, 대장 등 거의 모든 생체 조직에서 촬영하고 분석할 수 있습니다. 특히 신약개발 과정에서 소분자화합물도 포함하여 항체의약품, 생물학적 재제, 세포치료제, 유전자치료제 등이 포함된 바이오의약품 분야의 새로운 치료약물의 생체 내 표적으로의 전달 및 효과를 생체 내에서 직접적으로 분석(In vivo drug testing)이 가능한 점은 이후 미래 글로벌 바이오헬스 시장에서 생체현미경 기술이 가지는 높은 성장 잠재력을 보여줍니다.



POINT 01 All-in-one 생체현미경 시스템
- 높은 가격 경쟁력, 공간활용도, 사용자 편의성
- 높은 설치 편의성, 유지보수 용이성
- 이미징 프로세스 표준화 및 어플리케이션 지원

POINT 02 H/W 및 S/W의 고성능 통합 최적화
- 초고속 생체현미경 이미징 (4 Color, 100 fps @ 512 pix)
- 자동 생체모션 보정 기능 내장 (고해상도, 고감도, 고정밀)
- 생체 모니터링 및 유지 기능 통합 내장
- 모든 생체 내 장기 적용 가능 (이미징 액세서리 키트)



<올인원(All-in-One) 일체형 생체현미경>



<핵심 활용 분야>



<고해상도 세포수준 영상화 토탈 솔루션>

Q4 앞으로 회사가 나가고자 하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

아이빔테크놀로지의 생체현미경 기술과 솔루션의 글로벌 진출과 더불어 이제 도입단계인 생체현미경 기술의 글로벌 선도 기업으로 자리매김하는 것이 가장 주요한 장기 비전입이다. 이를 위해 전 세계 18개 업체와 글로벌 마케팅 및 세일즈를 위한 협력 관계를 구축하여 글로벌 영업망도 확보하고 있습니다. 현재까지 미국의 하버드의대, 남가주대, 독일의 막스플랑크 연구소, 영국의 임페리얼칼리지, 옥스퍼드대학, 싱가포르의 싱가포르국립대, 캐나다의 오타와대, 몬트리올대 등 10개국 140여개의 연구기관에서 생체현미경 장비의 데모 테스트를 진행하였으며 지속적으로 늘려나가고 있습니다. 이를 통해 향후 글로벌 시장에서 아이빔테크놀로지의 우수한 기술력을 알리고 이어 글로벌 매출 성장을 본격화하기 위한 첫걸음을 성공적으로 내딛은 것으로 자체 평가하고 있습니다. 현재까지 주요 글로벌 매출처로 미국 하버드대, 존스홉킨스대, 매사추세츠주립대, 중국 화중과기대, 우한대, 저장대 등이 있으며 국내에선 대웅제약, 펩트론, 파멥신, 삼성서울병원 등에 수탁연구기관(CRO) 서비스를 제공하였습니다. 특히 미국 하버드대학에 당사의 생체현미경 연구 장비를 납품한 것은 크게 주목할 만한 성과입니다. 수억원이 넘는 고가의 첨단 연구 장비를 국내기업으로서 개발하고 하버드대학에 납품한 것은 역대 최초로 이루어진 성과입니다. 또한 하버드대학으로의 장비 공급은 1,000개 이상의 바이오텍과 제약사가 모여 세계 최대 규모로 조성된 보스턴 바이오 클러스터에서 이루어졌다는 점에서 커다란 의미가 있습니다. 이는 이후 미국 존스홉킨스대학과 매사추세츠주립대로의 장비공급으로 연결되며 미국 시장에서의 매출을 본격화하는 디딤돌이 되었습니다.

아이빔테크놀로지는 이후 미국 보스턴에 현지사무소를 개설하고 현지 인력을 대거 채용하는 등 세계 최대의 바이오헬스 시장인 미국 시장으로의 진출을 더욱 본격적으로 확대해 나갈 계획입니다. 또한, 앞서 언급한 바와 같이 현재 코스닥 시장 입성을 목표로 첫 관문인 기술특례상장을 위한 기술성 평가를 통과하고 상장 절차를 본격 개시한 상황입니다. 이후 기업공개(IPO)를 통해 확보한 자금은 장비나 부품 구매 등 운영 자금 및 생산 설비 확장에 투자할 계획으로 해외 임상시험수탁기관(CRO) 사업을 영위하기 위해 해외 마케팅 조직 마련에도 자금을 투입할 예정입니다.

Q5 기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

창업 이전부터 연구단의 물심양면 지원을 받아 생체현미경 프로토타입의 개발은 물론 이를 활용한 신약개발 공동연구를 통해 바이오헬스 시장에서의 생체현미경 기술의 잠재적 수요와 필요성에 대한 직간접적 경험을 얻을 수 있었습니다. 이를 통해 미래 성장성과 확장성에 대한 확신을 가질 수 있었던 것이 창업을 위한 결심에 큰 계기가 되었습니다. 또한 이 경험은 이후 창업 회사를 발전시켜 나가는 데에도 빠르게 방향을 잡고 효과적인 의사결정을 도출하는 것에 도움이 되었습니다. 핵심기술의 개발과 기술이전은 창업의 중요한 첫 단계이지만 그보다 먼저 기술의 사업화 결과물에 대한 수요를 어느 시장에서 어떻게 창출하고 이를 확대해 나갈지에 대한 충분한 사전 조사를 하고 실제 그 시장에서 활동하고 있는 다양한 전문가 분들에게 자문을 받아 보는 것을 조언하고 싶습니다. 이는 속도가 중요한 벤처기업에서 창업 이후 혼란 없이 효과적인 성장 전략을 빠르게 수립하고 이를 효율적으로 수행해 나가기 위해 핵심적인 내부 자산이 될 것입니다.

Q6 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 연구단이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 말씀해주세요.

A6

글로벌프런티어사업 연구단의 장기적인 연구개발 및 사업화에 대한 물심양면의 지원이 없었다면 이와 같은 성공적인 기술사업화 성과를 거두는 것이 불가능했을 것입니다. 특히 원천기술의 개발자로서 이를 활용하기 위한 연구를 위해 서로 다른 전문성을 가진 연구팀과 지속적으로 규칙적인 만남을 통해 상호 이해도를 높이는 과정에서 연구개발의 올바른 방향성 설정과 더불어 새로운 돌파구를 찾을 수 있었습니다. 비록 최초의 한 단계를 넘기까지 오랜 시간이 걸렸지만 이후는 빠르게 기술을 고도화하고 창업에 이르기까지 사업화를 위한 다양한 기술 개발과 검증에 박차를 가할 수 있었습니다. 이 과정에서 단기적인 성과 추구로 매몰되지 않고 실질적이고 큰 파급효과를 노릴 수 있는 단계에 도달할 때까지 연구단이 제공한 수년 이상의 장기적인 지원이 최종적으로 가장 큰 성공 요인이었다고 생각합니다. 돌이켜 보면 연구단에 참여하지 않았더라면 KAIST 연구실을 벗어나 새로운 도전을 추구하게 될 계기도 없었을 것이라는 점에서 연구단에 참여하게 된 것은 일생에 한 번 올까 할 기회였습니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

정부의 지원 방식 및 체계가 점점 연구자들이 좋은 성과를 도출할 수 있도록 발전하고 있다. 앞으로도 연구자들이 열정적으로 연구할 수 있도록 정부가 더 멀리 내다볼 수 있는 정책을 수립하고, 지원된 재원과 인프라를 적극 활용할 수 있도록 몇 가지 제언을 하고자 한다.

첫째로, **연구에 대한 장기적인 투자가 필요**하다.
신약개발과 같은 연구과제는 단기간 소규모로 지원되는 형태의 과제로는 원하는 목표를 달성하기 어렵다. 짧은 기간에 도출되는 성과에만 집중하지 말고, 긴 안목을 가지고 연구자를 지원해 주어야 한다. 또한, 이와 동시에 매년 실시되는 과제 평가에 대한 방법과 지표, 절차도 함께 조정되어야 한다.

둘째로, **과제의 여러 학제 간의 융복합화**이다.
신약개발 분야는 BT 분야에만 집중 투자하는 것보다 IT 산업과 연계하여 빅데이터를 활용하는 신약개발, 스마트 기기와 접목하여 상시적인 건강을 체크할 수 있는 분야 등 타 연구 분야와의 적극적인 융합 과제의 기획 및 발굴이 절실하다.

셋째로, **단순 지원에만 그치지 않고, 연구과제가 끊임없이 기획되고 창출될 수 있는 클러스터 및 연구 생태계에 대한 기획**이다.
단발성으로 지원되고 사회적 이슈에 따라 일시적으로 지원되는 과제의 경우, 단기적으로 우수한 성과를 낼 수 있지만 장기적인 관점에서 보았을 때는 오히려 이러한 연구들이 실험실에서 도출된 후 자연스럽게 산업계로 이루어질 수 있는 기본 연구 체질을 만들어주는 것이 정부가 해주어야 할 역할이다.

마지막으로, **사후 지원 및 관리에 관한 내용도 충분히 준비**되어야 한다.
마지막 순간까지 중요한 성과 및 연구 인프라를 만들어놓고도 향후 추가적인 관리 방안이 마련되지 않는다면, 구축된 인프라들이 자연스럽게 소실될 가능성이 크다. 도출된 연구 성과의 사장을 막기 위해서는 지적재산권 유지, 성과 관리 및 추가적인 사업화를 위한 정부의 관심과 아낌없는 지원이 필요하다.

의약바이오컨버젼스연구단
연구단장 **김성훈**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 설립부터 지금까지 'The Target Factory'라는 기본 철학을 바탕으로 기초 연구부터 전임상 연구까지를 포괄할 수 있는 플랫폼을 확보하였다. 향후에도 이 플랫폼을 적극 활용하여 다음과 같은 목표를 달성하기 위해 노력할 예정이다.

지속적인 신약개발 타겟 확보를 통한 정제된 신약개발 연구에 활력 부여

연구단은 앞으로도 기초 연구를 지속적으로 실시하여 신약개발에 활용될 수 있는 타겟을 끊임없이 발굴할 예정이다. 이렇게 얻어진 타겟들은 유효물질, 선도물질, 후보물질로 도출한 후 전임상과 임상을 거쳐 대한민국 최초의 신약개발에 기여할 수 있을 것이다.

확보된 타겟을 통한 First-in-Class 신약개발 추진 발판 마련 및 인프라 제공

연구단은 분자 실험에서 동물 실험까지 아우르는 연구 인프라를 확보하고 있다. 이러한 인프라는 ARS 뿐만 아니라 다른 신약 타겟을 활용한 신약개발에도 유용할 것으로 기대한다. 글로벌프런티어 사업 동안 확보된 세계적인 연구 리더십을 기반으로 세계적인 First-in-Class 신약개발을 할 수 있도록 노력할 예정이다.

산학연이 어울릴 수 있는 연구 생태계 클러스터 구축

연구단은 개발된 성과들이 집적되어 실제 산업화로 연계될 수 있도록 클러스터 형태의 연구 생태계 구축을 준비하고 있다. 혁신적인 연구 아이템과 충분한 기간을 확보할 수 있는 벤처기업 및 이를 이해할 수 있는 투자자들 또한 함께하여 산업계로의 실용화 및 창업이 아울러질 수 있는 장을 마련하고자 한다.

나. 앞으로의 계획

연구단이 확보한 유무형의 자산, 연구자간 협력 네트워크와 더불어 연구에서 파생된 다양한 노하우를 토대로 대형 R&D 프로젝트를 넘어, 세계적인 연구거점으로 성장을 기획하고 있다.

첫째로, 연구측면에서는 **정부주도의 타 후속연구, 민간의 연구과제와 적극 연계하여 글로벌프런티어 사업성과에 대해 이어달리기를 추진**할 계획이다.
신약개발의 특성상 발생하는 많은 비용의 문제를 해소하고자, 연구단이 가진 신약 및 진단 파이프라인 연구가 끊이지 않도록 정부부처의 R&D 사업을 적극 수주하고 민간기업과의 협력을 통해 기초연구가 사업화로 이루어질 수 있도록 할 계획이다.

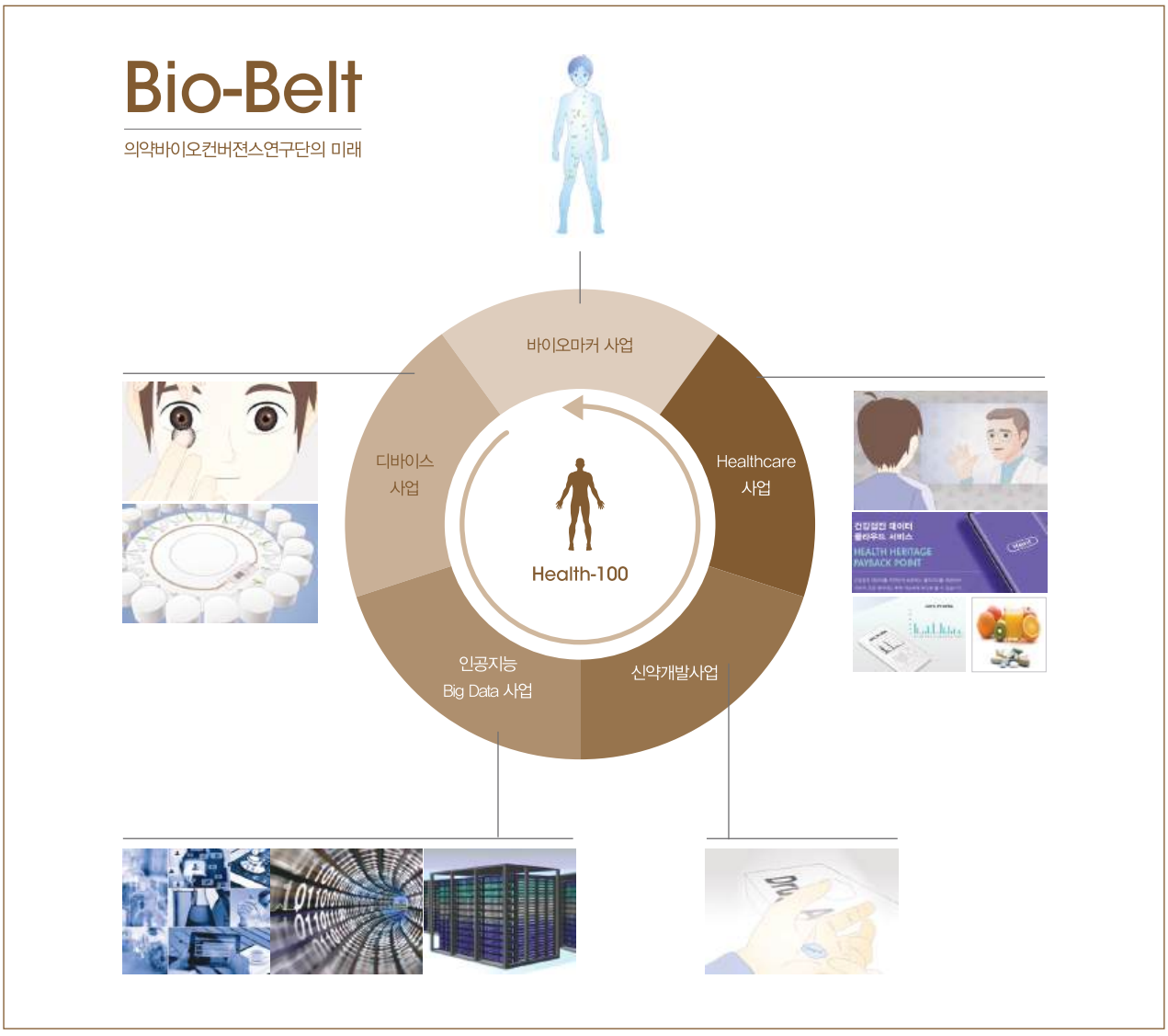
둘째로, **연구단이 개발한 기술 및 결과들을 국민들이 직접 체감할 수 있도록 할 계획**이다.
예를 들어 연구단은 스마트 기기와 연계하여 실시간으로 우리 몸의 변화를 체크하여 건강을 관리하고, 이를 토대로 개개인에게 알맞은 운동방법, 식단 추천을 하는 등 맞춤형 건강관리를 할 수 있는 융합형 헬스케어 사업을 추진할 계획이다. 이 사업에는 기존의 건강 지표와 유전체 연구 결과로 실제 몸에서 발현되는 단백질 분석을 추가하여 우리 몸에서 일어나는 변화를 추적 가능하도록 실시간 통합 추적 시스템을 확보할 예정이다.

셋째로, **국가적인 질병 재난에 대응할 수 있는 즉각적인 대응체계를 마련**하고자 한다.
신종 전염병과 같은 생물학적 재난이 발생하였을 경우, 연구단은 그 간 확보한 경험과 인프라를 활용하여 진단 및 치료제를 개발하는 동시에 사전에 이를 대응할 수 있는 선제적 대응센터를 만들 계획이다.

넷째로, **세계적인 연구기관들과 공동연구 클러스터를 구축하여 연구성과의 세계화를 추진할 계획**이다.
세계 유명 대학과의 공동연구소를 설립하고, 이를 기반으로 글로벌 빅파마의 한국 연구소를 유치하여 국내 고급인력의 일자리를 창출하는 동시에 국내 경제 성장에도 기여할 수 있는 기반을 마련하고자 한다.

다섯째로, **국민들에게 과학의 관심도를 높이는 대국민 활동을 지속하여 사회적으로 기여**하고자 한다.
"국제바이오아트전시회", "중고교 사이언스 캠프" 등의 운영 경험을 되살려 지속적인 대국민 과학 홍보 활동을 실시하여 과학기술의 대중적인 저변을 넓히는 동시에 공적 자금이 투입된 대형 연구소로서의 책무를 성실히 수행할 예정이다.

연구단은 국가의 지원으로 세운 기관으로서 역할을 수행하기 위한 공익적인 사업을 지속적으로 추진하고 활발한 기술사업화, 창업, 그 외 다양한 형태의 산업계와의 협력을 함께 추진하여 민간에도 기여할 수 있는 상생적 연구 시스템을 지속적으로 마련하도록 노력하겠다.



RESEARCH
GROUP

02
실감교류인체감응솔루션연구단

Center of Humancentered Interaction for Coexistence

01 연구단 9년사 101

02 사업목표 106

03 연구성과 112

04 기술사업화 성공스토리 128

05 미래제언 131

대표 연구성과별 파이프라인

2010 — 2011 — 2012 — 2013 — 2014 — 2015

실감 01 (공간 스캐닝)

(2013.07)

IEEE TRANSACTIONS ON MULTIMEDIA

Correspondence Matching of Multi-View Video Sequences Using Mutual Information Based Similarity Measure

실감 02 (모션 캡처)

실감 03 (아바타 모델링)

(2012.08) 영상 깊이정보 취득 외 특허 2건

(2013.06) 3D 모델 텍스쳐 생성 특허 1건

(2015.07) 휴먼 아바타 생성 기술이전 1건

실감 04 (원격 협업)

실감 05 (동작예측)

(2013.06) 근전도 센서 특허 1건

(2015.09) ㈜로그온유 창업

실감 06 (HMD)

(2014.04) 시선추적 장치 외 특허 2건

(2015.10) 복합 렌즈 특허 1건

실감 07 (착용형 AR)

(2013.06) 손 외골격 구조 특허 1건

(2014.05) 손가락 움직임 측정 특허 1건

실감교류인체감응솔루션연구단

2016 — 2017 — 2018 — 2019 — ~ 2023

(2016.11)
3차원 지도 작성 외
특허 2건

(2017.03)
TEE LABS

(2018)
투자유치(31억 원)

(2016.06)
모션 캡쳐 장치
특허 1건

(2018.09)
3D 모션 캡쳐링
기술이전 1건

(2019.05)
국무총리 표창

(2018.09)
휴먼 아바타 생성
기술이전 1건

(2019.08)
Simple method for generating evaluation data for scene flow algorithms

(2016.06)
다중 사용자간 데이터 처리
특허 1건

(2017.04)
㈜인투엔엑스
창업

(2019.05)
Siggraph 2019 Emerging Technology
'Featured Technology'

(2016)
국가연구개발 우수
연구성과 100선

(2018.11)
IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS
KULEX-Hand: An Underactuated Wearable Hand for Grasping Power Assistance

(2016.10)
VIRNECT

(2019.07)
Visuomotor adaptation to excessive visual displacement in video see-through HMDs

(2023.07)
KOSDAQ
상장

(2017.04)
Mechatronics
The Science of Intelligent Machines
Design and Control of a Wearable and Force-controllable Hand Exoskeleton System

(2019.07)
A portable and spring-guided hand exoskeleton for exercising flexion/extension of the fingers

한눈으로 보는 실감교류인체감응솔루션연구단의 9년

사용자들이 현실-가상-원격 공간 구분없이 정보, 4D+ 감각, 감성, 의도, 경험 등을 실시간 소통 및 공유하고, 상호 인터랙션 및 협력(협업) 할 수 있는 인체감응솔루션 개발

Group 연구를 통한 세계 최초/최고 Ground Breaking 원천기술 개발 ▶ 글로벌 선도성 확보를 위한 Global R&D ▶ Growth & Sustainability를 위한 기술사업화와 세계 최초 시범운영 서비스

인체감응 확장 공간 플랫폼

다수 원격 사용자들이 정보, 감각 및 감성을 상호 소통 공유하여 공존감을 느끼면서 함께 인터랙션, 협업할 수 있는 '실감교류 확장공간' 구축을 위한 소프트웨어 프레임워크

핵심1	핵심2	핵심3
실감교류 확장공간 생성, 상호 인터랙션 및 협업 기술 개발	양방향 4D+ 감각 표현을 위한 착용형 휴먼 인터페이스 개발	비침습 바이오닉 인터페이스 기반 촉감 표현 기술 개발

플랫폼

3D TV



M4K



HMD



Video See-thru HMD



Group(융합) 연구를 통한 세계 최초/최고 Ground Breaking 원천기술 개발

Growth & Sustainability

세계 최초 시범운영 서비스
- 공존현실 기반 4D+ SNS 시범 서비스

기술사업화
- 기술이전 및 창업

글로벌 연구거점 구축
- 국제표준화
- 글로벌 창업
- 인프라 구축
- 연구 기반 활용 및 네트워크 구축

Global R&D

1핵심과제	2핵심과제	3핵심과제	4핵심과제
원격 사용자 간의 실시간 소통, 공유 및 협력을 통해 시공간적 한계를 극복하는 **실감교류 확장공간 생성-표현, 이를 통한 상호 인터랙션 및 협업 기술 개발**	인공물(원격존재, 착용형 인체 보조 및 증강 장치, 4D+ Haptic Device 등)을 통한 원격 사용자 간 양방향 4D+ 감각 소통 **인체감응솔루션 개발**	인간-인공물, 인간-가상세계 간의 감성적 교감과 소통을 지원하는 **비침습 바이오닉 인터페이스 기반 촉감 및 감성 생성, 인터랙션 기술 개발**	사용자, 실감교류 휴먼 인터페이스, 실감 원격존재, 4D+ 확장공간, 소셜 미디어 등이 유기적으로 결합되어 상호 소통할 수 있는 **소프트웨어 프레임워크 기술 개발**

정량적 연구성과

논문건수			특허					
			출원			등록		
SCI	비SCI	합계	국내	국외	계	국내	국외	계
228	124	352	372	172	544	274	71	345

학위배출				국제협력		기술사업화		
						기술이전		창업
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	건수	기술료(백만원)	
37	76	7	120	18	145	26	3,595	6

01 연구단 9년사

1. 설립배경

실감교류인체감응솔루션연구단은 현실과 가상의 통합을 위한 인체감응 솔루션 기술 개발 사업의 성공적 수행 및 개발기술의 사업화 촉진을 통하여 국가 경쟁력 제고에 기여하기 위해 설립되었다.
특히 정보통신기술의 비약적 발전과 함께 현실과 가상 사이의 경계가 허물어지고, 지식·정보화 사회가 아닌 지능·실감화 사회로 발전할 것이라는 미래 전망에 따라 연구단의 설립 및 연구 수행을 통해 해당 분야 기초 원천 기술 확보에 기여할 수 있을 것으로 내다봤다. 이에 연구단은 사용자들이 현실-가상-원격 공간 구분없이 실시간으로 소통하고 공유할 수 있는 기술 개발을 최종 목표로 연구를 수행하였다.



가. 기술적 측면

인터넷과 스마트폰이 대중화되고, 소셜 미디어를 통해 다수의 사람들이 실시간으로 정보를 공유할 수 있는 정보화 사회에서 정보통신기술의 비약적 발전에 따라 정보통신기술과 소프트웨어 기술이 다양한 기술 분야와 융·복합되어 혁신적인 기술이 창조되었다. 2000년대 미래학자들은 2020년쯤부터 NBIC(나노, 바이오, 정보통신 및 인지과학 기술) 융합에 의해 현실과 가상의 경계가 허물어질 것을 예측했으며, 지식·정보화 사회에서 지능·실감화 사회로 발전하는 트렌드에 따라 사용자가 가상세계를 마치 현실인 것처럼 느끼고 원격 아바타 혹은 바이오닉 장치를 통해 자신인 것처럼 경험할 수 있을 것으로 전망하였다.
원격지에 사용자가 전달하는 동작과 정보를 전달하고, 원격지의 분위기와 실감 정보를 실시간으로 사용자에게 전달하는 양방향 실감교류 기술과 인간 중심의 설계를 통한 조화로운 인체 상생형, 친밀형 바이오닉 장치 기술의 개발이 필수적이었다.
연구단은 이와 같이 현실과 가상이 융합된 미래사회를 대비할 수 있는 Breakthrough 원천기술을 확보하기 위해 설립되었으며 가상공간과 원격공간을 마치 현실처럼 느끼고 경험할 수 있게 해주는 인체감응 실감 기술을 개발하고 이를 통해 시공간의 한계를 넘어 사람과 정보가 실시간 소통할 수 있는 새로운 가치공간 실현을 위한 기술을 연구하였다.

나. 경제적·산업적 측면

2000년대 세계 각국은 금융위기로부터 촉발된 경제 위기 극복을 위해 다양한 경기 부양책을 추진하였으며, 우리나라는 경제위기 극복 및 이후의 지속적인 성장을 위한 녹색성장을 추구하며 기초 잠재력을 확충하고자 하였다. 시장조사기업 Gartner는 IT 기술이 휴먼-컴퓨터 인터랙션 기술(Virtual Personal Assistants, Human Augmentation, Brain-Computer Interface, Smart Robots 등)이 향후 디지털 비즈니스에서 주류 기술이 될 것으로 예상한 바 있으며, NBIC 융·복합 기술이 미래 유망 산업군으로 등장할 것으로 전망되었다.
연구단은 인간과 기기, 가상세계가 연결되는 융합과학기술, 미래 신기술 개발을 통해 신산업을 일으키는 한편, 해당 기술이 산업·복지·교육·오피스·가정·엔터테인먼트 등 전방위적으로 활용되면서 새로운 서비스 수요를 창출할 수 있는 원천기술의 개발과 이의 실현을 가속화하고자 하였다.

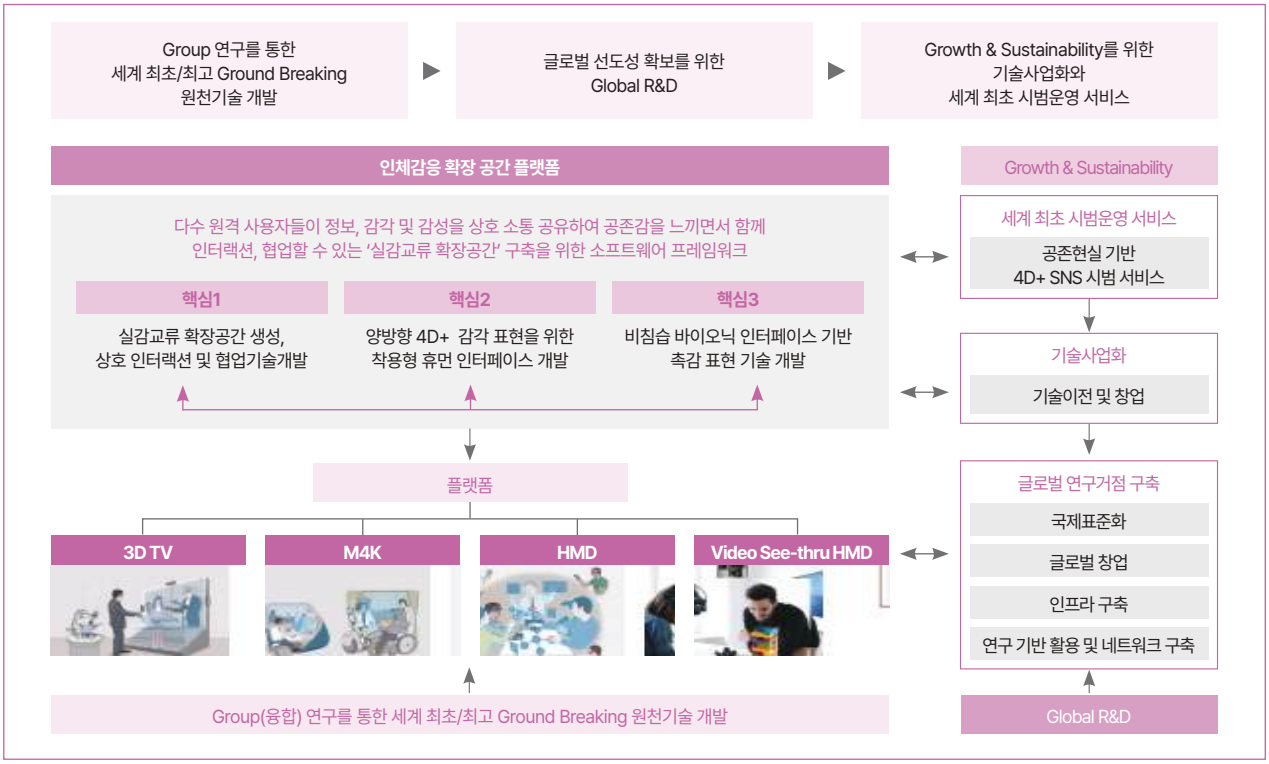
다. 사회적 측면

PC(컴퓨터) 및 인터넷으로 대표되는 정보통신기술의 비약적 발달에 따라 전 세계는 정보화 사회로부터 지능화 사회로 발전할 것으로 전망되었으며, 특히 자율적 학습, 작업, 상호 교류 기능을 갖춘 기기와 가상사회가 출현할 것으로 예측되었다. 가상사회는 사용자에게 보다 편안한 서비스를 제공하기 위하여 인간의 지능을 모방하여 사용자의 정보를 학습하고 이를 활용하여 필요한 기능과 서비스를 사용자에게 제공할 것으로 예상되었다. 이러한 지능과 실감기술이 기반이 되는 미래사회로 발전하는 메가트렌드를 따라 연구단은 미래사회에 대비하기 위한 인간과 가상사회가 현실에 공존하는 '실감교류 확장공간'이라는 패러다임을 제시하고 이를 실현할 수 있는 원천기술을 개발하고자 하였다. 가상 현실 기술 개발을 통해 새로운 가치공간의 실현이 가능해지고, 로봇기술 등 다양한 융·복합 기술 확보를 통한 효율적인 경제활동과 생활 편의성이 증진되어 국민의 삶의 질을 향상시킬 수 있을 것으로 기대되었다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

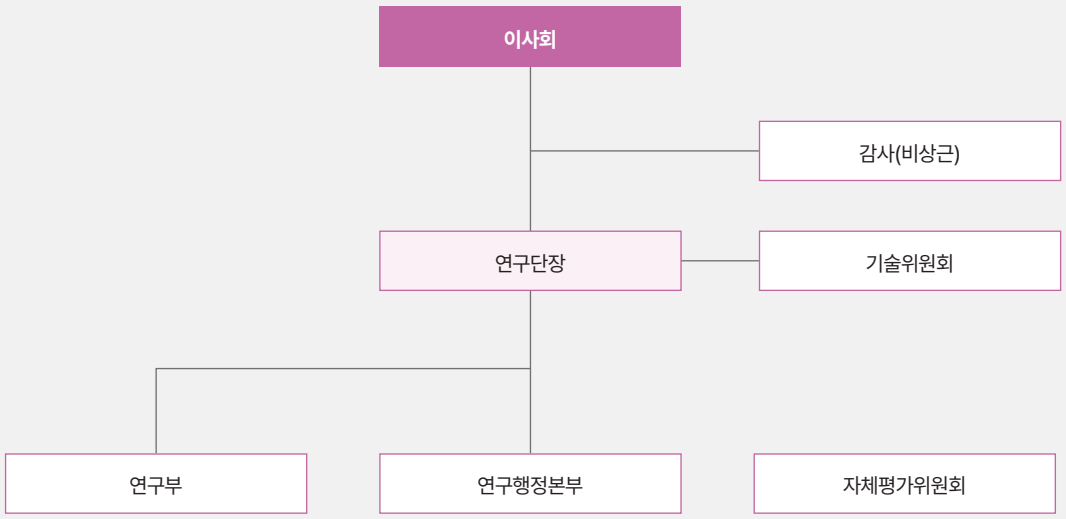
연구단은 세계최고 수준의 연구 개발 및 목표 달성을 위해, 글로벌프런티어사업 4G 철학을 기반으로 (1) Group 연구를 통한 세계 최초/최고 Ground Breaking 원천기술 개발, (2) 글로벌 선도성 확보를 위한 Global R&D, (3) Growth & Sustainability를 위한 기술사업화와 세계 최초 시범운영 서비스 등을 추진하였으며, 국내외 정책·시장(산업) 기술 동향 분석 및 전문가 의견 수렴을 통해 기술트리를 설정하고, 연구과제 및 단계별/연차별 연구목표를 설정하여 연구를 수행하였다.



기술트리는 기술개발 관련 중요 의사 결정, 기술개발 계획 수립 및 전략적 중장기 목표설정, 핵심기술 파악, 연구비 투자 등을 위한 '선택과 집중', 기술 경쟁력 강화 전략 등에 기초하여 수립되었으며, 수립된 기술트리에 따라 핵심과제와 세부과제를 구성하여 연구를 수행하였다.

나. 사업수행체계

연구단은 2010년 8월 글로벌프런티어사업으로 선정되었으며, 아래와 같은 연구 수행 체계를 통해 구성하여 연구단의 연구 기획 및 과제·성과를 체계적으로 관리하고자 하였다.



이사회	「공익법인의 설립·운영에 관한 법률」에 따라 이사회 구성
기술위원회	신규과제 기획/기술사업화 관련 중요사항 심의
자체평가위원회	산·학·연 국내 최고 전문가로 자체평가 위원 구성
연구부	박사 및 석사급 연구원
연구행정본부	연구단 운영과 행정지원

3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

연구비는 과학기술정보통신부가 지원하였고, 총 연구비 약 893.56억원으로 이중 정부 연구비는 878.53억원이 지원되었다.

(단위: 백만 원)

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2010	5,000	45	255	5,300
2011	10,000	300	-	10,300
2012	10,000	-	-	10,000
2013	10,000	-	-	10,000
2014	10,000	-	-	10,000
2015	10,372	23	210	10,605
2016	9,584	23	210	9,817
2017	9,451	25	225	9,701
2018	7,919	-	-	7,919
2019	5,527	19	168	5,714
합계	**87,853**	**435**	**1,068**	**89,356**

나. 참여기관 현황

1단계 31개, 2단계 28개, 3단계 33개 기관이 연구에 참여하였으며, 참여기관은 주로 학계의 참여가 높았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	2	6	2	10
	위탁	2	18	1	21
	합계	**4**	**24**	**3**	**31**
2단계	세부	1	10	2	13
	위탁	1	14	-	15
	합계	**2**	**24**	**2**	**28**
3단계	세부	2	7	1	10
	위탁	10	13	-	23
	합계	**12**	**20**	**1**	**33**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 3,212명이었으며, 해마다 약 320여 명의 연구인력이 참여하였고, 산학연별로는 학계의 참여도가 가장 높았다.

[산학연 구분]

단계	1단계		2단계			3단계					합계
연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
산	44	35	26	26	32	94	114	115	79	67	632
학	102	153	203	202	232	204	195	209	174	151	1,825
연	63	103	85	64	61	83	86	80	69	61	755
계	**209**	**291**	**314**	**292**	**325**	**381**	**395**	**404**	**322**	**279**	**3,212**

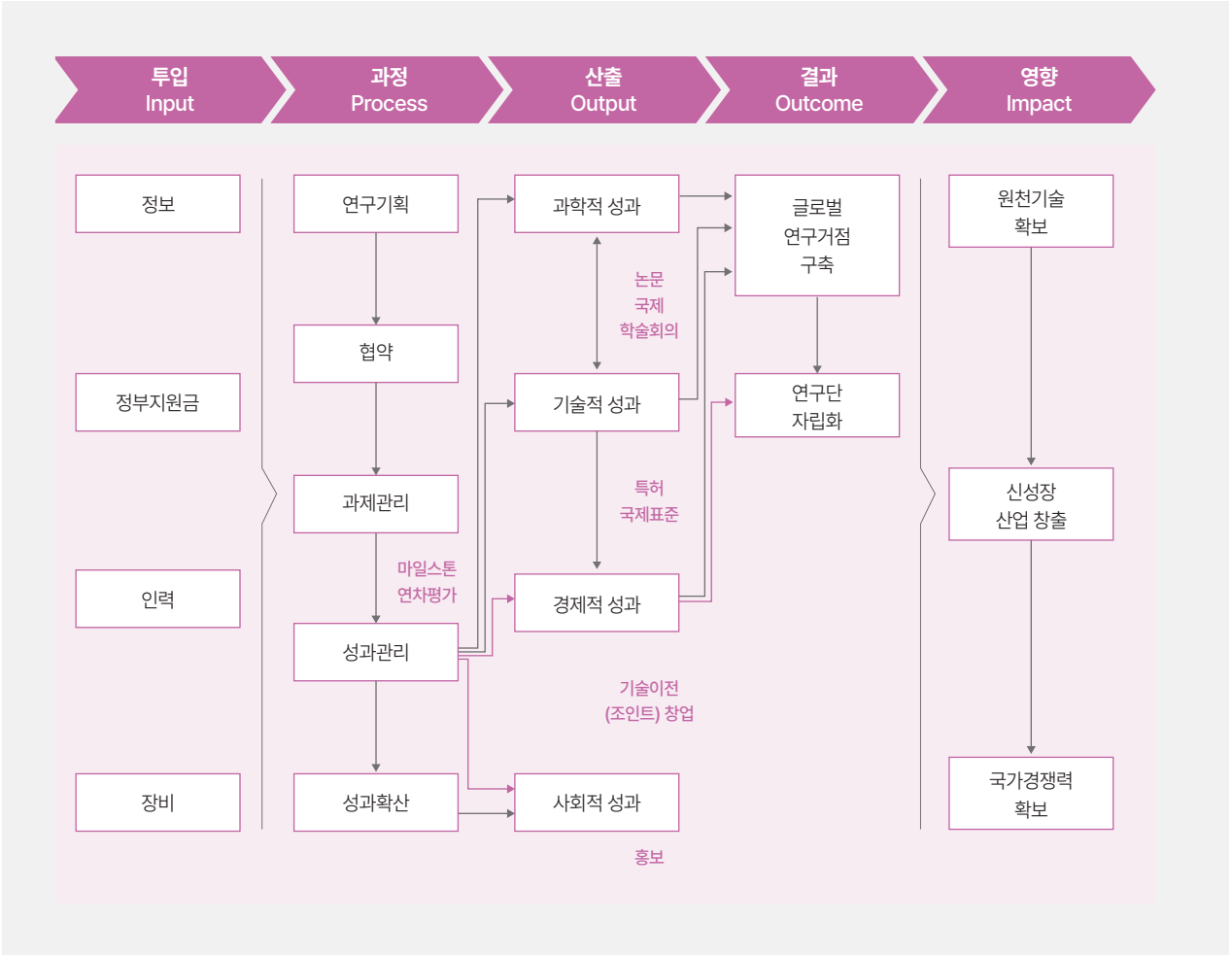
[학위별 구분]

단계	1단계		2단계			3단계					합계
연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
박사	64	83	109	99	96	108	106	102	82	73	922
석사	86	120	106	99	114	121	123	111	114	99	1,093
학사	55	76	80	80	89	134	145	155	102	97	1,013
기타	4	12	19	14	26	18	21	36	24	10	184
계	**209**	**291**	**314**	**292**	**325**	**381**	**395**	**404**	**322**	**279**	**3,212**

4. 사업 및 성과 관리

가. 연구기획

실감교류인체감응솔루션연구단은 아래의 연구개발 논리 모델 기반 관리체계를 통해 최종 목표 달성을 위한 선순환 R&D 생태시스템을 구축하고, 국내외 정책/시장/기술동향 조사 분석과 단계별 기술 로드맵 및 기술사업화로드맵 수립·보완, XR(AR, VR, MR) 기술 및 사업화 분야 전문가 기술위원회, 연구단 연구책임자의 회의를 통한 의견을 수렴하여 연구를 수행하였다.



나. 연구과제 평가

전체 연구기간 동안 지속적인 연구관리와 함께 연차/단계별 연구과제 평가를 통해 연구목표 달성 여부와 향후 계획을 점검하고, 각 연구책임자 의견 및 이사회 심의를 거쳐 과제 조정과 예산 배분을 추진하였다. 한국연구재단과 총괄협약 체결 후, 연구계획에 따라 세부과제별 협약을 체결하였으며, 연구단 총괄워크숍 및 연구책임자 간담회 및 회의를 통하여 효율적으로 연구 과제를 관리하였다.

또한 세부과제별 연구성과 통합을 위한 '시스템 통합위원회'와 연구성과의 국제표준화를 위한 '표준화 위원회'를 운영하고, 연구단 및 세부과제의 연구실적 평가 및 연구 계획 점검을 위한 연차별/단계별 연구과제 평가를 수행하였다.

다. 성과관리 및 활용

연구단은 전체 연구성과의 조사·분석, 국내외 워크숍·포럼·특강 개최, 연구단 소식지 및 웹진 발간, 우수 연구성과 홍보 등을 통해 연구성과의 활용을 촉진하고자 하였다. 또한 핵심과제를 연계하여 혁신형 원천기술-인체감응 확장공간 플랫폼 기술을 개발하였으며, 개발한 원천기술의 융합 및 응용을 위한 공존현실 운영 시험서비스를 구축하고 검증하는 연구를 추진하였다. 나아가 공존현실 플랫폼 기술을 개발하고 국제 경쟁력 확보를 위한 국제 표준을 추진하였다.

02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

가. 최종 목표

실감교류인체감응솔루션연구단은 현실과 가상, 원격 공간이 구분 없이 일체화되어 네트워크로 연결된 다수의 원격 사용자들이 동일 공간에 존재하는 공존감을 느끼면서 정보, 4D+ 감각 및 감성을 공유, 소통하면서 인터랙션 및 협업할 수 있는 '실감교류 인체감응 확장공간(Coexistent Space)'을 실현하기 위한 원천 기술 및 실용화 기술을 개발하고자 하였다.

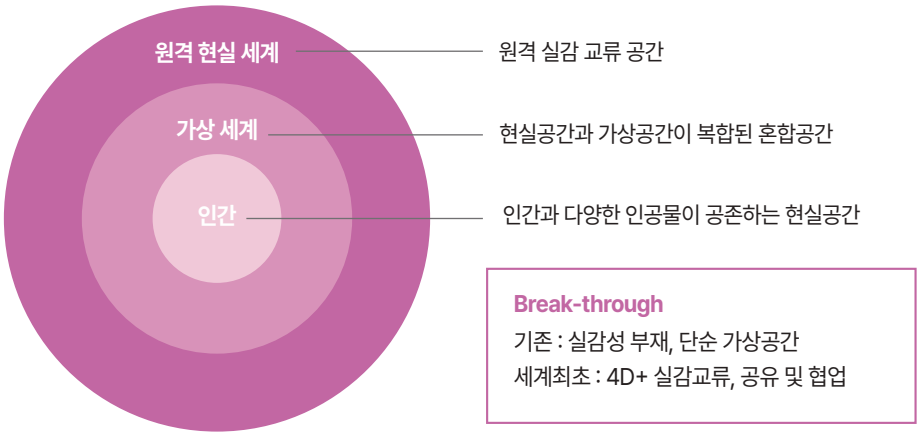
나. 단계별 목표

연구단은 전체 사업 기간 동안 원격의 사용자들이 4D+ 감각, 감성, 의도, 경험 등을 실시간으로 소통하고 공유하면서 시공간을 초월하여 서로 함께 있다는 공존감을 느낄 수 있는 현실-가상-원격공간이 하나로 통합된 혼합 공간 구현 기술 개발을 목표로, 1단계에서는 실감교류 인체 감응 솔루션 구현이 가능한 핵심 원천기술을 개발하고, 2단계에서는 인간과 객체, 인간과 가상공간 간의 4D+ 실감교류 인체감응 솔루션 개발을 목표로 기술 개발 중점의 연구개발을 수행하였으며, 3단계에서는 사업화에 중점을 두고, 가상세계와 원격세계를 현실처럼 느낄 수 있는 인체감응 실감교류 확장공간을 실현하고 개발 기술 고도화를 목표로 연구를 수행하였다.

비전과 목표

사용자들이 현실-가상-원격 공간 구분없이 정보, 4D+감각, 감성, 의도, 경험 등을
실시간 소통 및 공유하고, 상호 인터랙션 및 협력(협업)할 수 있는 인체감응솔루션 개발

시공간 한계를 극복한 새로운 가치공간



Break-through
기존 : 실감성 부재, 단순 가상공간
세계최초 : 4D+ 실감교류, 공유 및 협업

단계별 연구목표

제1단계	제2단계	제3단계
실감교류 인체감응솔루션 핵심 원천기술 개발	인간-인공물 인간-가상 사회 간 4D+ 실감교류 인체감응솔루션 개발	현실-가상-원격 공간 구분없이 소통, 협업하는 인체감응실감교류 확장공간 및 실용화 기술 개발

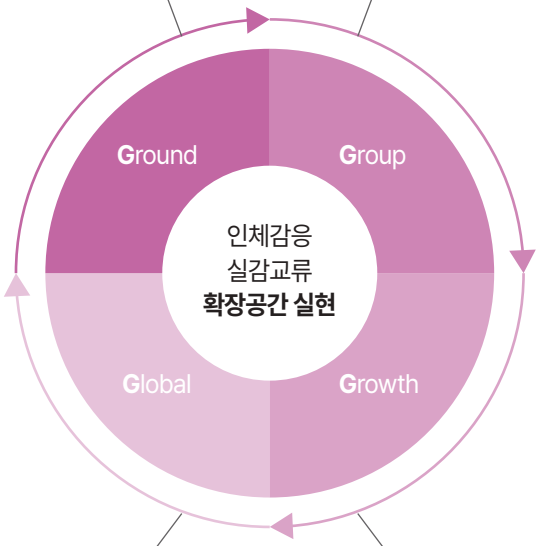
4G 관리지표 추진전략

Ground Breaking R&D

다학제간 융합연구
혁신적 연구과제 선점 및 지원
자유과제 공모를 통한 참여 기회 확대
기술위원회 운영
기술전문가 멘토링 시스템 운영

Group Approach

핵심과제 연계 회의 활성화
세부과제별 원천 S/W 공유(CRSeed.org)
공통 논문/특허 성과 강화
참여연구진 대상 정기 포럼 개최



Global R&D

국내외 석학으로 구성된 연구자문단 운영
세계적 수준의 연구기관과 협력 연구
국내외 최신 기술동향 제공(웹진)

Growth & Sustainability

특허-논문/기술 시장 분석
기술마케팅/실용화 준비
보유 기술 DB 구축(기술소개서 등)
산업체 네트워크 구축
사업화 자문위원회 운영

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

실감교류인체감응솔루션연구단은 기존의 가상현실(VR, Virtual Reality), 증강현실(AR, Augmented Reality)와 다른 공존 현실(CR, Coexistent Reality)에 관한 연구를 수행하였다. 공존현실은 4D+감각과 감성을 동시에 구현하여 공존감을 형성할 수 있고, 다양한 분야의 미래형 기술들이 집약되어 창조되는 융·복합적 기술영역으로, 연구단은 이를 구현하기 위한 체계적인 연구를 수행하였다.

공존현실이란?

네트워크로 연결된 원격의 사용자들이 상호 소통, 공유, 협업하면서 공존감을 느낄 수 있는 현실-가상-원격 세계가 구분없이 연결된 일체화된 현실(Reality)



현실공간 원격공간 실감교류 인체감응 확장공간

나. 핵심과제별 연구분야 및 내용

(1) 실감교류, 확장공간 생성, 상호 인터랙션 및 협업 기술 개발

원격 사용자 간의 실시간 소통, 공유 및 협력을 통해 시공간적 한계를 극복하는 실감교류 확장공간을 생성하고 표현하며, 이를 통한 상호 인터랙션 협업이 가능한 기술을 개발하였다.

실감 아바타(객체) 모델링



· 실시간 휴먼 아바타 생성 기술
· 실감 속성 모델링 기술
· 실시간 삼차원 실감표현 기술

+

3D 환경 모델링



· 실시간 환경 모델링 기술

미러월드(가상환경) 구축





해당 기술 개발을 위해 아래 5개의 세부 기술 분야를 구성하여 연구를 수행하였다.

· 4D+ 휴먼 아바타(객체) 모델링 기술 개발
· 실내공간에서 이동하는 센서시스템에서 취득된 연속적 데이터를 활용, 자유시점에서 관찰이 가능한 실감 3차원 RGB-D SLAM 기술 개발
· 여러 원격 사용자가 단순-복잡 가상물체를 한 손 또는 양손으로 직관적이고 자연스럽게 조작하기 위한 손 기반 조작 인터페이스 기술 개발
· 원격 사용자 간 인터랙션을 위한 창발적 아바타 동작의 실시간 생성 기술 개발
· 카메라 기반 사회감성 인식 및 표현 기술 개발

(2) 4D+ 감각 표현 착용형 휴먼 인터페이스 및 인터랙션 기술

원격존재, 착용형 인체보조 및 증강 장치, 4D+ Haptic Device 등의 인공물을 통한 원격 사용자 간 양방향 4D+ 감각의 소통이 가능한 인체감응솔루션 기술을 개발하였다.

3D 시각 휴먼 인터페이스



VST-HMD

+

3D 음향 휴먼 인터페이스



입체 음향 실시간 생성

촉감-역감 생성 휴먼 인터페이스



팔(손목) 역감 생성
휴먼 인터페이스



손 역감 생성
휴먼 인터페이스



반지형 촉감
디스플레이

실감 피드백을 느끼면서 인터랙션을 하는 사용자



촉감-역감 생성 휴먼 인터페이스



전신 모션캡처 장치

원격 사용자 간 물리 인터랙션 및 협업



근전도 기반
사용자
운동의도 인식

사용자 명령에 따라 움직이는 아바타



해당 기술 과제의 성공적인 목표 달성을 위해 아래와 같이 세부 과제를 구성하여 연구를 수행하였다.

· 소형/경량 고해상도 광각 Video See-thru(VST) HMD 개발
· 손가락의 파지 역감 생성을 위한 착용형 휴먼 인터페이스 및 역감 표현 기술 개발
· Training-free 동작 의도 예측 및 햅틱 디스플레이 기술 개발
· 두 명 이상의 원격사용자들이 시각과 양팔-손끝의 운동성과 역감을 사용하여, 함께 물리적으로 조작하고 상호작용하며, 이를 통한 협업 기술 개발
· 원격 사용자 간 동적 상호작용을 위한 입체음향 실시간 모델링 및 렌더링 기술 개발
· 인체 전신운동을 실시간 측정할 수 있는 착용형 휴먼 인터페이스 개발

(3) 공존현실 지원 실감교류, 확장공간 플랫폼 기술

사용자, 실감교류 휴먼 인터페이스, 실감 원격존재, 4D+ 확장공간 소셜 미디어 등이 유기적으로 결합되어 상호 소통할 수 있는 소프트웨어 프레임워크 기술과 공존현실을 기반으로 한 다양한 정보와 실감을 공유하고 소통할 수 있는 확장공간 플랫폼 기술을 개발하여 시범서비스를 실시하였다.

공존감 지원 실감교류 확장공간을 위한 소프트웨어 프레임워크 개발

· Video See-thru HMD 기반 공간 정합 및 혼합 랜더링, 다중 사이트 및 이중 미디어 간 동기화 네트워크, 멀티 모달 피드백 지원, 공간 인터랙션 및 가상 조작, 원격 인터랙션 및 협업 지원 소프트웨어 프레임워크 개발
· 공간 정합 및 현실-가상 혼합 렌더링(Video See-thru HMD 기반 10화소 이내 정합)
· 다중 사이트 및 이종 미디어 간 동기화 네트워크 (4 사이트 이상 동기화 Latency 200 msec 이내)
· 물리 엔진 기반 멀티 모달 피드백 지원 공간 인터랙션 (60Hz 이상)
· 원격 인터랙션 및 협업 지원 프레임워크(4인 이상)
· 세부기술별 CRSF 통합

비침습 뇌신경 자극을 위한 정밀 포지셔닝 시스템 개발

· MRI 영상 기반 뉴로 네비게이션이 결합된 비침습 뇌신경 자극을 위한 정밀 포지셔닝 시스템 개발
· 인체/영장류 임상실험을 통한 뇌신경 자극 시스템의 유효성 검증
· 비침습 뇌신경 자극시스템을 적용한 실감교류시스템 통합, 구축

실감교류 확장공간 소프트웨어 프레임워크

공존 현실 소프트웨어 프레임워크(CRSF)

'소통+정보공유+공간 정합+ 협업' 소프트웨어 프레임워크

물리 엔진 기반 공간(햅틱) 인터랙션

'이종 데이터/다중 사이트'간 동기화 네트워크

현실과 가상 공간 통합 + 원격 인터랙션 & 협업

공존현실 시범운영 서비스 기술



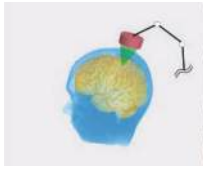
공존현실 서비스 플랫폼

실감교류 확장공간 소프트웨어 프레임워크





정밀 비침습 뇌신경 자극 시스템





공존현실 기반 서비스 플랫폼 개발 및 시범서비스

· 공존현실 소프트웨어 프레임워크 기반 서비스 플랫폼 개발
· 공존현실 기반 미래직업 체험 시범서비스 개발
· 공존현실 기반 4D+ SNS 시범서비스 개발

해당 기술 과제의 성공적인 목표 달성을 위해 아래와 같이 세부 과제를 구성하여 연구를 수행하였다.

· 공존감 지원 실감교류 확장공간을 위한 소프트웨어 프레임워크 개발
· 공존현실 기반 서비스 플랫폼 개발 및 시범서비스
· 비침습 뇌신경 자극을 위한 정밀 포지셔닝 시스템 개발

03 연구성과

1. 총론

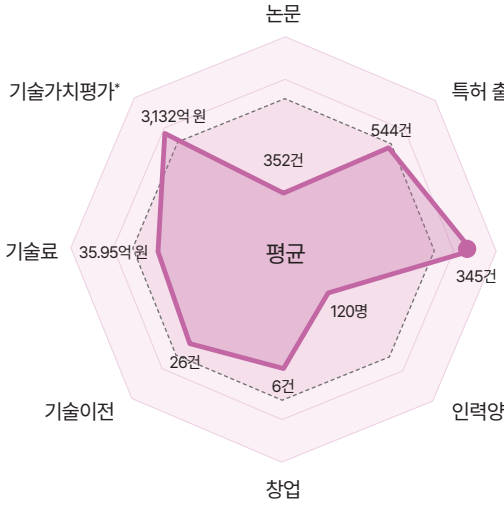
메타버스, 디지털트윈, 인공지능 기술의 발달로 현실과 가상의 경계가 점점 모호해지는 가운데 실감교류인체감응솔루션연구단은 나노·바이오·정보·인지기술의 융합 연구를 통해 글로벌 기술흐름을 앞서가는 성과들을 내놨다.

연구단은 인간과 인공물·가상세계간의 실시간 소통을 가능케 하는 인체감응솔루션을 개발, 시공간 한계가 사라진 실감교류 확장공간을 실현하는 것을 목표로 출범했다. 세계 최초로 3차원 실제 공간을 3D 공간으로 자동 생성하는 모델링 기술을 개발해 기술이전 5건, 기술투자 31억 원을 유치하는 등 성과를 냈다. 공존현실에 기반한 4D+SNS 시범 서비스를 세계 최초로 선보이기도 했다. 코로나19 팬데믹 상황에 비대면 기술의 중요성이 커지면서 관련 기술의 중요성이 더 부각됐다.

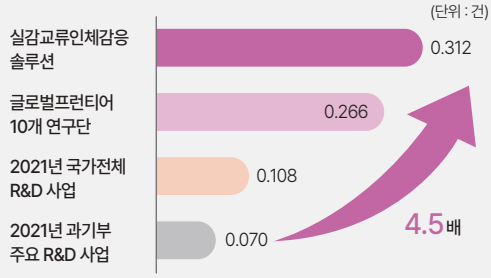
연구단은 총 352편의 논문을 발표했고 그중 228편이 SCI 논문이었다. 544건의 국내외 특허를 출원하고 345건을 등록했으며, 총 120명의 학위인력을 배출했다. 연구단이 개발한 기술과 특허를 평가한 결과 총 3,132억 3,400만 원의 기술가치를 가진 것으로 평가됐다. 개발된 기술은 총 26건의 기술이전으로 이어졌고, 총 기술이전료는 35억 9,500만 원에 달했다. 총 6건의 창업이 이뤄져 41억 3,700만 원의 매출액과 121억 원의 투자유치 성과를 거뒀다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 7건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 국내 특허등록 성과

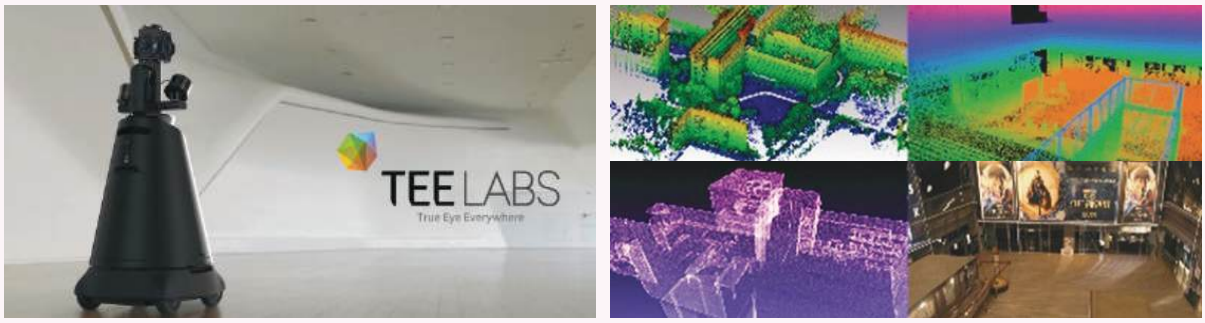


- 실감교류인체감응솔루션 연구단의 성과 중, 가장 두드러지는 특성은 특허등록과 우수기술 가치평가액으로 분석
- 우수기술 가치평가액은 글로벌프런티어 10개 연구단 평균인 2,864억 원보다 약 268억 원 높은 수준
- 특히, 연구단의 연구비 1억 원당 국내 특허등록 건수는 0.13건으로 이는 2021년 국가전체 R&D 사업 대비 2.9배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 4.5배로 분석

2. 대표 연구성과

실감 01

실내환경 실감 3D 모델링 및 환경지도 작성 기술 (고려대학교 도락주)



[3차원 공간 스캔 장비 및 스캔 이미지]

- 3차원 실제 공간을 그대로 스캔하여 가상공간에서 동일하게 보고 느낄 수 있는 3D 모델을 자동으로 생성하는 기술을 세계 최초 개발
- 기하학적인 구조, 텍스쳐를 포함한 높은 퀄리티의 실내 지도 자동 생성이 가능하고, 배낭형 센서를 통해 걸어 다니면서 공간을 스캔하고 스캔한 모델링 결과의 개선이 가능
- 2018 국가연구개발 우수 연구성과 100선 "기술이전/사업화/창업 우수기관 부문" 선정
- 이후, 연구단은 Teelabs를 창업(2017.03)하였고, Series A 유치(회사 가치 100억 원에 10억 원 투자유치, 2018.01.04) 등을 통해 총 31억 원의 투자유치에 성공함

논문

· Correspondence Matching of Multi-View Video Sequences Using Mutual Information Based Similarity Measure(IEEE TRANSACTIONSON MULTIMEDIA, 2013)

· Accurate Continuous Sweeping Framework in Indoor Spaces With Backpack Sensor System for Applications to 3-D Mapping(IEEEROBOTICS AND AUTOMATION LETTERS, 2016)

특허

· 3차원 지도 작성을 위한 데이터 수집 장치(KR 10-2016-0150467, B등급)

· 3차원 공간에서의 위치 추정에 이용되는 회전이동값 추정 방법 및 장치(KR 10-2016-0100689, BBB등급)

TEE LABS

창업일 : 2017.03

대표자 : 도락주, 황병구

주요 아이템 : 3D모델, 실내지도 및 VR/AR 모델링

- 3D 공간지도 생성이라는 원천기술을 바탕으로 미주 지사설립(2017.07), Google LA 기술 세미나(2017.07) 등 참가를 통해 글로벌 진출을 위한 노력 중
- 2018년 Series A 유치(회사 가치 100억 원에 10억 원 투자유치를 진행하였으며 및 미국 CES Debut(2018.01) 및 CES 2019년 출품 등을 통해 글로벌 기업으로의 도약을 준비하고 있음

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	5억 2천만 원	㈜티랩스 창업 (투자유치 31억 원)

실감 02

전신 동작 캡처링을 위한 착용형 휴먼 인터페이스 기술 (KIST 김진석)



착용형 휴먼 인터페이스 장치

[시스템 모식도]

- FBG 광섬유를 이용하여 인체 모션을 실시간으로 측정할 수 있는 센서를 개발
- 해당 센서는 사물과 다른 사용자와 자연스럽게 상호작용할 수 있도록 최적화된 구조로 개발하였으며, 이는 세계 최초 수준
- 함께 개발된 아바타 연동 프로그램 등을 통해 사용자의 실제 움직임을 가상 현실 속 아바타가 정확하게 재현할 수 있으며, 가상현실에 대한 몰입감을 향상시킬 수 있음
- 해당 기술은 2019년 발명의날 국무총리 표창장 수상(2019.05)
- 이후, 국내 중소기업(㈜모인)에 기술이전을 완료(2018)

논문

· Ultra-high curvature sensors for multi-bend structures using fiber Bragg gratings(Optics Express, 2019)
· Towards finger motion capture system using FBG sensors(IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, 2018)

특허

· FBG 센서를 이용한 모션 캡쳐 장치(KR 10- 2016-0071010, BB등급)
· 브릴루앙 산란을 이용한 형상 센싱 장치, 방법 및 시스템(KR 10-2018-0081178, B등급)
· FBG 기반 비틀림 센서 장치(10-2018-0081178, B등급)

상·하체 관절 각도 측정 범위	0~360o
손 관절 각도 측정 오차	± 1.7o 이하
상체 관절 각도 측정 오차	± 2.4o 이하
하체 관절 각도 측정 오차	± 1.2o 이하

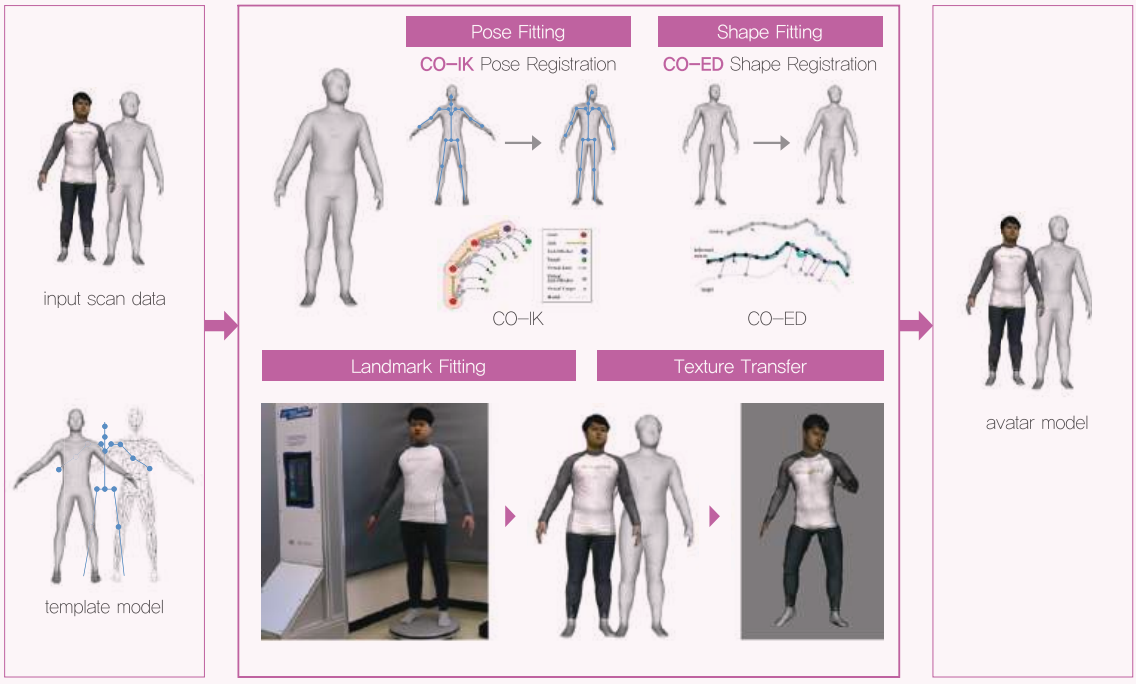
광계측 시스템

채널 수	주파수	속도
64 채널	2,560 nm	100 Hz

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	3억원	-

실감 03

애니메이션이 가능한 휴먼 아바타 모델링 기술 (KIST 안상철)



[아바타 모델링 프로세스]

- 실제 사람의 몸체를 3D 스캔한 모델로부터 안구 및 치아를 포함한 몸의 구성과, 얼굴표정 및 손가락 움직임과 같은 전신동작을 표현가능한 휴먼 아바타 모델 생성 기술을 개발
- 해당 기술은 애니메이션이 가능한 실제 사람의 아바타를 자동 생성할 수 있는 세계 최초의 통합 기술
- 한국연구재단의 연구성과 글로벌 점검(2017.11)을 통해 다중성, 독창성, 획기성, 성장 가능성, 글로벌화 등 분야에서 세계 수준 확인 받음
- 해당 기술은 덱스터디지털, 엘로테일에 총 6.3억 원(3건)으로 기술이전됨

논문

· Simple method for generating evaluation data for scene flow algorithms(Electronic Letters, 2019)

특허

· 영상을 활용하여 깊이 정보를 획득하는 영상처리장치 및 영상처리방법 (KR 10-2012-00851160, BBB등급)
· 대상 물체의 3차원 메쉬 모델의 텍스쳐 생성 장치 및 방법 (KR 10-2012-0077319, BB등급)
· 3D 모델의 텍스쳐 생성 방법 및 장치 (KR 10-2013-0066026, BBB등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	6.3억 원	-

실감 04

원격 인터랙션 및 협업 지원 공존 현실 소프트웨어 프레임워크 기술 ((재)실감교류인체감응솔루션연구단 유범재)



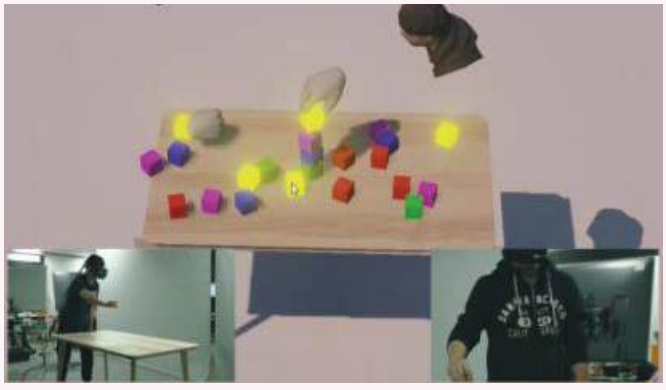
[원격인터랙션 협업 예시]

- HDM 혹은 3D TV를 사용한 증강현실, 혼합현실, 가상현실 시스템에서 네트워크로 연결된 다수 사용자들이 실제의 한 장소에 함께 모인 것처럼 정보와 감각 데이터의 상호 소통, 공유, 인터랙션 및 공동 작업하는 어플리케이션을 신속하게 개발할 수 있는 Visual C++ 소프트웨어 프레임워크(SDK) 기술 개발
- 해당 기술을 이용한 서비스 플랫폼을 통해 공존현실 서비스(2017.08) 및 다분야 융합 R&D를 통한 현장 적용형 어플리케이션 개발 추진
- 해당 기술은 세계 최고 수준의 '실시간 현실-가상 공간 간 물리 인터랙션 프레임워크' 로 Siggraph 2019 Emerging Technology 'Featured Technology' 선정 및 전시되었음
- 또한, 연구단은 ㈜인투엔엑스를 창업하고 관련 기술이전을 진행

특허

· 다중 사용자간 데이터 공유를 위한 데이터 처리 장치, 방법 및 컴퓨터 프로그램(KR 10-2016-0075185)

* CRSF: 공존현실 확장공간 소프트웨어 프레임워크



[CRSF 기반 공간 정합 및 인터랙션 모습]

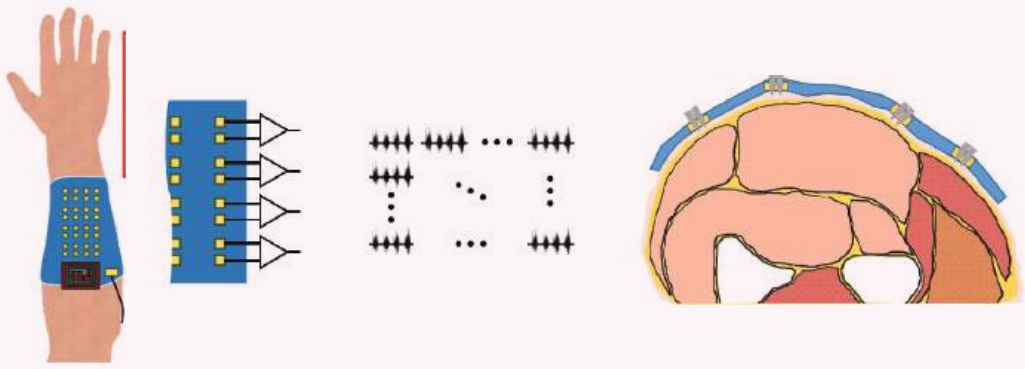


[CRSF 기반 공간 정합 모습]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	㈜인투엔엑스 창업

실감 05

Training-Free 근전도 신호 기반 동작의도 예측 기술 (KIST 김기훈)



[피부 부착형 전극 배열 모식도]

- 동작의도 예측 기술은 동작과 근육의 활성도 및 활성도 타이밍 예측을 통해 동작 의도를 예측할 수 있는 기술, 즉 사람의 전기 신호(근전도)를 측정하여 사용자가 의도한 동작을 예측하는 기술임
- 연구단은 높은 정확도로 동작을 예측하는 알고리즘을 개발하였으며, MEMS 기술을 활용한 피부 부착형 전극으로 동작과 힘을 정밀하고 빠르게 예측할 수 있음
- 원격지나 가상현실의 아바타 조작 수단으로써 생체 신호를 이용하여 사용자의 동작을 미리 예측하는 기술에 다양하게 적용 가능함
- 스포츠 분야 동작 분석 시스템, 의료용 생체신호 측정 및 로봇 의수, IT분야의 제스처 인식 시스템, 원격지 및 가상 환경의 로봇과 아바타의 원격제어 수단, 군사용 무인정찰 및 작업을 위한 명령수단으로 활용 가능
- 2016년 국가연구개발 우수 연구성과 100선 '융합기술 부문' 선정, 국제 디자인 공모전(2018 Spark Award-Fall Concept Platinum) 대상, IDEA Award Product Design Featured Finalist(2019.08) 수상
- 2015년 로그온유를 창업하여 5건의 기술이전을 진행하고, 프로토타입 제품 시범서비스(한국 잡 월드)를 운영하고 있음

논문

· KULEX-Hand: An Underactuated Wearable Hand for Grasping Power Assistance(IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, 2018)
· Estimating Deformed Surface Displacement From Contact Pressure Distribution(IEEE TRANSACTIONS ON ROBOTICS, 2019)
· Three-dimensional computed tomography modeling for kinematic analysis of double-strand lateral ulnar collateral ligament reconstruction(Journal of shoulder elbow surgery, 2019)

특허

· 착용형 근전도 센서 시스템(KR 10-2013-0065679, A등급)



[가상현실 드론제어 적용 예시]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	5.5억 원	로그온유 창업

실감 06

몰입현실용 안경형 HMD 및 Video See-Through HMD (KIST 박지형)



VST HMD



VR Glasses

- 연구단은 직접형 복합렌즈 설계 및 제작기술을 통해 안구로부터 디스플레이까지 거리를 32mm로 단축시키고, 100도 화각을 제공하는 디스플레이를 개발
- 해당 디스플레이는 집적화 및 소형화되어 높은 몰입도를 제공함과 동시에 경량화 및 소형화된 것이 특징
- 해당 기술은 VR 디바이스가 일반적으로 적용되는 가상 게임, 및 훈련 플랫폼뿐만 아니라 회의, 교육, 의료용 재활 등 다양한 분야로 적용이 가능한 기술
- VirNect(버넥트)를 창업하였으며, 90억 원 규모의 시리즈 A 투자유치에 성공

논문

· Visuomotor Adaptation to Excessive Visual Displacement in Video See-Through HMDs(Virtual Reality, 2019)

특허

· 시선 및 손 정보를 이용하여 가상 객체를 선택하기 위한 니어 아이 디스플레이 장치, 상기 장치를 이용하여 가상 객체를 선택하는 방법 및 그 방법을 수행하기 위한 기록 매체(KR 10-2015-0144243, B등급)
· 시선 추적 장치 및 방법(KR 10-2014-0049145, BBB등급)
· 헤드 마운티드 디스플레이 장치용 복합 렌즈 및 이를 포함하는 디스플레이 장치(KR 10-2014-0115501, CCC등급)

VIRNECT

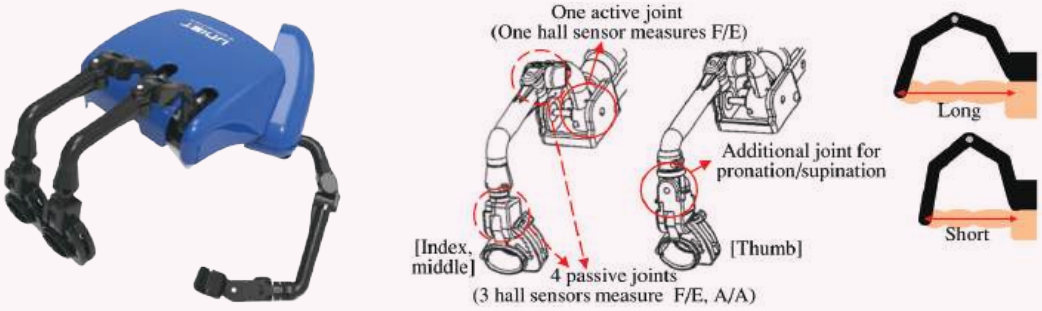
창업일 : 2016.10
대표자 : 하태진
주요 아이템 : 산업용 AR 솔루션 개발 및 컨설팅

- 2019년 90억 원 규모의 시리즈 A 투자유치를 성공하였으며, 2022년 300억 원 규모의 시리즈 B 투자유치 완료 후 코스닥 상장(2023.07)
- 최근 실감교류인체감응솔루션연구단의 다른 창업기업인 티랩스(실내 공간 디지털 전환 전문기업)와 업무협약을 체결하고, 솔루션과 상업용 XR 솔루션을 활용한 혁신사업을 위한 연구개발 추진

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	VirNect 창업 (코스닥 상장)

실감 07

착용형 손 역감 전달 장치 (UNIST 배준범)



[역감장치 디자인(좌), 역감장치 구조(우)]

- 연구단은 간단한 착용 구조로 손가락 움직임 측정과 역감 전달이 동시에 가능한 시스템 설계 및 개발
- 해당 기술은 모터 토크의 제어를 통해 사용자 손가락에 전달하는 힘을 정밀하게 제어할 수 있음
- 구조물을 손끝에만 연결하여, 각 손가락은 4 자유도, 각도(관절의 내전/외전, 굽힘 및 움직임 등)를 측정할 수 있으며, 구조물을 손끝에만 연결하는 구조를 통해 타 장비 대비 착용이 용이함
- 해당 기술은 힘을 전달하는 UI 디바이스로써 가상훈련 및 게임 분야에 활용될 수 있음

논문

· Design and Control of a Wearable and Force-controllable Hand Exoskeleton System(Mechatronics, 2017)
· Dual-Cable Hand Exoskeleton System for Virtual Reality(Mechatronics, 2017)
· A portable and spring-guided hand exoskeleton for exercising flexion/extension of the fingers(Mechanism and Machine Theory, 2019)
· Evaluation of a Wearable Hand Kinesthetic Feedback System for Virtual Reality: Psychophysical and User Experience Evaluation(IEEE Transactions on Human-Machine Systems, Early access, 2019)

특허 17건

· 가상물체와의 상호작용을 위한 손 외골격 구조(KR 10-2013-0050199, BBB등급)
· 손가락 움직임 측정 시스템 및 측정 방법(KR 10-2015-0021069, AA 등급)
· 손가락 움직임 측정 시스템 및 측정 방법(KR 10-2015-0021069, BBB등급)
· 케이블을 이용한 착용형 손 외골격 장치(KR 10-2015-0098032, BB등급)
· 역감 전달 시스템(KR 10-2016-0071700, B등급)
· 자기 유동성 유체를 이용한 가변 강성 구동기 및 이를 적용한 역감 전달 시스템(KR 10-2017-0148845, CC등급)
· 착용형 손 재활 장치(KR 10-2016-0005824, B등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	-	-	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

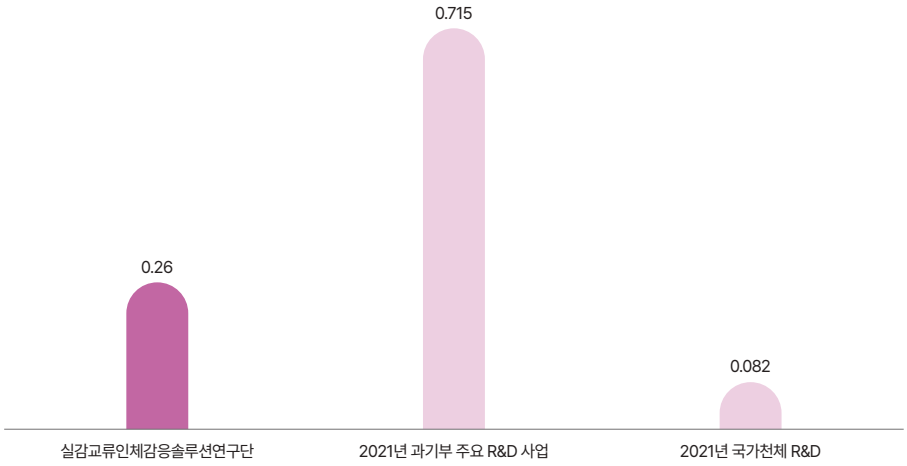
구분/연도			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	총합계
특허	국내	출원	17	56	45	37	70	51	29	26	26	15	372
		등록	-	1	15	44	41	34	60	34	24	21	274
	해외	출원	-	14	28	27	20	23	18	22	13	7	172
		등록	-	-	-	2	16	10	10	9	13	11	71
	계		**17**	**71**	**88**	**110**	**147**	**118**	**117**	**91**	**76**	**54**	**889**
논문	SCI		12	12	32	35	33	17	25	24	23	15	228
	비SCI		5	17	7	11	7	5	9	16	43	4	124
	계		**17**	**29**	**39**	**46**	**40**	**22**	**34**	**40**	**66**	**19**	**352**
기술이전 /사업화	기술이전		-	-	-	-	5	6	5	3	5	2	26
	기술이전 (정액기술료)		-	-	-	-	410	700	1,360	545	520	60	3,595
	창업		-	-	-	-	-	3	1	2	-	-	6
학위배출	박사		-	3	5	1	4	3	7	4	4	6	37
	석사		-	8	15	9	3	6	7	11	4	13	76
	학사		-	-	-	-	-	-	2	2	-	3	7
	계		**-**	**11**	**20**	**10**	**7**	**9**	**16**	**17**	**8**	**22**	**120**
국제협력	MOU		-	-	3	-	1	4	5	-	1	4	18
	공동연구 논문		3	5	17	17	18	19	18	15	27	6	145

나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 352건의 논문 성과 중 228건의 SCI 논문을 게재하였으며, 전체 사업기간동안 연구비 1억 원당 약 0.26건의 SCI 논문 성과를 창출하였다. 특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 2.86이며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 74.20(상위 25.8% 저널 게재)으로 높은 질적 수준을 증명하였다.

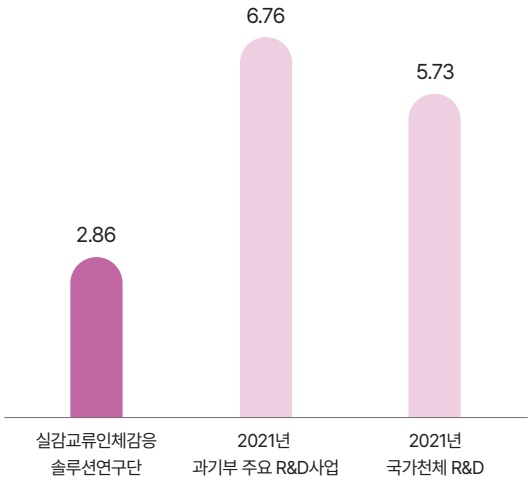
(단위: 건)



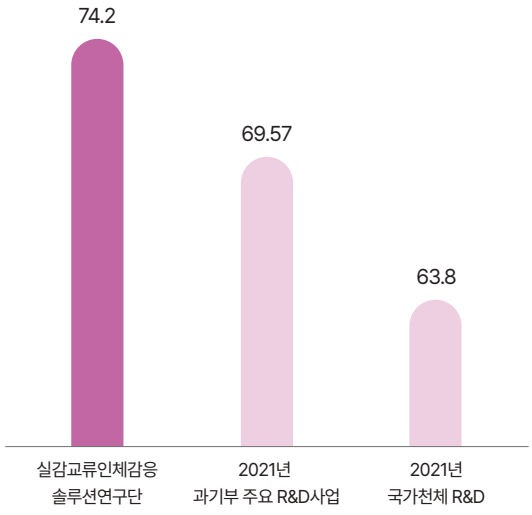
연구단의 연구비 1억 원당 SCI 논문수 228건으로 연구비(정부출연금 878.53억 원[1]) 1억 원당 0.26건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 SCI 논문 창출 성과 0.082건[2]에 비해 약 4.4배가 넘는 수준으로 나타났다.

1) 연구비는 정부출연금 기준으로 함(타부처 및 민간 제외).
2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

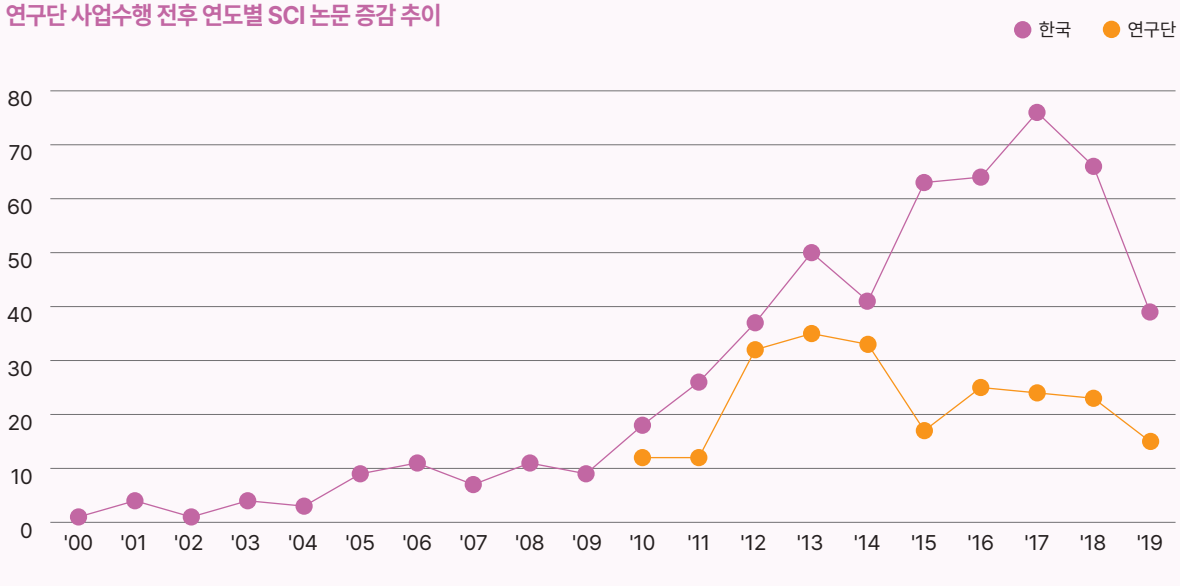


연구단 연구수행 전·후 10년간 논문 건 수/비중 분석

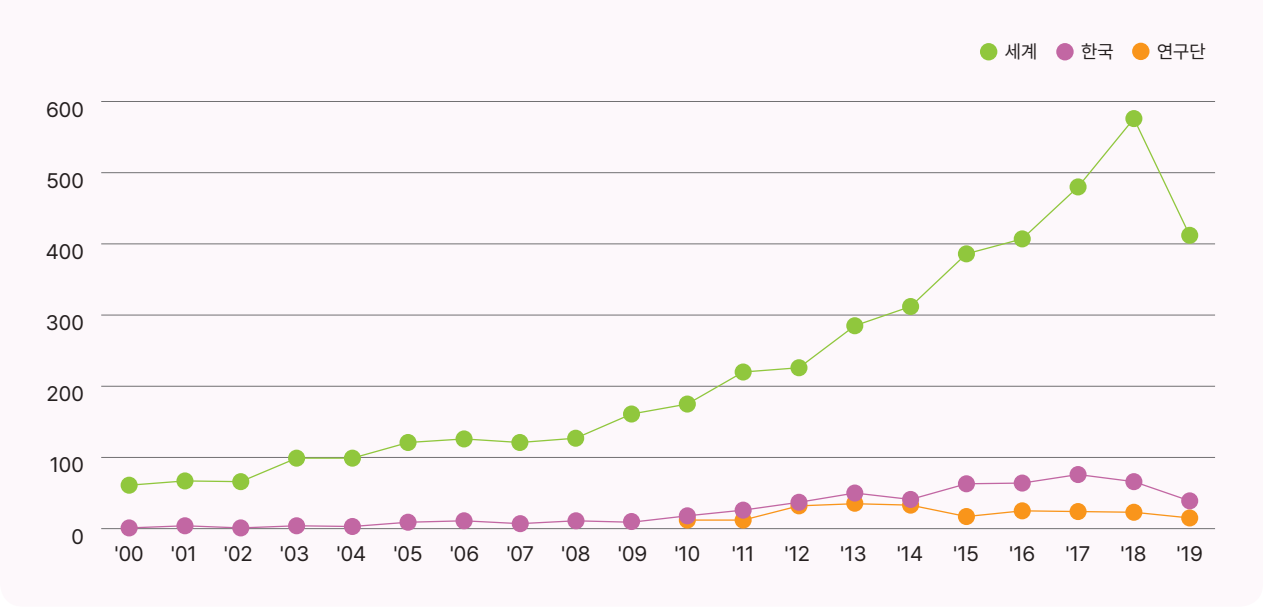
AR·VR 분야에서 연구단 연구수행 전후 10년의 논문 현황을 비교하면, 한국이 세계 논문에서 차지하는 비중이 연구수행 전에는 세계 5위(5.73%, 한국 60건)에서 연구수행 후 10년에는 세계 2위(13.80%, 한국 480건)로 상승하였다. 또한 연구단은 세계 논문의 6.55%, 한국 논문의 47.5%의 높은 비중을 점유하는 등 연구단 연구수행 후 관련 분야 연구를 견인하고 국가 기술 경쟁력 향상에 기여하였다.

또한 국내외 과학기술경쟁력 파악을 위하여 연구단의 사업수행기간 동안 관련 기술분야에 대한 국내외 SCI논문게재 실적을 분석[3] 한 결과, 사업전과 비교하면 세계적으로 한국의 논문게재 실적을 8배 증가시키는데에 연구단이 73.33%정도 기여한 것으로 나타났다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



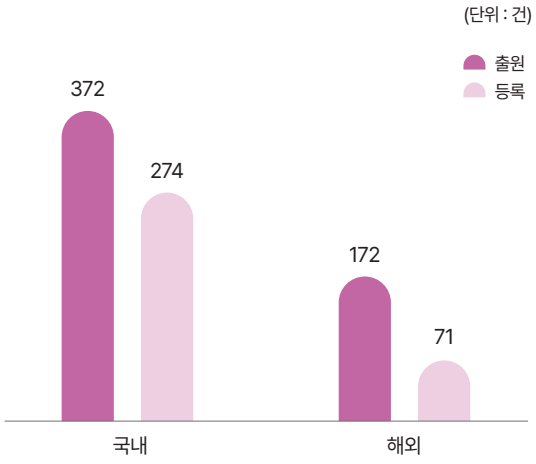
3) 논문 정보 수집대상 데이터베이스는 Thomson innovation(Web of Science)이며, 분석기간은 2000년부터 2019년까지로 함.



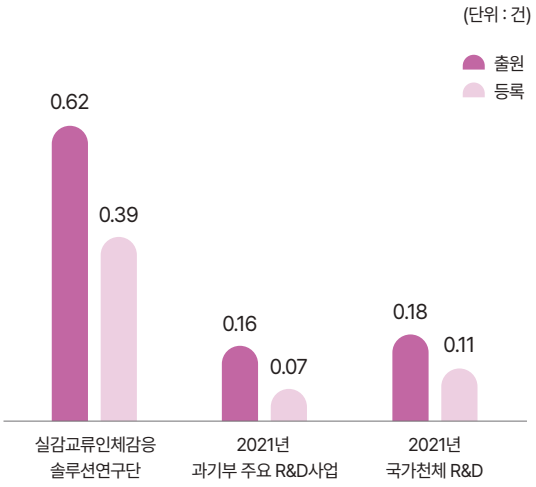
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 889건[4]으로 전체 특허 중 345건의 등록 기술을 보유하고 있으며, PCT를 제외한 미국 일본, 중국, 유럽 등 해외 개별국에 126건의 특허를 출원하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



연구단의 특허출원 성과는 544건, 특허등록 성과는 345건으로 연구비(정부출연금 878.53억 원) 1억 원당 0.62건의 특허출원 성과와 0.39건의 특허등록 성과를 창출하였다.

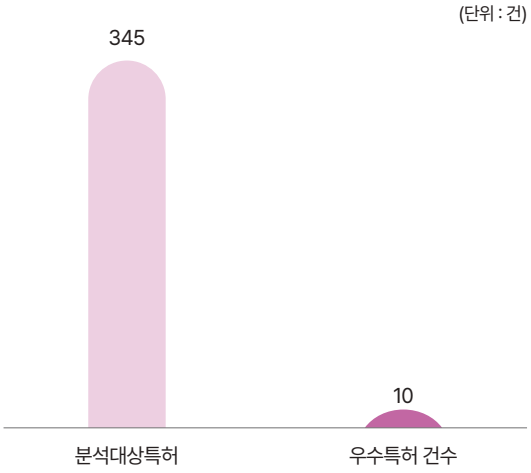
이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[5]에 비해 약 3.4배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 3.9배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 2.5배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건의 약 5.6배에 달하는 수준으로 성과를 창출한 것으로 분석된다.

4) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
5) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건 / 과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

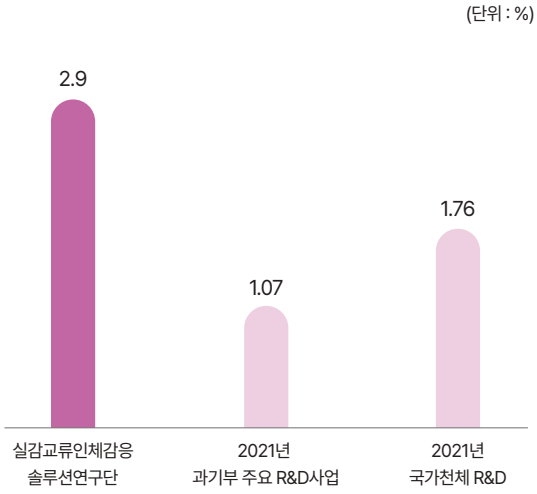
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[6)]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 345건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 10건으로 약 2.9% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 1.65배, 2.71배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



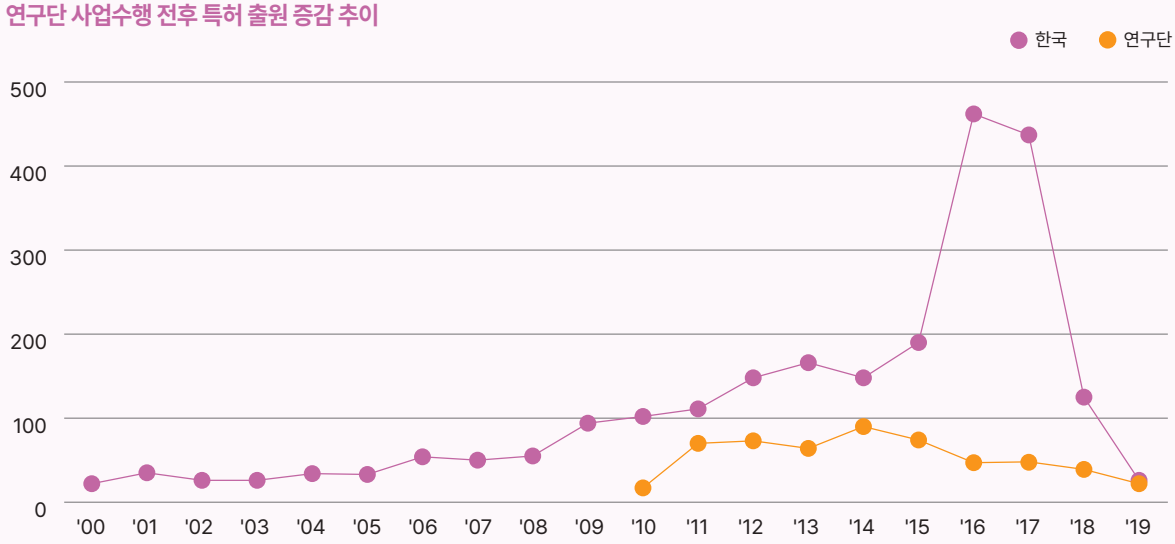
[우수특허 비율 비교]



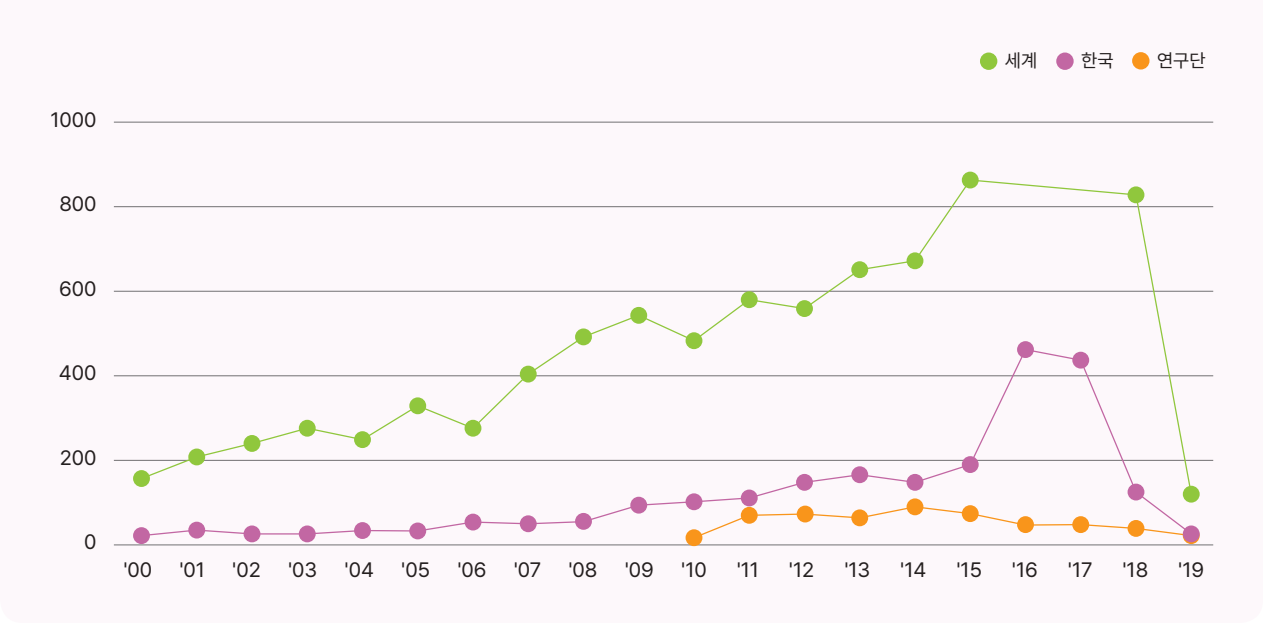
연구단 연구수행 전·후 10년간 특허 건 수/비중 분석

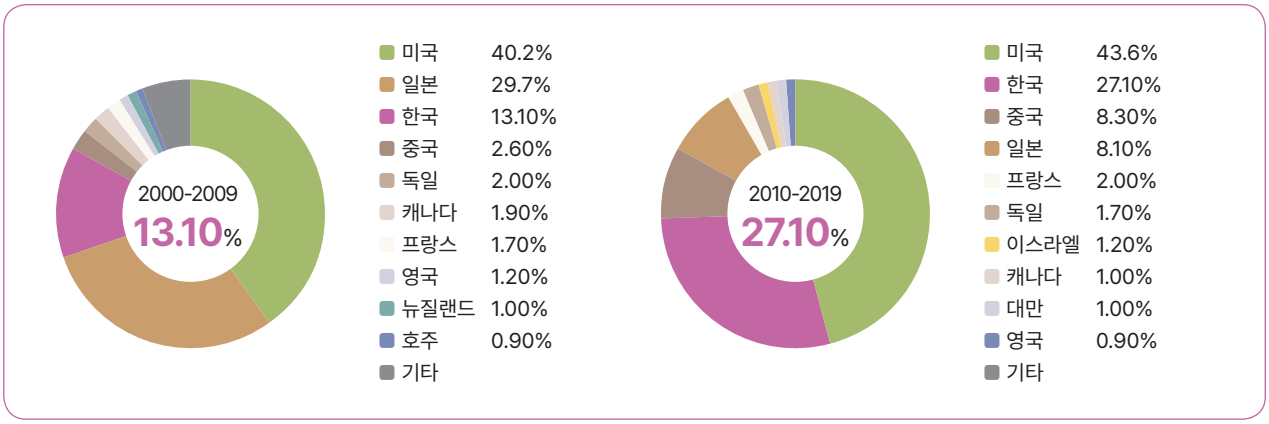
AR·VR 분야에서 연구단 연구수행 전·후 10년의 특허 현황을 비교하면, 한국이 세계 특허에서 차지하는 비중이 연구수행 전에는 세계 3위(13.5%, 429건)에서 연구수행 후 10년에는 세계 2위(23.2%, 1,915건)로 상승하였다. 또한, 연구단은 세계 특허의 6.6%, 한국 특허의 28.41%의 높은 비중을 점유하는 등 연구단이 세계 AR·VR 기술 분야의 주요 Key-Player임을 확인하였다.

연구단 사업수행 전후 특허 출원 증감 추이



6) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용


세계
한국
연구단
1000
800
600
400
200
0
'00
'01
'02
'03
'04
'05
'06
'07
'08
'09
'10
'11
'12
'13
'14
'15
'16
'17
'18
'19

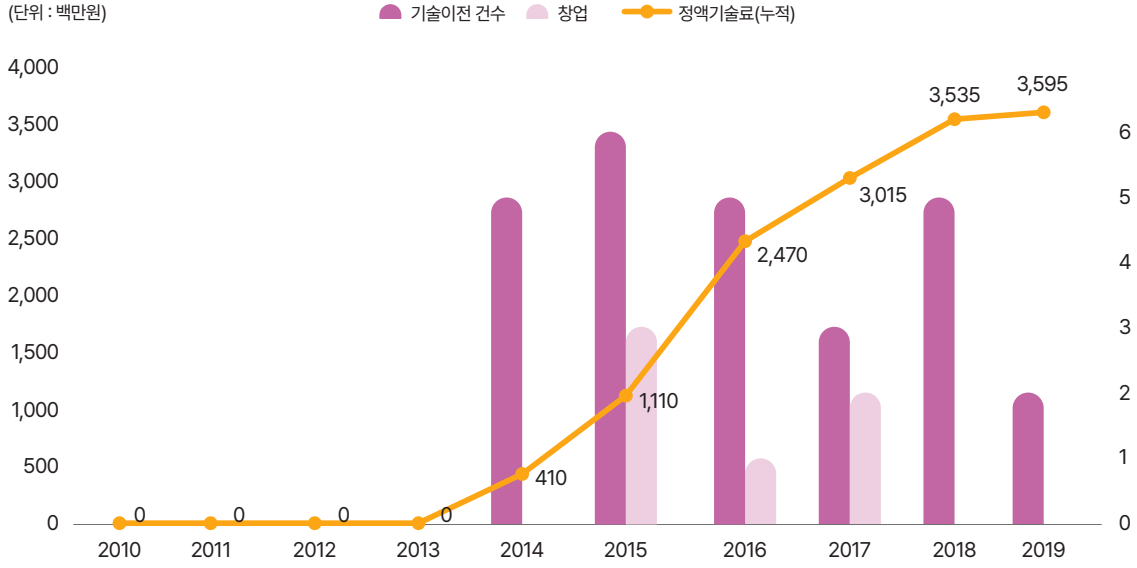

2000-2009
13.10%
미국 40.2%
일본 29.7%
한국 13.10%
중국 2.60%
독일 2.00%
캐나다 1.90%
프랑스 1.70%
영국 1.20%
뉴질랜드 1.00%
호주 0.90%
기타
2010-2019
27.10%
미국 43.6%
한국 27.10%
중국 8.30%
일본 8.10%
프랑스 2.00%
독일 1.70%
이스라엘 1.20%
캐나다 1.00%
대만 1.00%
영국 0.90%
기타

(3) 기술사업화 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 26건, 정액기술료 3,595백만 원의 기술이전 성과를 도출하였고, 특히 사업화를 위한 기술 개발에 중점을 둔 3단계에 기술이전이 활발히 이루어진 것으로 나타났다. 총 6건의 창업 성과를 통해 연구단의 연구 기술이 실제 사업화로 이루어졌으며, 투자유치 약 120억 원, 매출액 40억 원 이상 약 60여 명의 일자리 창출 등 사회경제적 성과 창출에 기여하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]

(단위 : 건)



창업성과

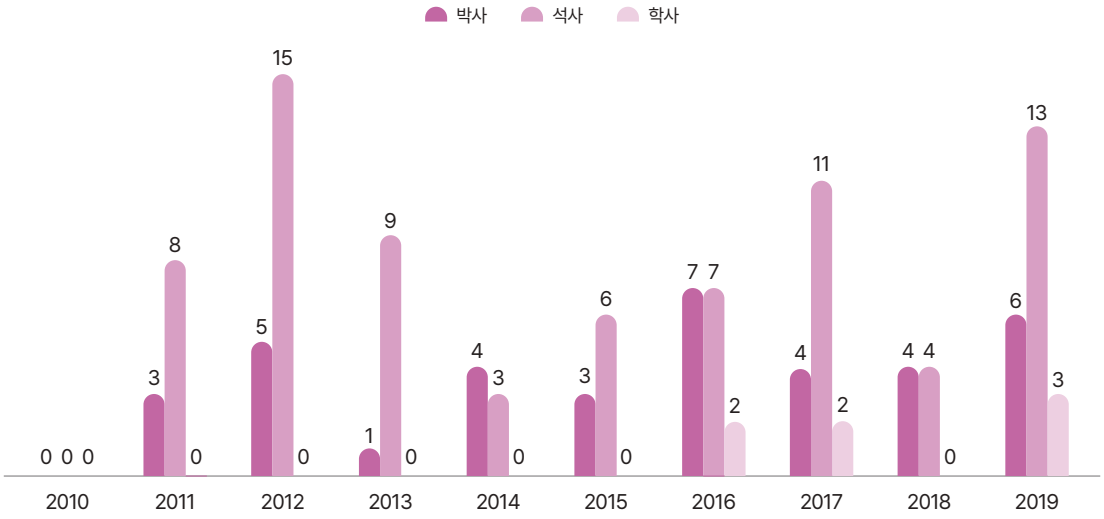
(단위: 백만원, 명)

연번	기업명	창업일자	사업내역	매출액	총 투자유치	고용창출
1	LP Acoustics	2015.02.01	비침습형 뇌자극을 위한 다중 초첨 초음파 발생 및 제어 기술	-	-	-
2	VirNect	2016.10	산업용 AR 솔루션 개발 및 컨설팅	3,600	9,000	45
3	로그온유	2015.09.01	원격존재를 통한 감각-운동 작업을 위한 근전도 신호 기반의 동작의도 예측 및 능동 촉감 복원 기술 개발	257	-	5
4	범피로보틱스	2016.02.25	실내 환경 모델링 기술	-	-	-
5	Teelabs	2017.03.02	이동식 3차원 실내지도 작성 기술	120	3,100	16
6	인투엔엑스	2017.04.06	확장공간 소프트웨어 프레임워크 및 UI 디바이스 기술	160	-	-
합계				**4,137**	**12,100**	**66**

(4) 인력양성 현황 분석

연구단은 전체 연구기간 동안 총 120명의 학위를 배출하였으며, 박사 37명, 석사 76명, 학사 7명이 지원을 받았다.

-(단위: 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
원격 인터랙션 및 협업 지원 공존 현실소프트웨어 프레임 워크기술	메타버스 시장	1,040.62
착용형 휴먼 인터페이스 기술	VR 시장	157.90
공간 터치감 지원 3-손가락 외골격 핸드 모션캡처 디바이스	햅틱시장, 웨어러블 로봇 시장	71.44
실내환경 실감 3D 모델링 및 환경지도 작성 기술	디지털 맵 시장	916.95
애니메이션이 가능한 휴먼 아바타 모델링 기술	모션 시뮬레이션	343.54
Training-Free 근전도 신호 기반 동작의도 예측	메타버스 헬스케어	293.67
비침습 뇌신경 자극을 자동으로 정확하게 해주는 시스템	뉴로모듈레이션	308.22
총액		**3,132.34**

실감교류인체감응솔루션연구단의 기술사업화 관점에서 기술의 우수성, 기술이전/창업 성과, 논문수준(mrnIF 95점 이상), 특허수준(A 등급 이상), 글로벌 사업화 가능성 등을 종합적으로 검토하여 우수 연구성과 7건을 선정하였고, 우수 연구성과 7건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

실감교류인체감응솔루션연구단의 7건의 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 3,132.34억 원으로 평가되었다. 이는 연구단이 보유하고 있는 연구성과 중 향후 높은 가치를 창출할 것으로 예상되는 일부 성과에 대한 기술가치 평가 결과로, 연구단이 보유한 기술의 전체적인 가치는 이보다 더 현저히 높을 것으로 추정된다.

4. 홍보 및 확산 성과

가. 언론보도

연구단은 연구기간 동안 총 216건의 언론보도를 통해 연구단의 연구목적과 목표, 비전, 연구성과를 국민들에게 홍보하였다.

연구단 언론보도 홍보 성과 현황

(단위: 건)

구분	1단계		2단계			3단계					합계
	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
횟수	5	6	18	26	27	24	31	19	38	22	216

나. 국내외 기술전시·컨퍼런스 참가 및 기술 소개서 제작

국내외 기술전시·컨퍼런스(SIGGRAPH, NAB SHOW, ISMAR, IROS, WORLD IT SHOW 등), CHIC Tech. Fair, 기업매칭데이 등 개최 및 참석하여, 연구단의 관련 연구 분야의 최신 정보교환과 연구성과를 홍보하였으며, 연구단 기술홍보를 위한 국문 SMK 44건, 영문 SMK 24건, 중문 SMK 12건, 영문 Pitch Deck 35건, TBRM 4건, 기술사업화로드맵 15건 등 작성을 통해 연구성과의 실용화 가능성을 제고하고자 하였다.

또한, 미국 라스베이거스, 중국 마카오 등에서 이루어지는 전시회 및 컨퍼런스에 참가하여, 연구단의 세계 최초/최고 원천기술의 해외 마케팅에 적극적으로 임하였다.

- NAB Show 2016, 미국 라스베이거스(2016.4.16.~4.21)
- Siggraph Asia 2016, 중국 마카오(2016.12.5~12.8)
- ISMAR 2017, 프랑스 낭트(2017.10.9.~10.13)
- Siggraph 2018, 캐나다 밴쿠버(2018.8.12.~16)
- CES 2018, 미국 라스베이거스(2019.1.8.~12)
- Siggraph 2019, 미국 LA (2019.7.28.-8.2)
- IEEE VR 2019, 일본 오사카(2019.3.23.~27)
- 이 외 다수의 국내외 전시회 및 컨퍼런스 참가(총 26회)


NAB SHOW 2016, 미국


ISMAR 2017, 프랑스



SIGGRAPH 2018, 캐나다


SIGGRAPH 2019, 미국

04 기술사업화 성공스토리

1. 도락주 대표 인터뷰

- 기업명: (주)티랩스
- 창업시기: 2017.03
- 도입기술명: 이동식 3차원 실내지도 작성 기술
- 도입시기: 2016.08/2017.03/2017.05/2017.11/2018.12 (총 5건)



2017년 3월에 창업한 (주)티랩스는 5건의 기술이전을 받아 이동식 3차원 실내지도 작성 기술을 사업화하였다. 성공적인 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 (주)티랩스 도락주 대표를 만나 그 비결과 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 도락주 대표님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

(주)티랩스는 이동식 3차원 실내지도 작성 기술의 사업화를 위해 2017년 3월에 설립하여 현재 창업 6년차를 지나고 있는 기술기반 스타트업입니다. 티랩스는 3차원 공간을 현실 그대로 스캔하는 공간모델링 전문 연구기업으로, 실제 환경을 최고 수준의 실감도로 스캔하고 이를 디지털 공간으로 생성하여 다양한 공간 관련 서비스를 제공할 뿐만 아니라, 고객들이 디지털 공간에서 새로운 차원의 비즈니스를 진행할 수 있도록 최적화된 솔루션을 구축하여 제공하고 있습니다.
2023년 하반기부터는 고객들이 공간을 직접 디지털로 제작하거나 변화하는 공간 정보를 지속적으로 업데이트할 수 있도록, 하드웨어와 소프트웨어가 통합된 디지털 매핑 키트를 제공할 계획입니다.



<디지털 매핑 키트>

Q2 연구에서 창업을 하시게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

A2

현실 공간을 있는 그대로 스캔하자는 생각은 어느 날 우연히 떠오른 것이었지만, 결국 이 작은 아이디어가 지난 20여 년간 수많은 연구와 개발을 통해 티랩스의 핵심 기술로 성장하였습니다. 초창기에는 이 기술을 해외에 이전하려고 생각하기도 했지만, 고려대학교 기술지주회사와의 연계를 통한 창업과정을 거쳐 티랩스가 탄생할 수 있었습니다. 이 과정에서 창업 초기 인큐베이팅, 시제품 개발비 지원, 창업 공간 지원, 사업/재무계획 수립 멘토링 등 전 영역에 걸친 기술지주회사의 집중 지원과 기술보증기금 U-Tech Valley 지원 프로그램을 통해 조달한 16억 5천만 원의 자금이 큰 힘이 되었습니다. 이후 국내외 다양한 원천기술 및 IP를 확보하면서 꾸준하게 기술발전에 매진해온 저희 티랩스는 지난 2022년, 디지털매핑 기술의 불쾌한 골짜기(Uncanny Valley)를 넘어선 최초의 Full 3D 모델 생성기술로 ISO 실내 모델링 국제 표준 인증(ISO 23488)을 받는 성과를 이뤄냈습니다. 또한 이러한 실적들을 토대로 2023년 현재까지 누적 110억 원의 투자를 성공적으로 유치하며 성장속도를 더욱 높여가고 있습니다.

Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

티랩스가 보유하고 있는 실내 공간 모델링 기술의 가장 큰 특징은 실제 공간(Real Space)의 질감과 느낌을 그대로 반영한 Full 3D 디지털 트윈 생성이 가능하다는 데 있습니다. 이를 위해 제작하고자 하는 공간 전체의 정밀 지형과 생생한 이미지 정보를 취득해야 하는데, 이때 티랩스가 자체 제작한 핸드헬드형 3D 스캐너를 활용하여 공간을 스캔합니다. 해당 장비는 LiDAR 센서와 360카메라를 활용하여 고정밀, 고화질 데이터를 생성할 수 있으며 스캔 방식 또한 작업자가 직접 스캐너를 들고 대상 공간을 일반적인 속도로 천천히 걸으면서 스캔할 수 있어 쉽고 빠르게 큰 제약 없이 공간정보를 얻을 수 있는 강점이 있습니다.

이렇게 얻은 데이터를 처리하기 위한 모델링 소프트웨어 역시 티랩스가 자체 개발 보유하고 있습니다. 이를 활용하면 고객의 필요에 맞게 지형이나 이미지, 또는 Full 3D 중심으로 특화된 디지털 트윈 제작이 가능하며, 이를 활용하여 다양한 현장의 문제를 풀어낼 수 있습니다. 예를 들어 XR 관제나 실내 지도 제작, 3D 조사 및 측량과 같은 업무를 수행하거나 온라인 교육, 원격 회의, 디지털 전시, 버츄얼 쇼핑몰 등 다양한 디지털 공간 비즈니스로 확장해 나갈 수도 있습니다.



<공간 디지털 모델링 기술>

이러한 기술을 이용하여 이미 여러 고객사에서 용도에 맞는 디지털 공간을 제작하고 이를 사업에 실제적으로 활용하고 있습니다. 회사 연혁을 디지털 공간에 입체적으로 전시하거나, 창업자의 추모 공간을 디지털로 구성하기도 하고, 언제

어디서든 누구나 직관적으로 이용할 수 있는 버추얼 쇼핑몰을 오픈하는 등의 다양한 시도들이 이어지고 있으며 이는 티랩스의 디지털매핑 기술과 공간 비즈니스 솔루션의 탁월성을 입증하는 것이라고 볼 수 있습니다.

Q4 앞으로 회사가 나가고자 하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

티랩스는 독보적인 디지털매핑 기술을 활용하여 고객들에게 다양한 디지털 공간 비즈니스의 가능성을 제공하고 있습니다. 경쟁력 있는 스캐너 하드웨어와 모델링 소프트웨어를 활용하여 XR(Extended Reality)/메타버스 사업부터 전시나 쇼핑, 공간 데이터베이스 구축, 공간 모델링 제작 등 다양한 디지털 공간 관련 사업을 고객들이 직접 진행할 수 있도록 효과적인 솔루션을 제공하고 있습니다.
또한 티랩스는 글로벌 시장에 진출하기 위한 전략에 따라 뉴욕 Radio Hotel 및 미 육군과 같은 핵심 해외 고객들과 초기 사업을 진행하였으며, 2024년 2월에는 미국 덴버에서 개최되는 GEO WEEK 2024라는 공간 정보 및 3D 매핑 기술 전문 전시회에 참석하여 티랩스의 선도적인 기술력을 해외 시장에 소개할 계획입니다. 이러한 노력과 전략을 통해 티랩스는 디지털 공간 비즈니스 분야 글로벌 시장에서 경쟁력을 유지하고 확대하는데 주력할 생각입니다.

Q5 기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

교수 창업은 결코 쉽지 않지만 매우 큰 경쟁력을 갖고 있습니다. 대학에서 연구를 통해 독보적인 기술이 개발된다 해도 결국에는 이것이 논문 단계에서 그치는 경우가 많은데, 창업을 통해 이러한 독보적인 기술들이 실제 산업현장으로 흘러가는 선순환 구조를 만들 수 있습니다. 아울러 이러한 기술을 사용하여 인간의 어떤 욕구를 만족시킬 것이며 궁극적으로 사회에 어떠한 도움을 줘야 할지에 대해 기술과 산업 둘을 동시에 바라보면서 끊임없이 고민해간다면 결국 그 기업은 글로벌 시장을 선도하는 위치까지 성장할 수 있을 것이라고 생각합니다.

Q6 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 연구단이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 말씀해주세요.

A6

제 개인적으로는 운이 좋게 글로벌프런티어사업 참여를 통해 대학원 시절을 포함한 20여 년동안 "로봇의 지도 작성"이라는 한 가지 주제에 몰두할 수 있었습니다. 그렇게 한 우물을 깊게 팔 수 있었던 덕분에 숨겨져 있는 원석과 같은 기술을 발견하고, 이를 잘 가공하여 시장에까지 내놓을 수 있었다고 생각합니다. 새로운 기술에 대한 가능성을 발견하고 이를 토대로 세계 최고의 기술을 개발하여 창업에까지 성공하도록 오랜 기간 기다리며 지원을 아끼지 않은 연구단에도 지면을 빌어 다시 한 번 깊은 감사를 드립니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

세계 ICT(Information Communication Technology) 산업은 5G 네트워크 서비스와 함께 가상현실, 증강현실, 혼합현실, 로봇 등과 연계되는 새로운 서비스를 모색하고 있다. 또한, 스마트폰 이후의 새로운 ICT 플랫폼을 찾는 노력도 지속하고 있다. 아직 사용자들이 관심을 가지고 만족할 만한 킬러 서비스(Killer Application)가 없다는 것이 큰 어려움이지만, ICT 산업의 기본요소인 콘텐츠(C), 플랫폼(P), 네트워크(N), 디바이스(D) 등의 원천기술 개발과 인프라 구축을 위한 지속적인 노력이 요구되고 있다.

이를 위해, **산학연 협력 체계의 구축과 원천 및 제품 기술개발을 위한 협동연구가 매우 중요**하다. 신산업 분야의 원천기술을 확보하고 국가적 R&D 및 산업 기반을 구축하기 위해서는 관련 분야의 산학연 연구자들이 함께 모여 정보를 공유하고 미래 비전을 공유함으로써, 연구개발 역량을 강화할 수 있는 중장기 대형 R&D 프로그램이 효과적인 방법이 될 것이다. 물론 정부에서 장기적인 계획을 세워 중소형 과제들을 관리할 수도 있겠지만, 매우 빠르고 복잡하게 변해가는 기술과 정책적 상황 변화를 감안하면 일관성을 유지할 수 있는 산학연 협력 중장기 R&D 프로그램이 좋은 방법이라고 생각된다.

그런 관점에서, **가상현실, 혼합현실 산업이 활성화되기 전에 가상과 현실의 경계가 허물어질 10년 후를 예상**하고, '현실과 가상의 통합을 위한 인체감응솔루션' 글로벌프런티어 사업을 시작한 것은 매우 도전적이고 현명한 판단이었다고 생각된다. 착용형 디스플레이 헤드셋 디바이스의 가격이 대중화가 가능한 수준까지 도달하지 못해, 세계 시장의 발전 및 성숙이 2025년까지 늦춰질 것으로 예측되고 있지만, **산학연 협력을 통해 미래 신산업을 위한 세계 최초/최고의 혁신형 원천기술 개발을 추진함**으로써 국가 경쟁력을 확보할 수 있었던 것은 큰 의미가 있다고 판단된다.

향후에도 미래 신산업을 발굴하고 육성하기 위해 국가의 R&D 역량을 결집할 수 있는 도전적인 중장기 대형 R&D 프로그램은 효과적인 정책 대안이 될 것이다. 또한, **원천기술 개발에 그치지 않도록 산업화를 위한 실용화 및 상용화 기술 개발 프로그램으로 이어질 수 있는 R&D 전략을 초기부터 함께 준비하는 것이 적절**할 것으로 판단된다.

이를 통해 선진국을 따라가는 R&D가 아니라, 세계를 놀라게 할 신개념, 신기술을 개발하고 세계 최초 신산업을 창출할 수 있는 R&D를 통해 국가의 미래를 만들어갈 수 있을 것이다.

실감교류인체감응솔루션연구단
연구단장 **유범재**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

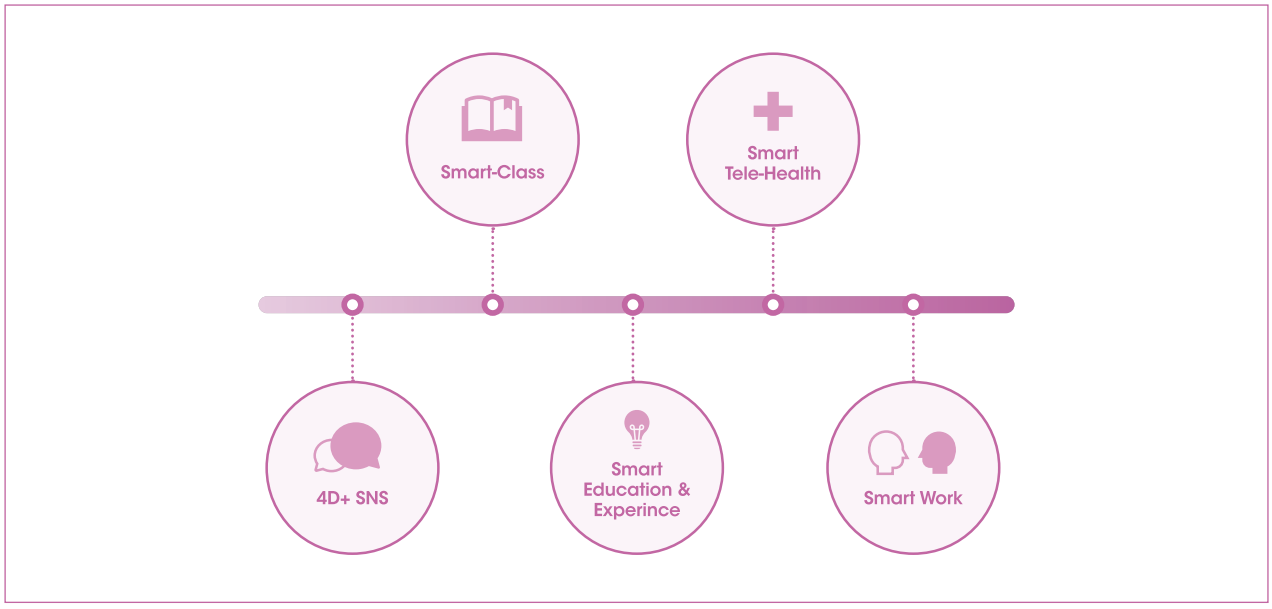
5G 네트워크 시대의 가상현실과 혼합현실 기술은 원격지에서 네트워크로 연결된 다수 사용자들이 같은 장소에 함께 모여 있는 것처럼 새로운 '실감교류 확장공간'에 모여, 서로 소통하고 인터랙션하고 협업할 수 있는 공존현실 기술과 콘텐츠로 발전해 갈 것이다. 대중화를 위해 충분한 가격 경쟁력을 갖춘 착용형 디스플레이와 디바이스들이 양방향 실시간 네트워크를 지원하는 5G 네트워크와 결합하여 발전하면서 공존현실 기술도 큰 성장을 이룰 수 있을 것으로 기대된다. 그러나 국내 가상현실 및 혼합현실 관련 중소기업들은 아직 영세하고, 충분한 인력과 기술력을 보유하지 못해 상용화 및 마케팅에 한계를 가지고 있다.

연구단에서는 산업화를 위해 필요한 IP와 기술 노하우를 보유하고 있어 이를 기업들에게 이전하거나 마케팅 역량을 가진 분들과 공동창업을 적극 지원하고자 한다. 보유 IP 들을 개선하여 상용화에 근접한 기술로 발전시켜 기업에서 단기간에 제품화할 수 있도록 주요 기술들에 대해 R&BD 연구를 지속적으로 진행하고자 한다. 고유한 기술력을 기반으로 한 독특한 콘텐츠 개발이 가능하도록 휴먼인터페이스 및 인터랙션 기술과 원격 협업 프레임워크 기술의 신뢰성을 개선하고 관련 기기들과 쉽게 연동될 수 있도록 개발을 마무리하고자 한다.

최근 언택트 환경에서 사용할 수 있는 공존현실 신산업 창출을 위해 국가적인 차원에서 원천기술을 실용화 기술로 발전시킬 수 있는 R&BD 사업을 추진할 수 있는 기회를 만들 수 있다면 신산업 창출 기지로서의 역할을 수행할 수 있을 것이다.

나. 앞으로의 계획

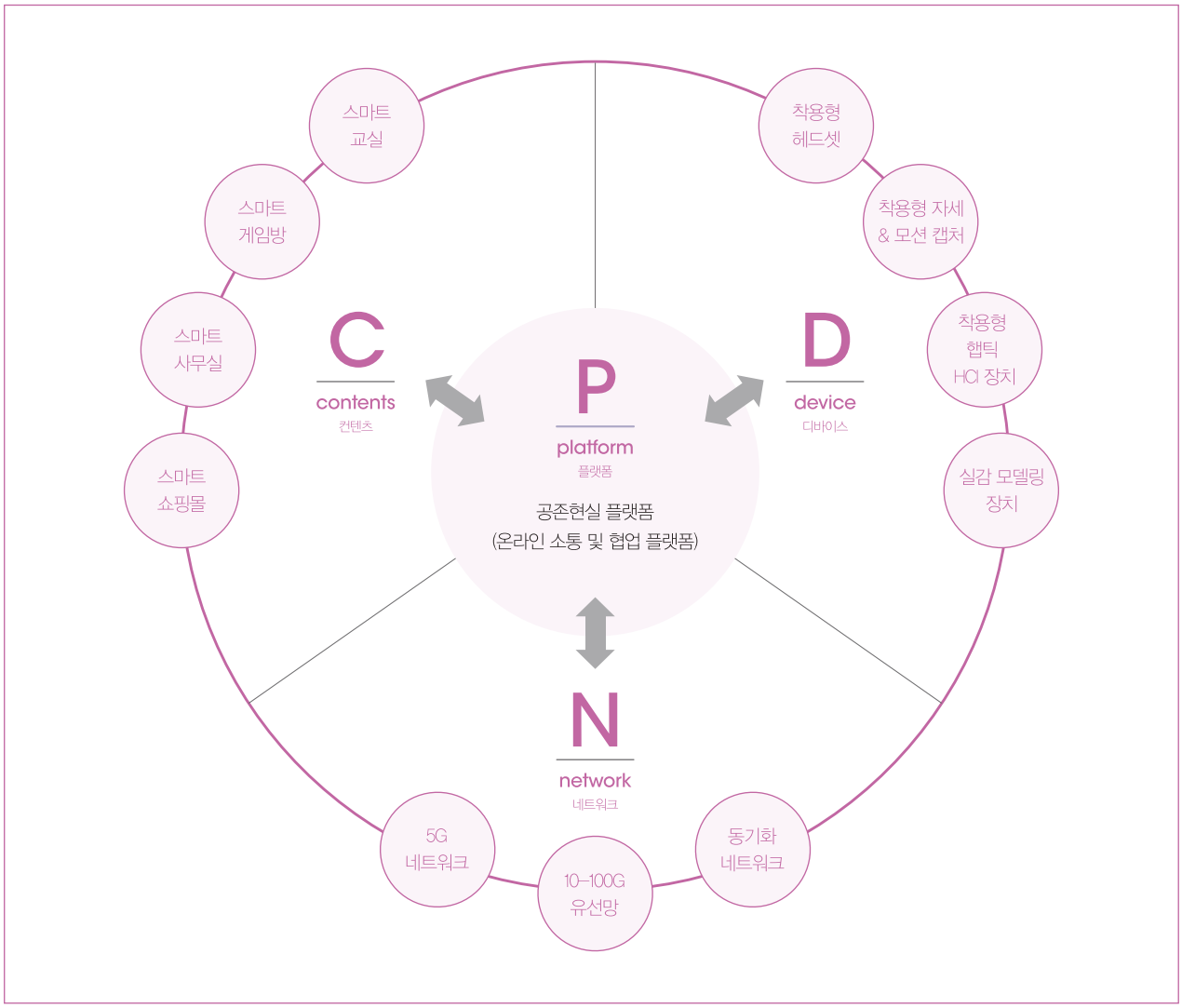
네트워크로 접속한 다수의 사용자들이 실제로 함께 모인 것처럼 같은 가상의 장소에서 만나, 정보, 다중감각, 감성, 경험 등을 공유하고, 서로 소통하며 인터랙션하면서 협업할 수 있는 '실감교류 확장공간'과 그 안에서 느끼는 리얼리티인 '공존현실'이 5G네트워크 서비스와 함께 새로운 세상으로 다가오고 있다.



앞으로 친구들과 함께 가상교실에서 만나 강의를 듣고 실험도 하고 놀 수도 있는 스마트 교실, 집에 있으면서 친구들과 만나 소통하며 블록 쌓기, 체스두기와 같은 게임을 즐길 수 있는 스마트 게임방, 각자의 집에서 가족 또는 친구들과 함께 쇼핑하고 게임도 할 수 있는 스마트 쇼핑몰, 집에서 의사 혹은 간호사와 연결되어 상담하고 진료를 받을 수 있는 원격 존재 로봇, 직장에 출근하지 않아도 회의 자료를 공유하고 삼차원 도면을 돌려보고 수정하면서 회의하고 일할 수 있는 스마트 사무실 등 무한한 콘텐츠로 유용한 서비스를 제공할 수 있는 새로운 시장이 열릴 것으로 기대된다.

이를 위해 다수의 사용자들을 함께 연결하고 다양한 콘텐츠를 담을 수 있으며 일반 가정에서도 편리하게 사용할 수 있는 공존현실 플랫폼 기술, 다양한 감각을 사용자에게 제공하여 실감나는 인터랙션을 지원하는 감각 피드백 착용형 휴먼 인터페이스 및 인터랙션 기술, 실제 사용자와 세상을 가상세계에 복사하여 그대로 옮기고 그 안에서 실제처럼 인터랙션 할 수 있는 실감 모델링 및 물리 인터랙션 기술 등을 지속적으로 개발하여 상용화 및 제품화를 통해 대중화 단계까지 도달하도록 발전시켜야 할 것이다.

ICT 성장의 기본요소인 콘텐츠(C), 플랫폼(P), 네트워크(N), 디바이스(D) 분야의 상용화 기술 개발과 인프라 구축을 위해 지속적인 지원과 투자가 필요하다.



RESEARCH
GROUP

03
차세대바이오매스연구단
Advanced Biomass R&D Center

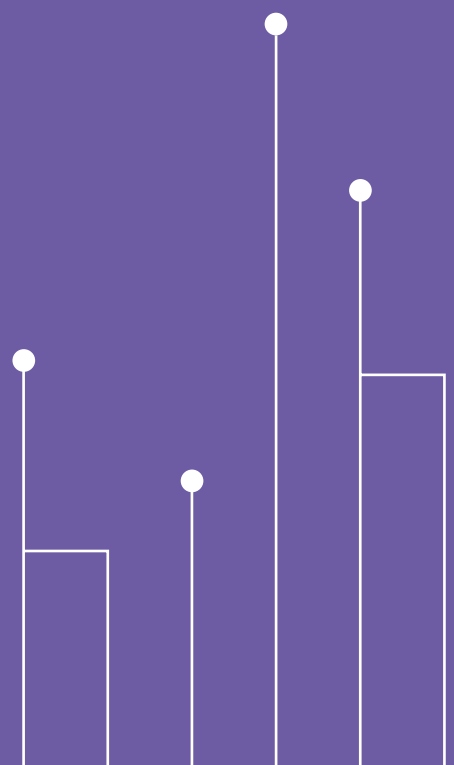
01 연구단 9년사 139

02 사업목표 145

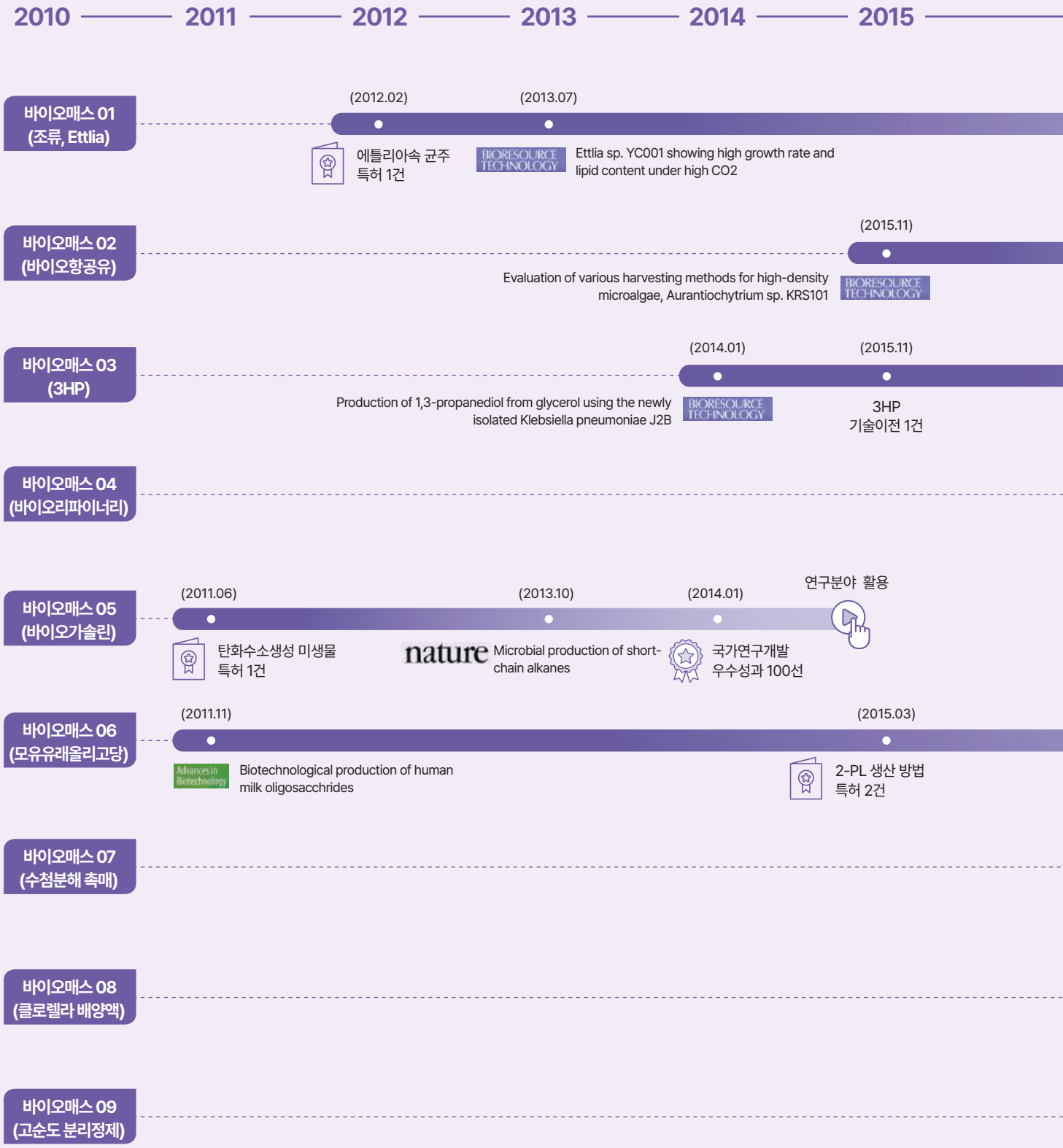
03 연구성과 150

04 기술사업화 성공스토리 169

05 미래제언 172



대표 연구성과별 파이프라인



2016 — 2017 — 2018 — 2019 — ~ 2023

(2017.04)

기능성 소재 생산 미세조류 기술이전 1건

(2018.07)

The ancient PI3K signaling system is a master regulator of energy and carbon metabolism in algae

(2017.07)

ACS Catalysis Maximizing Biojet Fuel Production from Triglyceride: Importance of the Hydrocracking Catalyst and Separate Deoxygenation/Hydrocracking Steps

(2016.06)

3HP 생산방법 특허 1건

(2017.02)

3HP 기술이전 1건

공동연구개발 중

(2017.02)

I&EC research Model-Based Optimization of Cyclic Operation of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) Fermentation Process with ex Situ Butanol Recovery (ESBR) for Continuous Biobutanol Production

연구분야 활용

(2016.05)

2-PL 제조 기술이전 1건

(2018.07)

METABOLIC ENGINEERING Engineering of alpha-1,3-fucosyltransferases for production of 3-fucosyllactose in Escherichia coli

(2018.07)

기술활용 제품 출시

(2017.05)

수첨분해 촉매 특허 1건

ACS Catalysis

(2017.10)

클로렐라 속 ABC-001 균주 용도 특허 5건

(2017.11)

I&EC research Development of an efficient process for recovery of fucose in a multi-component mixture of monosugars stemming from defatted microalgal biomass

(2018.02)

미세조류 배양방법 외 특허 2건

(2019)

푸오코스 분리방법 외 기술이전 3건

(2021)

기술활용 제품 출시

한눈으로 보는 차세대바이오매스연구단의 9년

비전

Biomass Technology Global Leader 2019
바이오연료•소재 기술강국 실현

	2010년~2019년
원천기술(특허등록)	11개 (166)
연구 수준(CNS급/상위 10% 논문)	300편
바이오연료 세계시장규모 국내 미세조류 바이오디젤 시장 창출	1,000억 달러/년, 2,000억 원(2009년)

바이오 수송연료	바이오 소재
바이오 항공유, 그린디젤, 바이오디젤	3-HP 2, 3-BDO, Fucose Fucosylloctose, PUFA

정량적 연구성과

논문건수			특허					
SCI	비SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
906	46	952	350	134	484	183	22	205

학위배출				국제협력		기술사업화	
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전	
						건수	기술료(백만원)
116	187	52	355	5	180	22	3,463

01 연구단 9년사

1. 설립배경

지난 100여 년간 석유자원 기반의 산업 시스템을 바탕으로 발전해왔던 전 세계 국가들은 지구온난화로 인한 환경 위기와 고유가로 인한 에너지 위기에 직면해있다. 이에 세계 각국은 '탄소순환형 지속성장' 이라는 패러다임 아래, CO_2 발생량을 현저히 줄여야 할뿐만 아니라 사회 전반에 필요한 에너지 및 소재를 안정적으로 공급할 수 있어야 한다. 바이오매스 자원은 CO_2 배출 문제 해결과 함께 사회 전반에 필요한 에너지 및 소재를 안정적으로 공급할 수 있다는 점에서 지속 가능한 탄소순환형 사회 구현을 위한 독보적인 대안이라 할 수 있다.

가. 기술적 측면

기존의 바이오매스 자원화를 위한 기술들은 균주 개발보다는 공정 개발에 중점을 맞추고 있다. 그러나 전 세계적으로 매년 광합성을 통해 생성되는 바이오매스의 양은 대략 2,200억 odt(oven-dry tones)에 달하는데, 이는 세계 1차 에너지 사용 총량의 10배에 해당하는 수치이다. 이는 단지 이론적인 수치에 불과하고, 이중 극히 일부만이 사용될 수 있음을 고려하더라도, 바이오매스 자원은 석유자원과 달리 지속적으로 생산되기 때문에 결국은 바이오매스 자원의 시대가 도래할 것으로 예상된다.
따라서 미래 사회 기반이 될 바이오매스의 충분한 확보를 위해서는 2세대 바이오매스인 목질계 바이오매스와 미세조류 및 거대조류와 같은 3세대 바이오매스의 혁신적인 배양 기술을 개발하고, 첨단 생명공학 기법을 동원하여 생태친화적인 다양한 종류의 바이오매스를 개발하는 것이 중요하다. 또한, 이러한 바이오매스로부터 바이오에너지 생산을 위한 고성능 바이오매스의 안정적 공급을 위한 친환경 배양 및 수확 기술과 바이오에너지 및 소재 전환 효율을 혁신적으로 끌어올릴 수 있는 원천 기술 개발이 필요하다. 연구단은 바이오매스로부터 바이오연료 등을 생산할 수 있는 우량 토착 미세조류를 확보 및 개량하여 국내외 생명화학공학 및 바이오유지화학 산업 기반을 제공하는 기술 개발에 도전하였다.

나. 경제적·산업적 측면

바이오매스 기반 기초·원천 기술개발은 특히 자연계 순환 전 과정에서 광합성에 의해 생성된 바이오매스로부터 사회 전반에 필요한 연료와 소재를 친환경적으로 생산하는 지속적인 기술이다. 또한, 식물과 해조류에 의한 대기 중의 CO_2 흡수와 미세조류를 이용한 산업시설 배출 CO_2의 직접 고정화를 통한 지구온난화의 근원적 해결이 가능한 기술이다. 진보된 바이오매스 기반 바이오연료 기술(조류 유래)은 초기 개발 단계로, 바이오매스 에너지 기술개발에 대한 기초·원천기술을 선진국보다 먼저 선점하면 그에 따른 파급효과가 막대할 것으로 기대되었다. 또한 바이오매스라는 새로운 에너지 자원을 확보하여 에너지 소비국가에서 에너지 자립국가로 변신하는 기반을 마련함으로써, 국내 바이오 연료 사용을 통한 석유 수입 대체 및 유가, 곡물가 변동에 의한 경제적 타격이 감소할 것으로 기대할 수 있다. 연구단은 원천기술 확보를 통해 글로벌 녹색경제성장을 견인하고, 신성장동력 산업 창출을 선도하는 기반을 마련하고자 하였다.

다. 사회적 측면

세계적으로 에너지·자원 고갈 심화에 따라 화석연료에 대한 공급이 불안한 가운데 석유 산유국에 의존해야하는 국내 에너지 공급 구조에서 신재생에너지에 대한 관심이 크게 증가하고 있고, 지구온난화·기후 변화 및 환경 위기 등으로 온실가스 배출량 감축을 위한 대책을 마련하고 있다. 이를 위해 석유기반 에너지 사용에서 바이오매스 기반 에너지로 글로벌 트렌드의 변화가 이루어지기 시작했다. 세계적으로 식량계 기반 청정 바이오연료 기술은 현재 상용화 단계에 있으나, 진보된 바이오매스 기반 바이오연료 기술, 즉 조류 유래 바이오매스 기반 바이오연료 기술은 초기 개발 단계에 있었다. 우리나라의 경우, 국내에서 바이오매스 원료 확보가 어려워 전통적인 식량계 바이오연료 기술보다 원료 확보에 이점이 있는 미세조류 및 해조류 바이오매스를 이용하여 바이오연료 생산기술 개발을 통해 경쟁력 확보가 가능할 것으로 기대되었다. 이에 연구단은 바이오매스 에너지 기술 개발에 대한 기초·원천기술을 선진국보다 먼저 선점함으로써, 기후변화, 에너지·자원 부족 등의 글로벌 이슈에 대응하고자 하였다.

2. 사업추진체계

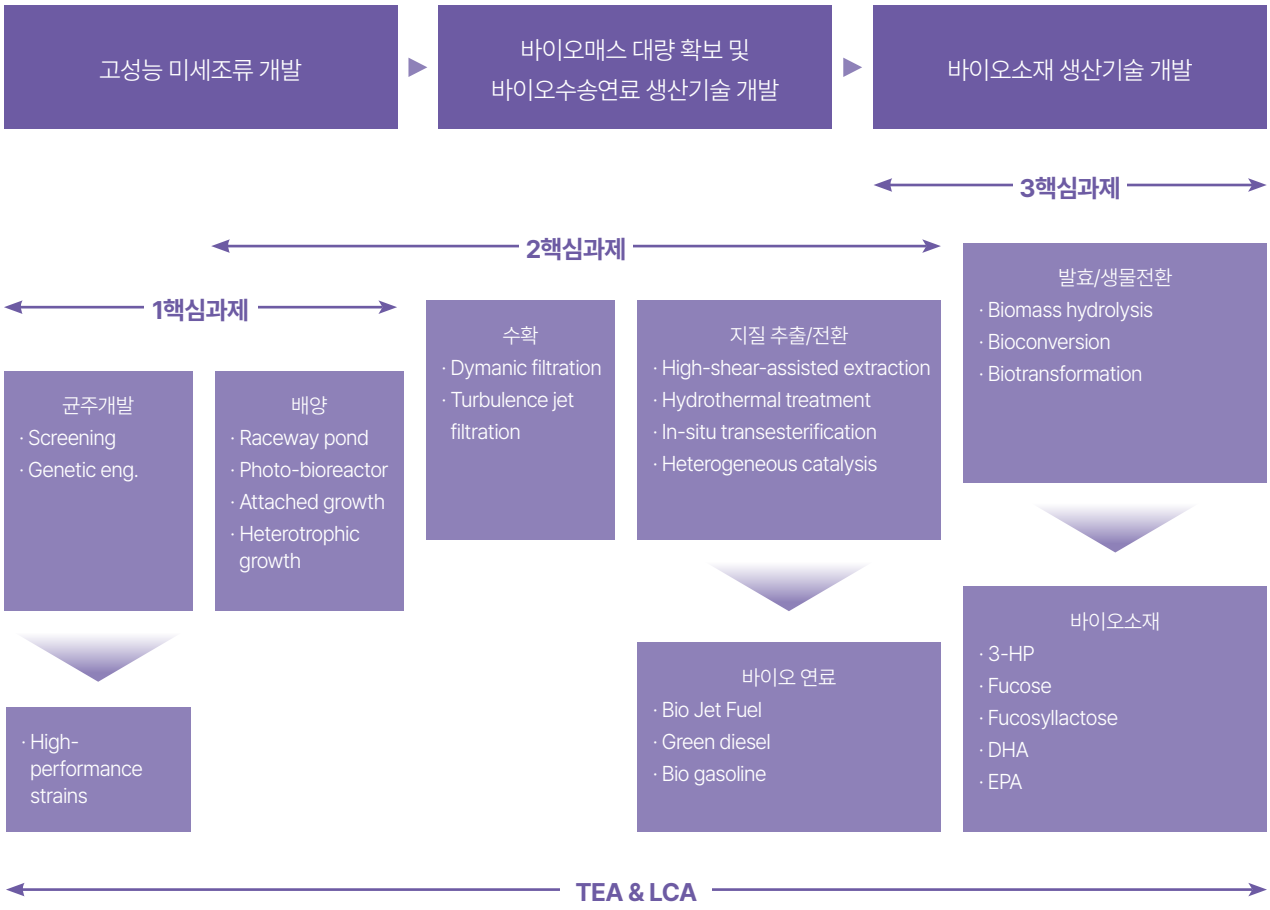
가. 사업추진체계 및 전략

차세대바이오매스연구단은 연구기간 동안 바이오매스 분야의 기초·원천기술을 확보하고자 하였으며, 더불어 최종 사업화를 위하여 경제적이고 효율적인 바이오수송연료 및 바이오 소재 분야의 통합공정시스템 개발을 목표로 사업을 수행하였다.

연구단은 바이오매스 자원화, 산업화 기반 확립을 위해 전체 공정의 통합성, Scale-up 연구 및 시스템 구축 등의 연구에 주력하였으며, 연구목적에 맞는 각 핵심 과제 내부의 유기적 공동연구와 핵심 과제 상호간의 연계성을 더욱 강화할 수 있는 공동운영체계 Data base를 구축하였다.

1단계에서는 각각의 공정별 핵심 기반 기술 확립 및 바이오매스 후보를 개발하고, 2단계에서는 분야별 융복합 기술을 적용하여 바이오매스를 개량하며, 3단계에서는 1, 2단계에서 최적화된 공정기술을 바탕으로 실용 산업화를 이뤄 고성능, 고효율의 차세대 바이오매스를 개발하고 바이오연료 및 소재를 산업화 하는 추진전략을 통해 연구단의 목표를 달성하였다.





3. 사업추진현황

가. 연구개발비 투입 현황

연구비는 과학기술정보통신부(구. 미래창조과학부)가 지원하였고, 총 연구비 약 908억 원으로 이중 정부 연구비는 약 881억 원이 지원되었다.

연도	연구개발비(단위: 백만원)		총계
	정부	민간	
2010	4,500.00	-	4,500.00
2011	10,000.00	-	10,000.00
2012	10,000.00	-	10,000.00
2013	10,000.00	300	10,300.00
2014	10,000.00	562	10,562.00
2015	10,371.80	441	10,812.80
2016	9,584.00	370.4	9,954.40
2017	9,451.30	433.4	9,884.70
2018	8,335.30	367	8,702.30
2019	5,818.00	256.667	6,074.67
합계	**88,060.40**	**2,730.467**	**90,790.87**

나. 참여기관 현황

연구단과 협약한 참여기관은 1단계 15개, 2단계 25개, 3단계 19개였으며, 원천·핵심기술 연구를 위해 학계의 참여가 두드러졌다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	1	7	1	9
	위탁	-	5	1	6
	합계	**1**	**12**	**2**	**15**
2단계	세부	6	8	2	16
	위탁	-	8	1	9
	합계	**6**	**16**	**3**	**25**
3단계	세부	6	5	2	13
	위탁	-	5	1	6
	합계	**6**	**10**	**3**	**19**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 3,193명이었으며, 해마다 약 310여 명의 연구 인력이 참여하였고, 산학연별로는 학계의 참여도가 2,400명으로 가장 높았다.

산학연 구분

(단위: 명)

단계	1단계		2단계			3단계					합계
연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
산	-	-	-	-	25	28	30	32	24	21	160
학	207	264	238	335	290	218	239	213	213	183	2,400
연	37	54	48	52	51	58	61	63	58	52	534
기타	-	-	6	-	-	19	14	19	23	18	99
계	**244**	**318**	**292**	**387**	**366**	**323**	**344**	**327**	**318**	**274**	**3,193**

학위별 구분

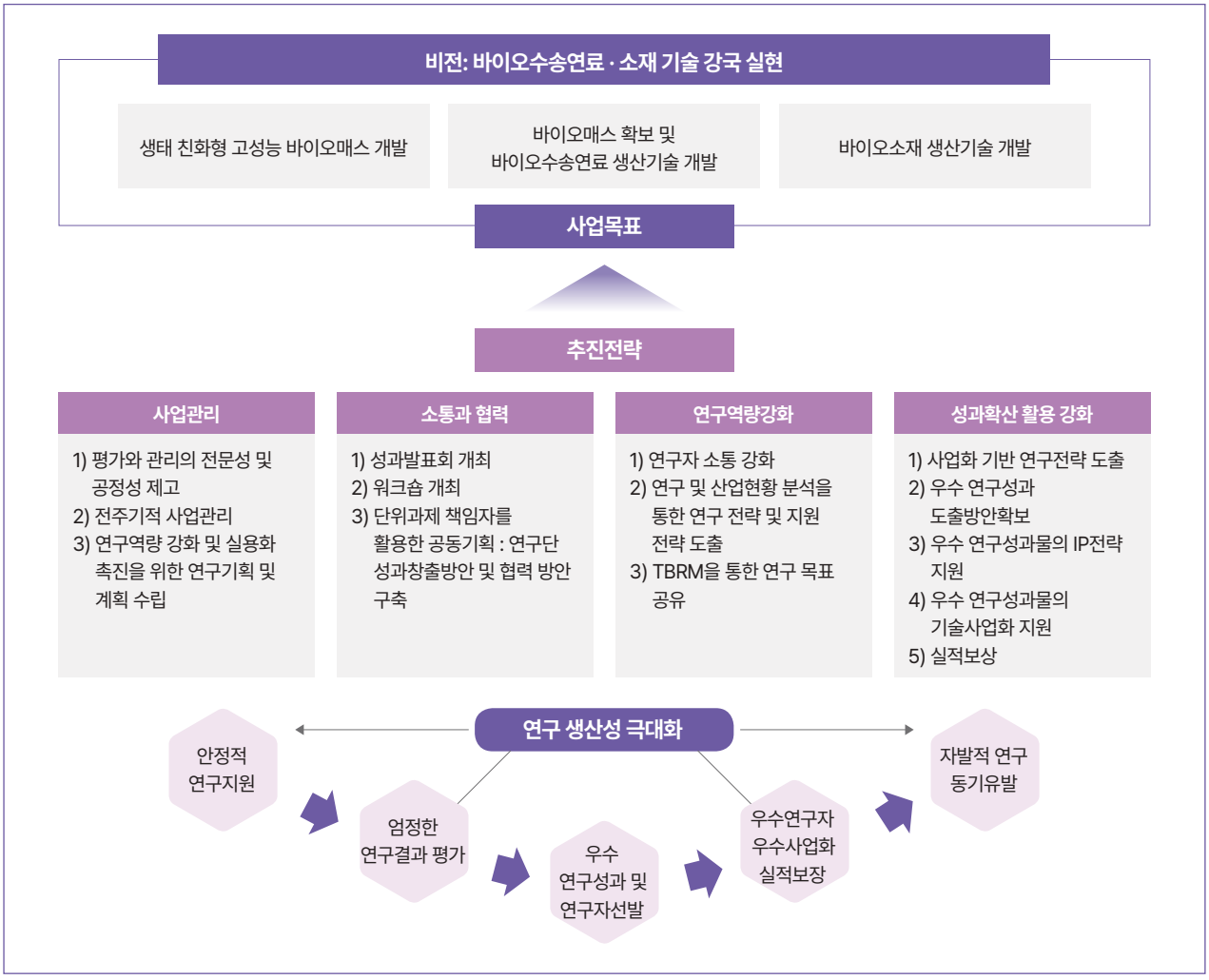
(단위: 명)

단계	1단계		2단계			3단계					합계
연도	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	
박사	79	97	99	101	100	87	89	90	85	77	904
석사	74	93	108	120	81	81	101	101	106	88	953
학사	79	104	65	164	173	151	147	128	119	101	1,231
기타	12	24	20	2	12	4	7	8	8	8	105
계	**244**	**318**	**292**	**387**	**366**	**323**	**344**	**327**	**318**	**274**	**3,193**

4. 사업 및 성과 관리

가. 사업관리

차세대바이오매스연구단은 바이오연료 및 바이오소재 분야의 기술적/산업적 가치 실현을 위해 1, 2, 3단계를 거쳐 조정된 연구 과제를 중심으로 선택과 집중을 통한 기술개발목표를 달성하고자 노력하였다. 특히 연구단은 연구 기획 및 엄정한 연구 관리 시스템을 통해 글로벌 선도그룹으로의 발전을 목적으로, 사업관리, 소통과 협력, 연구역량강화, 성과확산활용강화 등으로 추진전략을 수립하고, 이를 뒷받침할 수 있는 연구생산성 극대화를 위한 5대 방안을 마련하였다.



나. 과제관리 및 평가전략

평가관리

연구개발 성과에 대해 연구단의 전문 평가단이 1차 분석을 실시하고, 성과분석 전문기관 의뢰를 통해 2차 분석 및 관리 방안 도출을 통해 연구개발 성과에 대한 개별적 평가 관리를 하였다. 새로운 단계 진입 시에는 국제 평가단을 섭외하여 국제 수준의 심도있는 평가를 시행하였다. 연구개발 성과는 연구개발 목표 달성도, 질적 우수성, 활용 가능성을 고려하여 평가하였으며, 평가위원회는 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 연구개발 과제 평가위원 선정기준에 의거하여 세부기술별로 적정규모의 전문가를 확보하여, 평가의 전문성을 유지하고 이해관계자를 연구개발 평가단에서 제외하여 평가의 공정성을 유지하였다.

진도 및 정산 관리

연구사업의 효율적인 추진과 효과적인 성과 창출을 유도하기 위해 핵심과제 분야별 책임간사를 활용하여 연구수행 진도관리 등의 모니터링을 통한 전주기적 기획관리 시스템을 운영하였으며, 중간 및 연차별 평가를 통해 연구진행 사항과 실적을 점검하고, 세부과제의

연구목표 달성을 독려하였다. 또한 연구단 워크숍을 개최하여 우수 연구성과 발표를 통해 연구 네트워크를 강화함으로써 연구자 간의 상호 과제 모니터링이 가능한 세부과제 상호 간 유기적인 협력 체제 및 자율경쟁 체제를 구축하여 자발적인 연구 환경을 조성하였다. 연구비 정산은 매년 과제 종료 후 3개월 이내에 주관기관에서 1차 정산된 서류를 접수받아 연구단에서 2차 정산을 실시하고 종료 후 5개월 이내에 한국연구재단에 최종 정산 결과를 보고하였다. 연구개발비 집행에 있어서는 관련 규정 및 연구협약에 준하여 관리되었는지 확인 및 점검하여 연구개발비의 효율적인 집행 관리를 도모하고 연구비 정산 잔액을 확정·회수하여 국가연구개발비의 집행에 투명성을 제고하고자 하였다.

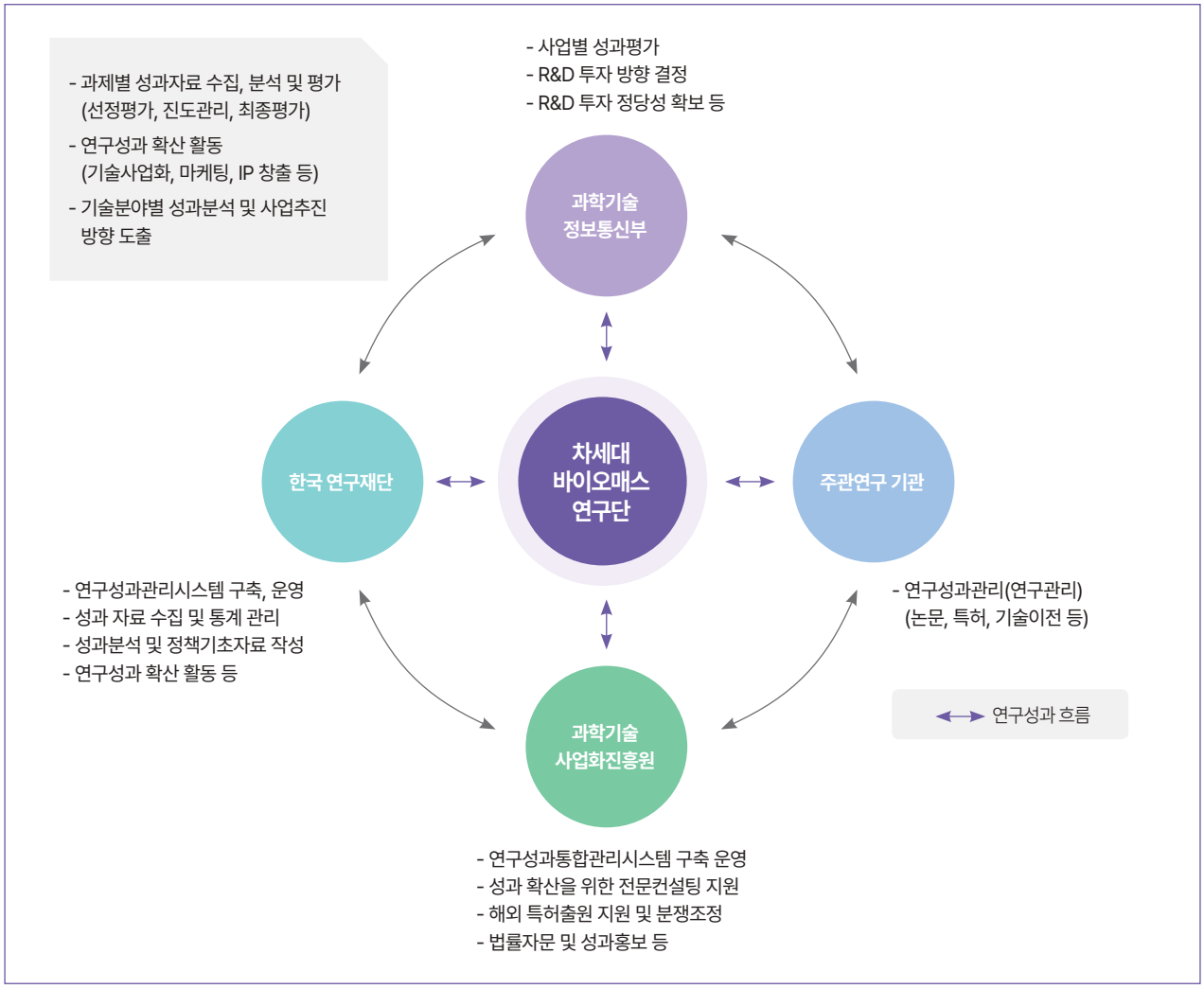
다. 성과 활용 전략

성과관리

기술·정책·시장 및 사회적 NEEDS를 통합한 「가치창출형 창조적 성과관리 및 성과확산」 체계 구축을 위해 기존의 DATA, 숫자, 성과 건수, 공급자 중심 R&D 성과관리를 탈피하고자 하였으며, 정기적인 모니터링이 이루어질 수 있도록 과제 수행 기관의 연구성과 및 기술료 관리를 통해 연구성과가 사장되는 것을 방지하기 위해 노력하였다.

(논문 및 특허) 논문과 특허의 경우, 한국연구재단 ERND 시스템을 활용한 체계적인 성과 관리가 수행되었으며, 논문영향력지수(Thomson 社 IF, mrnIF 등) 분석, 특허 MAP 및 특허 분석, 연구단 연구목표 관리·운영을 도입한 "연구단 목표지향적 기술개발로드맵"을 통한 체계적이고 시계열적인 성과 관리로, 기초·원천 기술의 조속한 개발을 실현하고자 하였다.

(기술료 관리) 연구단은 보유 우수 IP자산을 라이센싱함으로써 기술료 수익을 창출하였다. 연구단 자체 성과에 대한 기술사업화를 위한 직무발명규정 및 기술실시 계약, 기술료 사용지침을 마련(2013.02.06.)하고, 해당 규정 및 지침에 따라 기술료 수입을 비목별로 투명하게 관리하였다.



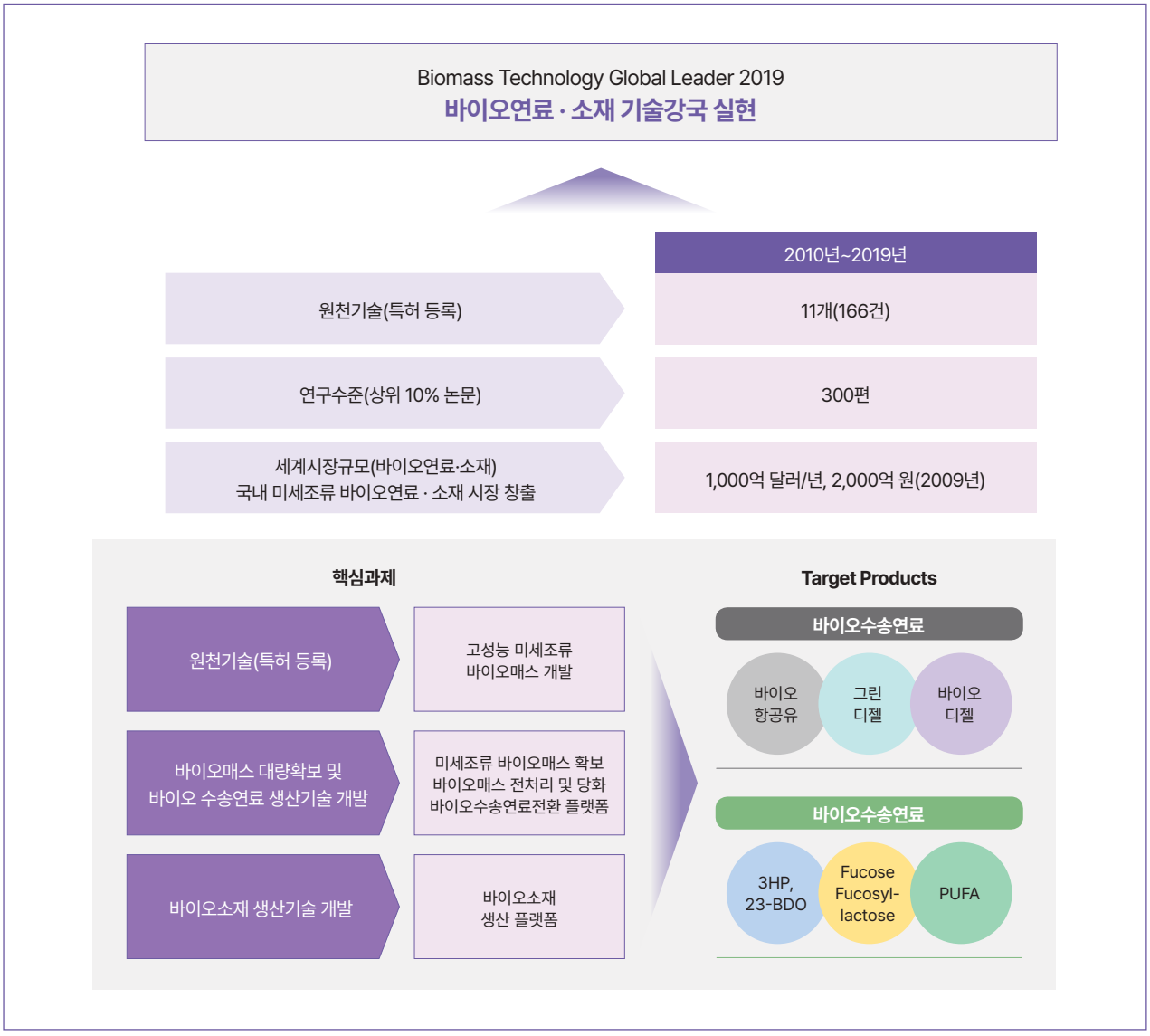
02 사업목표

1. 최종목표/단계별 목표

가. 최종목표

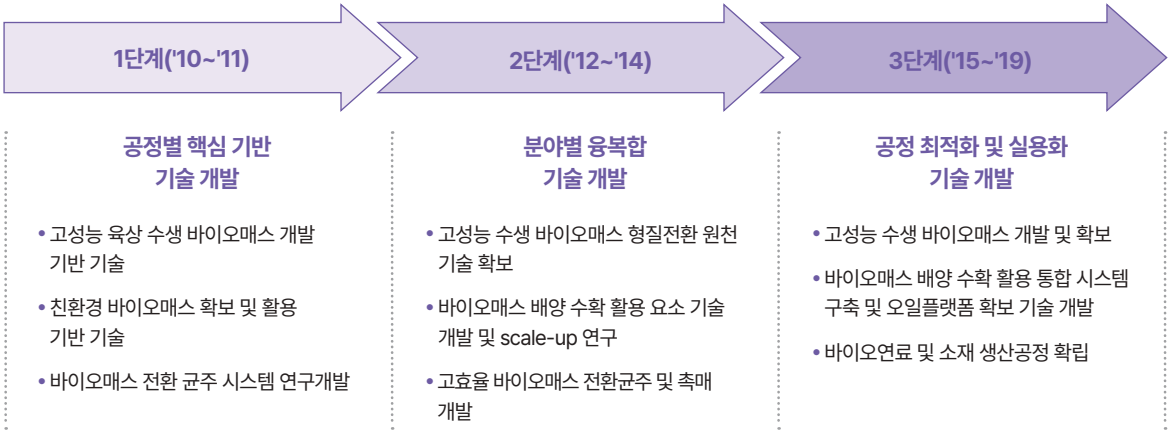
차세대바이오매스연구단은 화석연료 사용에 따른 탄소배출 등의 환경 문제를 해결하고 동시에 지속 가능한 에너지 공급원 확보를 통한 국가 에너지 자립에 목적을 두고 설립되었다.

연구단은 토착 우량 미세조류를 발굴하고 이에 유전공학, 대사공학을 접목시켜 고 오일 생산성 미세조류를 개발하고, 이의 배양 및 수확, 미세조류 유래 오일의 추출 및 전환 등에 관한 미세조류 이용기술 연구분야에서 세계 초일류 기초·원천기술 개발을 통하여 바이오연료 및 소재 기술 강국 실현을 최종 목표로 하였다.



나. 단계별 목표

1단계에서는 바이오매스의 자원화를 위한 공정별 핵심 기반 기술 개발을 목표로, 고성능 육상 수생 바이오매스 개발 기반 기술을 발굴하고, 친환경 바이오매스의 확보와 이를 활용하기 위한 기반 기술을 마련하고자 하였다. 또한 바이오매스 전환 균주에 대한 연구개발을 통해 바이오매스 자원화 기반 기술 마련을 목표로 하였다.
2단계에서는 고성능 수생 바이오매스의 형질전환 원천기술을 확보하고, 바이오매스의 배양 및 수확과 활용을 위한 요소 기술과 이의 Scale-Up 연구를 수행하였으며, 고효율의 바이오매스 전환 균주 및 촉매를 개발함으로써 각 분야별 융복합 기술 개발을 목표로 하였다.
3단계에서는 1, 2단계의 기반 기술 및 융복합 기술을 바탕으로 고성능 수생 바이오매스를 확보하고, 바이오매스 배양, 수확 및 활용을 위한 통합 시스템을 구축함으로써 오일 플랫폼 기술을 확보하고자 하였다. 또한 효율적으로 바이오연료와 소재를 생산할 수 있는 공정을 확립하여 공정 최적화 및 실용화 가능한 기술 개발을 목표로 하였다.



2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

차세대바이오매스연구단은 생태친화형 고성능 미세조류 개발, 바이오매스 대량 확보 및 바이오수송연료 생산기술 개발, 바이오소재 생산기술 개발이라는 3개의 핵심 연구과제를 구성하였으며, 이를 통해 바이오수송연료 및 고부가가치 소재 생산의 최적화 및 실용화 기술 확립을 추진하고자 하였다.



나. 핵심 과제별 연구 분야 및 내용

핵심과제 1: 생태친화형 고성능 미세조류 개발

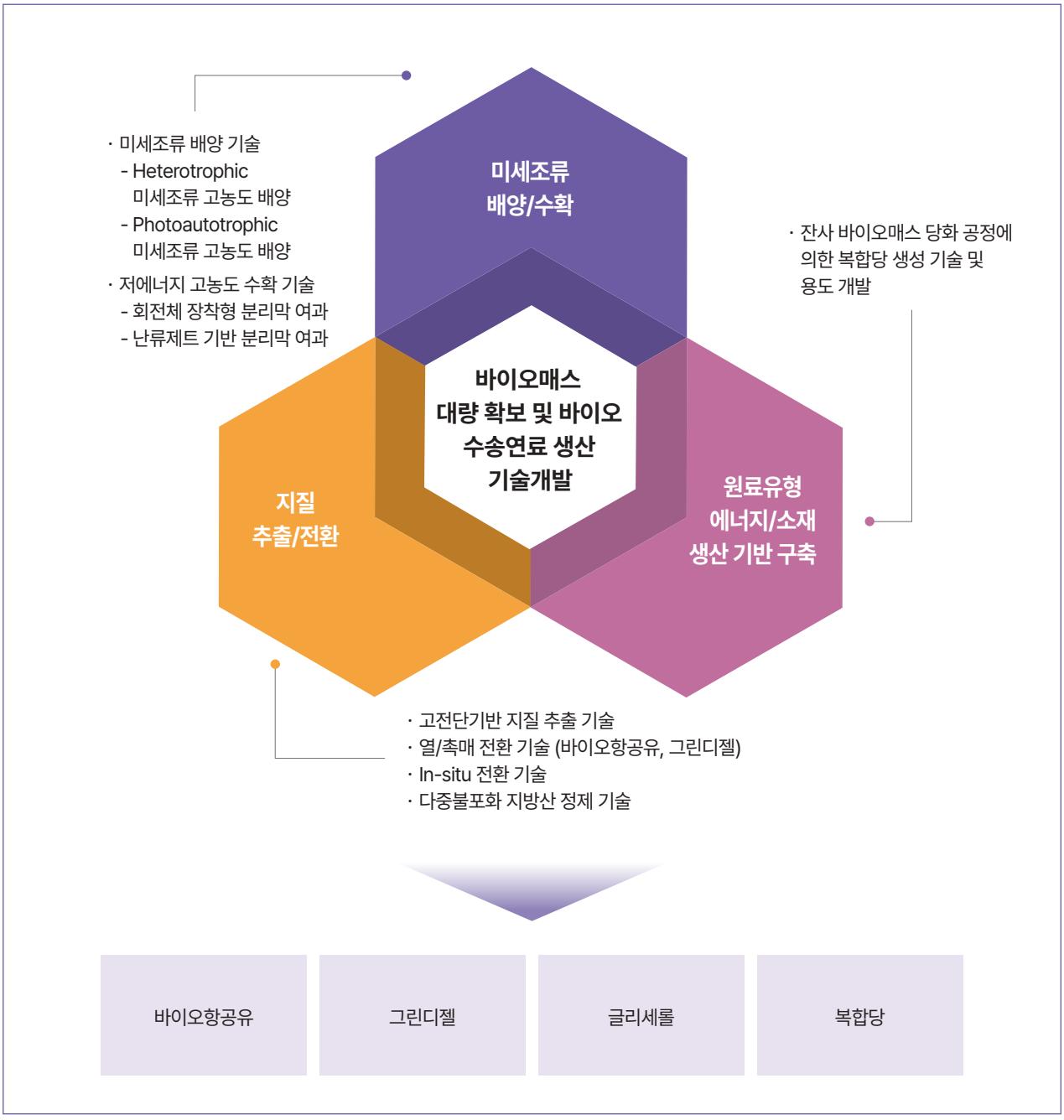
다양한 환경 조건에서 최적 미세조류 배양시스템을 통한 바이오매스 자원을 확보하며, 오믹스 기반 고생장, 고지질 특성 미세조류를 개량하여 바이오디젤 생산 산업용 미세조류를 제시하였다.



· 생리, 생태적 특성을 기반으로 여러 스트레스 환경에서의 반응 및 적응인자를 단백질체 수준에서 규명하여 생장 및 배양 최적화
· 지질대사 및 유용물질 합성 경로, 전사인자, 생장 촉진 인자 규명
· 유전체와 전사체 분석을 통한 Microalgal system biology 기틀 마련 및 미세조류 형질 전환 최적화
· 유전체/오믹스 DB 구축

핵심과제 2: 바이오매스 대량 확보 및 바이오수송연료 생산기술 개발

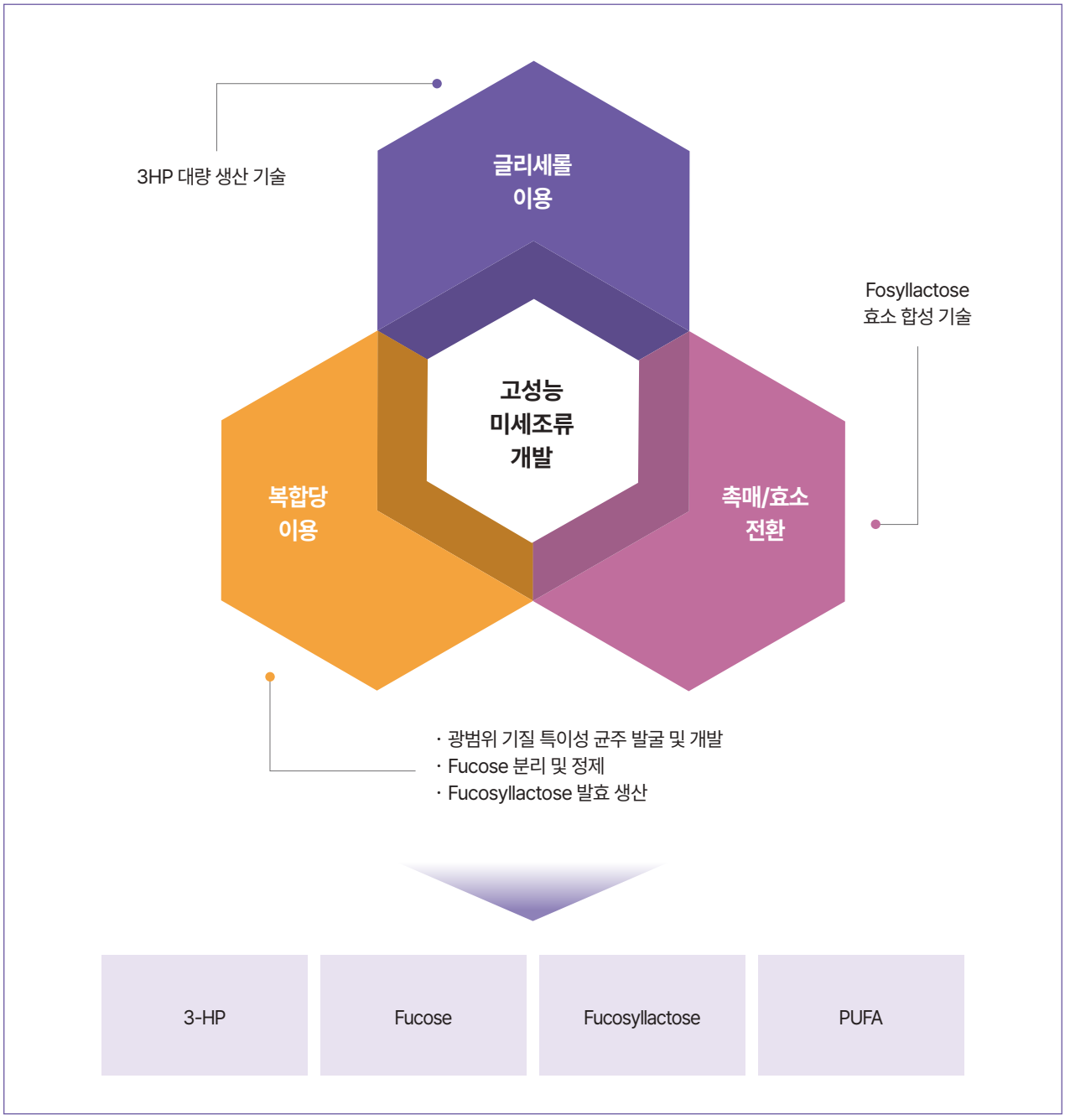
바이오연료 생산을 위한 미세조류 대량 배양, 수확, 오일 추출 및 전환 공정 개발, 지질 추출 후 잔사 바이오매스 이용 기술 개발 및 초구조 기반의 최적화 기술을 개발하고자 하였다.



· 한국형 대량배양 시스템 구축, 바이오매스 대량 생산 기술 개발
· 저에너지형 수확 기술 개발 및 배양/수확 연계 공정 개발
· 지질 추출 및 촉매/효소 전환을 통한 바이오항공유, 그린디젤, 바이오디젤 생산 기술 개발
· 잔사 바이오매스 당화 공정 개발 및 이용 기술 개발
· 미세조류 기반 바이오 리파이너리 분야의 공정생산성 및 탄소 저감 효율 향상을 위한 초구조 기반 최적 생산경로 탐색

핵심과제 3: 바이오소재 생산기술 개발

미세조류 유래 바이오매스 전환을 통한 효율적인 기반(Platform) 화학 소재 및 스마트 생물 소재 생산을 위해 대사경로 합성 및 최적화, 내성 증대 등을 통해 우수한 능력을 가진 균주들을 개발하고 각 생산 균주들에 적합한 맞춤식 대량 생산 원천 기술을 개발하고자 하였다.



· 미세조류 유래 바이오매스의 전환을 통한 효율적인 기반(Platform) 화학 소재 및 스마트(Smart) 생물소재 생산을 위해 대사경로 합성 및 최적화, 내성 증대 등을 통해 우수한 능력을 가진 균주들을 개발하고 각 생산 균주들에 적합한 맞춤식 대량 생산 원천 기술을 개발

· 우수 촉매에 의한 효율적 바이오매스 전환기술을 개발함으로써, 미생물기반의 바이오연료 및 바이오화합물 생산시스템을 보완하고, 미생물 대사공학 기술이나 촉매 공정기술, 그리고 바이오매스 생산/전처리 공정 간의 융합을 통해 최종적으로 탄소순환형 차세대 바이오매스 전환 원천기술을 확립

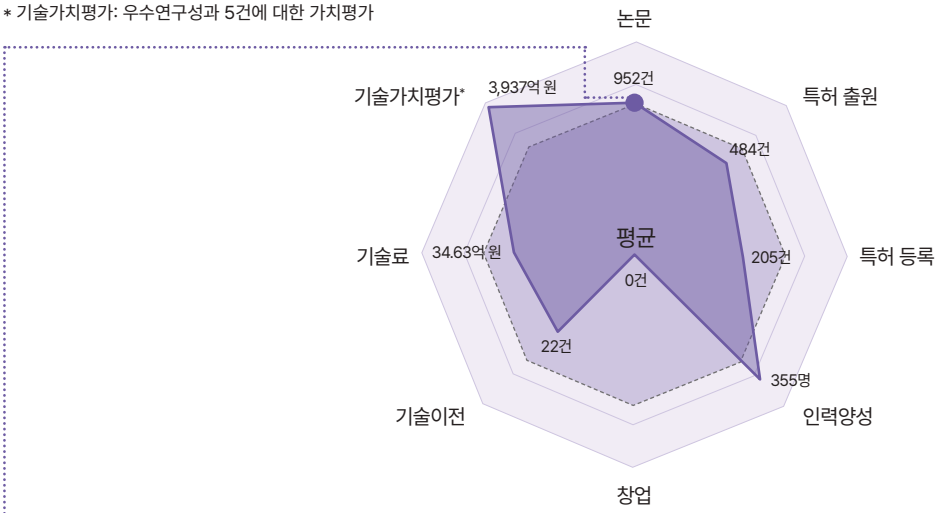
03 연구성과

1. 총론

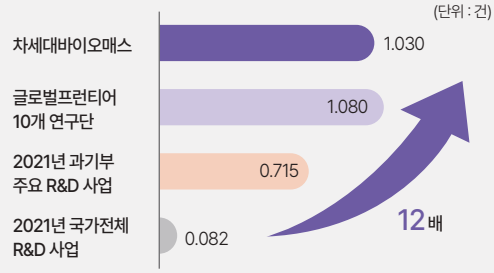
ESG(Environmental, Social and Governance)와 기후변화 대응, 지속 가능성이 전 지구적 과제로 다가온 가운데 차세대바이오매스 연구단은 기존 화석연료 중심의 산업 구조에서 벗어나 바이오매스 활용도를 높이는 기반기술과 사업화 성과들을 내놨다.
산업시설에서 배출되는 이산화탄소를 바이오매스 생산에 활용해 이산화탄소를 산소로 전환하고, 이렇게 생성된 바이오매스를 이용해 연료와 소재를 생산함으로써, 탄소감축에서 새로운 성장 기회를 얻겠다는 목표로 출범했다.
세계 최초로 대사공학적으로 개발된 미생물을 이용해 바이오매스로부터 가솔린을 생산하는 원천기술을 개발해 국제학술지 네이처에 논문을 발표하고, 염료·안료·섬유 등에 다양하게 쓰일 수 있는 플랫폼 화합물인 3-하이드록시프로피온산(3-HP)를 고농도, 고생산성, 고수율로 생산할 수 있는 균주와 발효 공정을 개발해 3억 원에 기술이전하는 등 성과를 내놨다.
연구단은 총 906편의 SCI 논문을 포함해 총 952건의 논문을 발표하고, 484건의 국내외 특허출원, 205건의 국내외 특허등록 성과를 내놨다. 355명의 학위인력을 배출하고, 총 22건의 기술이전 계약을 맺었다. 기술료 수입은 총 34억 6,300만 원에 달한다. 기술가치평가를 한 결과 연구성과 가치는 총 3,937억 원으로 평가되었다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 5건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 SCI 논문 산출성과[1)]



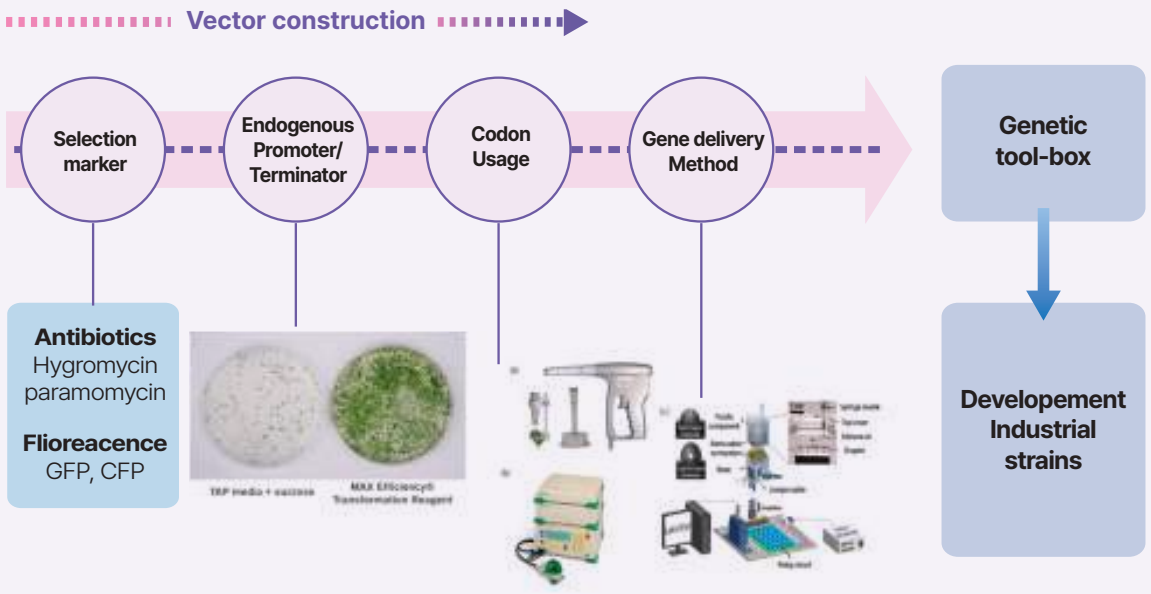
- 차세대바이오매스 연구단은 우수기술 기술가치평가액, 인력양성 및 논문부분에서 두드러지는 성과를 나타내고 있는 것으로 분석
- 특히, 연구단의 우수기술 가치평가액은 약 3,937억 원으로 글로벌프런티어 10개 연구단 평균인 2,864억 원보다 약 1,073억 원 높은 수준
- 또한, 연구단의 연구비 1억 원당 SCI 논문 건수는 약 1.03건으로 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 약 1.4배, 2021년 국가 전체 R&D 대비 약 12배 수준인 것으로 분석

1) 인력양성 및 기술가치평가는 타 사업과 성과 비교가 불가능(해당 성과에 대한 데이터 없음)하여 그 다음으로 우수한 연구비 1억 원당 SCI 논문 창출 성과를 비교

2. 대표 연구성과

바이오매스 01

Ettlia 형질전환 Tool-box 및 형질전환체 개발 (KRIBB 오희목)



[Ettlia Transformation Tool-box 개발 순서도]

- 연구단은 미세조류 오믹스 및 분자생물학적 연구, 산업적 활용에 필수적으로 필요한 Axenic culture 생산 및 검증, 관리를 위한 방법을 정립하고 Ettlia의 향상된 유전체 정보 Web-DB(22,038개 유전자)를 구축
- 미세조류 Ettlia sp.의 분자생물학적 개량을 위하여 Ettlia specific vector 시스템 및 CRISPR-Cas9 시스템 기반 형질전환체를 생산하고 검증
- 해당기술은 한국환경생물학회, 한국조류학회 등에서 우수포스터 논문상을 수상하였으며, 화장품 제조분야에 한정하여 (주)아데나에 기술이전 (2017.04, 정액기술료 3,000만원)되었음

논문

· Ettlia sp. YC001 showing high growth rate and lipid content under high CO2(Bioresour. Technol, 2013)
· Establishment and maintenance of an axenic culture of Ettlia sp. using a species-specific approach(Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2013)
· Unique mitochondrial genome structure of the green algal strain YC001, with morphological observation(Phycologia,2016)
· Current status and perspectives of genome editing technology for microalgae(Biotechnol,2017)
· Axenic cultures for microalgal biotechnology: establishment, assessment, maintenance, and applications(Biotechnol,2018)
· The ancient PI3K signaling system is a master regulator of energy and carbon metabolism in algae(Plant Physiol,2018)
· Development of transformation sysmtem using endogenous promtoers for stable expression in Ettlia sp(Biotechnol, 2019)

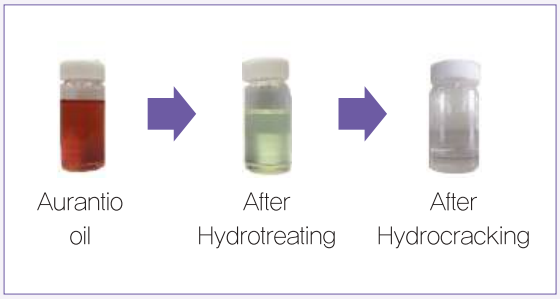
특허

· 높은 이산화탄소 고정능 및 지질 생산능을 가지는 에틀리아속 균주 및 이의 용도(KR 10-2012-0012888, B등급)
· 미세조류 에틀리아 유래의 프로모터 및 이의 용도(KR 10-2017-0023039, BB등급)
· 막지질 DGTS 조절을 통한 중성지질 증대 미세조류 형질전환체 및 이의 용도(KR 10-2017-0054579, B등급)

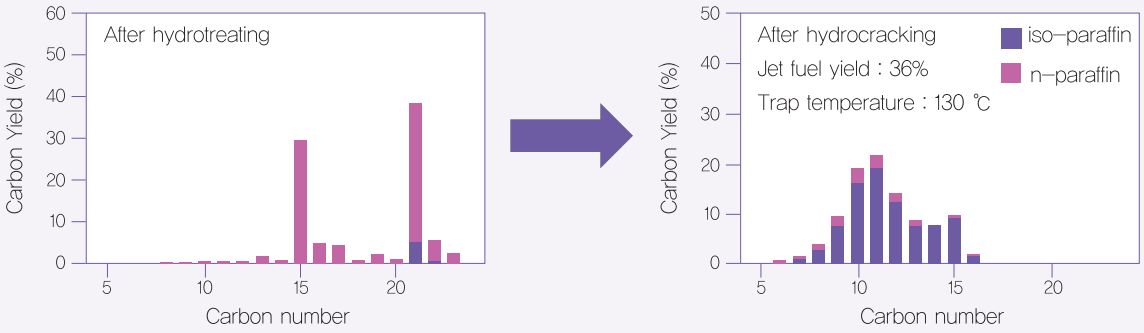
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	3,000만원	-

바이오매스 02

미세조류 유래 바이오연료 생산 실증 및 경제성 평가 (KAIST 최민기)



시험항목	단위	시험결과	ASTM D7566
밀도 (15 ℃)	kg/m³	758.8	775.3 ~ 839.8
빙점	℃	−2.5	〈 −47
황분	(m/m) %	〈 0.1	〈 0.3
참발열량	MJ/kg	43.73	〉 42.8



[미세조류 유래 바이오연료 생산 프로세스 및 DHA/MAO 비율에 따른 바이오항공유 생산 가격]

- 연구단은 미세조류 오란티오카이트리움 오일로부터 그린디젤 및 바이오항공유 전환용 촉매 및 공정 개발에 성공
- 해당 그린디젤 및 바이오항공유는 석유관리원 품질테스트 결과 국제기준 및 규격에 부합하는 수준
- 또한, 오란티오카이트리움 기반 그린디젤 및 바이오항공유 전환 전 공정의 경제성을 분석하였으며, 바이오항공유 생산 가격 경쟁력 확보를 위해서는 최소 12.7%의 DHA 분리 필요한 것을 밝힘
- 해당 논문은 촉매분야 최고 권위의 ACS Catarlysis에 게제되었음

논문

· Evaluation of various harvesting methods for high-density microalgae, Aurantiochytrium sp. KRS101 (Bioresource Technology, 2015)
· Maximizing Biojet Fuel Production from Triglyceride: Importance of the Hydrocracking Catalyst and Separate Deoxygenation/Hydrocracking Steps(ACS Catalysis,2017)
· High shear-assisted solvent extraction of lipid from wet biomass of Aurantiochytrium sp. KRS101 (Separation and Purification Technology, 2019)

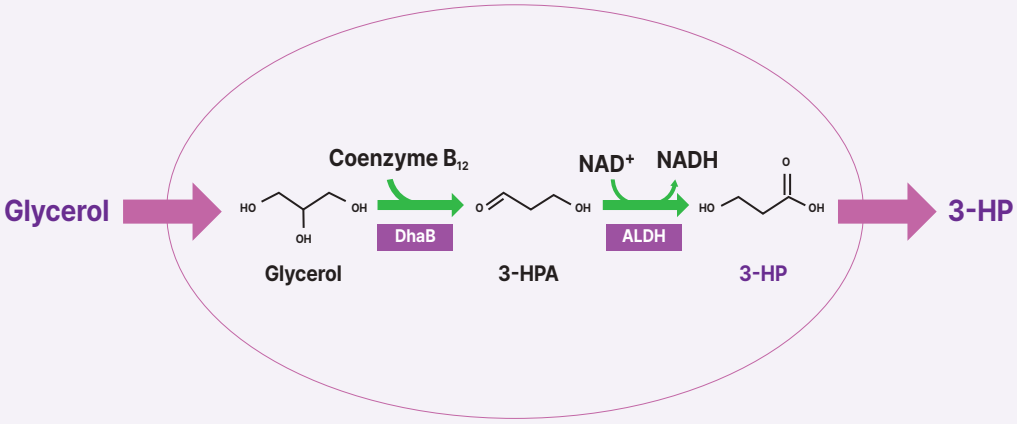
특허

· 원심펌프의 회전체에 의해 분리막의 파울링이 저감된 여과모듈 및 이를 이용한 분리방법 (KR 10-2017-0047269, BB등급)
· 위계다공성 베타 제올라이트 기반 수첨분해반응 촉매 및 이의 제조방법 및 상기 수첨분해반응 촉매를 활용한 트리글리세라이드를 포함하는 바이오매스로부터 바이오항공유 생산방법 (KR 10-2017-0063879, BBB등급)
· 미세조류로부터 지질을 추출하는 방법 (KR 10-2017-0171106, B등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

바이오매스 03

3-Hydroxypropionic acid(3-HP) 생산을 위한 미생물 전환공정 개발 (UNIST 박성훈)



[글리세롤을 이용한 3-HP 생합성 모식도]

- 3-Hydroxypropionic acid(3-HP)는 다양한 용도를 갖는 플랫폼 화합물로, 기저귀, 염료, 안료 및 섬유 등 다양한 범용 제품에 이용
- 미세조류나 식물성유지로부터 생산이 가능한 글리세롤을 원료로 3-HP를 고농도, 고 생산성, 고수율로 생산할 수 있는 균주와 발효 공정을 개발
- 균주, 발효공정 등 핵심기술을 기업체에 기술이전 하며, 상업화 생산을 위한 공동연구를 지속적으로 수행하고 균주 개량, 공정 Scale-up 등을 추가 개발을 진행
- 해당기술은 ㈜노루홀딩스/(주)노루알앤씨 기술이전(2017.2,2015.06 총 정액기술료 3억원)되었으며, 연구개발자인 박성훈 교수는 기술이전 기업과 지속적인 공동연구를 통해 기술을 고도화하는 중

논문 20건

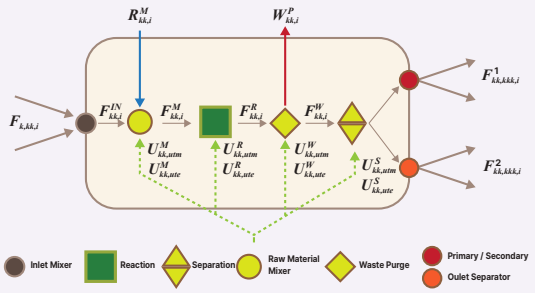
· Production of 1,3-propanediol from glycerol using the newly isolated Klebsiella pneumoniae J2B(Bioresource Technology, 2014)
· Coenzyme B12 can be produced by engineered Escherichia coli under both anaerobic and aerobic conditions(Biotechnology Journal, 2014)
· Elucidation of toxicity of organic acids inhibiting growth of Escherichia coli W(Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2014)
· Development of Klebsiella pneumoniae mutant strains for elimination of 1,3-propanediol during 3-hydroxypropionic acid production from glycerol, (Biotechnology and Bioprocess Engineering, 2016)
· Analysis and characterization of coenzyme B12 biosynthetic gene clusters and improvement of B12 biosynthesis in Pseudomonas denitrificans ATCC 13867(FEMS Microbiology Letters, 2018)
· A novel 3-hydroxypropionic acid-inducible promoter regulated by the LysR-type transcriptional activator protein MmsR of Pseudomonas denitrificans(SCIENTIFIC REPORTS, 2019)

특허

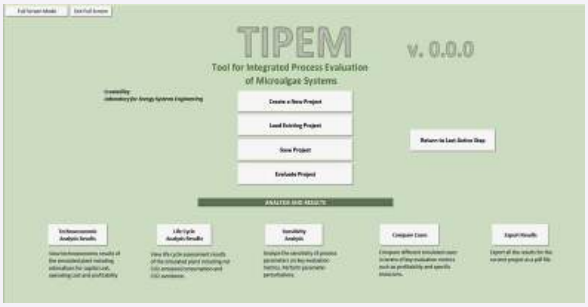
· 3-하이드록시프로피온산을 분해하지 않는 슈도모나스 데니트리피칸스 결실 변이균주 및 이를 이용한 3-하이드록시프로피온산의 생산방법(KR 10-2014-0046785, BB등급)
· 재조합 대장균을 이용한 코엔자임 B12 생산방법(KR 10-2014-0083141, BBB등급)
· 3-하이드록시프로피온산에 의해 발현이 유도되는 프로모터 시스템 및 이를 이용한 3-하이드록시프로피온산의 생물학적 생산방법(KR 10-2016-0073091, AAA등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	-	3억원	-

미세조류 바이오리파이너리 디자인 및 분석 도구 개발 (KIST 이재형)



[바이오리파이너리 superstructure]

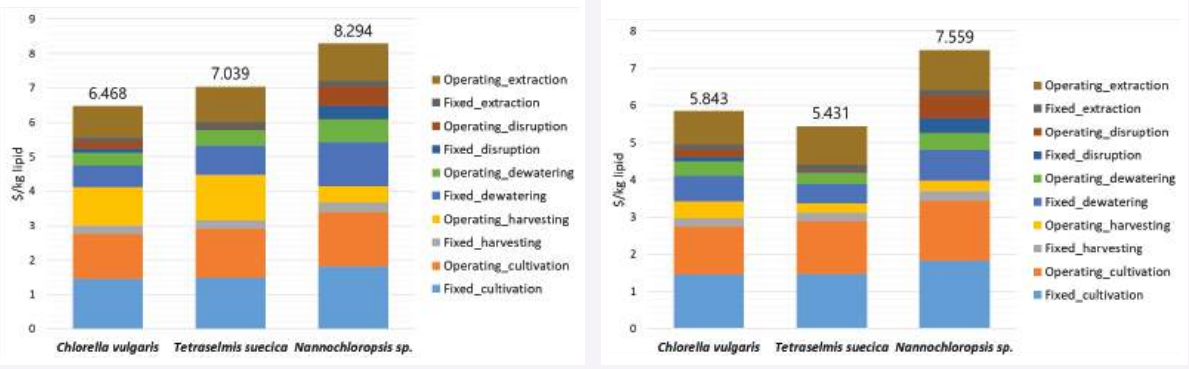


[미세조류 바이오리파이너리 디자인 및 분석도구(TIPEM)]

- 유저가 원하는 미세조류 바이오리파이너리 구조를 자유롭게 디자인하고, 디자인된 공정의 경제성 및 제품주기 분석을 수행할 수 있는 분석도구(TIPEM)의 프로토타입 개발
- 총 8단계를 걸쳐 바이오리파이너리 superstructure를 통한 디자인 및 평가, 최적화가 가능하며, 같은 일반화된 구조의 모델(processing step/interval 모델)을 활용
- 이러한 경제성 분석모델을 통해 모든 성질을 만족하는 바이오항공유를 생산할 수 있으며, 결과를 바탕으로 촉매분야 최고권위의 ACS Catalysis에 게재함

논문

· Model-Based Optimization of Cyclic Operation of Acetone-Butanol-Ethanol (ABE) Fermentation Process with Ex-situ Butanol Recovery (ESBR) for Continuous Biobutanol Production(Industrial & Engineering Chemistry Research,2017)
· Maximizing Biojet Fuel Production from Triglyceride: Importance of the Hydrocracking Catalyst and Separate Deoxygenation/Hydrocracking Steps(ACS Catalysis,2017)
· Techno-economic Analysis of Microalgae-Based Lipid Production: Considering Influences of Microalgal Species(INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH, 2018)

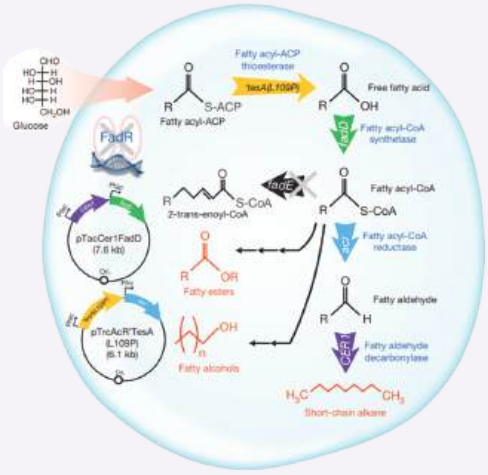


[TIPEM을 이용한 미세조류 제품 경제성분석 사례]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

바이오매스 05

바이오연료 전환 플랫폼 기술 개발(바이오매스 기반 바이오가솔린 생산 기술) (KIST 이상엽)



[단쇄 알칸 생산을 위한 대장균의 대사]



[2013.10. 네이처 학술지 표지]

- 연구단은 세계 최초로 대사공학적으로 개발된 미생물을 이용하여 바이오매스로부터 가솔린(휘발유)을 생산하는 원천기술 개발
- 기존의 기술과는 다르게, 시스템 대사공학 기술을 이용하여, 대장균에서 짧은 길이의 지방산을 생산하는데 성공
- 세포에 존재하지 않는 합성 대사회로를 미생물 유전체에 도입함으로써 세계 최초로 미생물을 이용한 바이오가솔린(580mg/L) 전환에 성공
- 위와 같은 결과를 바탕으로 NATURE 학술지에 표지 문헌으로 등재되었으며, 2014년도 국가연구개발 우수성과 100선에 선정됨

논문 20건

· Microbial production of short-chain alkanes(NATURE, 2013)(표지모델 등재, 323회 인용)

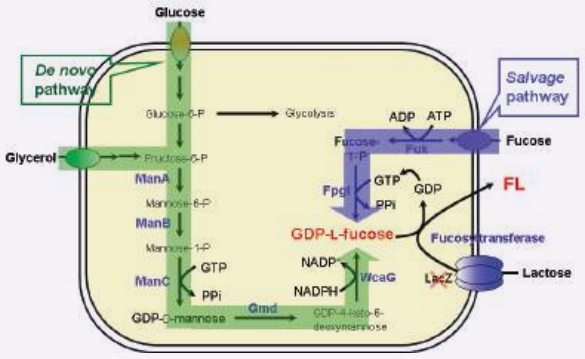
특허

· 탄화수소 생성능을 가지는 변이 미생물 및 이를 이용한 탄화수소의 제조방법(KR 10-2011-0056523, AAA등급)
· Microorganism variants having hydrocarbon producing ability and method for producing hydrocarbon using the same(US 08895276)
· MUTANT MICROORGANISM HAVING A HYDROCARBON-GENERATING ABILITY AND METHOD FOR PRODUCING HYDROCARBON USING SAME(EP 0259138)
· 탄화수소 생성능을 가지는 변이 미생물 및 이를 이용한 탄화수소의 제조방법(JP 05723977)
· Mutant microorganism having a hydrocarbon-generating ability and method for producing hydrocarbon using same(CN 103025864)
· MICROORGANISM VARIANTS HAVING HYDROCARBON PRODUCING ABILITY AND METHOD FOR PRODUCING HYDROCARBON USING THE SAME(CA 2802186)
· MUTANT MICROORGANISM HAVING A HYDROCARBON-GENERATING ABILITY AND METHOD FOR PRODUCING HYDROCARBON USING SAME (PCT/KR2011/004289)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature)	○	○	-	-

바이오매스 06

모유 유래 올리고당인 Fucosyllactoses의 대량생산 (서울대학교 서진호)



[FL을 생산하기 위한 LacZ 파쇄 균주 (ΔL YA)의 두 가지 모식도]



[㈜에이피테크놀로지의 2-FL 함유 영양제]

- 2-Fucosyllactoses는 인간의 모유에 존재하는 올리고당 중 하나로, 두뇌발달과 인체 내 프리바이오틱 역할, 면역 시스템 조절 효과 등이 밝혀진 소재
- Fucosyllactoses를 고농도로 생산할 수 있는 생합성 미생물 공장화 기술을 개발하였으며, 추가 연구를 통해 고효율 FL 생산 균주를 개발
- 특히, 미세조류 유래의 fucose의 활용성을 증대하기 위해 arabinose isomerase와 rhamnose isomerase 등을 제거하였으며 그 결과, 기존 결과 대비 2배 이상의 높은 2-FL 생산성을 보임
- 해당기술은 (주)에이피테크놀로지에 기술이전(2016.05, 정액기술료 3억원)되었으며, 세계 최초로 GRAS 미생물 기반의 FL 생산공장을 설립 중에 있고 2021년 이후 2FL이 함유된 영양제, 유산균 제품 등이 출시되고 있음

논문

· Engineering of alpha-1,3-fucosyltransferases for production of 3-fucosyllactose in Escherichia coli (Metabolic Engineering , 2018)
· Metabolic engineering of Escherichia coli to produce 2′-fucosyllactose via salvage pathway of guanosine 5′-diphosphate (GDP)-L-fucose (Biotechnology and Bioengineering , 2016)
· Biotechnological production of human milk oligosacchrides (Biotechnology Advances , 2011)

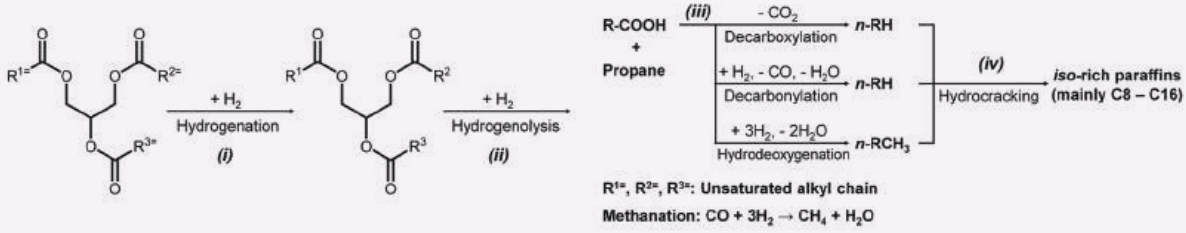
특허

· 2-푸코실락토오스 생산 변이 미생물 및 이를 이용한 2-푸코실락토오스의 제조방법(KR 10-2015-0040879, A등급)
· 푸코실락토오스 생산용 재조합 대장균 및 이를 이용한 푸코실락토오스의 생산방법(KR 10-2015-0156438, BB등급)
· α-1,3-푸코실락토오즈의 대량생산방법(KR 10-2016-0012803, BB등급)
· 코리네박테리움 글루타미쿰을 이용한 2′-푸코실락토오스의 생산방법(KR 10-2016-0050219, AAA등급)
· 2-푸코실락토오스 생산 변이 미생물 및 이를 이용한 2-푸코실락토오스의 제조방법 (PCT/KR2016/003013)
· 코리네박테리움 글루타미쿰을 이용한 2′-푸코실락토오스의 생산방법 (PCT/KR2017/004340)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	3억원	-

바이오매스 07

미세조류 및 식물성 기름에서 바이오항공유 생산을 최대로 할 수 있는 수첨분해 촉매 개발 (KAIST 최민기)



[트리글리세리드를 바이오항공유로 전환하기 위한 반응]

- 미세조류 및 팜오일로부터 바이오항공유 생산을 위한 촉매공정 개발
- 트리글리세라이드를 직접적으로 수첨분해 촉매를 이용하여 바이오항공유로 전환하는 연구를 수행함과 동시에 바이오항공유의 탄소분포도, 촉매에 대한 안정성 등을 시험
- 또한, 개발된 촉매 투입된 트리글리세라이드 대비 최대 바이오항공유 수율이 55wt%로 세계 최대 석유기업인 UOP 보유 기술보다 높은 수준

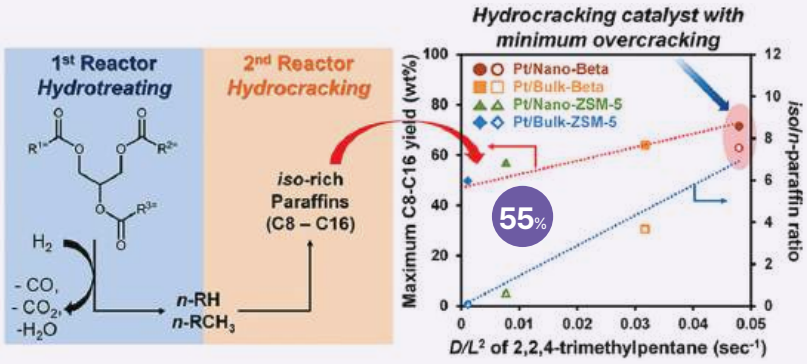
논문

· Maximizing Biojet Fuel Production from Triglyceride: Importance of the Hydrocracking Catalyst and Separate Deoxygenation/Hydrocracking Steps (ACS Catalysis, 2017)

특허

· 위계다공성 베타 제올라이트 기반 수첨분해반응 촉매 및 이의 제조방법 및 상기 수첨분해반응 촉매를 활용한 트리글리세라이드를 포함하는 바이오매스로부터 바이오항공유 생산방법(KR 10-2017-0063879, BBB등급)

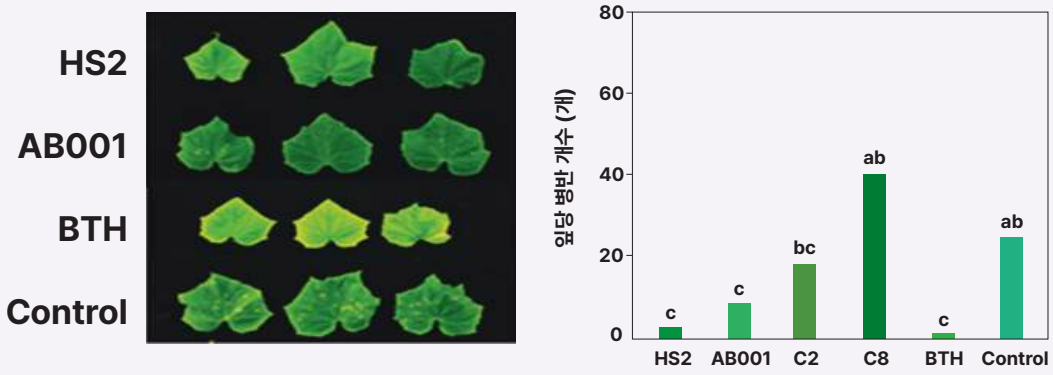
· HYDROCRACKING CATALYST BASED ON HIERARCHICALLY POROUS BETA ZEOLITE AND METHOD OF PREPARING THE SAME AND METHOD OF PREPARING BIO-JET FUEL FROM TRIGLYCERIDE-CONTAINING BIOMASS



[트리글리세리드의 바이오항공유 제조수율]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

클로렐라 배양여액을 활용한 식물 병해 저항성 증진법 개발 ((재)차세대바이오매스연구단 장용근)

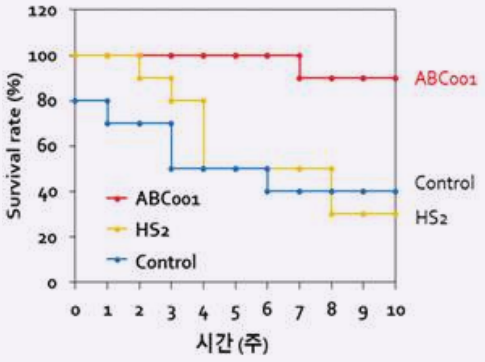


[클로렐라 배양여액의 오이 세균성 점무늬병 방제 효과]

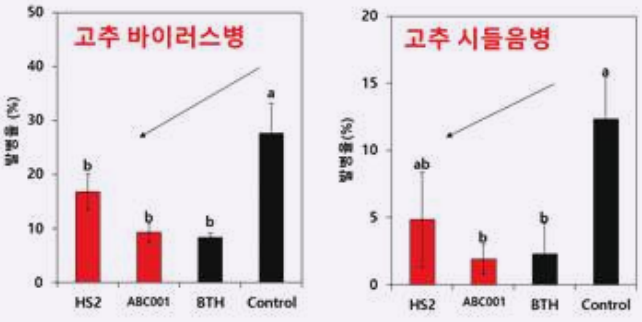
- 연구단은 버려지는 클로렐라 여액을 이용하여, 오이, 고추, 꽃, 잔디 등의 방제, 식물 병해 저항성 증진 기술 개발
- Chlorella sp. ABC001과 Chlorella sp. HS2의 배양 여액을 오이에 분무 처리 시, 오이 세균 점무늬병증이 대조군에 비해 3배 이상 감소하는 효과를 확인
- Chlorella sp. ABC001과 Chlorella sp. HS2 배양 여액을 고추 포장에 토양 관주 처리 시, 식물 개체의 약해없이, 자연 발생 바이러스병과 세균성뿌리감염병의 발병율이 2배 이상 감소하는 효과를 확인
- 본 기술을 바탕으로 여액의 폐기 비용 발생 문제를 해결할 수 있으며 ,농업, 화훼 산업, 조경 산업 현장에 적용 가능할 것으로 예상

특허

· 고농도의 이산화탄소 및 고염 조건에서 지질 생산성 및 세포 생장률이 우수한 클로렐라 속 ABC-001 균주 및 이의 용도(KR 10-2017-0134365, BBB등급)
· C16 및 C18의 지방산을 포함한 지질 생산성 및 세포 생장률이 우수한 클로렐라 불가리스 ABC-002 균주 및 이의 용도(KR 10-2017-0081612, BBB등급)
· C16 및 C18의 지방산을 포함한 지질 생산성 및 세포 생장률이 우수한 클로렐라 불가리스 ABC-008 균주 및 이의 용도(KR 10-2017-0081613, BB등급)
· 미세조류 배양기의 혼합장치 및 이를 이용한 미세조류 배양방법(KR 10-2017-0020415, BB등급)
· 원심펌프의 회전체에 의해 분리막의 파울링이 저감된 여과모듈 및 이를 이용한 분리방법(KR 10-2017-0047269, BB등급)
· GENUS ABC-001 STRAIN HAVING EXCELLENT LIPID PRODUCTIVITY AND CELL GROWTH RATE UNDER HIGH CARBON DIOXIDE AND SALT CONCENTRATION CONDITIONS, AND USE THEREOF(PCT/KR2017/012373)SAME(US 18/988363)



[클로렐라 배양여액처리 후 페어리스타의 노화지연]

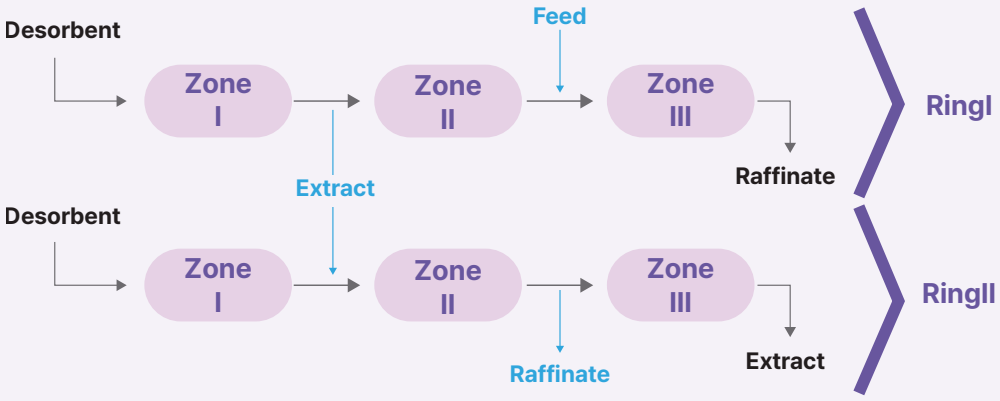


[클로렐라 배양여액처리 후 고추 바이러스병 발병률]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	-	-

바이오매스 09

미세조류 등 천연물 유래 유용물질 분리 및 생산기술 ((재)차세대바이오매스연구단 장용근)



[SMB 전체 공정도]

- 미세조류의 찌꺼기인 푸코스는 포도당·과당 같은 단당류로, 주로 화학시약에 사용되는 고가의 원료이며 미역귀나 다시마 같은 갈조류에 포함된 다당류인 푸코이단을 구성하는 물질
- 연구단은 미역귀로부터 고순도·고수율의 푸코스를 분리하는 기술인 SMBC(Simulated Moving Bed Chromatography)을 개발하였으며, 해당기술을 통해 Fucose, Fucosyllactose, NAO 등의 미세조류 유래 유용물질의 고순도 분리 정제에 성공함
- 해당기술은 ㈜다인바이오에 총3건 (정액기술료 23억 3천만원) 이전되었으며, ㈜다인바이오는 이전받은 기술을 활용하여 건강기능 식품의 주요 원료 등을 추출하고, 이를 제품화 하는데 적용

논문

- Development of an efficient process for recovery of fucose in a multi-component mixture of monosugars stemming from defatted microalgal biomass (Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2017)
- Optimization of production rate, productivity, and product concentration for a simulated moving bed process aimed at fucose separation using standing-wave-design and genetic algorithm (Journal of Chromatography A, 2018)
- Continuous-mode separation of fucose and 2,3-butanediol using a three-zone simulated moving bed process and its performance improvement by using partial extract-collection, partial extract-recycle, and partial desorbent-port closing (Journal of Chromatography A, 2018)
- Production of high-purity fucose from the seaweed of Undaria pinnatifida through acid-hydrolysis and simulated-moving bed purification (Separation and Purification Technology, 2019)
- Simulated moving bed purification of fucoidan hydrolysate for an efficient production of fucose with high purity and little loss (Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers, 2019)

특허

- 고농도의 미세조류 배양방법(KR 10-2018-0033827, CCC등급)
- 루테인 생산성이 높은 신규 미세조류(KR 10-2018-0018418, BB등급)
- 네오아가로올리고당 혼합물의 흡착 분리 방법(KR 10-2019-0102403)
- 푸코오스 분리방법 및 이를 위한 장치(KR 10-2017-0049177, BBB등급)
- 미세조류로부터 지질을 추출하는 방법(KR 10-2017-0171106, B등급)
- 고체산 촉매를 이용한 바이오매스 유래 당화액의 제조방법(KR 10-2015-0037194, B등급)
- 3,6-안하이드로-L-갈락토오스를 대사하는 재조합 미생물 및 이의 용도(KR 10-2014-0054263, BBB등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	-	약 23억원	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분/연도			2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	총합계
특허	국내	출원	31	60	62	58	53	28	22	21	9	6	350
		등록	-	4	11	37	33	22	28	24	11	13	183
	해외	출원	8	18	26	29	11	10	12	11	7	2	134
		등록	-	-	-	4	6	3	2	4	3	-	22
	계		**39**	**82**	**99**	**128**	**103**	**63**	**64**	**60**	**30**	**21**	**689**
논문	SCI		18	125	158	144	130	83	64	65	57	62	906
	비SCI		1	8	5	6	4	4	7	5	3	3	46
	계		**19**	**133**	**163**	**150**	**134**	**87**	**71**	**70**	**60**	**65**	**952**
기술이전/사업화	기술이전		-	-	1	0	8	3	4	2	0	4	22
	기술이전료(정액기술료)		-	-	50	0	323	410	275	105	0	2,300	3,463
	창업		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
학위배출	박사		7	15	12	13	24	7	15	13	3	7	116
	석사		17	19	35	28	26	8	24	16	9	5	187
	학사		2	-	22	10	12	6	-	-	-	-	52
	계		**26**	**34**	**69**	**51**	**62**	**21**	**39**	**29**	**12**	**12**	**355**
학위발표	국내		-	-	1	-	-	4	-	-	-	-	5
	국외		-	-	8	9	5	4	2	3	1	-	32
	계		**-**	**-**	**9**	**9**	**5**	**8**	**2**	**3**	**1**	**-**	**37**
국제협력	MOU		-	1	1	1	-	2	-	1	-	-	5
	공동연구 논문		-	10	21	34	24	23	25	19	11	13	180

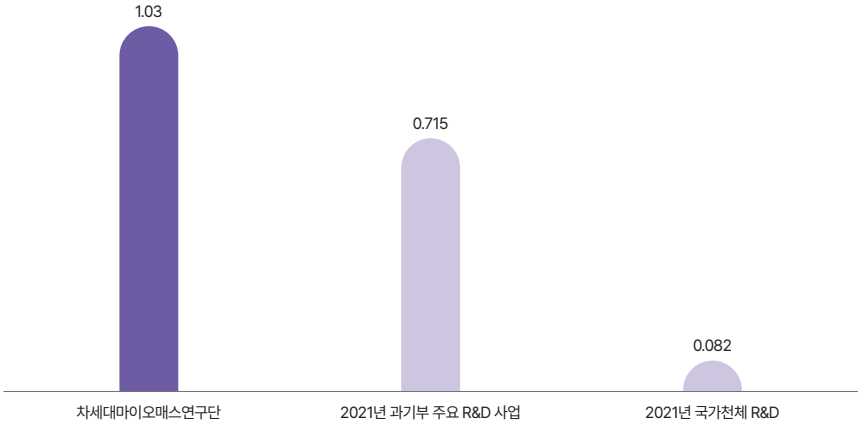
나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 952건의 논문 성과 중 906건의 SCI 논문을 게재하였으며, 전체 사업 기간 동안 연구비 1억 원당 1.03건의 SCI 논문 성과를 창출하였다. 특히 논문 게재 학술비의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 4.17이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)는 74.65(최하위 0, 최상위 100)으로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

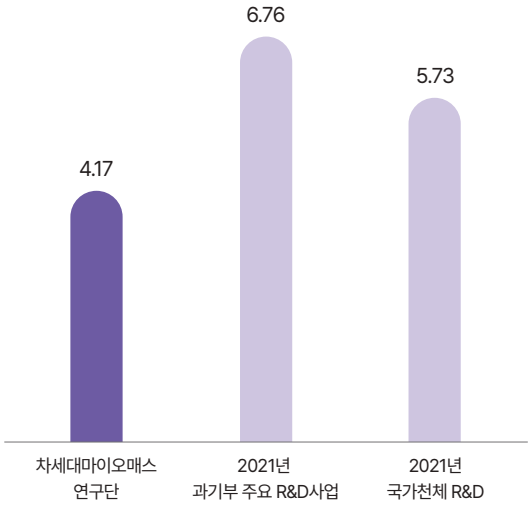
(단위: 건)



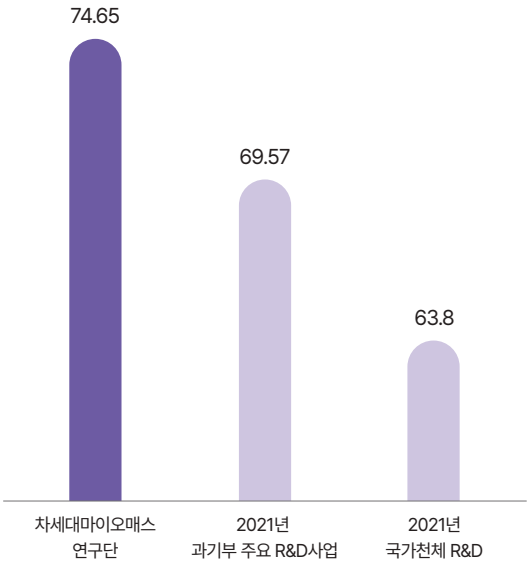
연구단의 SCI 논문 성과는 연구비(정부출연금 880.604억 원, 906건) 1억 원당 약 1.03건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 성과 0.082건[2]에 비해 약 12.6배 수준의 성과를 창출한 것으로 나타났다.

2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]



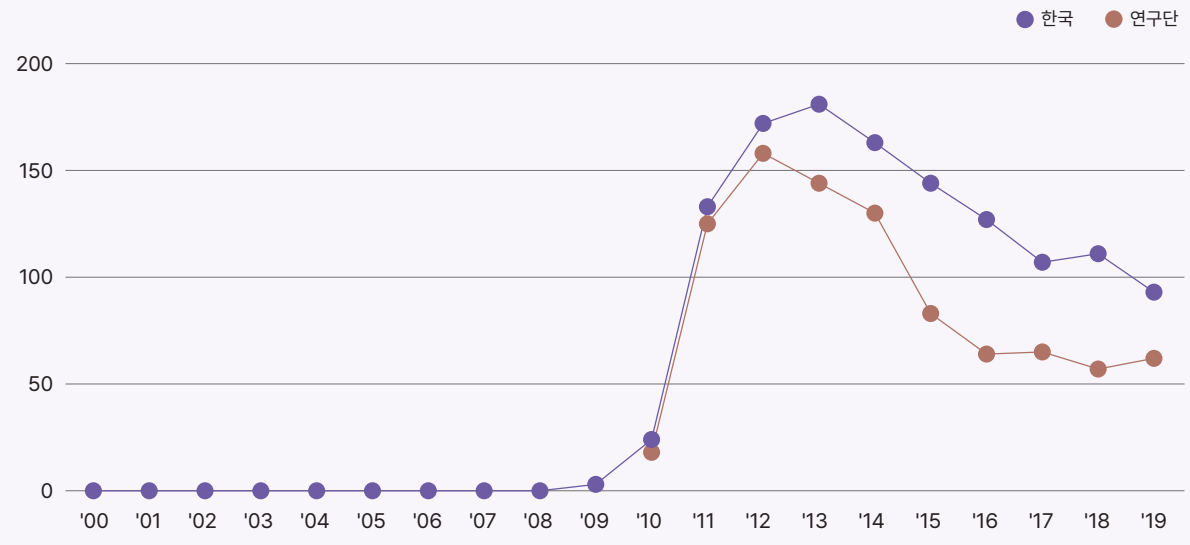
연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중비교

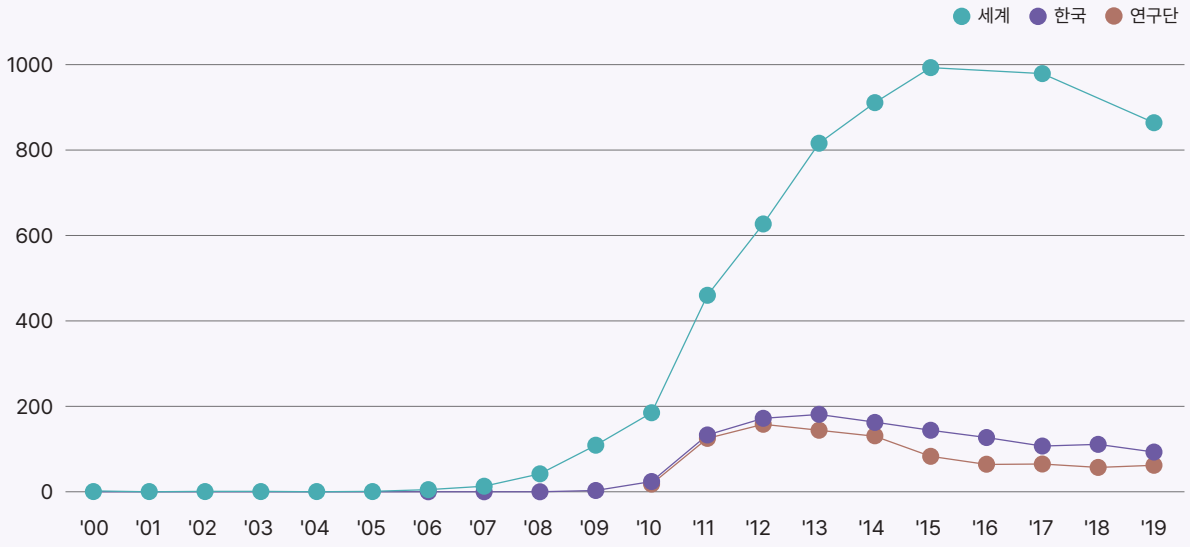
연구단 출범 이전(2000년~2009년)과 이후(2010년~2019년)의 연구단 중심 연구분야인 미세조류/조류를 활용한 바이오연료 관련 분야의 논문을 분석한 한 결과[3], 해당분야 전 세계 게재 논문 대비 연구단의 논문 성과는 11.4%, 한국논문에서는 72.2%의 높은 비중을 차지하는 것으로 나타나, 연구단이 국내 해당 기술 분야 연구를 이끌어가고 있는 것으로 분석되었다. 또한 관련분야에 대한 한국 국적의 논문 게재 건수는 불과 3건에서 1,255건으로 급증하였고, 세계 대비 한국 비중이 1.7%에서 15.8%로 약 9.3배 증가한 것으로 나타났는데, 이는 해당 분야에 대한 연구 개발이 본격적으로 시작된 시기가 연구단 출범 시기와 맞물렸기 때문인 것으로 볼 수 있다. 사업수행 전 한국의 논문은 세계 공동 13위에 머물러 있었으나, 연구단 사업수행 후 15.8%의 점유율로 중국과 미국 다음으로 세계 3위로 상승하여, 연구단이 국가 기술 경쟁력을 향상시키는데 크게 기여한 것으로 분석된다.

연구단이 연구 수행기간동안 발표한 논문 건수 추이는 국내 논문 건수 추이와 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.997, $P<0.01$)를 갖고 비중도 높은 것으로 분석되어, 연구단이 해당 연구 분야를 주도하였다고 판단할 수 있다. 또한, 세계 논문 건수 증감 추이와 국내 논문 건수 증감 추이도(Pearson Correlation 0.991, $P<0.01$)의 상관관계를 보여 연구단이 해당 관련 연구 분야의 논문 성과에 많은 영향을 미쳤음을 확인할 수 있다. 세계 논문 건수 증감 추이와 연구단 논문 건수 증감 추이 역시 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.978)를 보여 해당 연구 분야의 연구 트렌드와 부합됨을 알 수 있다.

3) Web of Science Data Base에서 검색하였으며, 연구단 관련 분야로는 미세조류, 조류를 활용한 바이오연료 생산기술 분야를 확인하였음.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이

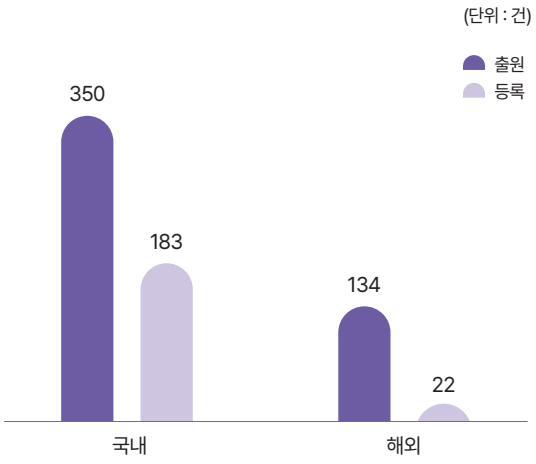




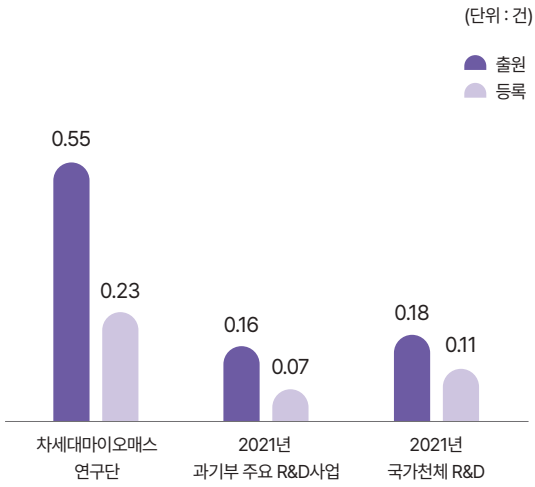
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 689건[4]으로 전체 특허 중 205건의 등록 기술을 보유하고 있으며, PCT를 포함한 미국, 일본, 중국, 유럽 등 해외 개별국에 134건의 특허를 출원하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



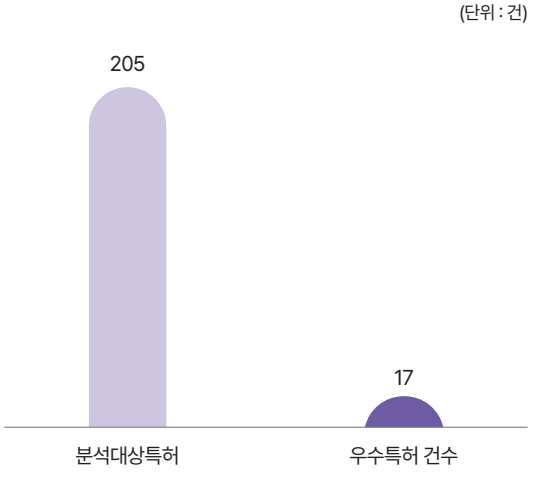
[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



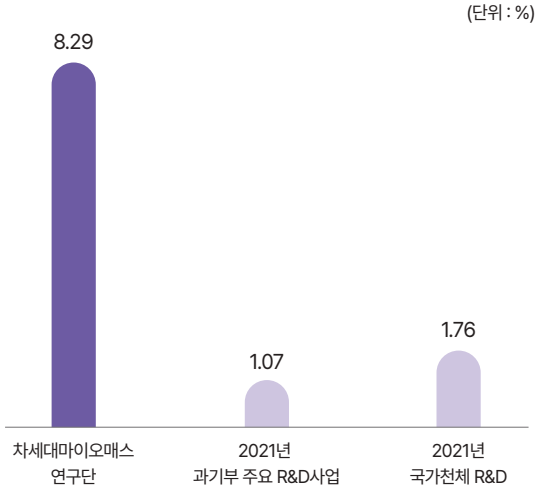
연구단의 특허출원 성과는 484건, 특허등록 성과는 205건으로 연구비(정부출연금 880.604억 원) 1억 원당 0.55건의 특허출원 성과와, 0.23건의 특허등록 성과를 창출하였다. 이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[5]에 비해 약 3배 수준, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건에 비해 약 3.5배 수준으로 나타났다. 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.11건 대비 약 2.1배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건 대비 약 3.3배의 수준이다.

연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[6]

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]



특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 205건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 17건으로 약 8.29% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 4.71배, 7.75배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

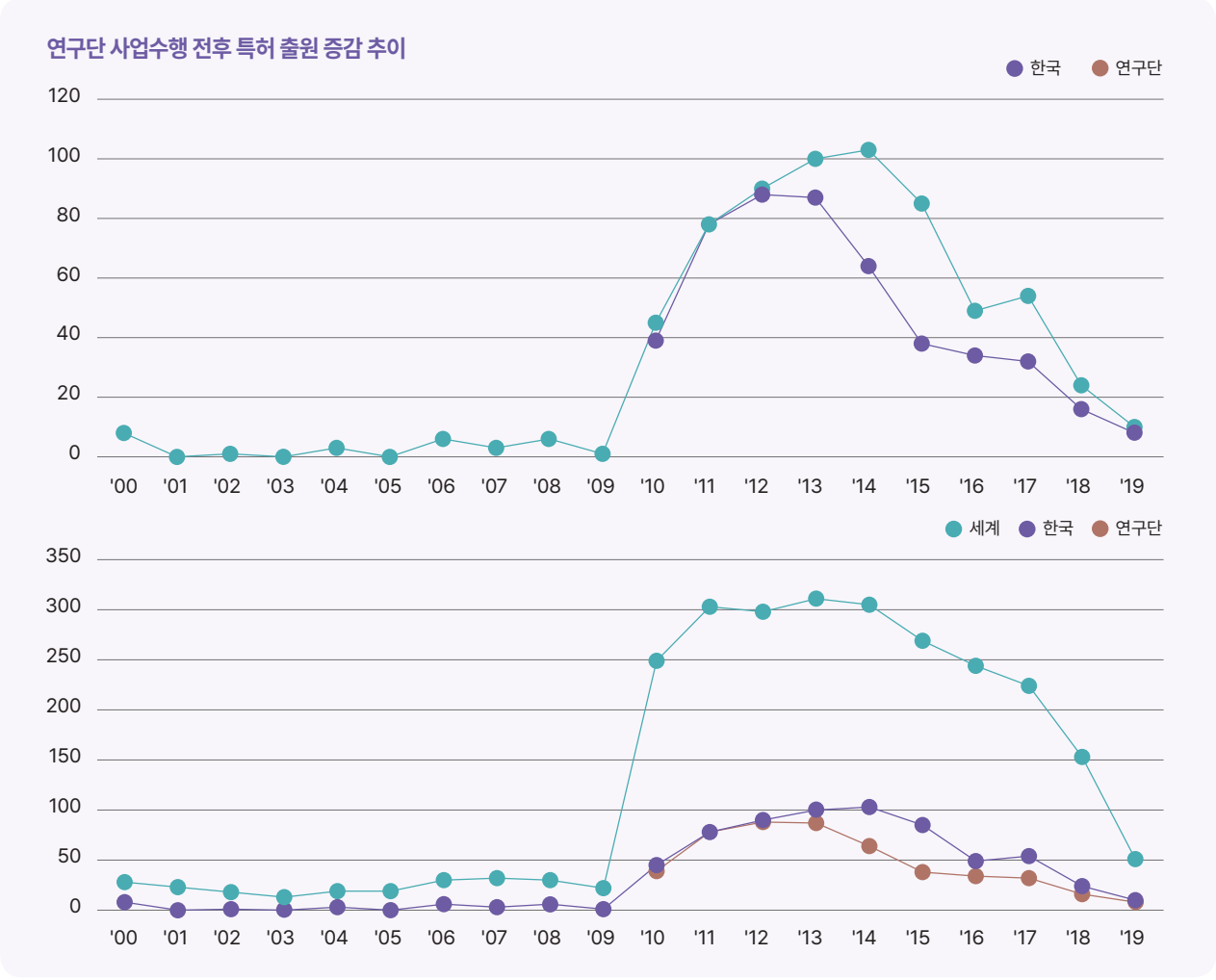
---

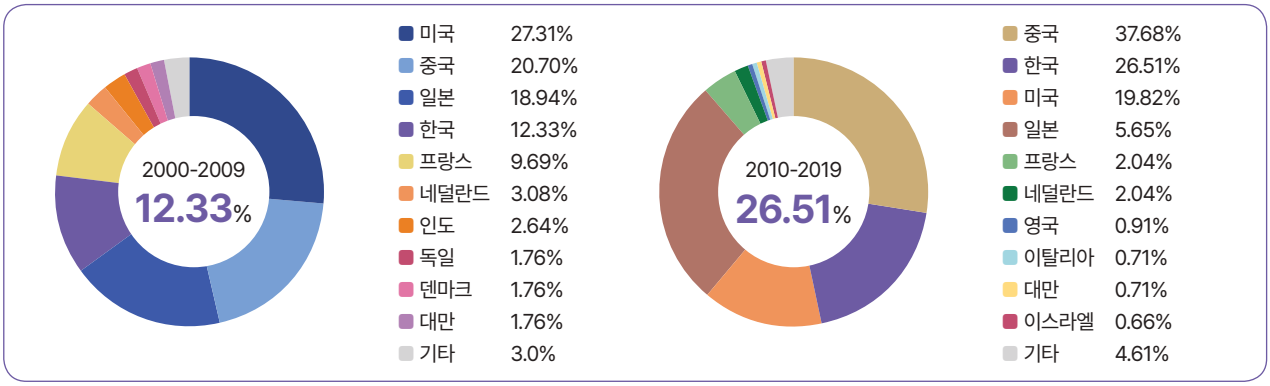
4) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
5) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건 / 과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건
6) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용

연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중비교

차세대바이오매스연구단 출범 이전(2000년~2009년)과 출범 이후(2010년~2019년) 연구단의 핵심연구 분야인 미세조류 유래 바이오 수송연료 관련 분야에 관한 특허 출원을 분석하였다. 연구단 출범 이전과 이후를 비교하면 관련 분야 한국 국적의 특허 건수는 28건에서 638건으로 약 22.8배 급증하였으며, 세계 특허 출원 건수 역시 234건에서 2,407건으로 급증한 것을 알 수 있다.

연구단 출범 이전 한국의 특허 출원은 세계 4위(12.3%)였으나, 연구단이 해당 분야 연구를 수행한 기간 동안 세계 2위(26.5%)로 상승하였다. 연구단은 세계 특허 대비 20.1%, 한국 특허 대비 75.9%의 비중을 나타내어 연구단이 국내 해당 기술 연구분야의 선도 연구 기관임을 알 수 있다.





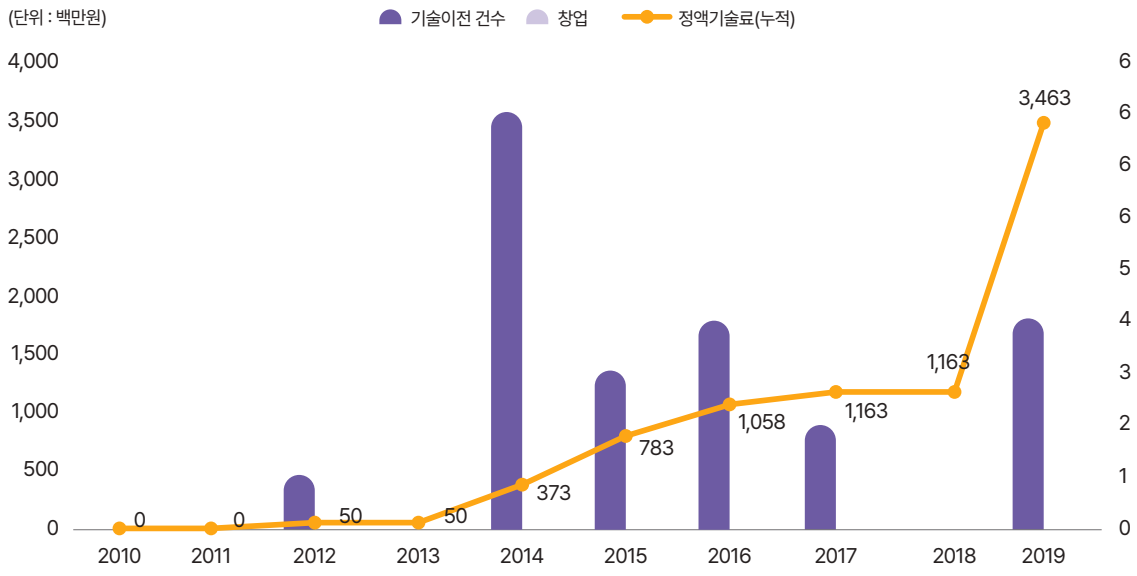
국내 특허 건수 추이와 연구단의 출범 이후 연구 수행 기간 동안 발표한 특허 건수 추이는 매우 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.999, $p<0.01$)를 나타내어 연구단이 국내 해당 연구 분야 특허 출원을 주도했다고 볼 수 있으며, 세계 특허 건수 추이와 비교하여도 높은 상관관계(Pearson Correlation 0.989, $p<0.01$)을 나타낸 것을 확인할 수 있다.

(3) 기술사업화 현황 분석

연구단은 연구기간 총 22건의 기술이전 건수와 총 3,463백만 원의 기술료 수입을 창출하였으며, 상용화 기술 개발에 임박한 3단계 마지막 년차에 2,300백만원의 기술료 수입이 발생하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]

(단위: 건)

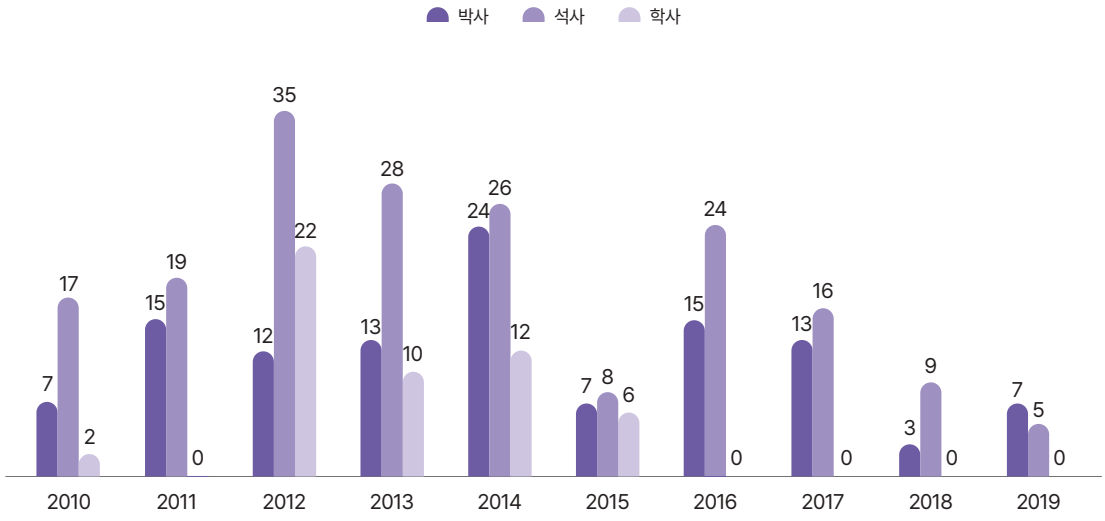


(4) 인력양성

연구단은 연구기간 동안 총 355명의 학위를 배출하였으며, 박사 116명, 석사 187명, 학사 52명을 지원하였다.

[연구단 인력양성 성과 현황]

(단위: 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
Ettlia 형질전환 Tool-box 및 형질전환체 개발	주름방지제	53.44
미세조류 유래 바이오 연료 생산 실증 및 경제성 평가	바이오항공유	1,939.70
3-HP 생산을 위한 미생물 전환공정 개발	아크릴산	820.15
모유 유래 올리고당인 Fucosyllactose 대량 생산	모유 올리고당 시장	761.38
미세조류 등 천연물 유래 유용물질 분리 및 정제 기술(Fucose)	건강기능식품	362.80
총액		**3,937.47**

연구단의 우수 연구성과 5건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

차세대바이오매스 연구단의 5건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 약 3,937.47억원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산성과

차세대바이오매스연구단은 글로벌프런티어사업의 대국민 홍보를 위하여 바이오매스 자원화 및 바이오리파이너리 기술에 관한 언론보도 및 과학기술 매체를 통한 사업 소개를 수행하였으며, 국내외 행사 개최, 대국민 전시회 참가 등을 통해 연구단의 연구 활동 및 성과를 소개하였다. 또한 연구단의 참여 연구진뿐만 아니라 일반인에게도 관련 정보를 다양하게 제공하기 위해 온라인 뉴스레터 등을 제공하여 바이오매스 및 바이오리파이너리 기술 분야에 대한 관심을 제고시켰다.

보도자료(329건)



전자신문(2016.03.14)



여성경제신문(2016.11.21)

기획기사(53건)



동아사이언스(2019.06.19)



세계일보(2018.10.11)

기고(21건)


[오희목]조류<藻類>의 양면성, 그러나 극과 극은 통한다

동아사이언스(2019.06.19)


[과학강국 기술대국]<기고> 바이오자원, 석유화학 산업을 바꾸다

박성훈 부산대 화공생명공학부 교수(parksh@pusan.ac.kr)

세계일보(2018.10.11)

방송(17건)





Arirang TV 'Money Monster'(2019.03.29) 폐기물의 가치를 바꾼다 '바이오에너지'





YTN Science '다큐S프라임'(2018.06.14) <에너지의 미래> 새로운 에너지 자원을 찾아서

04 기술사업화 성공스토리

1. 박성훈 교수 인터뷰

- 기술이전 책임자: 박성훈 교수(UNIST)
- 기술이전 기업: ㈜노루홀딩스
- 기술이전명: 3HP(3-하이드록시프로피온산) 생산 기술
- 기술이전 시기: 2015.06/2017.02



UNIST 박성훈 교수는 차세대바이오매스연구단에서 '3-hydrocypropionic acid(3HP) 생산을 위한 미생물 전환 공정 연구'를 수행하여 ㈜노루홀딩스에 2건의 기술을 이전하였으며 연구단 우수 연구성과로 선정되었다. 박성훈 교수를 만나 성공적인 기술 이전을 이끌어낸 숨겨진 이야기와 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 박성훈 교수님, 교수님께서 연구 중인 분야에 대한 소개를 부탁드립니다.

A1

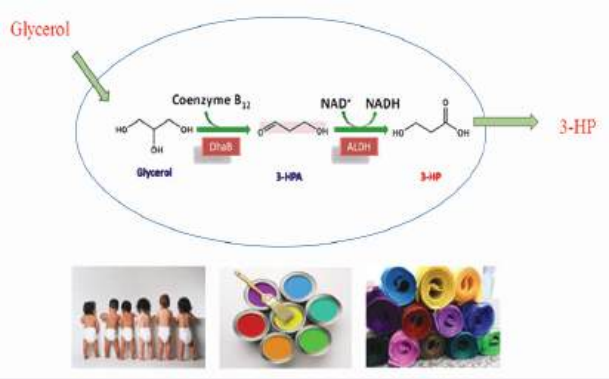
저는 UNIST에서 미생물을 이용한 유기산, 알코올, 생분해성 고분자 등의 생산을 연구하고 있습니다. 자연친화적인 생물공정을 개발하기 위하여 미생물의 유전자 재조합 및 유전체 개량 기술, 대사공학, 효소공학, 합성생물학, 생물정보학, 생물반응기 기술 등을 연구하고 있습니다. 이 연구는 재생가능 원료인 바이오매스를 기반으로 하고 있어 지구온난화의 주범인 이산화탄소의 배출을 줄입니다. 또한 생산되는 원료나 소재는 정밀화학, 생분해성 플라스틱, 화장품, 식품, 의약, 전자 산업 등 여러 산업분야에 이용됩니다. 대부분의 연구는 상업화를 목적으로 관련 기업과 긴밀한 협력 하에 진행하고 있습니다.

Q2 ㈜노루홀딩스에 이전된 기술에 대해 간단하게 설명을 부탁드립니다.

A2

이전된 기술은 3HP(3-hydroxypropionic acid: 3-하이드록시피온산)를 효율적으로 생산하는 미생물 균주와 생물반응기 공정입니다. 미국 에너지성은 지난 2004년 바이오매스에서 생산 가능한 고부가가치 플랫폼 화학물질 TOP 12를 선정하여 발표한 바 있는데, 이 중 3위를 차지한 화학물질이 3HP입니다. 이 물질은 그 자체로 혹은 여러 화합물로 전환되어 다양한 용도로 사용될 수 있습니다. 예를 들어 3HP는 생분해성 플라스틱을 제조하는 단량체로 사용됩니다.

또한 간단한 탈수 반응을 통해 아크릴산을 제조할 수 있습니다. 아크릴산은 수분흡수제나 수용성 페인트 제조 등 다양한 용도로 사용됩니다.
더 나아가 3HP는 가교제, 금속의 윤활제, 섬유의 정전기 방지제 등의 제조에도 이용될 수 있습니다. 아크릴산 만으로도 3HP의 세계시장 규모는 10조원 이상으로 추정되고 그 수요는 지속적으로 증가할 것으로 예상됩니다. 이번에 이전된 기술은 바이오디젤 생산 시 부산물로 발생하는 저렴한 글리세롤을 원료로 고농도, 고생산성, 고수율의 3HP를 생산하는 기술입니다. 기술이전 이후 현재까지도 기업과 공동으로 공정 최적화 및 분리 정제, 아크릴 전환, 생분해성 고분자, 특수용제 생산 등을 연구 개발하고 있으며, 파일럿 규모에서 생산 및 경제성을 평가하고 있습니다.



<글리세롤을 이용한 3-HP 생합성 모식도 및 상업적 활용>

Q3 앞으로 해당 기술을 활용해서 개발하고 싶은 장기적인 기술개발 계획 또는 목표가 있으신가요?

A3

많은 노력에도 불구하고 아직까지 3HP 생산기술과 이의 응용제품 생산은 파일럿 단계에 머물러 있습니다. 3HP 연구개발에 오랜 시간을 보내면서 새로운 화학소재의 상업화가 얼마나 어려운지 절실히 느끼고 있습니다. 어떤 소재이든지 상업화를 결정하는 것은 경제성입니다. 또한 시장의 수요와 환경, 소비자의 선택 등이 중요하다고 합니다. 기술적으로 3HP의 상업화를 위한 최대 쟁점은 'TRY'를 높이는 데 있습니다. TRY는 Titer(농도), Rate(속도), Yield(수율)입니다.
3HP 1톤을 만드는데 백년이 걸린다면 소용이 없습니다. 원료 1억톤을 사용하여 1톤 밖에 생산하지 못한다면 이 또한 의미가 없습니다. 여기에 농도가 낮으면 분리 정제에 막대한 비용이 소요돼 상업생산이 어렵습니다. 기술적으로는 이 'TRY'를 잘 맞추는 것이 경제성을 제고하는 핵심입니다. 이를 위해 우선 이미 개발된 균주의 성능을 지속적으로 향상시키고자 합니다. 또한 글리세롤 외에 지구상에 가장 흔한 바이오매스 원료인 포도당을 원료로 사용하는 기술을 개발하고 있습니다. 뿐만 아니라 3HP 생산연구를 통해 얻은 경험과 균주를 이용하여 유기 알콜 등 다른 바이오매스 기반의 화학소재를 생산하는 연구를 진행하고 있으며 한 두가지 소재를 상업화하기 위해 노력하고 있습니다.

Q4 기술이전에 대한 이야기나 현재 기업에서 기술을 어떻게 사용하고 있는지 말씀해주세요.

A4

노루홀딩스와는 예전부터 알던 사이는 아니었습니다. 기업 쪽에서 우리 연구에 관심을 가지고 먼저 연락해왔고 충분한 논의를 거쳐 상업화 연구에 합의하게 되었습니다. 기업이 오랫동안 바이오매스 기반 신소재 개발에 관심을 가지고 있었다는 뜻이지요. 이후 차세대바이오매스연구단(단장 KAIST 장용근), 부산대학교, 그리고 ㈜노루홀딩스(회장 한영재)등 3자간

기술협정을 통해 개발한 3HP 관련 기술과 핵심 특허를 노루홀딩스에 이전하였습니다. 기업에서는 3HP 연구를 위하여 저의 실험실에서 배출한 석·박사 인력을 중심으로 별도의 연구실을 구축하여 운영하고 있으며 2022년에는 막대한 비용을 들여 10톤 규모의 시생산 시설을 완공하였습니다. 이러한 일련의 노력은 기업의 상업화 열망을 잘 보여주고 있습니다. 이러한 협력과 상업화 연구는 제가 2017년 부산대학교에서 UNIST로 자리를 옮긴 뒤에도 계속되고 있습니다.

Q5 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술이전에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견이 있으시면 말씀해주세요.

A5

오랜 기간, 그것도 15년 이상 하나의 주제에 대한 연구를 지속할 수 있었다는 것은 저와 같은 연구자에게는 최고의 행운이고 축복입니다. 과학기술정보통신부와 차세대바이오매스연구단의 지속적인 지원이 없었다면 저의 3HP 연구나 기술이전은 불가능하였을 것입니다. 연구에 어려운 점이 많이 있었지만 이러한 지속적인 지원에 대해 늘 감사하고 있습니다. 또 한 가지 글로벌프런티어사업이 갖는 장점은 협업이었습니다. 여러 훌륭한 동료 연구자들의 도움을 받을 수 있었다는 점입니다. 원천 연구에는 새로운 기술의 융합이 필요하고 혼자 해결할 수 없는 문제에 많이 부딪히게 되는데 이때마다 여러 연구자들의 도움이 큰 힘이 되었습니다. 마지막으로 미국에서 상업화에 성공한 젖산고분자(PLA)나 1,3-Propanediol 생산의 경우, 10년 이상의 기간이 소요되었고 CJ제일제당에 상업 생산을 시작한 메티오닌의 경우에도 10년 이상의 연구기간이 소요되었다고 합니다. 이렇듯 산업바이오 분야에서 원천 기술로부터 상업 생산까지는 긴 시간과 장기적인 투자가 필요합니다. 글로벌프런티어사업과 같은 대형 국책 사업이 계속되어 연구자에게 장기간 지속적으로 연구를 지원해준다면 대한민국의 새로운 먹거리를 창출할 수 있는 많은 성공 사례가 나타날 것입니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

연구단은 미세조류 바이오매스로부터 항공유 등의 연료 고부가가치 화합물을 생산하는 데 필요한 원천기술을 개발하였다. 화합물 분야에서 다양한 기술들이 개발되어 여러 건의 기술이전 및 상용화가 실현되었으나 바이오항공유 개발 공정의 경제성을 담보할 수 있는 새로운 기술이 개발되고 다수의 지적재산권이 확보되었음에도 이를 기반으로 한 기술이전 또는 실용화 실적은 전무한 상태이다. 이는 바이오연료라는 기술개발 사업이 가지는 규모의 거대성 및 상용화를 위해서는 스케일업 및 파일롯트 테스트라는 장기간 큰 비용을 요구하는 과정을 거쳐야 하는 특성에 기인한다. 규모가 있는 기업도 해당 기술에 접근하기에는 자본력뿐만 아니라 갖춰야 하는 기술 인프라 측면에서도 역부족일 수 밖에 없다. 따라서 **바이오항공유 기술의 사업화는 정부의 적극적인 정책적, 재정적 지원으로 국내 굴지의 에너지 관련 기업이 주도하는 거대 컨소시엄으로 구성하여 추진하는 것이 필요하다. 바이오항공유 생산은 에너지 안보 분야임을 고려한다면 기술의 실용화를 위한 정부의 보다 적극적인 의지 또한 필요**하다.

글로벌프런티어 사업과 같은 국가 주도 대형 R&D 사업의 성공적인 운영을 위해 두 가지를 제안하고자 한다.

첫 번째는 **연구단 실적에 대한 평가 시스템의 개선이 필요**하다고 생각이다.
2010년 같이 출범했던 두 개의 연구단과 함께 상대 평가를 받았으나 성격이 전혀 다른 세 개의 연구단의 성과를 동일한 심사위원회에서 평가하여 비교하는 방식과 심사위원 구성에는 다소 무리가 있어 보인다. 평가시스템을 개별연구단 맞춤형으로 하되, 부족함 점을 지적하는 비판적인 평가에 의한 관리보다는 부족한 점을 보완해나가는 멘토링 및 지원 측면을 강조하자는 것이다. 이를 구현하기 위해 연구단별로 대학, 연구소, 기업체의 전문가들로 위원회를 구성하여 연구단의 변화와 발전에 보조를 맞춰 가며 지속적인 평가와 조언을 하는 방안을 제안한다. 우리 연구단의 경우 자체평가위원회가 이와 비슷한 역할을 해왔고 많은 도움을 주었는데 앞으로 참고할만한 부분이다.

두 번째로 제안하고 싶은 사항은 **연구단에 정부지원 종료 후를 대비할 수 있는 충분한 시간을 갖도록 하자**는 것이다.
연구단이 독립된 법인으로 시작했던 것은 특별한 사정이 없는 한 정부지원이 종료된 후에도 자립하여 존속하는 것을 전제로 했기 때문에, 연구단의 자립을 위해서는 정부 또는 기업체 등의 외부 기관으로부터의 과제를 수탁하여 사업비 공백 없이 **이어달리기를 하는 것이**

차세대바이오매스연구단
연구단장 **장용근**



필수적이다. 그러나 글로벌프런티어 사업 규정에 따르면 단장은 사업기간 동안 타 연구과제 수행이 불가능하다. 신규과제를 기획하고 수탁하는 데까지는 적어도 2년 정도, 예비타당성 조사를 거쳐야 하는 대형 정부과제의 경우 3년 정도의 시간이 필요한 점을 고려하여 단장들이 후속과제를 충분한 시간을 가지고 준비할 수 있게 하는 조치가 필요하다.

2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 미세조류 유래 바이오연료 및 고부가 산업소재 생산에 필요한 기술을 성공적으로 개발하여 진정한 의미의 바이오리파이너리(연료+화학소재 다양화)를 실현해 왔으며, 산업화에 임박한 기술을 다수 보유하고 있다. 하지만 **앞으로 개발된 기술의 실용화 목표를 실현하기 위해서는 우수 미세조류 발굴, 배양, 수확, 추출 연료전환, 부가산물 이용기술 등 독립적인 세부 단위 기술 개발뿐만 아니라 기 개발된 세부기술들을 유기적으로 결합한 통합 공정을 계속 개발해야 한다.** 이에 더하여 개발된 기술의 상용화를 위해서는 수요기업과 함께 또는 정부주도의 컨소시엄을 구성하여 스케일업 및 파일롯트 테스트 등 시간과 비용이 많이 드는 과정을 거쳐야 하므로, 장기적인 관점에서의 지속적인 연구개발 노력과 재정적 지원이 필요하다.

바이오연료의 경우, **생산기술의 낮은 경제성 등은 극복해야할 문제**로 남아 있어 기존 '미세조류 바이오 연료 생산'중심에서 '미세조류 바이오리파이너리'로 기술의 패러다임 변화가 필요한 시점이다.

연구단은 기 개발된 기술의 수준을 고려하여 상용화에 임박한 고부가가치 소재 생산 관련 기술의 고도화 및 기술이전 등을 중기적 목표로 설정하고 수요기업과의 유기적인 연계 융합연구를 수행해 나갈 예정이다. 또한 정부, 대형정유사 및 항공사, 발전사 등의 인식 제고와 함께 거대 컨소시엄 구성을 통해 실현 가능한 미세조류 유래 바이오항공유, 바이오디젤, 바이오중유 생산기술의 상용화를 장기적인 목표로 설정하고 준비할 예정이다.

나. 앞으로의 계획

SMBc 플랫폼 기술을 활용한 고부가소재 고순도 분리정제

연구단은 미세조류의 지질 제거 후 잔여물(residue)의 고부가 활용을 위해 이에 대한 가수분해 및 전처리 후 발생되는 결과물(output)로부터 푸코오스(fucose)만을 고순도 연속 분리회수 할 수 있는 SMBc(Simulated Moving Bed chromatography) 공정을 성공적으로 개발하였다. SMBc 공정은 최초 석유화학물질 정제를 위해 개발된 것이나 현재 고기능성 타겟 물질의 효율적인 분리를 위해 사용되고 있으며, 주요 정밀화학 및 제약회사 그리고 대학 등 연구기관을 중심으로 SMBc 기술의 응용분야가 확대되고 있다.
연구단은 선행된 연구를 바탕으로 시뮬레이션 프로그램 개발 및 장치개발 등의 원천기술 확보하고, SMBc 플랫폼 기술을 기반으로 다양한 산업용 기능성 소재의 고순도 분리정제 연구를 진행할 예정이다.

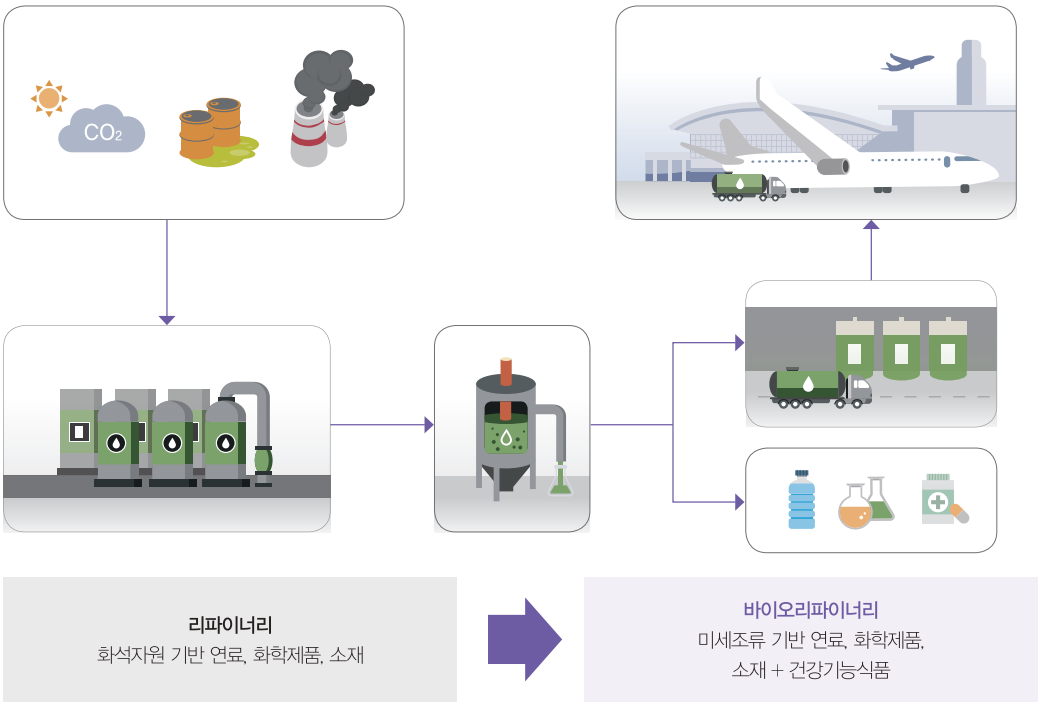
기술이전 기술의 상용화 연구

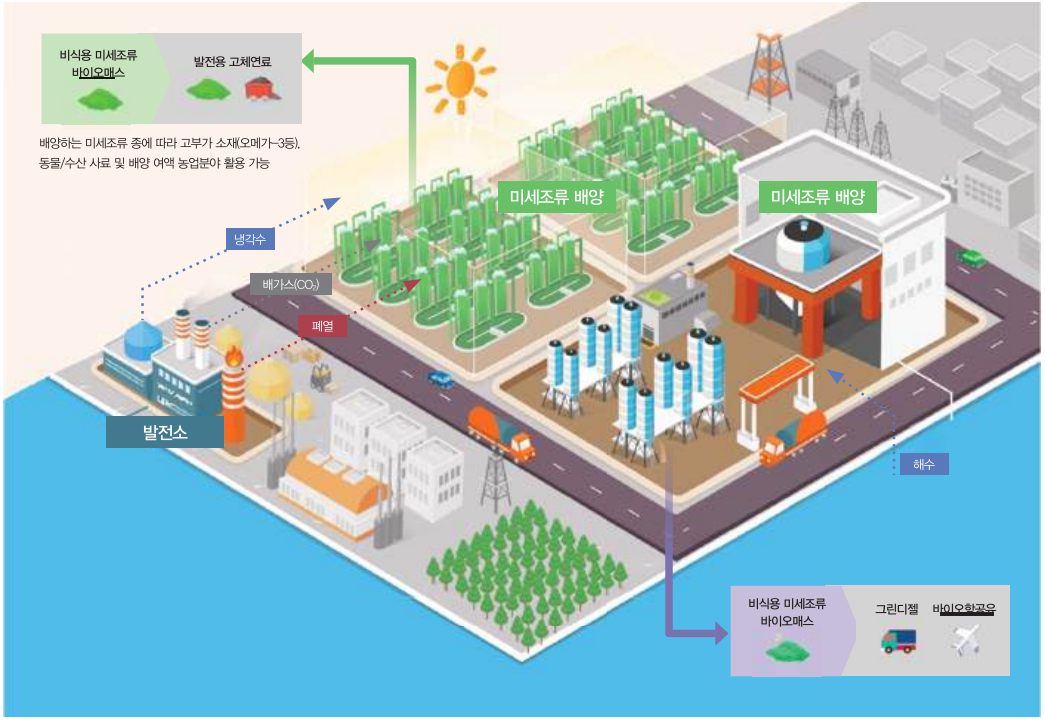
3-hydroxypropionic acid(3-HP)는 바이오매스에서 생산 가능한 고부가가치 플랫폼 화학 물질의 한 종류이며, 세계 시장규모는 약 11조원에 달한다. 플랫폼 화학물질이란 그 자체로 혹은 여러 화합물로 전환돼 다양한 용도로 사용 가능한 화학물질로, 화학물질계의 줄기세포와 같다고 할 수 있다.
연구단은 글리세롤로부터 3-HP를 생산하는 효율적인 미생물 균주 및 공정을 성공적으로 개발하였으며, 국내 기업에 관련 기술과 특허를 이전하고 파일롯트 규모로 3-HP를 생산하기 위해 지속적인 협력 연구를 진행하고 있다.
또한, 연구단은 인간의 모유에만 존재하는 Fucosyllactose를 고농도로 생산할 수 있는 생합성 미생물 공장화 기술을 개발하였으며, 미세조류 당화액에 존재하는 Fucose를 원료로 사용함으로써 미세조류 기반 바이오리파이너리의 경제성을 확보했다. 대사공학을 이용하여 개량한 균주를 배양했을 때, 모유 올리고당에서 가장 많이 함유된 2-fucosyllactose와 3-fucosyllactose를 세계 최고 수준의 효율로 대량 생산할 수 있으며, 관련 기술은 국내 기업에 기술이전 되어 상호협력 하에 상용화를 추진하고 있다.

미세조류 기반 바이오항공유 및 기타 바이오연료 생산기술

연구단은 미세조류 유래 바이오연료 개발을 위한 전 공정(배양, 수확, 추출, 원천 촉매개발, 전환 등)에 관련된 최신기술을 개발하고, 관련 기술을 통합 실증하여 국제 규격에 부합하는 바이오항공유 및 그린디젤 개발에 성공하였다. 이 과정에서 전 세계 최초로 경제성 분석을 수행하여 DHA 유래 오메가-3의 생산량에 따라 바이오항공유의 가격경쟁력을 입증하였다.

실제로 민간항공기구(ICAO)에 따르면, 항공부문 이산화탄소 저감에 필요성을 느끼고 바이오항공유의 의무사용을 추진하고 있으며, 우리나라에서도 국토교통부 주관으로 한국기후변화연구원에서 국내 바이오항공유 보급 관련 예비기획을 추진한 바 있다. 따라서 연구단의 이러한 노력은 향후 바이오항공유의 상용화 및 산업화 방향 설정 시 중요한 기준이 될 것으로 기대된다.





RESEARCH
GROUP

04
멀티스케일에너지시스템연구단

Global Frontier Center for Multiscale Energy System

01 연구단 9년사 181

02 사업목표 188

03 연구성과 192

04 기술사업화 성공스토리 206

05 미래제언 208



대표 연구성과별 파이프라인

2011 — 2012 — 2013 — 2014 — 2015 — 2016

멀티 01 (페로브스카이트)

1 세계최고수준 공인 효율

(2014.06) nature materials
Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells

(2015.09) 페로브스카이트 소자 특허 3건

(2016.07) Frontier Energy Solution

멀티 02 (유기태양전지)

(2012.10) Energy & Environmental Science
Highly durable and flexible dye-sensitized solar cells fabricated on plastic substrates: PVDF-nanofiber-reinforced TiO2 photoelectrodes

(2014.07) 태양전지용 전자 수집층 특허 1건

(2016.06) Energy & Environmental Science
Maximized performance of dye solar cells on plastic: a combined theoretical and experimental optimization approach

멀티 03 (SOFC)

(2011.11) 고체 산화물 연료전지 특허 2건

(2013.02) 연료전지 코팅 조성물 등 특허3건

(2015.11) Energy & Environmental Science
A circular membrane for nano thin film micro solid oxide fuel cells with enhanced mechanical stability

(2016.04) 고체산화물 연료전지 기술이전 1건

멀티 04 (FEMFC)

(2014.08) nanotoday
Pt-based nanoarchitecture and catalyst design for fuel cell applications

(2015.11) 수전해 장치용 촉매 등 특허2건

멀티 05 (수소생산촉매)

1 세계최고수준 물분해 성능

(2012.10) Energy & Environmental Science
Highly durable and flexible dye-sensitized solar cells fabricated on plastic substrates: PVDF-nanofiber-reinforced TiO2 photoelectrodes

(2014.07) 유연 태양 전지용 특허1건

(2016.04) 플렉시블 페로브스카이트 특허 1건

멀티스케일에너지시스템연구단

2017 — 2018 — 2019 — 2020 — ~ 2023

(2017.10)

효율 갱신
22.7%(10월)

nature
논문 등재

(2019.04)

효율 갱신
24.2%(4월)
25.2%(8월)

nature
논문 등재

(2020)

효율 갱신
25.5%

(2017.09)

유연봉지재료 등
특허 2건

(2020.09)

Hydrophobic stabilizer-anchored fully inorganic perovskite quantum dots enhance moisture resistance and photovoltaic performance

(2020.09)

Effect of secondary metal catalysts on butane internal steam reforming operation of thin-film solid oxide fuel cells at 500 - 600 C

(2017.09)

강화복합전해질막
기술이전 1건

(2017.03)

고분자 전해질막
특허 1건

(2019.07)

Energy & Environmental Science

Work function-tailored graphene via transition metal encapsulation as a highly active and durable catalyst for the oxygen reduction reaction

(2020)

Toyota & DOE Target을
상회하는 MEA 성능 확보

(2017.09)

페로브스카이트
특허 2건

(2020)

nature COMMUNICATIONS

Spectroscopic capture of a low-spin Mn(IV)-oxo species in Ni–Mn3O4 nanoparticles during water oxidation catalysis

한눈으로 보는
멀티스케일에너지시스템연구단의 9년

비전

Multiscale Energy Technology Global Leader 2020
화석연료 대체 가능한 미래 에너지 솔루션 확보, 새로운 융합 과학기술 트렌드 창출

목표

화석연료 대체 가능한 광 분자 및 에너지를 이용하는
혁신적인 청정 고효율 미래 에너지 시스템 개발
(차세대 태양전지 및 연료전지)

추진전략

- 확보된 세계최고 원천기술을 활용
- 차세대 태양전지 및 연료전지 기술 사업화: 창업, 기술이전
- 신산업 창출과 국내·외 연구용역 수행으로 선순환 수익 창출

핵심분야 및 세부 중점 기술

- 광에너지 융합시스템 기술
- 집중형 융합연구 및 멀티스케일 아키텍쳐링 기술
- 분자에너지 융합시스템 기술

- 페로브스카이트 태양전지 기술
- 차세대 태양전지 소재 원천 기술
- 저온박동 박막 고체산화물 연료전지 기술
- 멀티스케일 고분자 전해질막 연료전지 기술
- 광-분자에너지 융합 원천기술

정량적 연구성과

(단위 : 건, 명, 백만원)

구분	논문건수			특허					
	SCI	비SCI	계	출원			등록		
				국내	국외	계	국내	국외	계
합계	1,404	44	1,448	511	187	698	287	47	334

구분	학위배출				국제협력		기술사업화		
	박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전		창업
							건수	기술료 (백만원)	
합계	167	195	4	366	18	276	10	2,080	1

01 연구단 9년사

1. 설립배경

에너지 산업 분야는 화석연료 자원의 고갈과 기후변화 등 여러 에너지 문제에 당면하고 있으며, 이를 해결해 줄 미래 청정에너지 자원을 이용하기 위한 연구가 지속되고 있다. 2000년대에 들어서면서 저탄소 녹색성장정책에 따른 국가에너지기본계획 추진 등 단기간에 에너지 분야 R&D가 급증하게 되었으나, 체계적이고 장기적인 R&D 전략 수립 및 추진이 부족하여 R&D 사업의 성과가 축적, 파급되지 못하여, 혁신적인 신재생 에너지 원천 기술 개발과 이를 위한 기존 기술의 한계를 뛰어넘는 새로운 패러다임의 기술 개발이 요구되었다.
이에 멀티스케일에너지시스템연구단은 나노, 마이크로, 매크로를 통합하는 멀티스케일 아키텍쳐링을 에너지 시스템에 적용하여, 신개념 태양전지, 신개념 연료전지 등 청정 고효율 멀티스케일 미래 에너지시스템 원천기술을 확보함으로써 세계 과학기술 발전을 선도하고 국가 미래 경쟁력을 확보하고자 설립되었다.

가. 기술적 측면

연구단은 에너지 소재의 구조 제어, 멀티스케일의 구조체를 통한 효율 제고, 저가 공정 개발 등에 대한 연구를 통해 고가·저효율의 기존의 문제점을 해결할 수 있는 저가·고효율의 신재생 에너지 시스템 실현을 위한 패러다임 전환형 멀티스케일 아키텍쳐링 에너지시스템 원천기술을 개발하여, 국가 미래 경쟁력을 확보하고, 세계 신재생 에너지 과학기술 발전을 선도하고자 하였다.
또한 글로벌 선도연구 거점으로써 세계적 기초원천기술력을 갖춘 연구 네트워크를 구축하고, 차세대 경제성장의 근간이 될 원천기술에 대한 공동연구 수행을 통해 새로운 아이디어 도출 및 구현이 가능하도록 함으로써 국가 미래 성장 동력의 지속적인 개발이 가능한 시스템을 구축하고자 하였다.

나. 경제적·산업적 측면

우리나라는 세계 8위의 에너지 소비국이지만 에너지의 94% 이상을 수입에 의존하는 에너지 빈곤국으로, 2018년도에는 에너지 및 자원 수입에 약 1,459억 달러를 지출했고, 2010년 이전에는 우리나라의 에너지 수입 의존도가 약 97%를 넘었다. 다만 청정하고 안전한 신재생 에너지가 현재 당면한 에너지 문제를 해결할 수 있는 대안임에도 불구하고, 에너지 자원 기여도가 매우 낮은 이유는 고가·저효율에 기인한 낮은 경제성 때문인 것으로 볼 수 있다. 이러한 신재생 에너지 자원 개발의 어려움은 글로벌 수준의 문제이며, 이에 연구단은 이를 선제적으로 해결할 수 있는 저가·고효율의 높은 경제성 확보가 가능한 차세대 태양전지 및 연료전지 원천기술 확보 및 이를 산업적으로 활용할 수 있는 사업화 기반 기술을 개발함으로써, 국가 에너지 산업 분야의 세계 신규시장을 창출하고, 안정적인 경제성장에 기여하고자 하였다.

다. 사회적 측면

2000년대 들어 인류는 화석연료 자원에만 의존할 수 없는 상황에 놓여있음을 자각하고, 전 세계적으로 화석연료를 대체하기 위한 친환경적이고 지속 가능한 신재생에너지에 대한 연구가 활발해졌다. 우리나라 또한 정부에서 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법('09.5.21)」을 제정하고, 에너지원을 다양화하고 에너지의 안정적인 공급, 에너지 구조의 친환경적 전환 및 온실가스 배출 저감을 추진하면서, 연구단은 이러한 취지를 바탕으로 차세대 에너지 기술 발굴을 위한 원천 기술을 연구하고자 설립되었다.
연구단은 멀티스케일 아키텍쳐링 에너지시스템을 적용한 태양전지 및 연료전지 등 고효율 청정에너지 원천기술 확보를 통해 전 세계적 이슈인 에너지 자원 부족 및 이에 따른 친환경 에너지 확대와 같은 글로벌 이슈 및 국내외 정책에 대응할 수 있도록 하고, 나아가 지속 가능한 성장과 국민 삶의 질 향상에 도움이 되고자 하였다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진체계

멀티스케일에너지시스템연구단은 1단계에서 설정한 연구개발 목표를 2단계를 거쳐 구체화하고, 기술사업화 기반 확보를 위하여 선택과 집중의 연구개발 추진 체계를 구축하였으며, 3단계 연구기간 동안 성과창출을 위한 연구개발을 수행하였다.

4개 핵심과제, 8개 중점기술 → 3개 핵심과제, 5개 중점기술

1단계('11-'12)	2단계('13-'15)	3단계('16-'20)
연구개발 목표 설정 및 기술개발 전략 수립	연구단 목표 구체화 및 선택과 집중의 전략적 R&D 추진	성과창출의 연구개발 전략, 산업계연계 및 협력

[4개 핵심과제]

- 멀티스케일 아키텍쳐링 기술
- 광에너지 융합시스템 기술
- 분자에너지 융합시스템 기술
- 지능형 에너지 소재 기술

[8개 중점기술]

- 삼차원 멀티구조체 조립 기술
- 삼차원 멀티구조체의 계면 제어 기술
- 삼차원 멀티구조체 기반 태양전지 구현 기술
- 멀티스케일 구조기반 광 활용기술
- 지능형 광, 전하 제어용 소재 기술
- 고온형 무기기반 분자에너지변환 기술
- 저온형 유/무기기반 분자에너지변환 기술
- 지능형 반응, 이온 제어용 소재

[3개 핵심과제]

- 집중형 융합연구 및 멀티스케일 아키텍쳐링 기술
- 광에너지 융합시스템 기술
- 분자에너지 융합시스템 기술

[5개 중점기술]

- 페로브스카이트 태양전지 기술
- 차세대 태양전지 소재 원천기술
- 저온작동 박막 고체산화물 연료전지 기술
- 멀티스케일 고분자전해질막 연료전지 기술
- 광-분자에너지 융합 원천기술

나. 사업추진 전략

연구단은 확보된 세계적인 원천기술을 기반으로 상용화 기술 개발을 촉진하고, 소재 및 융합 원천기술을 고도화하기 위한 선택과 집중의 연구개발 전략을 통해 사업을 추진하였다.

❶ 핵심 가치 기반 운영 전략

연구단의 기본 핵심가치 도전(Challenge), 융합(Convergence) 및 개방(Openness)을 근간으로 연구단을 관리하여 세계 최고 수준의 원천기술을 확보하는 연구 집단으로 육성하고자 하였다. 또한 글로벌프런티어사업 철학인 4G철학과 연구단의 기본 핵심가치를 연계하여 글로벌 연구 협력 네트워크 활성화, 중장기 기초 원천기술 개발, 융합연구, 원천기술 확보 및 산업계와 연계 등의 전략을 추진하고자 하였다.

글로벌프런티어 4G 철학		멀티스케일 에너지 연구단 운영전략
Global R&D	세계적 수준의 과학기술 톱 브랜드 구축	글로벌 연구 및 협력 네트워크 활성화 Openness
Ground-breaking	10년 이상을 내다보는 중장기 기초원천 연구	세부과제의 창의적이고 도전적인 연구 여건 보장하는 중장기 기초원천기술 개발 Challenge
Group Approach	전략적인 집단 융합연구 및 네트워크 구축	핵심 및 세부과제간의 연계 및 융합연구 강화 Convergence
Growth & Sustainability	원천기술 확보를 통한 미래 성장 동력 확보	원천기술 확보 및 산업체 연계 구축 Challenge, Convergence, Openness

❷ 사업화를 고려한 원천기술 및 상용화기술개발 전략

연구단은 사업 추진 시 향후 기술사업화를 고려하여 연구개발 계획을 수립하였다. 각 기술별 원천기술 확대 또는 상용화기반기술을 개발하였으며, 원천기술의 성숙과 실용화 촉진을 위한 공동연구, 창업 등의 전략을 통해 사업을 추진하였다.

또한 연구개발을 통해 창출되는 연구성과의 부가가치 극대화를 위해 사업 추진 과정에서 산업계 전문가의 의견을 적극 반영하여 운영중인 산업체 자문위원회를 지속하여 발전시키고자 하였으며, 지적재산권이 확보된 원천기술은 산업체에 소개하고 공동기술개발 및 창업을 유도하여 기술의 활용을 연결하고자 하였다.

❸ 글로벌 선도연구거점 구축 전략

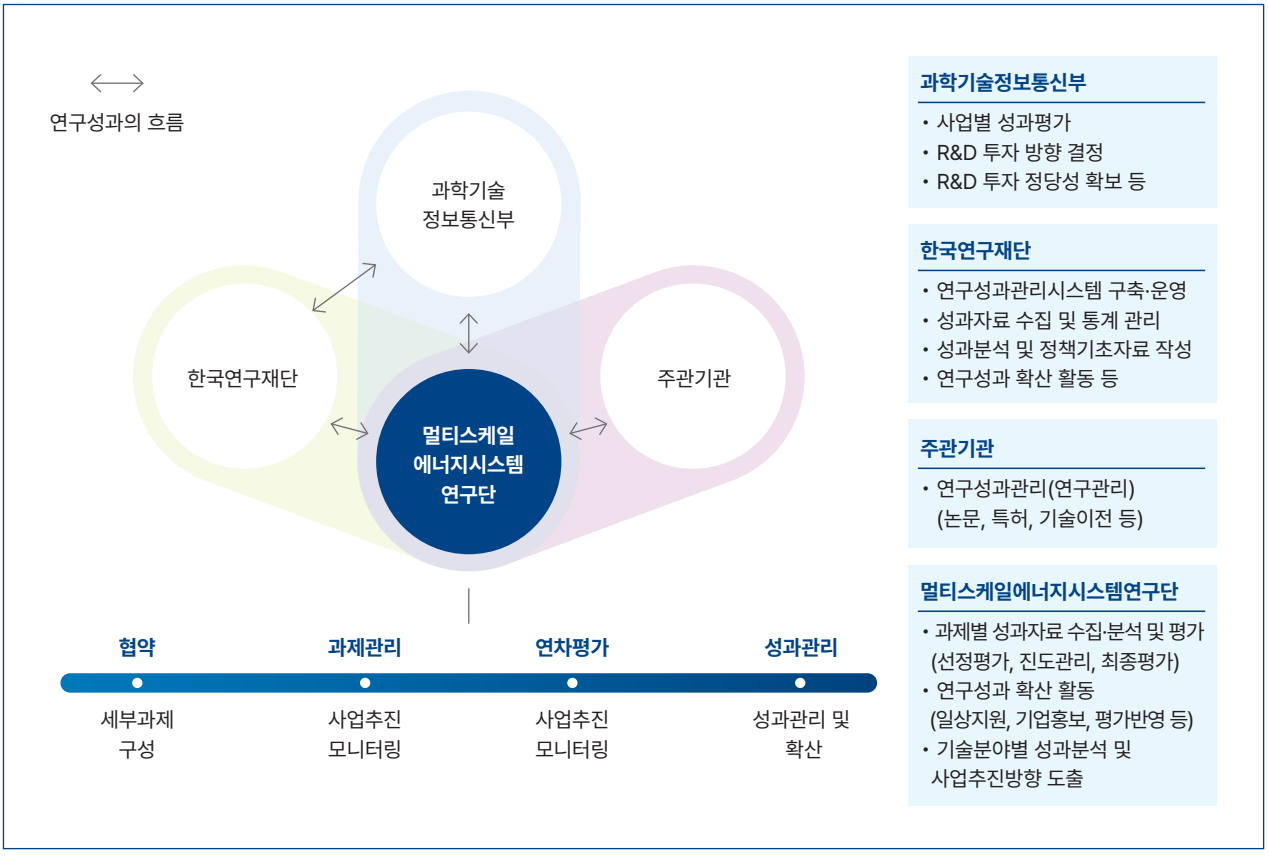
연구단은 글로벌프런티어사업을 통해 미래 신재생에너지 신산업 창출, 미래 성장동력 확보 및 글로벌 탑 리더 연구집단을 비전으로, 멀티스케일 아키텍쳐링 개념이 적용된 신개념의 초고효율 에너지 변환소자기술을 공동으로 연구, 새로운 아이디어 도출 및 구현할 수 있도록 하고, 한 장소에 모여 진정한 융합연구가 이루어질 수 있도록 공동연구 거점 즉, 집중형 융합연구 거점을 제공하였다.

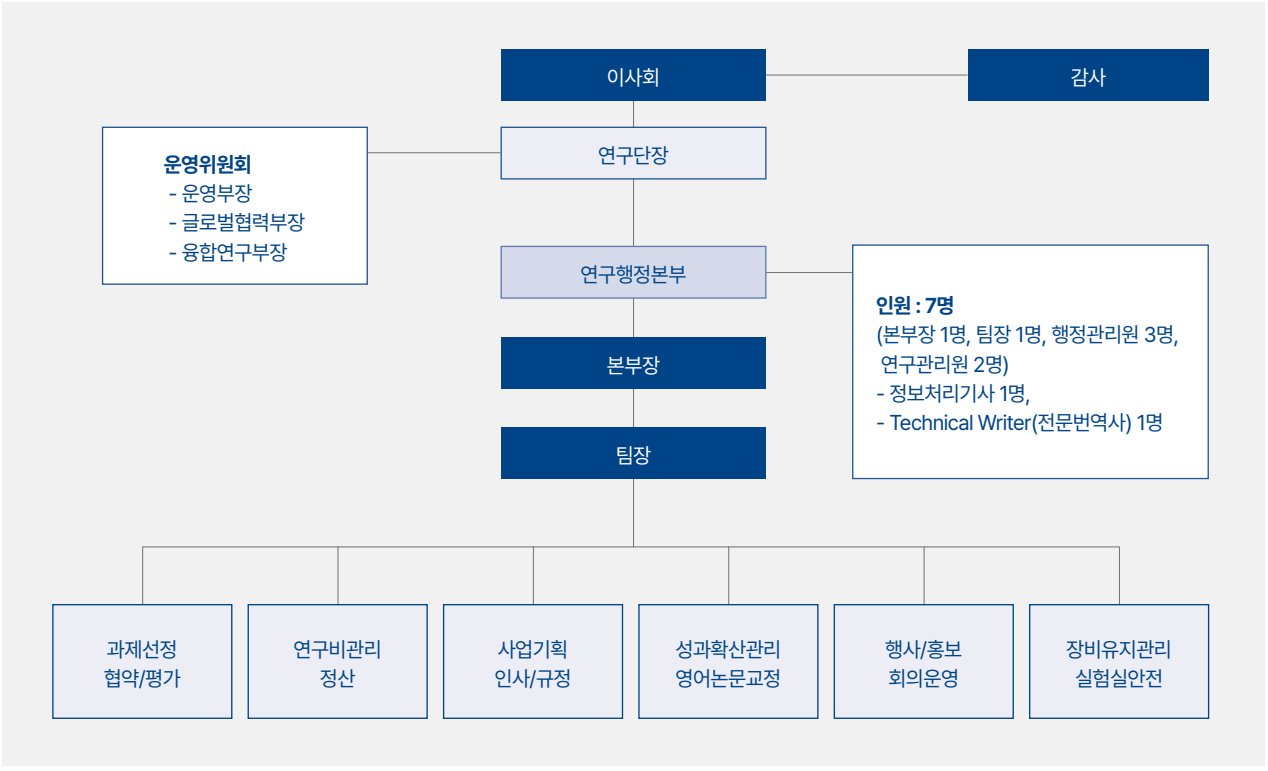
또한 연구를 통해 확보된 세계적 원천기술과 유·무형 인프라를 활용하여, First-mover형 사업화 추진 및 미래 광 및 분자에너지 시스템 기술의 지속적 연구개발과, 차세대 태양전지 및 연료전지 분야 강소연구소로서 세계적 수준의 기초연구를 산업화시킬 수 있도록 중추적인 역할을 수행하고자 하였다.

비전 (Vision)	**미래 신재생에너지 신산업 창출, 미래 성장동력 확보** 글로벌 탑 리더 연구집단
목표 (Purpose)	청정 고효율 미래 에너지에 특화된 지속가능한 **'멀티스케일 에너지 전문 연구소'** 구축 **차세대 태양전지 및 연료전지 신산업 창출**
추진전략 (Strategy)	확보된 세계최고 원천기술을 활용 차세대 태양전지 및 연료전지 기술 사업화: 창업, 기술이전 신산업 창출과 국내·외 연구용역 수행으로 선순환 수익 창출

다. 운영관리 체계

멀티스케일에너지시스템연구단은 글로벌프런티어사업 4G 철학을 구현할 수 있는 운영 전략을 구축하여, 탈 화석연료 및 신재생에너지 기술 혁신을 위한 에너지 시스템 분야의 세계적인 연구 거점을 확보할 수 있도록 하였다.





3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

총 연구비는 약 억 823.707억원으로, 과학기술정보통신부로부터 전액 지원되어 연구를 수행하였다.

(단위: 백만 원)

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2011	5,000	-	-	5,000
2012	10,000	-	-	10,000
2013	10,000	-	-	10,000
2014	10,000	-	-	10,000
2015	8,330	-	-	8,330
2016	8,330	-	-	8,330
2017	8,197.3	-	-	8,197.3
2018	8,103.8	-	-	8,103.8
2019	8,484.6	-	-	8,484.6
2020	5,925	-	-	5,925
합계	**82,370.7**	**-**	**-**	**82,370.7**

나. 참여기관 현황

1단계 13개 기관에서 2단계 19개, 3단계 16개 기관이 연구에 참여하여, 단계별 연구과제 증가를 통한 연구개발 및 실용화에 노력을 기울였으며, 참여기관은 학계의 참여가 가장 높았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	6	2	8
	위탁	-	3	2	5
	합계	**-**	**9**	**4**	**13**
2단계	세부	-	11	3	14
	위탁	-	3	2	5
	합계	**-**	**14**	**5**	**19**
3단계	세부	-	9	2	11
	위탁	-	4	1	5
	합계	**-**	**13**	**3**	**16**

다. 참여 연구인력 현황

연구단 참여연구원은 총 3,421명이었으며, 산학연별로는 학계의 참여도가 2,995명으로 가장 높았고, 학위별로는 학사 참여도가 가장 높았다.

[산학연 구분]

구분	1단계	2단계	3단계	합계
산업계	-	-	-	-
학계	534	998	1,463	2,995
연구계	78	151	197	426
계	**612**	**1,149**	**1,660**	**3,421**

[학위별 구분]

구분	1단계	2단계	3단계	합계
박사	138	258	393	789
석사	171	447	368	986
학사	303	444	899	1,646
계	**612**	**1,149**	**1,660**	**3,421**

4. 사업 및 성과 관리

가. 과제기획 및 시너지 제고

연구단은 국제적으로 진행되고 있는 연구 집단과의 경쟁적 차별성 확보를 위해 글로벌 개발 추이를 파악하면서 연구단의 최종 및 세부 목표를 세계 최고 수준으로 유지할 수 있도록 유연성 있게 연구 과제를 기획하고자 하였다.

세계최고 원천기술 선도
- 세계최고 공인 기록 확보

IP 컨설팅
- 필요/공백 특허 지속 발굴 → 특허화

국내외 기술동향 조사 /분석
- 기술 및 관련 시장 분석
  - ※ IP창출전략 수립 연계/활용
  - ※ 기술가치평가 연계/활용

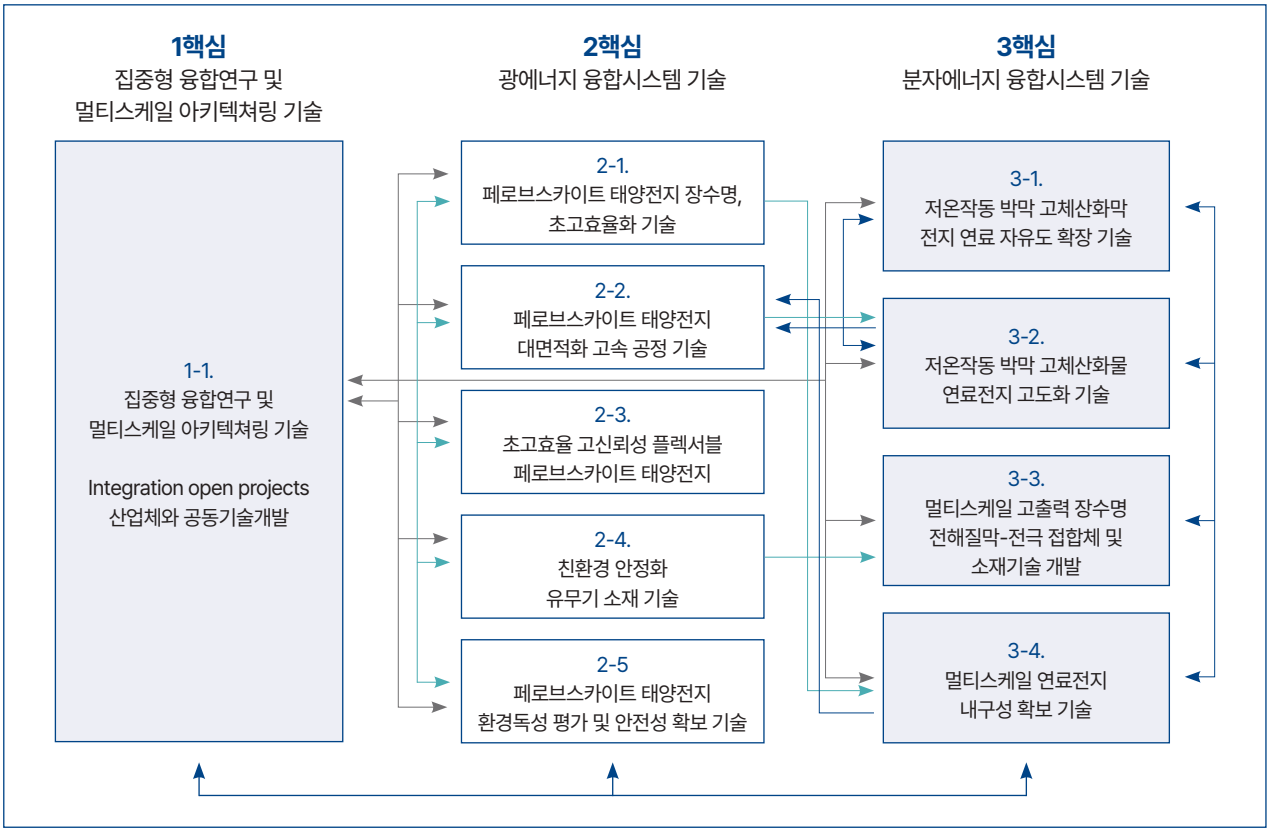
융합과제 기획
- (기업 참여) 실용화과제 발굴/지원
- Open Project(연구단 내·외 연구 그룹간 융합연구 과제) 발굴/지원

연구목표 설정/관리
- MECE/SMART 기준 연구목표 설정/관리
  - ※ 세계 최고 기술 대비 분석

연구단 자립화 방안 기획
- 사업화 기반 연구단 자립화 방안 기획

TBRM Rolling Plan 수립
- 제품/시장 중심 TBRM 지속 수정/보완

핵심기술 1(집중형 융합연구 및 멀티스케일 아키텍쳐링 기술)을 기반으로, 핵심기술 2(광에너지 융합시스템 기술) 및 핵심기술 3(분자에너지 융합시스템 기술)의 연구 개발을 강화하여 태양전지 및 연료전지 성능 혁신에 기여할 수 있도록 하였다. 특히 1핵심인 집중형 융합연구에서는 각 세부과제와의 융합연구를 수행하여 시너지를 높이고 open project를 지속 운영하였다. 또한 연구책임자 워크숍을 통해 연구단 전체 목표달성을 위한 세부과제의 역할과 기능을 강화하고 상호 협력연구를 추진하였으며, 핵심과제별, 분야별, 기술별 워크숍을 주기적으로 실시하여 정보 공유 및 공동연구 전략을 수립하고 각 과제별 목표 수준을 차등화하여 연구개발 시너지를 제고하고자 하였다.



나. 과제관리 및 평가 전략

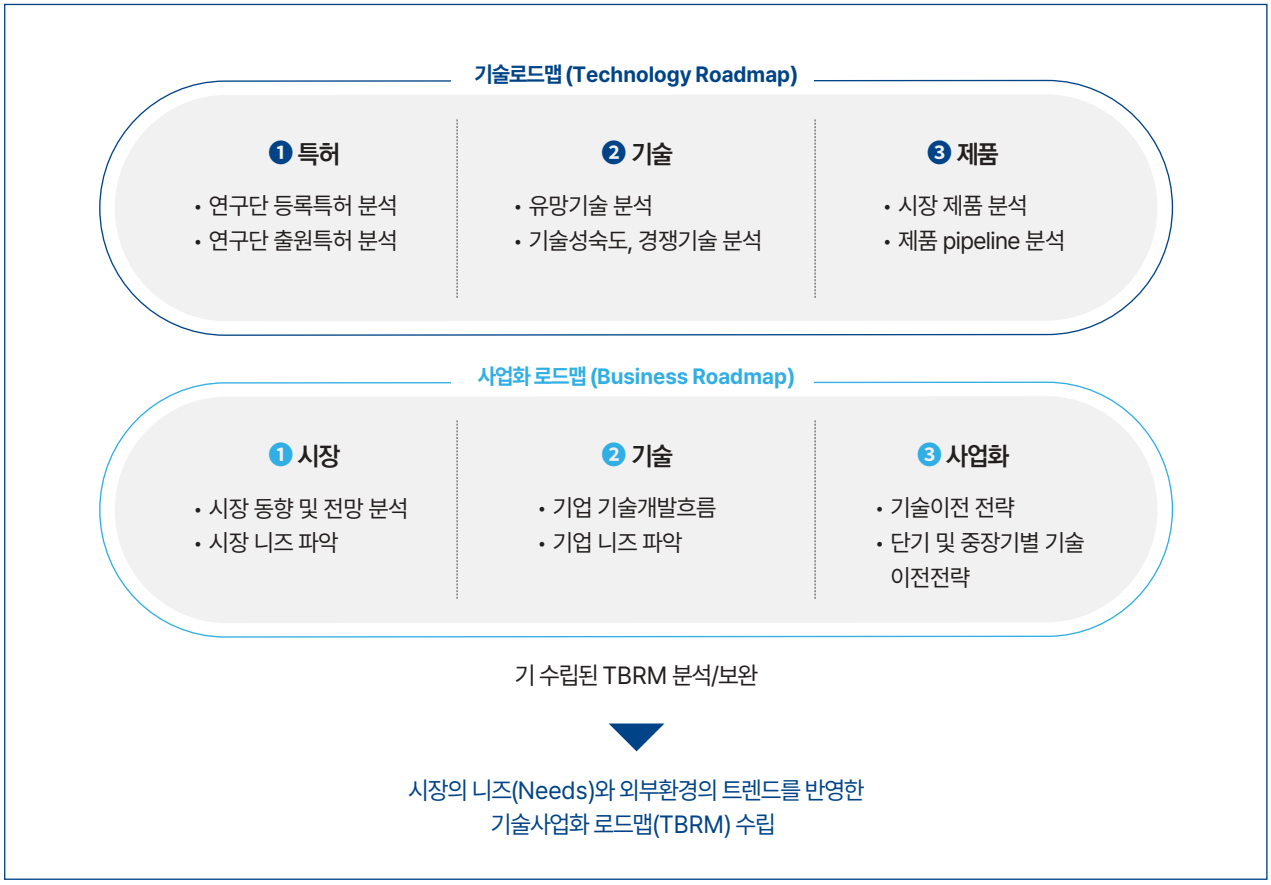
중요한 연구성과에 대해 공인된 기관 또는 세계적으로 인정하는 기관의 객관적인 검증을 수행하였다. 핵심 및 세부과제 책임자는 과제 제안 시 구체적 목표를 제시하도록 하고, 연구단 내 자체 자문위원회를 구성하여 과제별 연구결과 등 연구내용을 포함한 연구단 활동에 대한 자체 연구 모니터링과 이사회, 정부/전문기관 뿐 아니라 주기적인 시장의 니즈를 반영할 수 있도록 산업체 자문위원회를 통한 외부 연구 모니터링 체계를 운영하였다.

각 과제별로 제시된 정량적 목표를 기반으로 연차별/단계별 평가를 통해 인센티브 부여 및 연구비 증액 등의 장려책과 동시에 연구비 감액 및 탈락 여부를 평가하고, 자체 평가위원회 및 세계적 수준의 전문가로 구성된 자문위원회를 구성하여 Peer Review 형식의 평가제도를 운영하여 과제의 정량적/정성적 목표를 관리할 수 있도록 하였다. 또한 연차평가를 강화하여 성공가능성이 큰 과제를 집중 지원하며, 성공가능성이 낮은 과제는 과감하게 탈락시키고, 특허실적 평가 시 기여율을 감안한 연구단 실적에 편중된 시스템을 구축하여 기술이전 및 성과확산을 극대화하고자 하였다.

다. 성과 활용 전략

새로운 아이디어 도출 및 구현을 위한 집중형 융합연구 과제를 통해 융합연구가 가능한 연구환경-공동연구 거점을 제공하였으며, 과제 간 또는 연구자 간 공동연구를 통해 멀티스케일 통합 접근방식이 적용된 신개념 초고효율 에너지 변환 소자 기술을 공동연구하였다. 또한 개별기술 및 파생기술의 기술이전을 지속 추진하고 연구 네트워크와 산업체(수요기업군, 관심기업군, LOI 교환기업 등) 네트워크를 강화하여 사업모델을 구체화하였으며, 세계적 기술력이 확보된 기술군의 창업을 통해 원천기술에서부터 기술사업화까지 다양한 성과를 창출하도록 하였다.

개별 IP 창출을 독려하기 위하여 기술의 성과별로 원천기술 획득 단계부터 선별적으로 특허비용을 지원하고, 창출된 성과활용을 극대화하기 위해 기술이전, 기술창업, 공동연구개발 등의 전략을 담은 핵심기술별 기술사업화 로드맵을 수립하여 지속적으로 보완하였다. 도출된 특허분야에 대한 특허 포트폴리오를 구축하였고 마케팅/실용화 컨설팅 사업을 통하여 기술이전 및 사업의 효율성을 제고하였다. 기술별로 수립한 특허 포트폴리오와 기술사업화 로드맵을 활용하여 창출된 원천기술을 관련 수요기업에 기술이전 추진하였다.

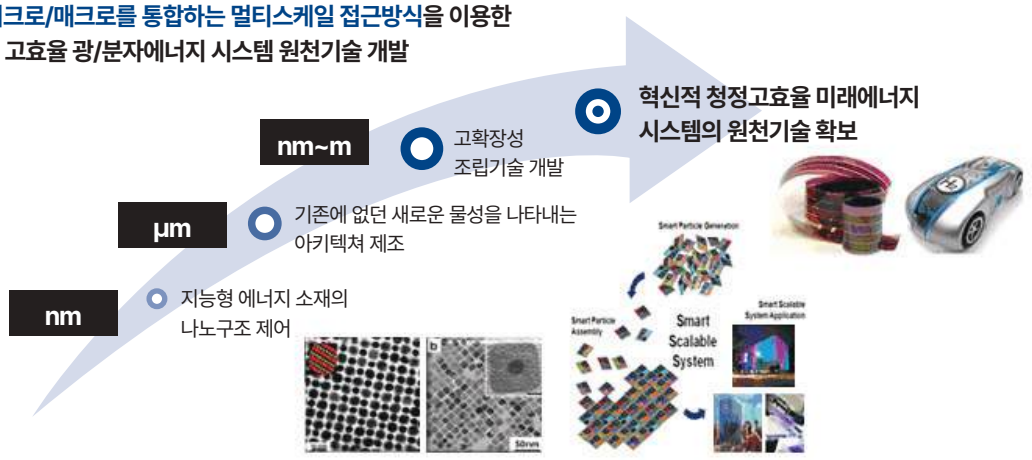


02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

멀티스케일에너지시스템연구단은 기존의 화석연료 대체가 가능한 광 및 분자에너지를 이용하는 혁신적인 미래 청정에너지를 나노, 마이크로, 매크로를 통합하는 멀티스케일 접근방식을 이용하여 미래 에너지 시스템 원천기술 및 공정기술을 개발하고자 하였다.
연구단은 3단계의 연구기간 동안 멀티스케일 에너지시스템 기술을 핵심기반기술, 핵심원천기술, 시스템구현원천기술로 나누어 각 단계에서 연구개발을 수행하였다.

나노/마이크로/매크로를 통합하는 멀티스케일 접근방식을 이용한
미래 청정 고효율 광/분자에너지 시스템 원천기술 개발



1단계('11-'12)

핵심기반기초연구

- 에너지 변환용 멀티구조체 병렬 조립 원천기술 확보
- 멀티스케일 광에너지 원천기술 개발 (효율 20% 향상)
- 멀티스케일 분자에너지 원천기술 개발
- 고속 이온/전자 제어 물질 및 광산란 극대 나노구조체 설계

2단계('13-'15)

핵심원천기술개발

- 고속 이온/전자 제어 물질 및 광산란 극대 나노구조체 설계
- 고효율 태양전지 구현을 위한 멀티스케일 구조기반 기술 확보
  ※ 페로브스카이트 태양전지 셀효율 21%
- 유무기 하이브리드 소재 최적화 및 연료전지 성능향상
  ※ 저온작동 고체산화물 연료전지 전력밀도 0.5W/cm²
- 초고속 전하이동 및 고안정성 유무기 신소재 개발

3단계('16-'20)

시스템구현원천기술개발

- 삼차원 멀티스케일 기반 신개념 태양전지 구현 및 실용화 기술확보
  ※ 페로브스카이트 태양전지 셀효율 25%
- 신개념 멀티스케일 연료전지 시스템 구현 기술확보
  ※ 저온작동 고체산화물 연료전지 전력밀도 0.7W/cm², 500°C
  ※ 멀티스케일 고분자전해질막 연료전지 전력밀도 1.6W/cm²
- 대면적화 연속공정 기술개발
- 내구성 확보

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

연구단은 화석연료와의 경쟁 또는 대체가 가능한 신재생에너지의 적용 확대를 위한 기술혁신을 목표로, 나노/마이크로/매크로 멀티스케일 구조체 기술을 적용한 광 및 분자에너지 기반 에너지 변환시스템 성능 향상을 위해 3개의 핵심과제를 통해 기술 개발을 수행하였다.
연구단은 단계별로 2단계까지는 멀티스케일 광에너지 융합시스템과 분자에너지 융합시스템 원천기술 개발의 근간이 되는 8개의 중점요소기술 위주로 연구를 진행하였고, 3단계에서는 2단계까지 개발된 8개의 중점요소 기술을 기술사업화가 가능한 기술로까지 발전시키기 위하여 5개의 중점기술을 선택하였고, 다시 3개의 핵심기술에 집중하였다.

<table>
<tr><th rowspan="3">핵심기술</th><th colspan="3">중점 / 핵심기술</th></tr>
<tr><th>2단계</th><th colspan="2">3단계</th></tr>
<tr><th>8개 중점요소 기술</th><th>5대 중점기술</th><th>3개 핵심기술</th></tr>
<tr><td rowspan="2">집중형 융합연구 및
멀티스케일
아키텍쳐링 기술</td><td>삼차원 멀티구조체 조립 기술</td><td rowspan="9">❶ 페로브스카이트 태양전지 기술
❷ 저온작동 박막 고체산화물연료전지 기술
❸ 멀티스케일 고분자전해질막 연료전지 기술
❹ 차세대 태양전지 소재 원천 기술
❺ 광-분자에너지 융합 원천 기술</td><td rowspan="9">❶ 페로브스카이트 태양전지 기술
❷ 저온작동 박막 고체산화물연료전지 기술
❸ 멀티스케일 고분자 전해질막 연료전지 기술</td></tr>
<tr><td>삼차원 멀티구조체의 계면제어 기술</td></tr>
<tr><td rowspan="3">광에너지
융합시스템 기술</td><td>멀티스케일 구조기반 광 활용 기술</td></tr>
<tr><td>삼차원 멀티구조체 기반 태양전지 구현 기술</td></tr>
<tr><td>지능형 광, 전하 제어용 소재</td></tr>
<tr><td rowspan="3">분자에너지
융합시스템 기술</td><td>고온형 무기기반 분자 에너지변환 기술</td></tr>
<tr><td>저온형 유/무기 기반 분자에너지변환 기술</td></tr>
<tr><td>지능형 반응, 이온 제어용 소재</td></tr>
</table>

나. 핵심과제별 연구분야 및 내용

연구단은 핵심과제 1의 집중형 융합연구 및 멀티스케일 아키텍쳐링 기술을 통해 멀티스케일 다차원 구조체가 접목된 신개념의 초고효율 멀티스케일 에너지 변환소자 상용화를 위한 고효율, 고안정성, 대면적, 친환경, 서브모듈화 기반기술을 개발하였으며, 특히 집중형 실험실 구축을 통한 과제간 연계 및 융합연구가 가능하도록 하였다.

핵심과제 2는 광에너지 융합시스템 기술, 즉 초고효율·고신뢰성 저가의 태양전지를 달성할 수 있는 페로브스카이트 태양전지 기술에 집중하여 상용화 가능한 기술을 개발하였고, 핵심과제 3은 초고효율 및 초저가의 멀티스케일 분자에너지 융합시스템 기술을 목표로, 저온 작동 박막 고체산화물 연료전지의 자유도 확장 등 고도화 기술과 멀티스케일 연료전지로서의 소재 기술 등을 연구하였다.

핵심과제	핵심기술	과제역할	내용
집중형 융합연구 및 멀티스케일 아키텍쳐링 기술		글로벌 선도연구거점	• 과제간 연계·융합연구 수행 • Open Project 수행
광에너지 융합시스템 기술	페로브스카이트 태양전지 기술	고효율화 기술 개발 장수명화 기술 개발	• 고속 전자수집체 개발 • 전하수집층/흡수체 계면제어기술 확보 • 장수명용 n,p-type 소재 개발 • 장수명 소자 구조 설계 기술 • Encapsulation 공정 기술 • 대면적 고분자하이브리드 Encapsulation 박막 제작
		대면적 모듈 기술 개발	• 대면적 박막 코팅 공정기술 확보 • 고효율, 장수명 서브모듈 개발
		유연 기술 개발	• 저온 공정의 전하수송체 개발 • 저온 공정의 모듈 소자 효율 확보
		친환경 안정화 유무기 소재 개발	• 고효율, 친환경 태양전지 소재 개발 • 고이동도 신규 p형 소재 개발 • 고이동도 신규 n형 소재 개발
		환경독성평가 및 안전성 확보	• 환경유해성 분석 • 안전한 폐기방안 및 재활용 연구
분자에너지 융합시스템 기술	저온 작동 박막 고체산화물 연료전지 기술	고도화 기술 개발	• 스택 고용량화(10W 이상) • 이동용 응용 적합성 단전지 기술 • 열화기구 규명 및 억제를 통한 장수명-고신뢰성 기술
		연료자유도 확장 기술 개발	• 고탄화수소 및 액체 연료 개질 기술 • 내부개질을 위한 단전지 연료자유도 확보 기술
		내구성 확보 기술 개발	• 화학적·구조적 열화현상 규명 • 열화현상에 대한 진단법 및 억제 방안 개발
	멀티스케일 고분자전해질막 연료전지 기술	고출력 막-전극 접합체 개발 고출력·고내구성 MEA 소재 개발	• 계층구조 고분자 전해질막을 도입한 연료전지 성능 최적화 및 대량생산공정 개발 • 계층구조 막-전극 접합체를 통한 초경량화 • 단말이온수송 고분자 전해질 내부 이온수송 메커니즘 규명 • Pt 기반 다원계 촉매의 활성 및 안정성 최적화 • 나노복합막 막전극 접합체 제작

다. 단계별 연구내용

1단계(2년)

구분	연차별 목표
1차년도 (2011년)	• 멀티스케일 다층구조 어레이 공정기반 구축 • 집중형 연구실험실 구축
2차년도 (2012년)	• 멀티스케일 미래 에너지 핵심기반기술 개발 - 삼차원 멀티구조체를 이용한 태양전지 효율 향상(기존대비 20%) - 멀티스케일 하이브리드 아키텍쳐링을 통한 연료전지용 다층구조화

2단계(3년)

구분	연차별 목표
1차년도 (2013년)	• 멀티스케일 나노입자가 적용된 초고효율 태양전지 및 박막 연료전지 기술개발 융합 연구 - 식물의 에너지 수집 구조 분석 및 구조 모방용 핵심소재 제조 - 청정 연료 수소 생산을 위한 효율적 촉매 개발
2차년도 (2014년)	• 유무기 복합 태양전지의 고효율화(페로브스카이트 셀효율 18% 이상) - 다중 엑시톤 동역학 분석 및 고속전자 수집체 소재 디자인 • 연료전지용 3차원 멀티스케일 아키텍쳐 촉매 제조 - 촉매/전해질 멀티스케일 나노구조 구현 하이브리드 기술 개발
3차년도 (2015년)	• 저가·고효율 태양전지 및 연료전지 실용화 기반 구축 - 멀티스케일 광전극/양자점/엑시톤 융합에 의한 태양전지의 고효율화(페로브스카이트 셀효율 21% 이상) - 유무기 하이브리드 촉매/전극의 다양한 융합 및 하이브리드 스택 기술 개발 및 계면 조절 기술 개발, 연료전지 기존대비 30% 성능 향상

3단계(4년)

구분	연차별 목표
1차년도 (2016년)	• 기술사업화 기반 구축을 위한 연구 추진 • 무/유기 하이브리드 페로브스카이트 소재의 구조/결함 제어기술 • 장수명용 페로브스카이트 소재개발 • 저온 작동 연료전지 스택 기본 개념 및 디자인 도출 • MEA용 백금저감 촉매의 Scale-up 합성법 개발 및 반응성 평가
2차년도 (2017년)	• 고효율 페로브스카이트 태양전지 서브모듈 구조 개발 • 저온 작동 연료전지 경량 대용량 스택 기본 개념 도출 및 초기 조립 성능 파악 • 금속 이온 용출 최소화를 통한 MEA 내구성 향상
3차년도 (2018년)	• 유연 페로브스카이트 모듈 효율 향상 • 페로브스카이트 태양전지 물질의 재활용 및 안전한 폐기방안 연구 • 저온연료전지에서 스택화를 통한 출력 증가 및 대용량화 요구사항 파악 • 연구단 내 협업을 통한 MEA 제작 및 성능 확인
최종년도 (2020년)	• 멀티스케일 구조 기반 신개념 미래 에너지 시스템 기술 개발 - 초고효율 페로브스카이트 태양전지 제조 및 저가격화 기반 기술 연구(광전변환 셀 효율 25% 이상, 모듈효율 20% 이상 (15×15cm²) 내구성 10년이상) - 저온작동 박막연료전지 고효율화 및 고도화 연구(500°C이하 전력밀도 0.7W/cm²) - 멀티스케일 전해질막 연료전지 고효율 장수명 연구(1.6W/cm²)

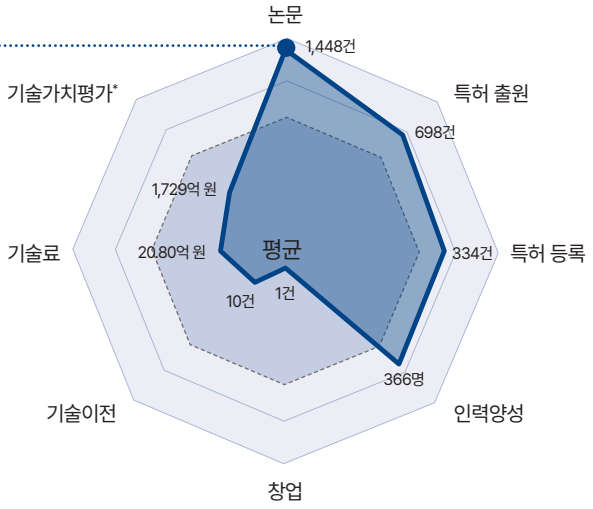
03 연구성과

1. 총론

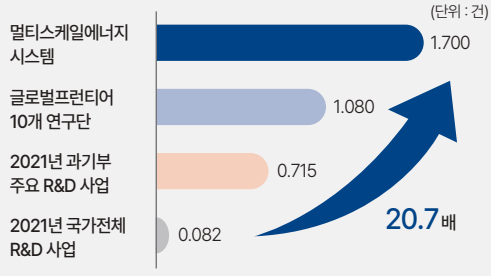
기후변화와 에너지 문제가 갈수록 심각성을 더해가는 가운데 멀티스케일에너지시스템연구단은 과거와는 다른 접근과 아이디어를 통해 기존 에너지 소재와 기술의 효율, 가격, 생산성을 뛰어넘는 차세대 에너지 시스템 연구성과들을 내놨다.
화석연료를 대체하는 광 및 분자에너지를 이용한 멀티스케일 페로브스카이트 태양전지, 멀티스케일 저온작동 고체산화물 연료전지, 멀티스케일 고분자 전해질막 연료전지 등 핵심기술을 확보했다.
연구단은 총 1,448건의 논문을 발표했고 그중 1,404편이 SCI 논문이었다. 국내외 특허출원은 698건, 특허등록은 334건에 달했고 366명의 학위인력을 배출했다. 핵심 연구분야인 페로브스카이트 태양전지 관련 논문은 세계의 7.8%, 한국의 51.5%를 차지할 정도로, 세계적인 연구그룹으로 자리잡았다. 관련 특허에서는 양적 공세를 쏟아 붓고 있는 중국에 이어 세계 2위다. 2013년부터 2020년까지 8년간 페로브스카이트 태양전지 분야에서 세계 공인 최고효율 기록을 보여줬다. 연구단이 창출한 기술가치는 1,728억 9,700만 원으로 평가됐으며 총 10건의 기술이전이 이뤄지고 20억 8,000만 원의 정액기술료를 거뒀다.
특히 멀티스케일 페로브스카이트 태양전지 기술이 국내 반도체 후공정장비 기업에 이전돼 관련 매출이 발생하기 시작했다. 세계 최초의 페로브스카이트 활용 전고체형 태양전지 상용화를 위해 직접 창업에 도전해 제품화를 추진하고 있다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 5건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 SCI 논문 산출 성과

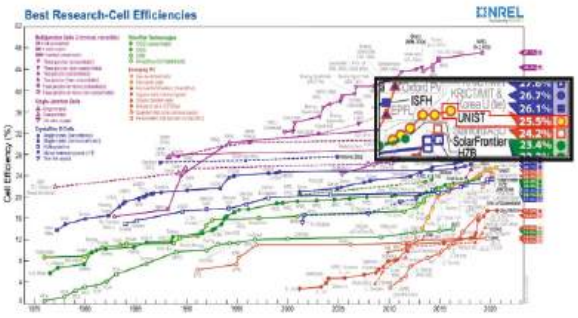


- 멀티스케일에너지시스템 연구단의 연구성과는 논문, 특허, 인력양성 부분에서 두드러지는 것으로 나타남
- 특히, 연구단의 연구비 1억 원당 SCI 논문건수는 약 1.7건으로 이는 글로벌프런티어 연구단의 종합 성과 보다 약 1.5배 높은 수준이며, 2021년 과기부 주요 R&D 사업대비 약 2.4 배, 2021년 국가 전체 R&D 사업 대비 약 20.7배에 달하는 수준

2. 대표 연구성과

멀티 01

멀티스케일 페로브스카이트 태양전지 기술
(UNIST 석상일, 성균관대학교 박남규, KRICT 서장원, 고려대학교 노준홍)



25.5% (20년 9월)
25.2% (19년 8월)
24.2% (19년 4월)
22.7% (17년 10월)
22.1% (16년 3월)
20.1% (14년 11월)
17.9% (14년 5월)
16.2% (13년 11월)

[광전지 기술에 대한 연구셀 효율성 추이]

[광전지 기술에 대한 연구셀 효율성 추이]

- 연구단은 기존의 실리콘 태양전지를 대체할 페로브스카이트 태양전지를 개발
- 기존 실리콘 태양전지는 복잡한 제조공정으로 비용이 높다는 단점이 있으나, 연구단은 광전효율이 높은 페로브스카이트 원천기술 확보함으로써 이러한 단점을 극복
- 연구단은 페로브스카이트 태양전지 세계 최고 공인 효율을 달성하였으며, 자체 기록을 8번 갱신 (16.2% → 17.9% → 20.1% → 22.1% → 22.7% → 24.2% → 25.2% → 25.5%)
- 또한, 고속공정화 기술개발을 통해 단위소자 및 대면적화(15X15cm) 서브모듈 제작하여 20.8% 세계최고수준 효율 달성
- 이러한 기술적 우수성을 바탕으로 해당기술은 (주)유니테스트 등으로 총 15.6억원의 기술료로 기술이전됨
- 연구단은 세계 최초 페로브스카이트 활용 전고체형 태양전지 상용화를 위해 (주)프런티어에너지솔루션을 창업하고 제품화를 추진 중

논문(IF 상위 5편 발췌, 전체 420편)

· Solvent engineering for high-performance inorganic-organic hybrid perovskite solar cells(Nature Materials, 2014)
· Compositional engineering of perovskite materials for high-performance solar cells(Nature, 2015)
· Printable organometallic perovskite enables large-area, low-dose X-ray imaging(Nature, 2017)
· Efficient, stable and scalable perovskite solar cells using poly(3-hexylthiophene)(Nature, 2018)
· High-Efficiency Perovskite Solar Cells(Chemical Reviews, 2020)

특허(다국 출원특허 7건 발췌, 전체 136건)

· 할로겐화 납첨가화합물 및 이를 이용한 페로브스카이트 소자(KR 10-2015-0129336, A등급)
· 페로브스카이트, 이의 제조방법 및 이를 포함하는 태양전지(KR 10-2015-0164744, BBB등급)
· 페로브스카이트 화합물을 포함하는 포토컨덕터를 구비한 엑스선검출기(KR 10-2016-0106406, B등급)
· 페로브스카이트 태양전지의 재생방법(KR 10-2015-0152460, BB등급)
· 페로브스카이트 태양전지 및 이의 제조방법(KR 10-2015-0165149, BBB등급)
· 페로브스카이트 태양전지 및 그의 제조 방법(KR 10-2015-0059632, A등급)
· 다공성 금속할로겐화물 막, 이의 제조방법 및 이를 이용한 페로브스카이트 구조의 유기금속할로겐화물의 제조방법(KR 10-2018-0029304, BBB등급)

Frontier Energy Solution
프런티어에너지솔루션

창업일 : 2016.07
대표자 : 석상일, 최영찬
주요 아이템 : 페로브스카이트 태양전지

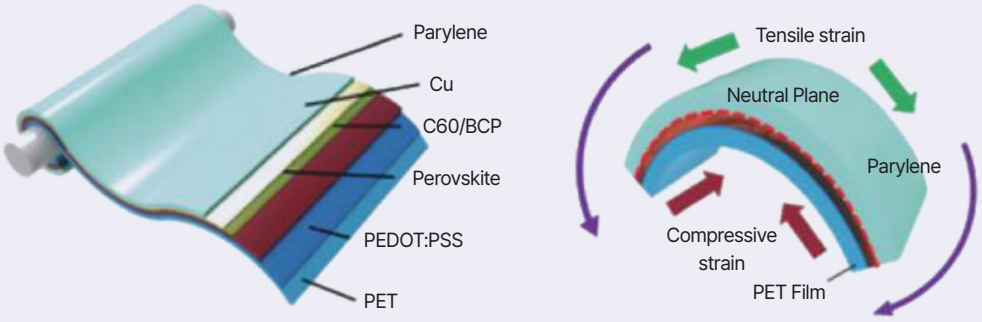


[광전효율 25% 이상, 내구성 3,000시간 이상 제품 개발중]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (25건)	○	○	15.6억 원	(주)프런티어에너지솔루션 창업

멀티 02

플렉서블 페로브스카이트 태양전지 제조 기술
(한양대학교 고민재, 성균관대학교 정현석, (재)멀티스케일에너지시스템연구단 최만수)



[플렉서블 페로브스카이트 태양전지 구조]

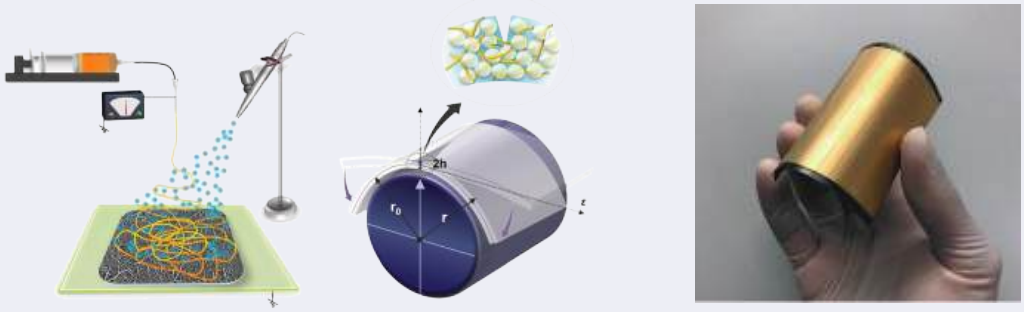
- 연구단은 유연 페로브스카이트 태양전지 구현을 위해 다양한 요소 기술을 개발하였으며, 실리콘 태양전지나 차세대 박막형 태양전지에 비해 값싼 저온 용액공정을 개발과, 무게 당 출력 에너지가 가장 높은 값을 갖는 페로브스카이트 태양전지의 유연화 구현에 성공함
- 해당 기술은 UV처리 기반 신규 전하 수송층과 정밀식각 을 통해 25m^2 면적의 모듈을 제작하였으며, 전력변환 효율 15% 이상을 달성
- 또한, 연구단은 신규 전하수송재료인 SnO_2 및 나노로드의 메커니즘을 분석하고. SnO_2 나노입자와 비교하여 높은 전하전달 특성, 광전효과 확인
- 해당기술은 실리콘 태양전지의 tandem, 건축 내외장재화 되고 있는 BIPV(Building Integrated Photovoltaocs) 등으로 사용될 것으로 기대

논문(IF 상위 3편 발췌, 전체 29편)

· Highly durable and flexible dye-sensitized solar cells fabricated on plastic substrates: PVDF-nanofiber-reinforced TiO2 photoelectrodes(ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2012)
· Maximized performance of dye solar cells on plastic: a combined theoretical and experimental optimization approach(ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2016)
· Hydrophobic stabilizer-anchored fully inorganic perovskite quantum dots enhance moisture resistance and photovoltaic performance(Nano Energy, 2020)

특허(다국 출원특허 5건 발췌, 전체 136건)

· 태양전지용 전자 수집층 제조 방법 및 이에 의해 제조된 유연 태양 전지용 전자 수집층(KR 10-2014-0098348, CCC등급)
· 초유연성 페로브스카이트 광전 소자 및 그 제조 방법(KR 10-2020-0097440)
· 비정질 금속 박막을 이용한 유연 봉지재료 및 공정 기술(KR 10-2017-0122445, CC등급)
· 플렉시블 페로브스카이트 태양전지용 전자 수송층 및 이를 이용한 플렉시블 페로브스카이트 태양전지(KR 10-2016-0040165, BBB등급)
· 플렉시블 투명전극을 포함하는 페로브스카이트 기반 태양전지(KR 10-2017-0002454)

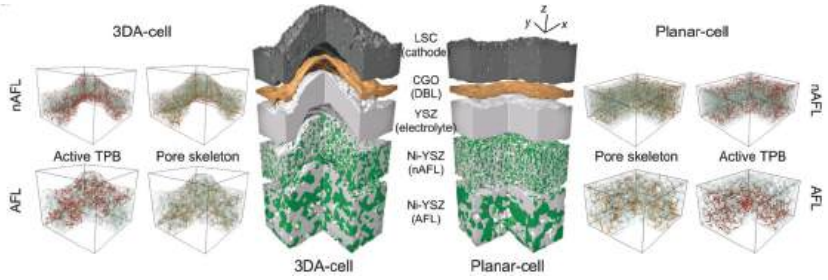


[플렉시블 페로브스카이트 태양전지 제조 공정 및 굽혀진 모습]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	-	-

멀티 03

멀티스케일 저온작동 고체산화물 연료전지(SOFC) 기술
(KIST 손지원, KAIST 배중면, 성균관대학교 이원영, (재)멀티스케일에너지시스템연구단 최만수)



[멀티스케일 SOFC 성능향상을 위한 셀구조]

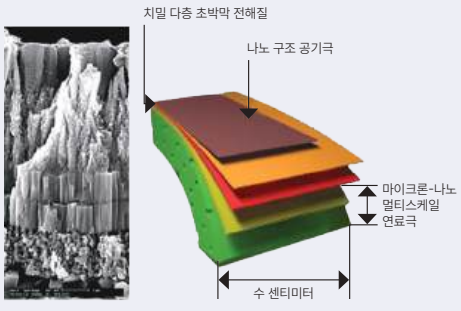
- 연구단은 세계 최초 고성능·고신뢰성 ·고용량의 박막 다원-다층 멀티스케일 세라믹 연료전지를 구현
- 특히, 구조혁신을 통한 저온 작동 박막 SOFC(LT-SOFC)의 고성능과 고안정성을 동시에 획득하였으며, 1cm²의 활성 면적에서 0.8W의 출력,
- 1,000시간 열화율 2.9% 를 동시에 달성. 이는 박막 증착 기반의 LT-SOFC에서는 최고수준
- 또한, 연구단은 혁신적인 세라믹 마이크로패터닝 기술과 박막 기반 입체공정기술을 도입하여 3차원 구조를 갖는 고성능 세라믹 연료전지 개발
  - 5cm × 5cm 박막 SOFC 3단 스택 구현, 스택 출력 42W@ 550°C
- 이러한 기술력을 인정받아 2016년 올해 10대 과학기술 뉴스 선정되었으며, 해당기술은 (주)에이치앤파워로 정액기술료 2,400만원에 기술이전 됨

논문(전체 82편)

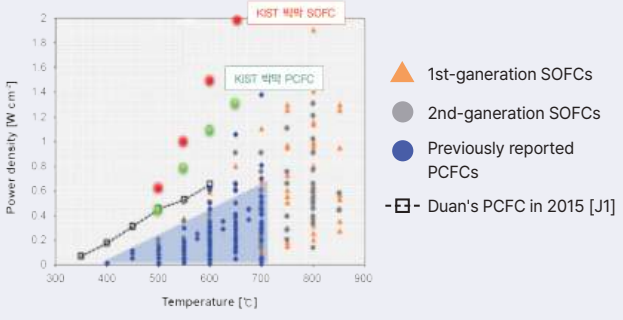
· A circular membrane for nano thin film micro solid oxide fuel cells with enhanced mechanical stability(ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2015)
· Multiscale structured low-temperature solid oxide fuel cells with 13 W power at 500°C(Energy & Environmental Science, 2020)
· Effect of secondary metal catalysts on butane internal steam reforming operation of thin-film solid oxide fuel cells at 500 - 600 C(APPLIED CATALYSIS B-ENVIRONMENTAL, 2020)

특허(국내 11건, 국외 4건)

· 다공성 구조체를 이용한 고체산화물 연료전지 및 그 제조방법(KR 10-2011-0123010)
· 금속폼 지지체를 사용하는 고체산화물 연료전지 및 그 제조방법(KR 10- 2012-0013447, CCC등급)
· 평관형 고체산화물 연료전지 스택(US 13/639615, JP 2013-503674)
· 고체산화물 연료전지의 인터커넥트 코팅 조성물 및 그 제조방법(KR 10-2013-0025591)
· 고체산화물 연료전지의 크롬 피독 방지 방법 및 이를 위한 크롬 피독 방지 장치(KR 10-2013-0031464)
· 인터코넥트 코팅 기반 금속지지체 고체산화물 연료전지 제작방법 및 이에 의하여 제조된 고체산화물 연료전지(KR 10-2013-0053638, B등급)
· 전극 구조체, 이를 구비하는 전기화학소자, 및 상기 전극 구조체의 제조방법(KR 10-2015-0009270, BB등급)
· 인시츄 접합을 이용한 금속지지체형 고체산화물 연료전지의 제조방법 및 이에 의해 제조되는 금속지지체형 고체산화물 연료전지(KR 10-2016-0070505, B등급)



[멀티스케일 박막 세라믹 연료전지의 구조 및 개념도]

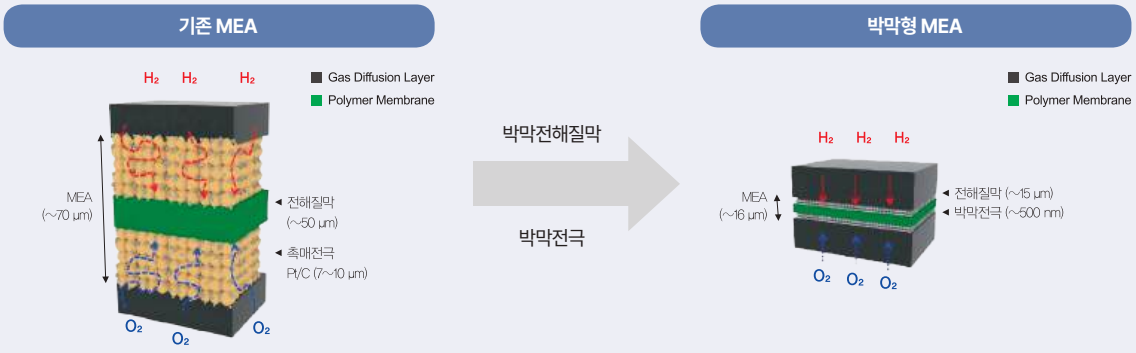


[기존 세라믹 연료전지 기술과 출력밀도 비교]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	2,400만원	-

멀티 04

멀티스케일 고분자 전해질막 연료전지(PEMFC) 기술
(KIST 유성종, DGIST 유종성, KAIST 이현주, (재)멀티스케일에너지시스템연구단 최만수)



[멀티스케일 SOFC 박막형 MEA 개요]

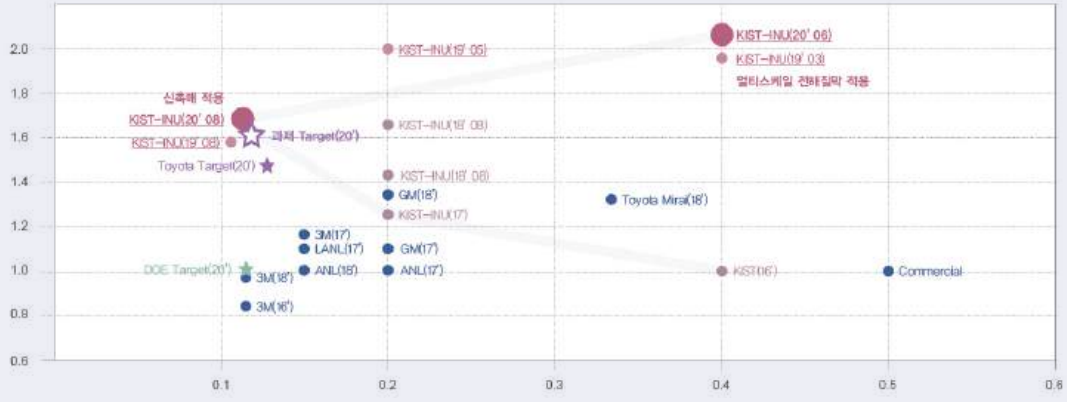
- 연구단은 멀티스케일 계층 구조 고분자 전해질막을 개발하였으며, 개발된 전해질막은 내피온(Nafion)보다 우수한 저가의 탄화수소계 나노 복합 전해질막으로 고온·무가습 환경에서 높은 수소 전도 특성을 보임
- 특히, 멀티스케일 구조를 통해 수소 이온 전도 향상 및 전기화학적 유효 표면적을 증가시킴과 동시에 비대칭 계층 구조를 형성하여 물배출 향상을 통한 물질전달 저항 감소를 이루어낸 것이 특징
- 해당기술은 자동차용 연료전지, 드론용 연료전지 등에 연료전지의 고성능화를 위한 원천기술로 적용될 것으로 기대
- 해당기술은 (주)가드넥에 정액기술료 2억 원에 이전되었음

논문(전체 72편)

· Pt-based nanoarchitecture and catalyst design for fuel cell applications(NANO TODAY, 2014)
· Work function-tailored graphene via transition metal encapsulation as a highly active and durable catalyst for the oxygen reduction reaction(ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2019)
· Hollow-sphere Co-NC synthesis by incorporation of ultrasonic spray pyrolysis and pseudomorphic replication and its enhanced activity toward oxygen reduction reaction(APPLIED CATALYSIS B-ENVIRONMENTAL, 2020)

특허(국내 42건, 국외 30건)

· 수전해 장치용 산화극 촉매 및 그 제조방법(KR 10-2015-0155213, CCC등급)
· 수전해 장치용 환원극 촉매 및 그 제조방법(KR 10-2015-0155227, BBB등급)
· 연료전지용 복합 고분자 전해질막 및 그 제조 방법(KR 10-2017-0022478, BBB등급)
· 탄소-담지 백금-전이금속 합금 나노입자 촉매의 제조방법(KR 10-2018-0099464, BB등급)
· 코발트 코어 및 탄소 쉘을 포함하는 알칼라인 산소환원 반응용 촉매 및 그의 제조방법(KR 10-2017-0028255, BB등급)

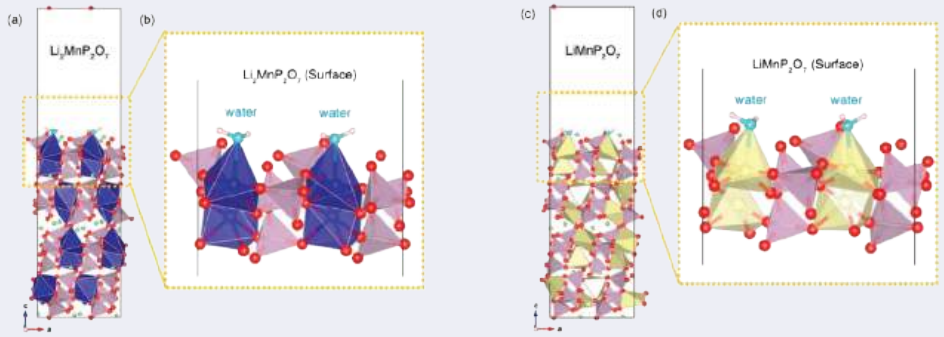


[2020년 Toyota & DOE Target을 상회하는 MEA 성능 확보]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	2억 원	-

멀티 05

친환경 수소연료 생산이 가능한 고효율 생체 모방 촉매 시스템 개발 (서울대학교 남기태)



[망간기반 촉매 구조 및 결합]

- 연구단은 생체 촉매를 모방한 인공 촉매를 구현하여 촉매개발, 촉매 반응 메커니즘 및 대량화 기술을 동시에 개발하였으며, 개발된 촉매는 세계 최고 수준의 물분해 반응 효율을 보임
- 이는 1kg 수소 생산기준으로 8.04kWh 이상의 전기에너지 절약할 수 있는 효율임
- 또한, 해당 기술은 망간 기반의 경제적인 재료를 활용하여 기존의 귀금속 촉매를 대체할 수 있어 기술의 경제적인 측면에서 매우 우수하며, 자연계의 효율적인 생체 촉매를 인공 촉매로 구현했다는 것에 의의가 있음
- 해당기술은 수소생산을 위한 귀금속 촉매를 대체할 수 있어, 수소경제 시대의 핵심기술로 활용될 것으로 기대

논문(IF 상위 4편 발췌 전체 28편)

· Highly durable and flexible dye-sensitized solar cells fabricated on plastic substrates: PVDF-nanofiber-reinforced TiO2 photoelectrodes (ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2012)
· Maximized performance of dye solar cells on plastic: a combined theoretical and experimental optimization approach(ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE, 2016)
· Hydrophobic stabilizer-anchored fully inorganic perovskite quantum dots enhance moisture resistance and photovoltaic performance(Nano Energy, 2020)
· Spectroscopic capture of a low-spin Mn(IV)-oxo species in Ni-Mn3O4 nanoparticles during water oxidation catalysis(Nature Comminucations2020)

특허

· 태양전지용 전자 수집층 제조 방법 및 이에 의해 제조된 유연 태양 전지용 전자 수집층(KR 10-2014-0098348, CCC등급)
· 초유연성 페로브스카이트 광전 소자 및 그 제조 방법(KR 10-2020-0097440)
· 비정질 금속 박막을 이용한 유연 봉지재료 및 공정 기술(KR 10-2017-0122445, CC등급)
· 플렉시블 페로브스카이트 태양전지용 전자 수송층 및 이를 이용한 플렉시블 페로브스카이트 태양전지(KR 10-2016-0040165, BBB등급)
· 플렉시블 투명전극을 포함하는 페로브스카이트 기반 태양전지(KR 10-2017-0002454)

[주요성능]

주요 기능 사항	내용
물 산화 반응 효율	- (망간산화물 나노 입자 촉매) - 10mA/cm² 기준 395mV의 과전압 달성 - (중성 망간 기반 촉매 중 최고 효율)
	- (이종원소가 decorated된 망간 기반 나노 입자 촉매) - 10mA/cm²에서 고전압 280mV - (귀금속 기반 촉매의 물 산화 과전압 : 290~350mV)
태양 에너지 - 수소 에너지 변환 효율	- 20.6% Solar to Hydrogen Efficiency (Monolithic 태양 전지 이용 수소 에너지 생산 기준 최고 효율)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Communications)	-	○	-	-

3. 정량적 연구성과

(단위: 건, 명, 백만원)

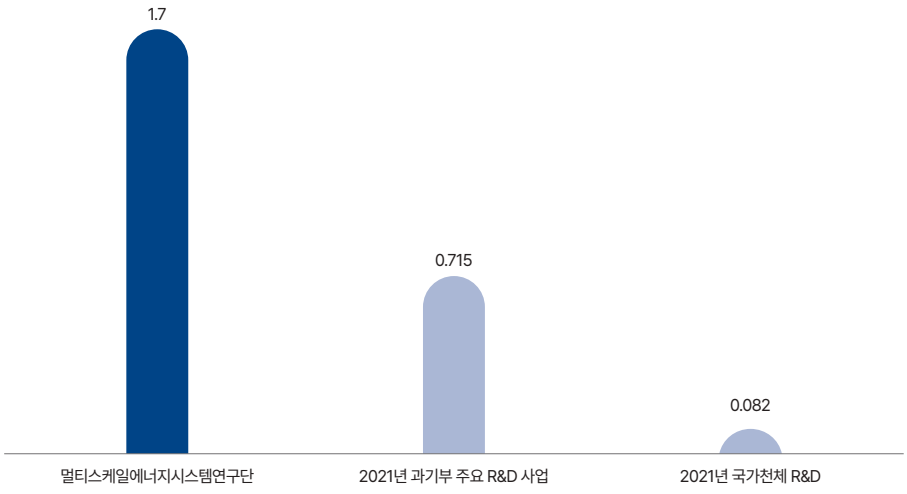
구분/연도			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	총합계
특허	국내	출원	39	48	69	85	68	69	45	45	30	13	511
		등록	1	4	29	54	25	31	42	31	30	40	287
	해외	출원	3	21	36	24	16	22	17	29	12	7	187
		등록	-	-	1	2	13	7	9	5	6	4	47
	계		**43**	**73**	**135**	**165**	**122**	**129**	**113**	**110**	**78**	**64**	**1,032**
논문	SCI		72	152	198	223	183	142	113	85	150	86	1,404
	비SCI		1	6	13	7	8	1	2	3	3	-	44
	계		**73**	**158**	**211**	**230**	**191**	**143**	**115**	**88**	**153**	**86**	**1,448**
기술이전 /사업화	기술이전		-	1	-	2	4	1	1	-	1	-	10
	기술이전 (정액기술료)		-	22	-	140	108	1550	160	-	100	-	2,080
	창업		-	-	-	-	1	-	-	-	-	-	1
학위배출	박사		18	11	24	29	15	25	17	9	6	13	167
	석사		19	39	34	26	17	17	14	5	13	11	195
	학사		2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	4
	계		**39**	**52**	**58**	**55**	**32**	**42**	**31**	**14**	**19**	**24**	**366**
학술발표	국내		155	227	205	287	189	127	112	112	138	20	1,572
	국외		90	130	232	305	173	144	124	127	103	5	1,433
	소계		**245**	**357**	**437**	**592**	**362**	**271**	**236**	**239**	**241**	**25**	**3,005**
국제협력	MOU		15	1	1	-	-	1	-	-	-	-	18
	공동연구 논문		-	12	28	39	61	25	39	21	33	18	276

나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

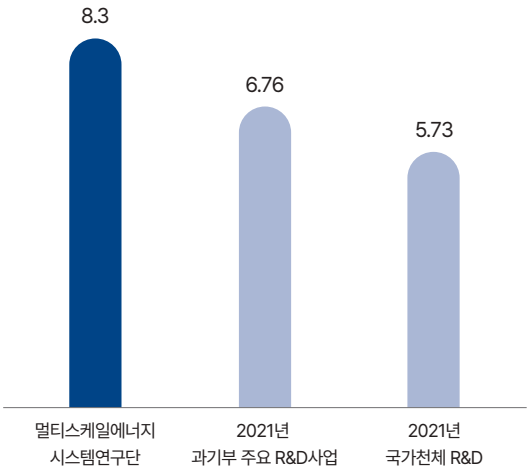
연구단이 연구기간 동안 게재한 총 1,448건의 논문 성과 중 SCI 논문은 1,404건, 약 97%였으며, 전체 연구비(정부출연금 기준) 1억 원당 약 1.7건의 성과를 창출하였다. 특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 8.3이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 85.7(최하위 0, 최상위 100)로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

(단위: 건)

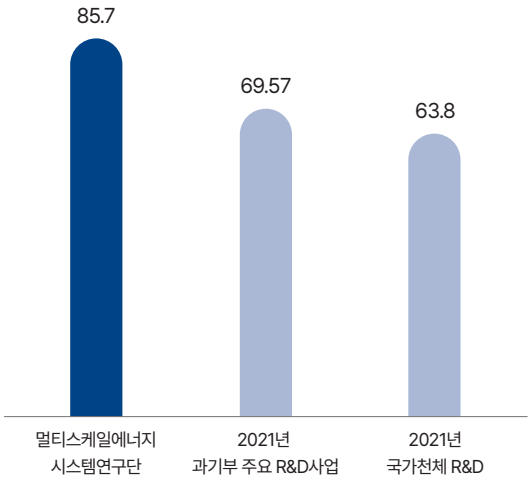


멀티스케일에너지시스템연구단 SCI 논문 성과는 1,404건(페로브스카이트 태양전지 분야 780건)으로, 연구비(정부출연금 823.707억 원) 대비 1억 원당 약 1.70건이었으며, 국가 전체 연구비 1억 원당 성과 0.082건[1] 에 비해 약 20.7배가 넘는 매우 높은 성과를 창출한 것으로 나타났다.

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

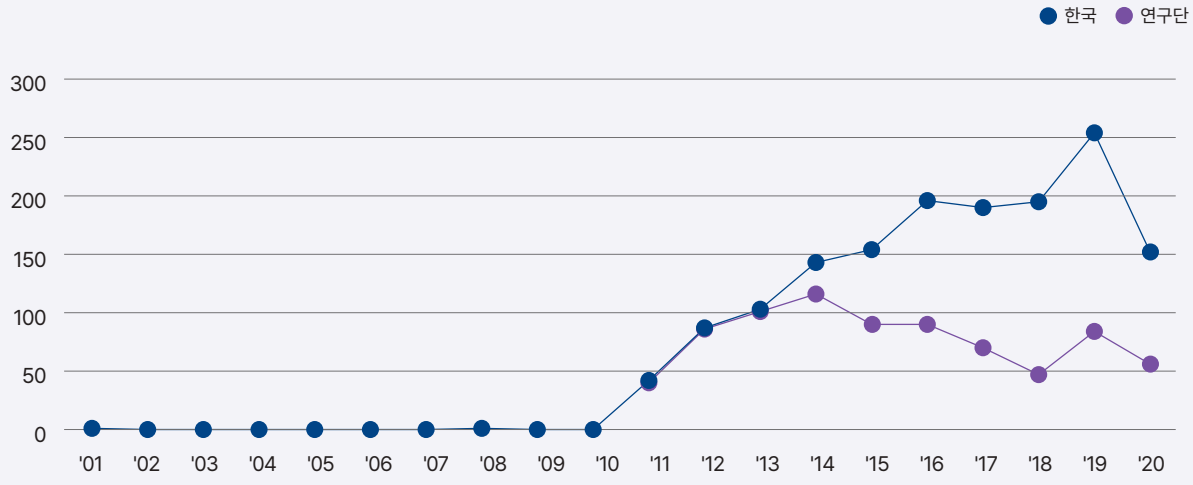


연구단 사업수행전후 논문건수 및 비중비교

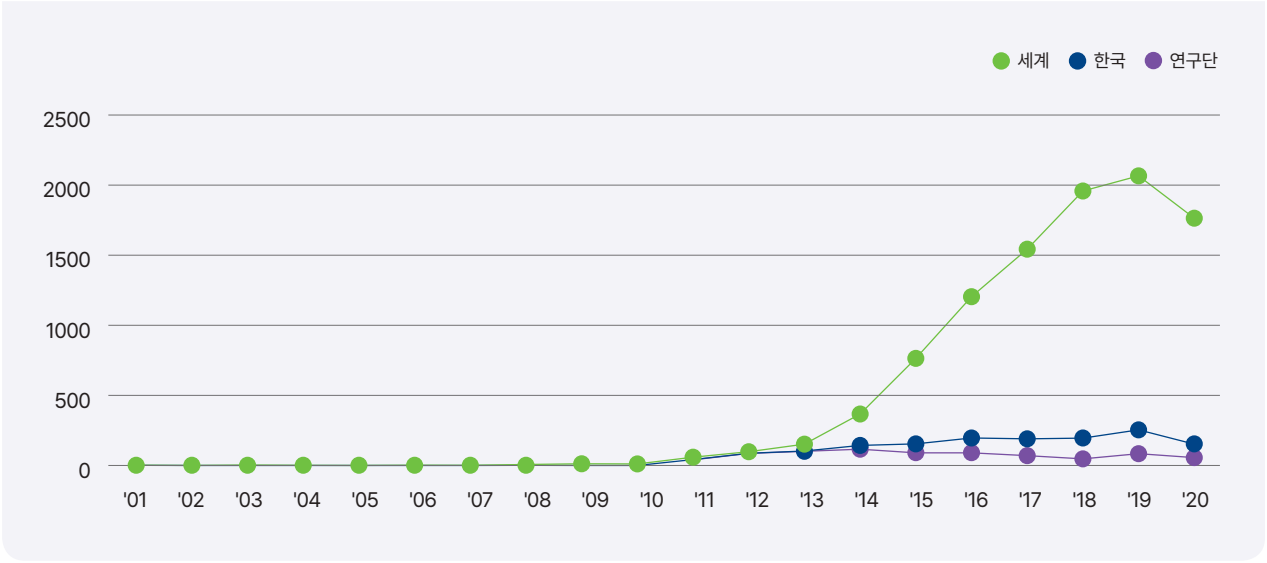
멀티스케일에너지시스템연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)의 연구단 중심 연구분야인 페로브스카이트 태양전지 관련 연구분야의 논문을 분석한 결과[2], 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국의 논문 건수가 사업수행 전 2건에 비교하여 사업수행기간 동안 1,516건으로 급증하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전의 5.1%에 비교하여 사업수행기간 동안 15.2%으로 약 3배 이상 증가하였으며, 사업수행기간 동안 멀티스케일에너지시스템연구단의 비중은 세계 대비 7.8%이며, 한국 대비 51.5%를 차지하여 연구단이 한국의 페로브스카이트 태양전지 연구분야 SCI 논문 세계 비중 확대에 기여하였음을 알 수 있다.

연구단(페로브스카이트 태양전지 분야) 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



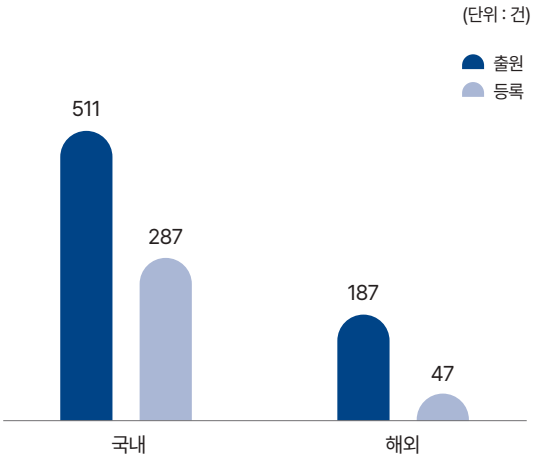
1) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건
2) Web of Science Data Base에서 검색



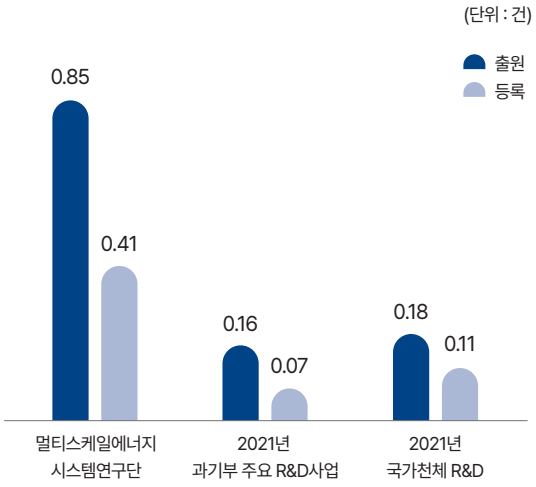
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 1,032건[3]으로, 전체 특허 중 334건, 약 32.3% 비중의 등록 기술을 보유하고 있다. 또한 연구비 1억 원당 출원 건수는 0.85건, 등록 건수는 0.41건의 성과를 창출하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



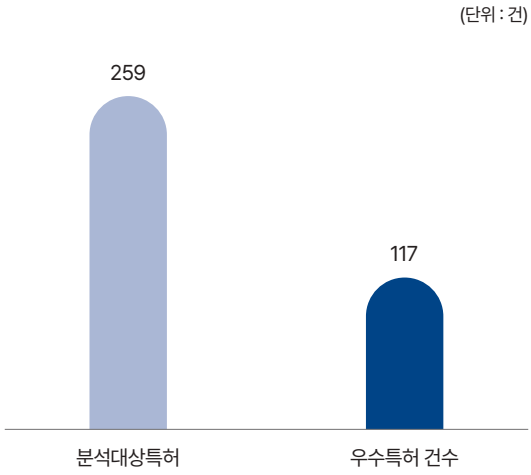
연구단의 전체 특허출원 성과는 698건, 특허등록 성과는 334건으로 연구비(정부출연금 823.707억 원) 1억 원당 0.85건의 특허출원 성과와, 0.41건의 특허등록 성과를 창출하였다.

이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[4]의 약 4.7배 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 5.3배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건 대비 약 3.8배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건 대비 약 5.9배의 수준으로 정량적으로 우수한 성과를 창출한 것임을 알 수 있다.

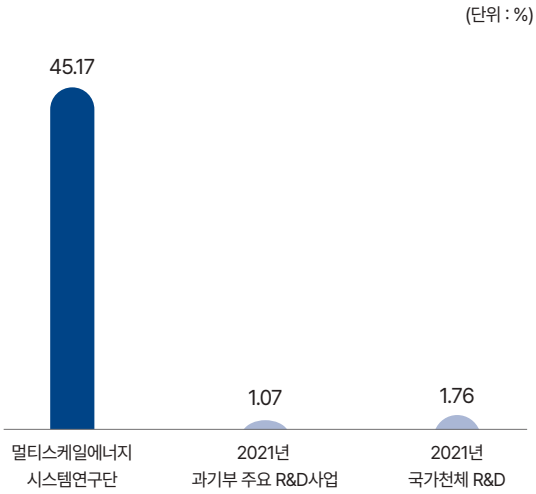
3) 특허출원 및 특허등록 실적 간 중복되는 특허건수 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 기간에 따라 각 연차별 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함됨
4) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[5)]

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]

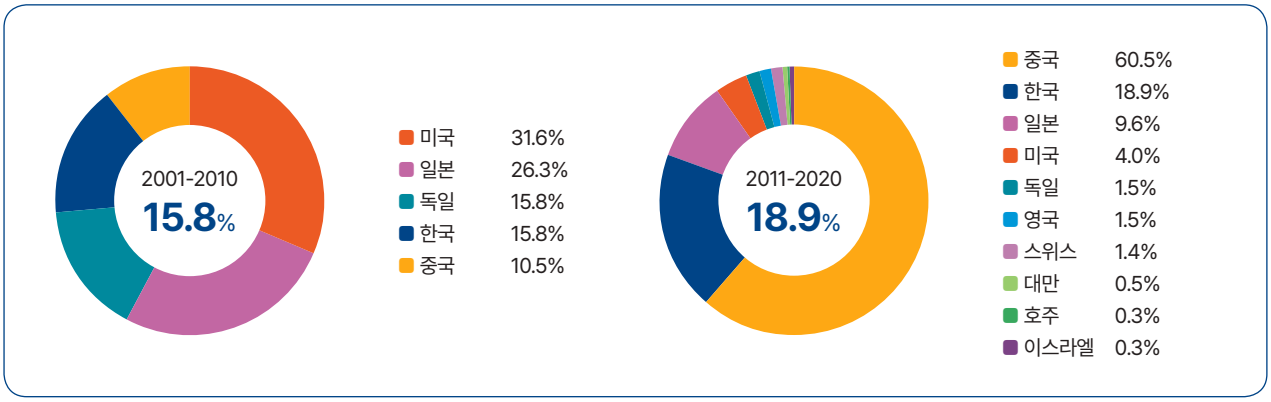


특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 259건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 117건으로 약 45.17% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 25.66배, 42.21배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다

연구단(페로브스카이트 태양전지 분야) 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

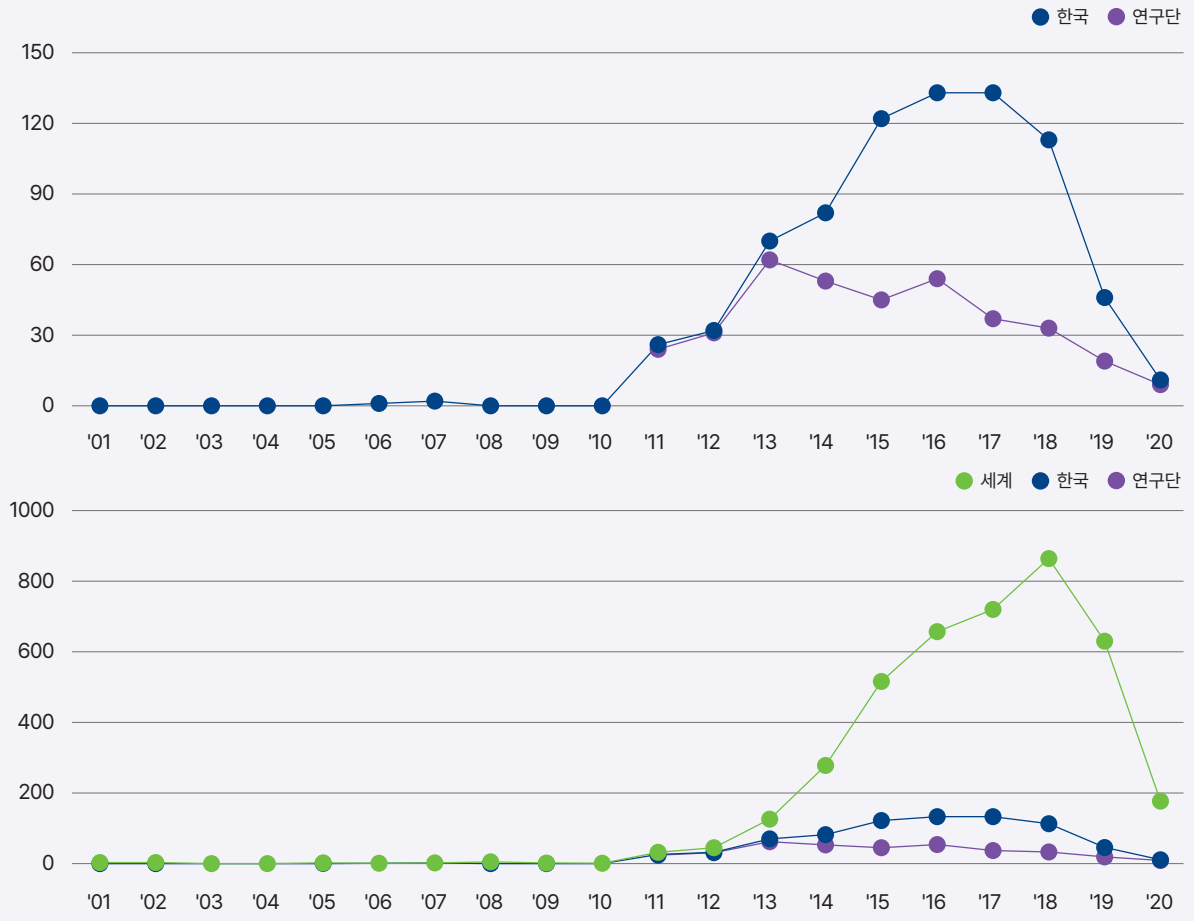
멀티스케일에너지시스템연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)의 연구단 중심 분야인 페로브스카이트 태양전지 분야 특허를 중심으로 분석한 결과[6)], 해당 분야 세계 특허는 연구단 출범 이후, 이전 19건에 비해 큰 폭으로 증가하여 4,045건으로 나타나며, 한국 특허는 3건에서 768건으로 매우 큰 폭으로 증가하였다.
페로브스카이트 태양전지 분야에 대한 국내 전체 특허 건수 중에서 연구단이 창출한 특허 비중은 47.8%, 세계 특허 건수 중 연구단 특허 비중은 9.1%로 나타나 연구단이 해당 연구분야의 선도그룹임을 알 수 있고, 또한 연구단 출범 이전과 이후의 한국 비중이 15.8%에서 18.9%로 증가함에 기여한 것으로 분석된다.

특히 2012년의 특허비중을 보면, 한국이 71.11%, 연구단이 69%를 차지하고 있어 페로브스카이트 태양전지 관련 연구분야는 세계적으로 기여도가 아주 높은 것으로 분석된다.



5) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용
6) Keywert Data Base에서 검색

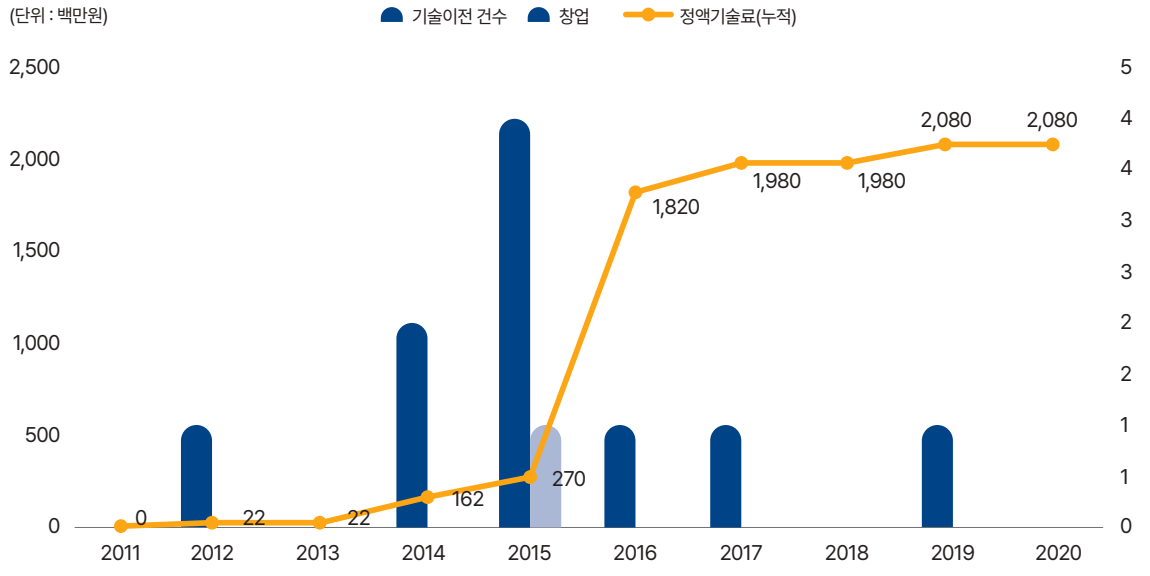
연구단(페로브스카이트 태양전지 분야) 사업수행 전후 연도별 특허 출원 증감 추이



(3) 기술이전 및 창업 실적

연구단은 연구기간 동안 총 10건, 2,080백만 원의 기술이전 성과를 창출하였으며, 2016년 1,550백만 원의 가장 많은 정액 기술료 수입이 발생하였다.

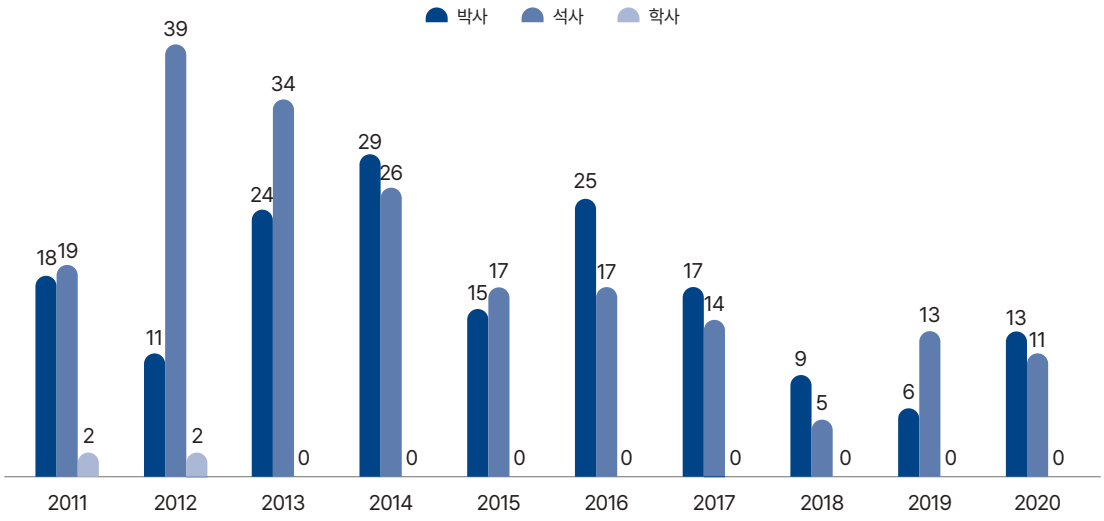
(단위: 건)



(4) 인력양성

연구단은 연구기간 동안 총 366명의 학위를 배출하였으며, 박사 167명, 석사 195명, 학사 4명을 지원하였다.

(단위 : 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
페로브스카이트 태양전지 초고효율화 기술 개발	페로브스카이트 태양전지 시장	546.13
플렉서블 페로스카이트 태양전지 기술개발	유연인쇄유기전자시장	792.22
고분자 전해질 연료전지의 3차원 멀티구조 촉매 기술 / 멀티스케일 전해질막 기술	배터리 분리막 시장	80.74
박막과 나노기술을 이용한 세라믹 연료전지의 저온작동 성능-수명-용량 한계 돌파	연료전지 시장	169.14
친환경 수소연료 생산이 가능한 고효율 생체 모방 촉매 및 시스템 개발	그린수소 생산 시장	140.74
총액		**1,728.97**

연구단의 우수 연구성과 5건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, '기술가치평가 실무 가이드(2021년)'를 참조하였다.
멀티스케일에너지시스템 연구단의 5건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 1728.97억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

가. 언론보도 및 기획기사

연구단은 연구기간 동안 102건의 언론보도, 기획기사 등을 통해 연구단 성과를 국민들에게 효과적으로 홍보하였다.


KIST, 휴대용 부탄가스로도 작동하는 '세라믹 연료전지' 개발


news1

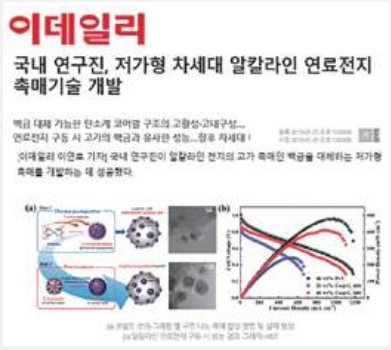
마이크로미터 피라미드 구조로 '고체산화물 연료전지' 효율 높힌다


헤럴드경제

백금촉매 OUT, 싸고 오래가는 '수소촉매' 나왔다


동아사이언스

유연하게 만든 페로브스카이트 태양전지 효율 20% 벽 넘었다


이데일리

국내 연구진, 저가형 차세대 알칼라인 연료전지 촉매기술 개발


노컷뉴스


한국경제

유니테스트-한국화학연구원, 태양전지 소재 공동 연구 협약


노컷뉴스

과총, '올해의 10대 과학기술 뉴스' 선정


국민일보

www.kmib.co.kr

자연계 자가치유 능력 에너지 개발 적용 첫 성공

1. KIST 손지원박사, 휴대용 부탄가스로도 작동하는 '세라믹 연료전지' 개발 (조선비즈 외 5회 보도, 2020.04.03)
2. 마이크로미터 피라미드 구조로 '고체산화물 연료전지' 효율 높힌다 (뉴스1 외 6회 보도, 2020.07.14)
3. 백금촉매 OUT, 싸고 오래가는 '수소촉매' 나왔다 (헤럴드경제 외 6회 보도, 2020.09.20)
4. 유연하게 만든 페로브스카이트 태양전지 효율 20%벽 넘었다 (동아사이언스 외 7회 보도, 2020.11.17)
5. 국내 연구진, 저가형 차세대 알칼라인 연료전지 촉매기술 개발 (이데일리 외 5회 보도, 2019.07.25)
6. 한국연구재단 '국내 연구진, 안정적인 양자점 태양전지용 박막 개발' (노컷뉴스 외 9회 보도, 2018.10.21)
7. KRICT, 차세대 태양전지 세계최고효율 달성 (뉴시스 외 11회 보도, 2018.07.10)
8. 유니테스트-KRICT, 태양전지 소재 공동 연구 협약 (한국경제 외 7회 보도, 2016.08.30)
9. 과총, 세계 최고 효율 유연 페로브스카이트 태양전지 원천기술 개발 '올해의 10대 과학기술 뉴스' 선정 (노컷뉴스 외 12회 보도, 2016.12.22)
10. 자연계 자가치유 능력 에너지 개발 적용 첫 성공 (국민일보 외 5회 보도, 2016.12.07)

나. 국제심포지엄 및 포럼, 학술대회 개최

- 멀티스케일 페로브스카이트 태양전지 포럼(Sungkyun International Solar Forum, SISF) 개최(2014, 2016, 2017, 2018, 2019/성균관대학교 600주년 기념관)
- Solar Fuel Material Forum(Multiscale and Bioinspired Approach in Catalyst) 개최(2016, 2017/서울대학교 글로벌공학관)
- 페로브스카이트 포토닉스 학술대회 개최(2017.11.20~21./라마다프라자 제주호텔)
- Multiscale Energy Global Frontier Workshop 2013 진행(2013.08.19.~20./서울대학교 호암교수회관)








다. 테크페어 및 연구성과 발표회 개최

연구단은 테크페어 및 연구성과 발표회를 개최함으로써 국내 산업체와 R&D 협력체계를 구축하고자 하였다. 또한, 연구단의 사업화 유망 기술을 소개하고, 수요 기업의 요구사항을 청취하여 공동기술개발, 기술이전 등을 통한 실용화 연계 가능성을 제고함으로써, 기술성과 확산 및 사업화가 촉진될 수 있도록 하였다.

❶ 2016 테크페어 개최(2016.07.06./서울대학교 호암교수회관)


연구단 성과 발표


전시품 시연


포스터 발표 및 파트너링

❷ 2018 글로벌프런티어 공동 연구성과발표회(테크페어) 개최(2018.10.23./서울 양재 엘타워)


등록


전시



연구단 소개 및 주요 성과발표회

04 기술사업화 성공스토리

1. 석상일 대표 인터뷰

- 기업명: (주)프런티어에너지솔루션
- 창업시기: 2016.07
- 도입기술명: 페로브스카이트 태양전지



2016년 7월에 창업한 (주)프런티어에너지솔루션은 연구단의 기술이전을 받아 페로브스카이트 태양전지 모듈을 개발하였다. 사업화를 추진 중인 (주)프런티어에너지솔루션 석상일 대표를 만나 앞으로의 계획과 추진 스토리를 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 석상일 대표님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

(주)프런티어에너지솔루션(FES)은 2016년 멀티스케일에너지시스템연구단(이하 연구단)과 연구단 소속 연구자들이 공동 투자하여 창업한 스핀오프 기업입니다. 세계 최고 수준의 페로브스카이트 태양전지 원천기술과 전문 인력을 바탕으로 페로브스카이트 태양전지의 상용화를 진행 중입니다. 특히 친환경 용액 공정을 적용한 페로브스카이트 모듈 개발을 통해 세계적인 태양광 산업의 선두 주자로 자리매김하고자 합니다.

Q2 연구에서 창업을 하시게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

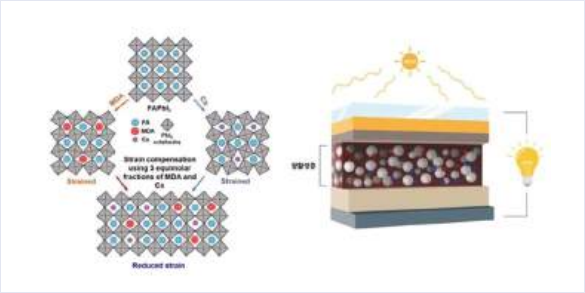
A2

연구단에서 개발한 페로브스카이트 태양전지 원천기술을 사업화로 연결하기 위해 저를 비롯하여 최만수 단장님(연구단), 박남규 교수님(성균관대학교), 정현석 교수님(성균관대학교), 남기태 교수님(서울대학교)과 함께 창업하게 되었습니다. 이를 위해 총 30억원의 투자금을 유치 받아 연구단에서 개발한 기술을 대기업으로 이전해 사업을 확장하는 것을 목표로 하고 있습니다.

Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

페로브스카이트 태양전지는 값싼 무기물과 유기물을 혼합하여 제작하기 때문에 저렴하고, 저온에서 용액 공정으로 손쉽게 제조할 수 있어 간편합니다. 이러한 이유로 실리콘 태양전지를 대체할 차세대 태양전지 후보로 여겨지고 있습니다. 태양전지의 핵심은 태양광을 직접 흡수하여 전자를 생산하는 '광활성층'으로, 이 층이 얼마나 튼튼하고 안정적인지, 또 빛을 전기로 바꾸는 효율이 얼마나 높은 지가 태양전지 상용화의 핵심입니다. 페로브스카이트 태양전지에서는 페로브스카이트 결정 구조를 갖는 물질을 광활성층으로 사용합니다. 이 광활성층의 효율성 향상 및 안정성을 강화하여 광전효율 25%, 내구성 3,000시간 이상을 목표로 대면적 모듈 기술을 개발하고 있습니다.



<페로브스카이트 광활성층의 내부 구조 및 태양전지 작동 원리>



<페로브스카이트 태양전지 셀 사제품>

Q4 앞으로 회사가 나가고자 하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

태양전지는 반도체나 TV처럼 고성능과 가격 경쟁력을 갖춘 제품을 먼저 시장에 출시하여 경쟁을 주도하고, 한 발 앞서 나가서 후발 주자를 따돌리는 것이 중요합니다. ㈜프런티어에너지솔루션은 페로브스카이트 태양전지를 세계 첫 상용화하여, 기존의 실리콘 태양전지를 대체해 건물 외벽, 유리창, 차량 지붕 등에 손쉽게 설치해 사용할 수 있는 제품을 만들어 나갈 계획입니다. 이를 통해 우리나라의 태양전지 산업 경쟁력을 강화하고 세계 태양전지 시장에서 주도권을 확보하는 데 기여할 계획입니다.

Q5 기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

교수 창업 벤처의 경우 투자 금액도 넉넉하지 않은 상황이지만, 이보다 더 큰 고민은 인력 확보입니다. 아무래도 회사의 규모가 작다 보니 큰 회사를 선호하는 우수한 학생들을 끌어들이기가 어려운 상황입니다.

Q5 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업단이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 말씀해주세요.

A5

글로벌프런티어사업에 참여하면서 페로브스카이트를 이용한 세계 최고 수준의 원천기술을 개발하고 확보할 수 있었습니다. 페로브스카이트 태양전지의 경우, 영국의 옥스퍼드 PV, 미국의 아이리스 PV, 독일의 프라운호퍼 ISE 등 많은 기업들이 창업하여 세계 시장 선점을 목표로 하고 있습니다. 원천기술을 확보한 만큼 이들 기업들과 경쟁하기 위한 투자와 지원이 필요한 시점으로, 경제성을 확보할 때까지 연속적인 후속 지원 사업이 이루어졌으면 합니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

청정하고 안전한 에너지를 확보하는 것은 하나의 국가 아젠다를 뛰어넘는 인류 생존에 있어서 핵심이 되는 인류 공통의 중요한 과제이다. 더군다나 필요한 에너지의 확보에는 환경오염과 기후 변화 발생요인이 밀접하게 연관되어 있어 청정하고 안전한 더 나아가서는 충분한 에너지를 확보하기 위한 연구는 지속적으로 이루어져야 한다. **에너지기술 분야는 IT 분야와 달리 신기술이 산업화 되는 데까지 오랜 시간이 필요한 연구 분야이고 산업으로 정착되기만 하면 장기간 산업 지배력을 가지는 분야이다.** 따라서 인류의 안전하고 풍요로운 미래를 대비하고 국가 산업의 경쟁력을 확보하기 위해서는 에너지기술 분야에 대한 지속적인 연구개발이 이루어져야 한다. 그런 의미에서 글로벌프런티어 사업의 일환으로 시작한 멀티스케일에너지시스템 연구는 매우 적절한 시기에 이루어진 장기 연구로 우리나라 에너지 기술 발전에 큰 역할을 할 것이며 지속적인 연구개발을 통하여 신재생에너지 기술의 고도화와 안전화, 경제화를 이루어 나가야 할 것이다. 앞으로도 에너지 분야에서만큼은 긴 호흡을 갖고 장기적으로 연구개발이 추진될 수 있도록 정책으로 뒷받침해주는 것이 중요하다.

이를 위해, **연구자의 창의력을 최대한 이끌어 낼 수 있는 연구정책이 무엇보다 중요**하다. 기존 기술의 고도화나 기존 제품의 산업 경쟁력 강화가 목적이라면 상세 사양을 요구하는 구체적인 목표를 제시하고 치밀한 일정으로 관리하는 형태의 과제 추진이 맞겠지만 기존의 존재하지 않는 새로운 원천기술의 개발과 그 기술을 근간으로 하는 신산업을 창출하기 위해서는 우수한 연구자를 선정하고 연구자에게 구체적인 기술 목표나 상세한 연구 추진방법을 맡기는 연구자 중심의 과제 추진이 효과적일 것이라 생각한다. 사실 글로벌프런티어 사업과 과제 추진 철학이 **연구자 중심 과제 추진으로 창의력을 극대화 시키는 정책방향이었다고 생각되며 이것이 글로벌프런티어 사업의 성공 열쇠**였다고 생각한다.

새로운 **원천기술의 사업화를 가속화시키기 위해서는 산업체의 적극적인 참여와 협력이 필요**하다. 산업체가 대학이나 연구소의 기술을 사서 사업화시키는 방식의 '기술을 사고 파는' 개념에서 벗어나, 산업체와 대학·연구소가 함께 기술 개발과 사업화에 참여하고 그 성과를 공유하는 파트너십의 산학연 협력 체계가 필요하다. **위험과 성과를 함께 공유하는 파트너십의 산학연 협력체계로,** 대학이나 연구소가 개발한 신기술을 바탕으로 산업체의 노하우와 생산기술을 투입하여 함께 사업화를 이루어가는 협력 체계가 필요하다고 생각한다. 이러한 체계가 잘 작동하기 위해서는 파트너십의 산학연 협력을 뒷받침해주는 정책적 지원이 필수적이다.

멀티스케일에너지시스템연구단
연구단장 **최만수**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 앞으로도 지속적으로 **한정된 지구의 에너지원인 화석연료를 대체할 수 있는 태양에너지와 수소에너지를 활용하는 원천기술을 개발**해 나갈 것이다.

축적된 핵심원천기술의 사업화

첫째로, 페로브스카이트 태양전지의 원천기술인 핵심 소재, 구조, 공정, 구동 기술 이외에 사업화에 필요한 대량 생산기술 개발, 대면적 공정기술, 모듈화 기술, 안정성 확보를 위한 패키징 기술 및 친환경 공정기술을 우선 추진할 계획이다.
둘째로, 멀티스케일 고분자 전해질막 연료전지 기술은 전해질막 기술, 촉매 기술 등의 핵심 원천기술을 기술이전하여 기술지원의 형태로 산학연 협력을 추진할 계획이다.
셋째로, 저온작동 고체 산화물 연료전지 기술은 대면적화 기술, 스택 기술, 연료 공급 패키징 기술 등을 장기적인 안목을 가지고 추가 개발을 진행해야 할 것으로 생각하고 있다.

청정하고 안전한 새로운 에너지 기술 개발

청정하고 안전한 에너지 기술 개발은 지속적으로 추구해야할 중요한 과제이다. 따라서 연구단에서는 새로운 에너지 기술 개발을 장기적인 안목을 가지고 지속적으로 수행할 것이다. 태양에너지와 수소에너지만으로 필요한 에너지 수요를 충분히 자급자족할 수 있는 탄소배출 제로의 미래 에너지시스템 개발을 최종 목표로 설정하고 태양광과 수소에너지를 이용한 에너지 기술의 고도화와 더불어 태양광과 수소에너지를 결합한 새로운 형태의 에너지 변환기술과 에너지 저장 기술 개발을 수행할 계획이다.

나. 앞으로의 계획

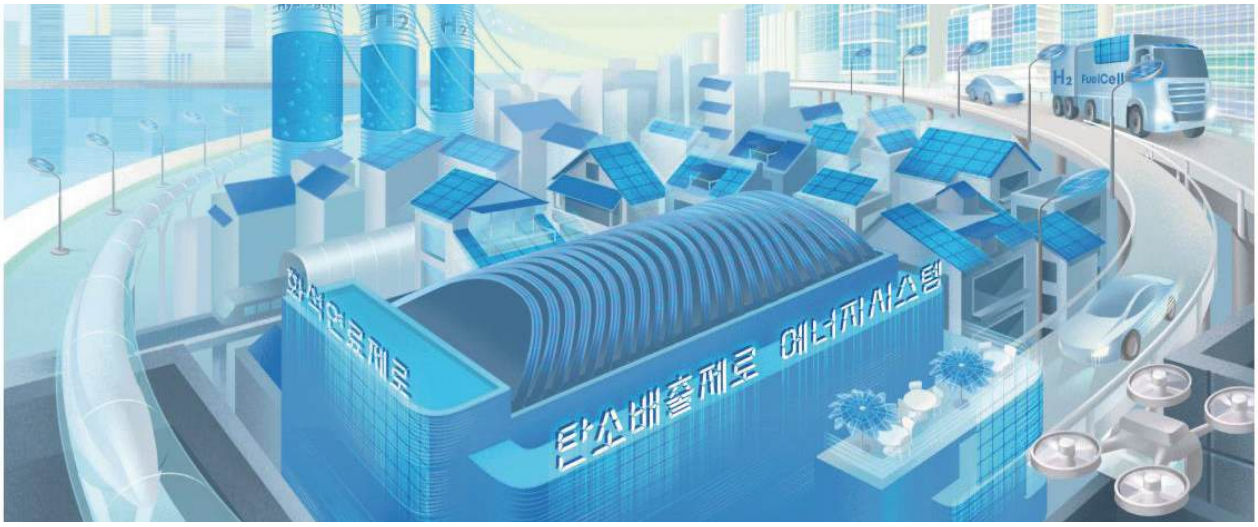
연구단은 태양에너지와 수소에너지를 연구하는 **신재생 에너지 기술 분야에 특화된 독일 프라운호퍼 연구소를 지향하는 강소연구소로 성장**하고자 한다.

태양에너지-수소에너지 자족 시스템 연구

고효율 고안정 태양전지 기술을 물분해에 적용하여 수소를 발생시킴으로써 에너지 저장을 실현시키고 이를 수소연료전지에 적응시켜 24시간 자급자족하는 탄소배출 제로의 청정에너지시스템 기술을 지속적으로 개발할 예정이다.

멀티스케일 에너지 시스템 사업화

9년간의 연구를 통하여 개발한 페로브스카이트 태양전지 핵심 기술을 기반으로 창업한 연구단 기업인 프런티어에너지솔루션과 함께 성공적인 사업화를 위하여 기술이전과 공동 기술개발을 적극 추진할 계획이다.



RESEARCH
GROUP

05
나노기반소프트일렉트로닉스 연구단

Center for Advanced Soft Electronics

01 연구단 9년사 215

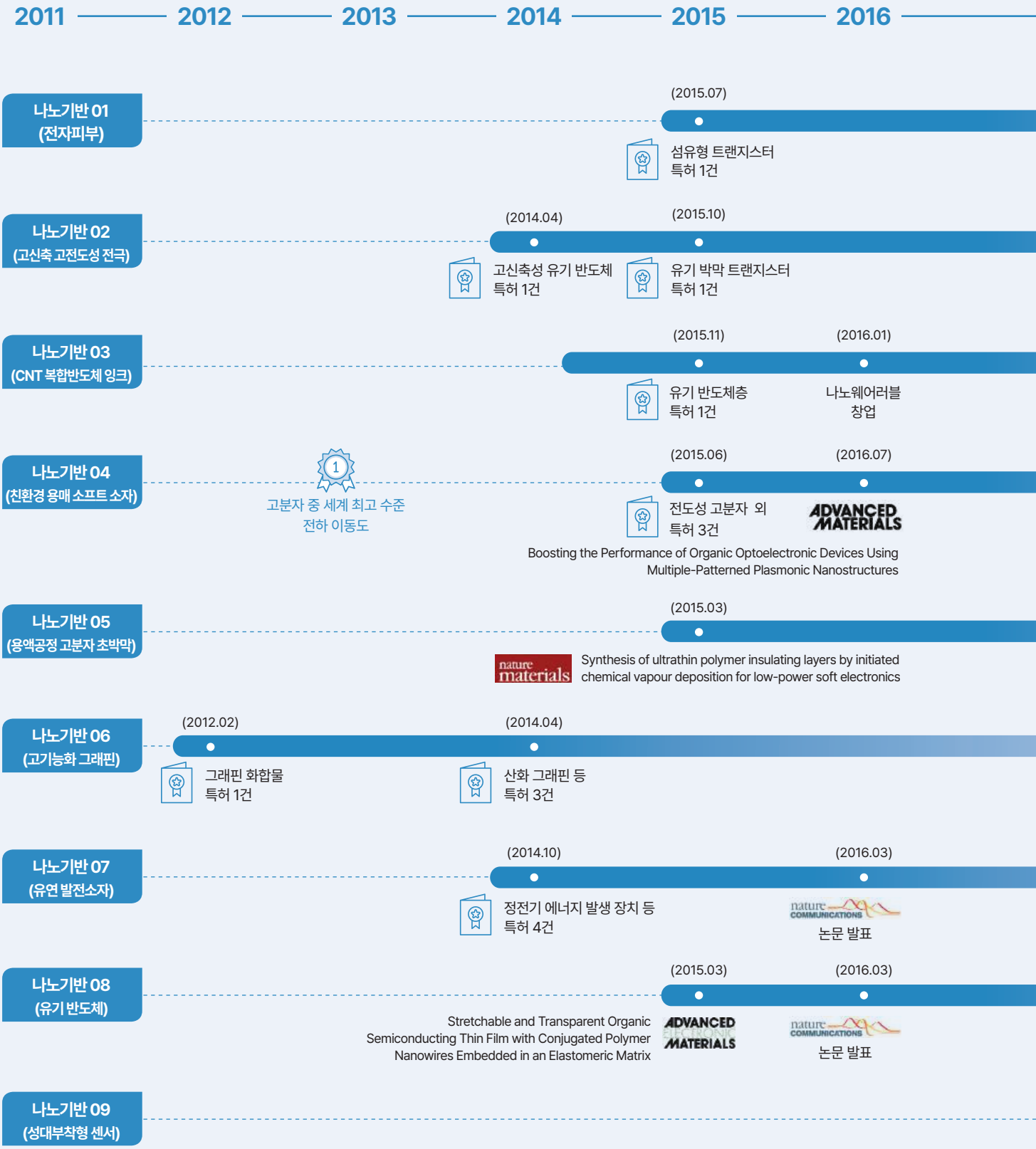
02 사업목표 222

03 연구성과 226

04 기술사업화 성공스토리 246

05 미래제언 251

대표 연구성과별 파이프라인



나노기반소프트일렉트로닉스연구단

2017 — 2018 — 2019 — 2020 — ~ 2023

(2017)
10대 나노기술 10선

(2018.11)
촉각센서 기술이전 1건

(2019)
nature COMMUNICATIONS

(2020.01)
과학기술인상 선정

(2018.11)
MiDAS H&T

(2019.11)
연신성 전극 기술이전 1건

(2021.01)
nature materials

(2017.01)
MACROMOLECULAR RESEARCH
Organic thin film transistor with conjugated polymers for highly sensitive gas sensors

(2019.11)
POLYMER
Preparation of non-woven nanofiber webs for detoxification of nerve gases

(2019.11)
국가연구개발 우수성과 100선

(2020.07)
iCVD 시스템 외 특허 4건

Boosting the Performance of Organic Optoelectronic Devices Using Multiple-Patterned Plasmonic Nanostructures
SciAdv

(2017.09)
Carbon
Long-term air-stable Au doping of graphene by layer-by-layer assembly with graphene oxide for flexible transparent electrodes

(2018.05)
산화 그래핀 기술이전 1건

(2020.05)
흑연처리 그래핀 기술이전 1건

(2021)
기술이전 기업 제품 판매

(2018.05)
ADVANCED MATERIALS
Point-Defect-Passivated MoS2 Nanosheet-Based High Performance Piezoelectric Nanogenerator

(2020)
Nano Energy 등 논문 발표(3건)

(2018.06)
유기 반도체 박막 등 특허 2건

(2019.02)
유연기판 그래핀 적층제 등 특허 2건

(2020)
ADVANCED SCIENCE
논문 발표

(2018.06)
진동 센서 특허 1건

(2019.02)
nature COMMUNICATIONS
An ultrathin conformable vibration-responsive electronic skin for quantitative vocal recognition

(2021.04)
부착형 진동센서 기술이전 1건

한눈으로 보는 나노기반소프트일렉트로닉스연구단의 9년

인간친화형 소프트일렉트로닉스기술 강국 도약

▲

기초/원천기술 기반
새로운 R&D 모델창출 및 정립화

▲

실용기술 개발

소프트 일렉트로닉스 관련기술 사업화 육성
기술이전, 실용화, 시제품 제작을 통해
연구단의 자립화 기반을 제공

신성장 R&D포트폴리오 구축을 위해 사업화가 가능한 원천기술의 전략적 개발 및 단기실용화 달성

연구단 자립화 기반을 위해 미래기술탐색 및 이를 활용한 실용화 가능성 기술발굴

원천기술 개발

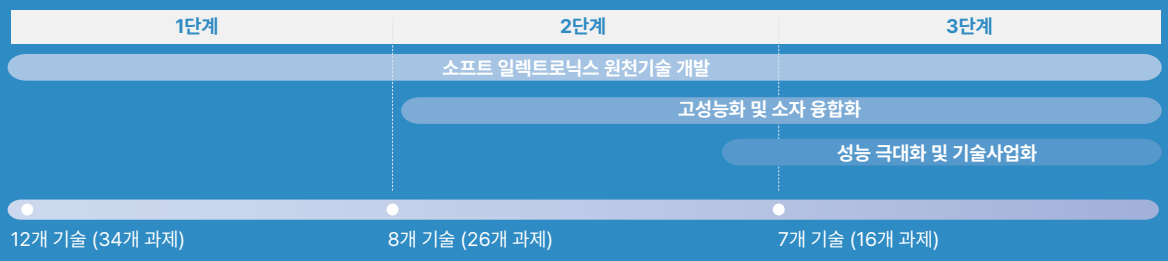
소프트 일렉트로닉스
원천 요소 기술 및 융합기술 개발
사업화가 가능한 원천기술의 전략적 개발을 통해
연구단의 미래성장동력을 제공

CASE
나노기반 소프트일렉트로닉스 연구단
Center for Advanced Soft Electronics

미래기술 연구

인간친화형 소프트 일렉트로닉스
미래기술 연구
10년 이상 내다보는 중장기 기초·원천기술의
탐색 및 개발을 통해 연구단의 비전을 제공

연구단의 미래성장동력인 원천핵심기술 확보 및 기초응용 융합연구의 새로운 모델 제안



원천기술 확보를 위한 과제 선정의 선택과 집중

소프트 일렉트로닉스 원천기술 고도화
- 소프트 유기반도체 소재
- 신축성 하이브리드 전극 소재
- 소프트 초박막 절연소재
- 고성능 유연 기능 소자/집적회로
- 자가구동형 유연 전자소자

실용화 기술 개발 및 사업화
- 웨어러블 헬스케어 플랫폼
- 로봇용 전자피부

정량적 연구성과

논문건수			특허					
SCI	비SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
1,823	41	1,864	486	146	632	322	48	370

학위배출				국제협력		기술사업화		
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구논문	기술이전		창업
						건수	기술료(백만원)	
165	187	37	389	3	381	14	2,106.7	5

01 연구단 9년사

1. 설립배경

과거 전자기기는 주로 성능의 한계에 도전하는 기술 중심의 발전이 주를 이루어 왔으나 최근 전자기기는 성능과 아울러 편의성이 강조된 인간 중심의 기술로 발전하고 있다. 지난 수십 년간 전자기기의 발달은 주로 실리콘 반도체 및 산화물 투명전극을 기반으로 하여 빠른 작동 속도, 작은 크기, 더 많은 용량 등을 구현하기 위해 기술의 한계를 극복하는 데 집중되어왔다. 하지만 미래에는 전자 정보 기술은 성능 이외에 사용자 편의, 착용감, 감성, 주위 환경과의 자유로운 소통을 중시하는 인간 친화적인 기술로 발전할 것으로 예측된다.

소프트 일렉트로닉스 기술은 소프트 나노소재를 이용한 stretchable/conformable 일렉트로닉스 기술로서, 실리콘 등 무기물이 주도해온 기존의 하드 일렉트로닉스 기술로부터 IT 기술의 패러다임을 바꿀 혁신적인 기술로 각광받고 있다. 더 나아가 소프트 일렉트로닉스 기술과 기존의 유비쿼터스 기술의 융합을 통해 시간 장소에 관계없이 정보를 주고받는 인간친화적인 융복합 정보화기기가 미래 전자기기 기술의 중심이 될 것으로 보인다.

가. 기술적 측면



소프트 일렉트로닉스는 기존 개념의 소재인 실리콘 기반 소재로는 구현이 불가능하므로 소재 이노베이션이 선행되어야 한다. 2000년대부터 새로운 혁신적 개념의 소재로 소프트 나노 소재가 대두되었다. 특히 유기 반도체는 아몰포스 실리콘 이상의 높은 전하이동도를 지니며 유연하고 프린팅 공정이 가능하다. 그래핀, h-BN, MoS2 등의 이차원 소프트 나노소재는 금속 이상의 열적, 기계적 안정성뿐만 아니라 기존의 실리콘을 넘는 전하이동도를 나타내기 때문에, 한계 극복이 가능한 소재 및 소자 기술의 구현이 가능하여 차세대 소프트 일렉트로닉스 소재로서 주목 받고 있다.

인간 중심형 전자기기의 개발을 위해서는 앞서 언급한 신개념 나노소재를 기반으로 하는 소프트 일렉트로닉스의 개발이 필수적이다. 인간친화적인 기술은 사용자의 편의, 착용감, 감성, 주위 환경과의 자유로운 소통이 중시되며 필요에 따라 형태가 변환되어 휴대 또는 착용이 가능하고 정보 송수신, 영상정보 표시, 환경 감지, 자가발전 등의 다양한 기능이 필요하다. 이와 같은 인간 친화적으로 융합될 수 있는 전자 기기 개발을 위해서는 나노기반 소프트 일렉트로닉스의 개발이 필요하며 이를 구현하기 위해서는 기존 소재의 한계를 극복할 수 있는 소프트 나노소재 및 공정, 소자, 플랫폼 기술의 개발이 필수적이다.

나. 경제적·산업적 측면

소프트 일렉트로닉스는 국가 주력 산업의 하나인 IT 산업의 새로운 성장동력을 제공하여 2020년 1,500억 불의 새로운 시장 창출이 가능할 것으로 예상되었다. 예를 들어 IDTechEx 2010에서 발표한 자료에 따르면 소프트 일렉트로닉스 시장의 하나인 인쇄전자 시장에서 유연성, 고성능을 지닌 다양한 인쇄 전자 제품이 나타나 2010년 700억 불로 시장이 성장할 것으로 내다보았다.

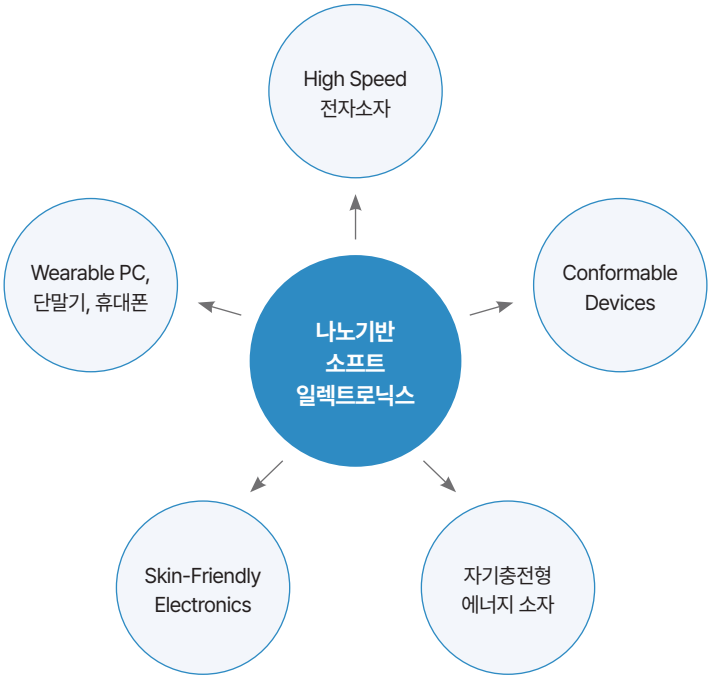
소프트 일렉트로닉스 기술은 미래 산업기술을 선도할 와해성 기술이나 2010년 당시까지는 세계적으로 초기단계로서 연구위험 및 투자규모가 커서 기업 위주보다는 국가주도형 연구개발 사업으로 추진이 필요할 것으로 내다보았다. 당시 소프트 일렉트로닉스 관련 시장은 형성되어 있지 않지만 지속적인 국가주도형 원천기술개발이 이루어질 경우 향후 현재의 반도체, 디스플레이, 소비재, 의류, 건축 등 다양한 산업으로의 파급효과가 클 것으로 예측되었다.

다. 사회적 측면

고성능 유연 나노소재를 활용한 휴대성, 변형성 및 사용성이 극대화된 나노기반 소프트 일렉트로닉스 기술 개발의 목적은 국가 신성장동력 산업을 위한 원천 기술을 확보하고 종국적으로는 인류의 풍요로운 삶에 기여하는 것이다.
이를 위해서 conformable, bendable, stretchable, transformable한 소프트 나노소재를 기반으로 효율적인 정보처리, 저장, 전송, 입출력 등의 휴먼 인터페이스와 자가충전 등의 소프트 전자소자를 구현하고, 나아가 wearable, biocompatible, eco-friendly, human interactive 개념을 포함하는 '인간친화형' 소프트 일렉트로닉스를 구현하는데 필요한 핵심 기초원천 기술을 확보하고자 하였다.

나노소재 기반의 소프트 일렉트로닉스 기술은 미래사회에서 인간 친화적인 특성을 바탕으로 과학기술적, 사회문화적, 경제적 패러다임의 변화를 가져올 것으로 예측되었다. 전기전자, 통신, 바이오, 에너지, 자동차 등 다양한 산업에 혁신적 변화를 초래하여 국가 산업발전 및 고부가가치화의 열쇠가 될 미래 유망기술이 될 것임을 확신한다.

소프트 일렉트로닉스 기술과 기존의 유비쿼터스 기술의 융합을 통해 시간 장소에 관계없이 정보를 주고받는 인간 친화적인 융복합 정보화기기가 미래 전자기기 기술의 중심이 될 것이다.

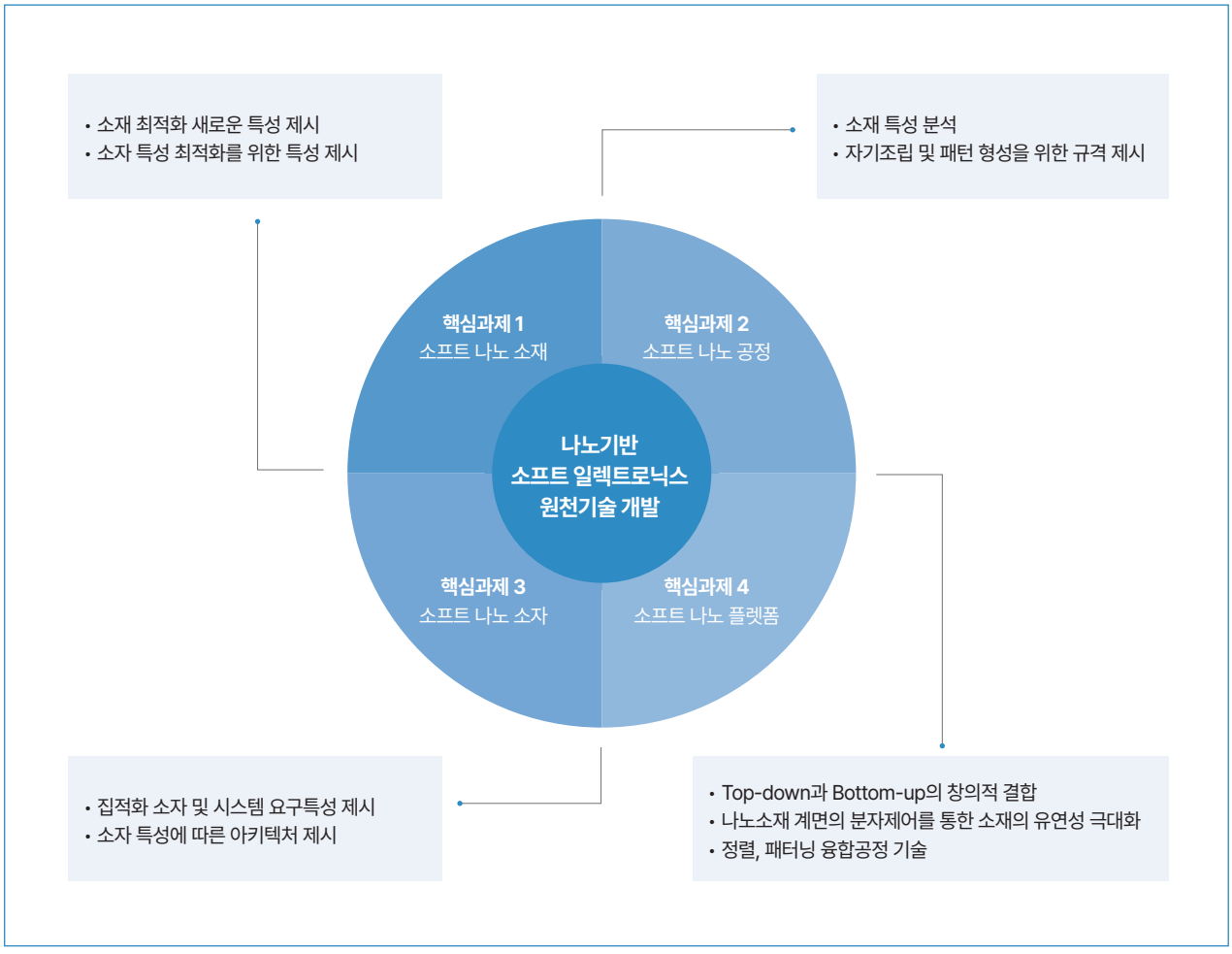


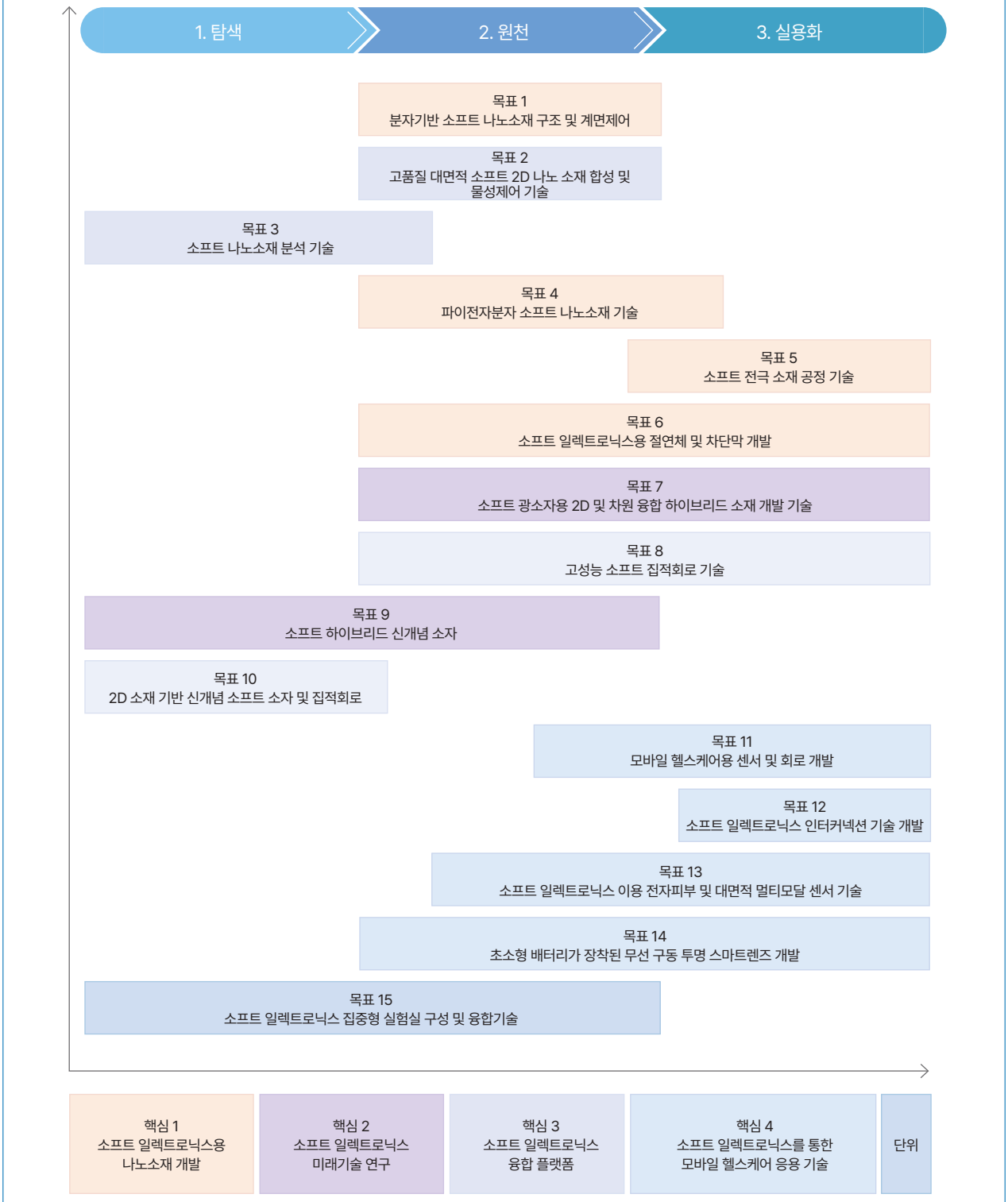
2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

나노기반소프트일렉트로닉스 연구사업은 인간친화형 소프트 일렉트로닉스 구현을 위해 사업화가 가능한 원천기술 개발을 지속적으로 수행하고자 한다. 1, 2단계 사업을 거쳐 기술적 성숙도가 증가한 소프트 일렉트로닉스 분야의 기술군을 취합하고, 이를 통해 단기 기술사업화를 거쳐 차후 연구단의 자립화에 기여할 수 있는 분야를 설정하여 사업화를 위한 기반을 구축하고자 하였다.

연구 사업 초기에는 기술 수준이 높지 않으나, 향후 소프트 일렉트로닉스 분야의 성장에 원천 기술들을 제공할 수 있는 미래 기술을 설정하여 육성하고자 했다. 연구사업 후기에는 기존의 세부과제를 소재기술 및 융합기술로 단순화하고 기술 성숙도가 높은 소재기술을 융합하여 기술에 적용하는 방법으로 사업화에 보다 효율적으로 적용하기 위한 연구체계를 구축하였다.




1. 탐색
2. 원천
3. 실용화
목표 1
분자기반 소프트 나노소재 구조 및 계면제어
목표 2
고품질 대면적 소프트 2D 나노 소재 합성 및 물성제어 기술
목표 3
소프트 나노소재 분석 기술
목표 4
파이전자분자 소프트 나노소재 기술
목표 5
소프트 전극 소재 공정 기술
목표 6
소프트 일렉트로닉스용 절연체 및 차단막 개발
목표 7
소프트 광소자용 2D 및 차원 융합 하이브리드 소재 개발 기술
목표 8
고성능 소프트 집적회로 기술
목표 9
소프트 하이브리드 신개념 소자
목표 10
2D 소재 기반 신개념 소프트 소자 및 집적회로
목표 11
모바일 헬스케어용 센서 및 회로 개발
목표 12
소프트 일렉트로닉스 인터커넥션 기술 개발
목표 13
소프트 일렉트로닉스 이용 전자피부 및 대면적 멀티모달 센서 기술
목표 14
초소형 배터리가 장착된 무선 구동 투명 스마트렌즈 개발
목표 15
소프트 일렉트로닉스 집중형 실험실 구성 및 융합기술
핵심 1
소프트 일렉트로닉스용
나노소재 개발
핵심 2
소프트 일렉트로닉스
미래기술 연구
핵심 3
소프트 일렉트로닉스
융합 플랫폼
핵심 4
소프트 일렉트로닉스를 통한
모바일 헬스케어 응용 기술
단위

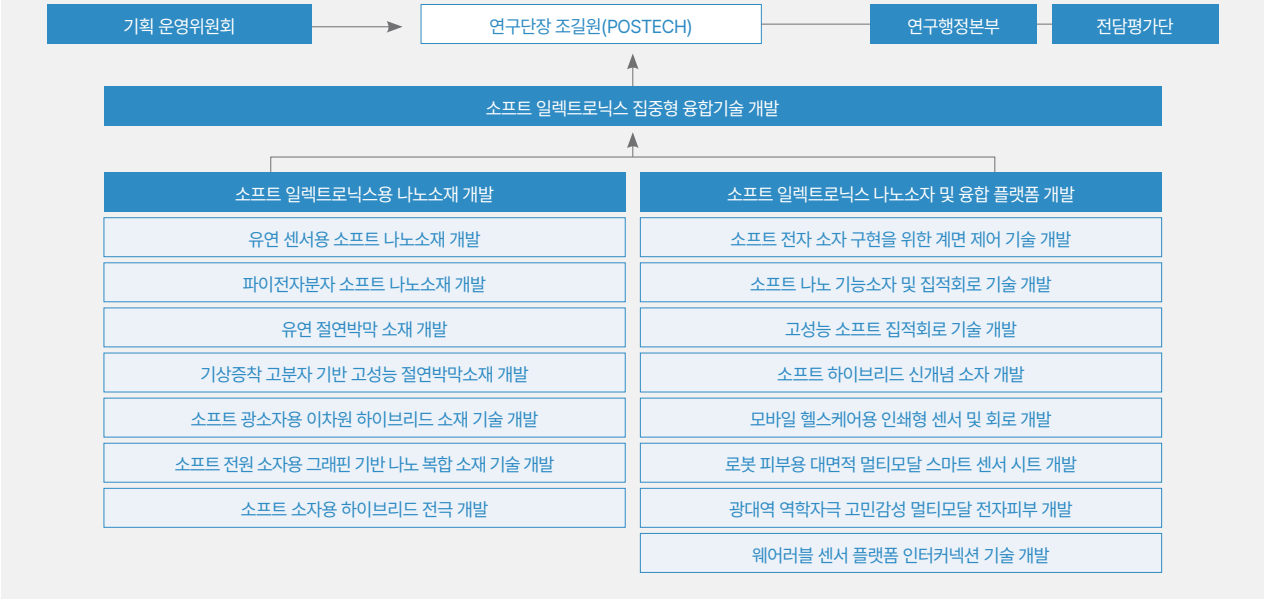
나. 사업추진 전략

연구단은 단기간에 사업화가 가능한 TRL(Technology Readiness Level) 5단계 이상의 기술들을 발굴하고, 이의 기술사업화 및 연구단 자립화를 위한 기초를 다지고자, 단기실용화 개발 그룹을 설정하였다. 또한 사업 초기에는 기술 수준이 아직 미흡하나(TRL 3단계 Level), 연구단 3단계 연구 수행을 통해 TRL 단계를 5단계 이상으로 향상시킬 수 있는 원천기술을 발굴하는 원천기술 개발 그룹을 설정하였다. 기존에는 알려지지 않은 개념(TRL 1~2단계 Level)이나, 지속적인 연구개발 및 투자를 통하여 중장기 기초원천기술의 탐색 및 개발을 수행할 수 있는 미래 기술 탐색 그룹을 설정하였다. 상기 3개의 연구 그룹으로 체계적으로 연구목표를 재설정하고자, 기존에 분산되어 있던 세부연구목표를 탐색, 원천, 실용화의 3개의 그룹으로 재설정하여 15개의 목표로 재정립하였다.



다. 운영관리 체계

평가 위주의 관리보다는 운영위원회 자문과 함께 연구팀과의 원활한 소통을 통한 의견 수렴으로 연차별 연구목표 수정 및 보완을 추진하였다. 자문위원회와 전담 평가단을 운영하여 매년 연구단 자체 평가 시, 각 세부과제의 자체평가 내용을 자문함으로써 연차 연구목표를 보완하고 수정하며 연구 관리하였다.



3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

연구비는 과학기술정보통신부(구.미래창조과학부)가 지원하였고, 총 연구비는 약 804.724억 원으로 이중 정부 연구비는 793억 원 이상이 지원되었다.

(단위: 백만원)

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2011	5,200.0	-	350	5,550
2012	10,000.0	-	740	10,740
2013	10,000.0	-	-	10,000
2014	10,000.0	-	-	10,000
2015	8,330.0	-	-	8,330
2016	7,913.8	-	-	7,913.8
2017	7,781.1	-	-	7,781.1
2018	7,147.8	-	-	7,147.8
2019	7,483.7	-	-	7,483.7
2020	5,526.0	-	-	5,526.0
합계	**79,382.4**	**1,090**		**80,472.4**

나. 참여기관 현황

연구단 연구에 참여한 기관은 총 66개로, 1단계 17개, 2단계 33개, 3단계 16개였으며, 산학연 중 학계의 참여 기관이 43개로 가장 많았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	1	5	2	8
	위탁	-	4	5	9
	합계	**1**	**9**	**7**	**17**
2단계	세부	-	13	6	19
	위탁	-	9	5	14
	합계	**-**	**22**	**11**	**33**
3단계	세부	-	8	3	11
	위탁	-	4	1	5
	합계	**-**	**12**	**4**	**16**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 4,237명이었으며, 해마다 약 420여명의 연구 인력이 참여하였고, 산학연별로는 학계의 참여도가 3,754명으로 가장 높았으며, 학위별로는 학사의 참여도가 가장 높았다.

산학연 구분

(단위 : 명)

구분	1단계	2단계	3단계	계
산업계	22	0	0	22
학계	510	1,326	1,918	3,754
연구계	91	167	203	461
계	**623**	**1,493**	**2,121**	**4,237**

학위별구분

(단위 : 명)

구분	1단계	2단계	3단계	계
박사	220	389	529	1,138
석사	124	427	465	1,016
학사	261	612	1,101	1,974
기타	18	65	26	109
계	**623**	**1,493**	**2,121**	**4,237**

4. 사업 및 성과 관리

가. 과제기획 및 시너지 제고

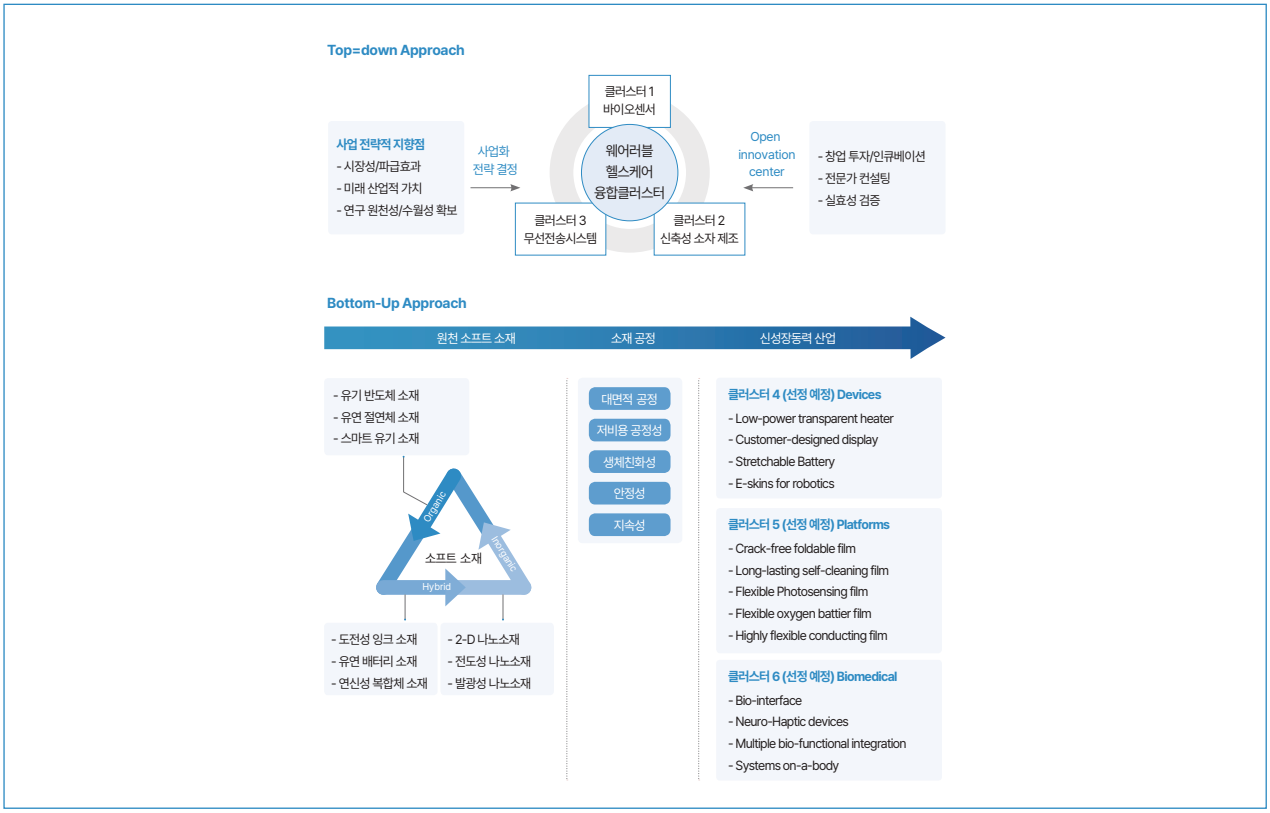
세계 최고 수준의 연구목표를 설정하고, 기존 기술의 한계를 돌파할 수 있는 독창적인 아이디어 발굴과 함께 더 나아가 기술체계의 진보를 이룰 수 있는 원천기술 개발이라는 목표를 달성할 수 있도록 지원 및 관리하였다. 허용 범위 내에서 최소한의 규율로 자유로운 연구 환경을 조성하되, 창의성, 수월성, 독창성의 가치는 최대한 발휘될 수 있도록 연구 진행을 유도하고자 하였다. 또한, 타학제간 협동연구체제를 구축하여 나노융복합 관련 융합 연구 활성화를 유도하였으며, 연구단의 연구목표에 부합되는 최고 수준의 해외 연구 그룹과 국제 공동연구를 통하여 글로벌 협동연구를 추구하였다.

나. 과제 관리 및 평가 전략

연구단 과제는 평가 위주 관리보다는 운영위원회의 자문 및 연구팀의 소통과, 세부과제 평가 자문을 통한 연차별 연구목표 수정보완이 가능한 개방형 연구 관리 시스템과 핵심 과제별 전담 평가단을 구성하여 과제 선정에서 평가까지 실시함으로써 관리하였다.
사업 성격에 적합한 평가지표를 점검, 보완하고, 전담평가단에서는 과제 정량적 목표 설정과 정성적 성과를 관리하였으며, 매년 연차평가 및 연구단 자체 평가를 통해 성과를 관리하였다.

다. 성과 활용 전략

연구단 성과 중 기술분야가 유사한 특허들의 포트폴리오를 구축하여 기술 라이센싱 등의 사업화 성공 가능성을 제고하고자 하였다.
13개 기술 분야에 대한 세부기술에 해당되는 특허들을 분류하여, 권리확보 또는 기술 패키지화, 기술이전을 위한 포트폴리오 보완을 위한 공백 영역 기술 분야를 파악하고, 해당 기술 분야 중 특허 건수가 많아 특허 활동이 활발하면서도 우수한 등급의 특허가 다수 분포하고 있는 유기트랜지스터, 센서, 소자, 전극 및 2D 소재 제조 분야의 기술을 특화하여 특허 상용 가치를 증대하였다.
또한, 연구단은 현재 참여하고 있는 Forum Organic Electronics(FOE, 유기전자 및 인쇄전자분야 글로벌 연구협의체)를 기반으로 활동을 적극 수행하며, 탑다운 방식의 단기 실용화 전략과, 바텀업 방식을 이용한 중장기 실용화 전략을 바탕으로 연구성과를 활용 및 확산할 수 있도록 노력하였다.



02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

나노기반소프트일렉트로닉스연구단은 소프트 나노소재를 이용하여 세계 최고 수준의 고성능 유연 전자소자(소프트 일렉트로닉스)의 핵심 원천기술 개발 및 기술 실용화를 통한 가치 창출을 목표로 연구를 수행하였다. 특히 실리콘 등 무기물이 주도해온 하드 일렉트로닉스의 한계를 극복하기 위해 고성능 유연 나노소재를 이용하여 휴대성과 변형성, 사용성이 극대화된 인간 친화형 기술을 개발하고자 하였다.

단계별로는 1단계 기간 동안 고성능 소프트 나노소재 및 나노복합체, 단위소자 설계, 나노전자 시스템 인터페이스 등 소프트 나노일렉트로닉스용 기반 원천기술을 개발하고, 2단계에서 나노소재, 나노소자 등의 기술의 최적화와 고성능화, 소자융합화 등 플랫폼 원천기술을 개발하였다. 3단계에서는 나노소재의 물성 특성 극대화 및 안정화, 최적화 기술 개발을 통해 사업화 성공 가능성을 제고하고자 하였다.



2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

종래 사용되고 있는 실리콘 소재의 고성능뿐 아니라 유기 소재의 유연성을 모두 지니면서 형태 변형성, 휴대성, 사용편의성까지 극대화된 Stretchable, Conformable 고성능 소프트 나노일렉트로닉스를 구현하기 위하여 1)나노소재, 2)나노소자 및 공정, 3)플랫폼융복합 기술 개발 이라는 3가지 핵심 주제로 연구를 수행하였다.



나. 핵심과제별 연구분야 및 내용

[핵심과제 ❶] 소프트 일렉트로닉스용 나노 소재 개발

핵심과제 1은 휴대가 편하고 인류에 더욱 친숙한 제품에 대한 소비자의 요구와 무기물 기반의 신축성/유연성이 부족한 기존 하드 일렉트로닉스 대체를 위해 소프트 일렉트로닉스용 소프트 나노소재 원천기술을 확보하고자 하였으며, 나아가 기존 유연 소재의 신축성과 형태 변형성 한계를 극복하는 새로운 개념의 고성능 차원 융합형 신물질을 발굴하고자 하였다. 또한 핵심과제 2의 소프트 소자, 공정, 플랫폼 과제에도 적용 가능한 고성능 소프트 소재를 연구 개발하였다.

세부과제 구성	
1-1	유연 센서용 소프트 나노소재 기술 개발(서울대/오준학)
1-2	파이전자분자 소프트 나노소재 개발(POSTECH/박태호)
1-3	유연절연박막소재 개발(KRICT/김윤호)
1-4	기상증착 고분자 기반 고성능 절연박막소재 개발(KAIST/임성갑)
1-5	소프트 광소자용 이차원 하이브리드 소재 기술 개발(KAIST/전석우)
1-6	소프트 전원 소자용 그래핀 기반 나노 복합 소재 기술 개발(KRICT/임종선)
1-7	소프트 소자용 하이브리드 전극 개발(KERI/한중탁)

1. 세부 1-1와 세부 1-2
소프트 전자소자용 파이전자분자 설계 및 소프트 나노소재 개발을 통해 기계적 변형에 대한 구동 안정성과 신뢰성이 높은 반도체 소재 확보

2. 세부 1-7
유연/신축성 소자에 적합한 소프트 전자소자용 전극 및 전도체 개발

3. 세부 1-3과 세부 1-4
소프트 전자소자의 저전압 구동, 장기 안정성을 향상 시키기 위한 유연 절연막과 차단막 소재 확보

4. 그래핀을 포함한 g-C3N4, TMDC 등의 신개념 저차원 나노소재가 가진 장점을 극대화 할 수 있는 소재 간 융합형 연구를 수행하고, 이를 활용한 새로운 형태의 소프트 광소자 architecture와 성능을 제시함으로써 새로운 소프트 일렉트로닉스용 나노공정 플랫폼을 구축

[핵심과제 ❷-1] 소프트 일렉트로닉스 융합 플랫폼 기술

핵심과제 2-1은 차세대 웨어러블/플렉서블 소프트 직접회로를 구현하기 위한 핵심 원천 기술 및 융합 플랫폼 기술 개발을 목표로 하였으며, 아래의 세부과제로 구성되어 연구단 개발기술의 융·통합을 통한 차세대 산업용 소프트 소자 기술을 개발하였다.

세부과제 구성	
2-1	소프트 전자소자 구현을 위한 계면제어 기술 개발(연구단/조길원)
2-2	소프트 기능소자 및 집적회로 기술개발(KAIST/최성율)
2-3	고성능 소프트 집적회로 기술(KAIST/조병진)
2-4	소프트 하이브리드 신개념 소자 개발(성균관대/조정호)

• 단위 공정 기술
소프트 소자를 위한 나노패터닝 및 집적회로용 단위 공정 기술

• 저차원 소재 기술
실리콘 나노 멤브레인 소재 기술, 2차원 소재 합성 및 저차원 소재 통합 기술

• 플랫폼 기술
소프트 집적회로 시스템, Bio-medical용 instrument, 생체 신호 감지용 센서 어레이 시제품 제조 및 고도화 기술

[핵심과제 ❷-2] 소프트일렉트로닉스를 통한 모바일 헬스케어 응용 기술 개발

핵심과제 2-2는 인간의 건강한 삶 영위를 위한 웨어러블 실시간 건강 모니터링용 헬스케어 디바이스 구현을 목표로 상용화 가능한 핵심 원천기술로써, 차세대 산업 적용 기술을 개발하였다.

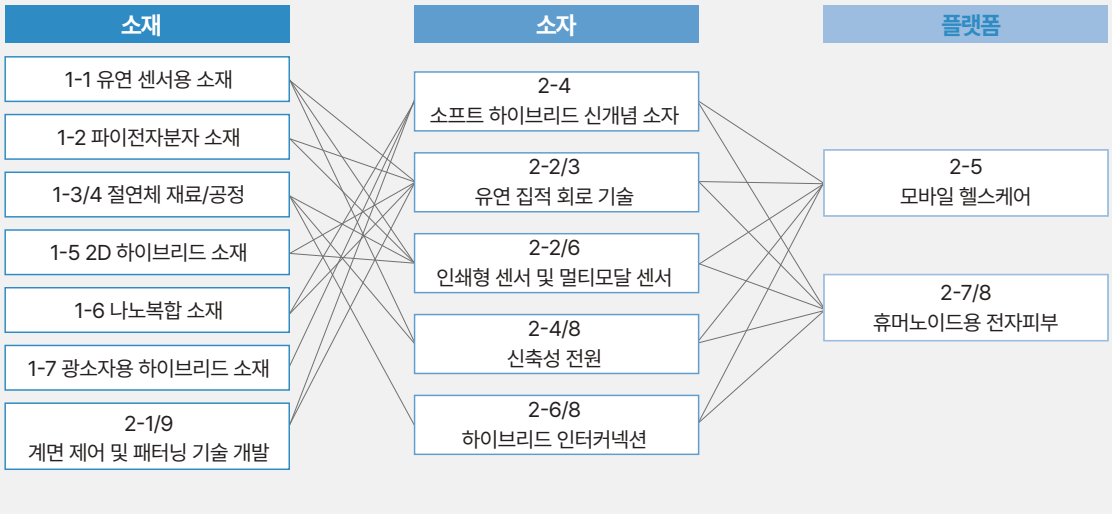
세부과제 구성	
2-5	모바일 헬스케어용 인쇄형 센서 및 회로 개발(동국대/노용영)
2-6	로봇 피부용 대면적 멀티모달 스마트 센서 시트 개발(서울대/홍용택)
2-7	로봇 피부용 대면적 멀티모달 전자피부 개발(한양대/김도환)
2-8	웨어러블 센서 플랫폼 및 인터커넥션 기술 개발(POSTECH/정운룡)
단위	소프트 일렉트로닉스 집중형 융합기술 개발(연구단/조길원)

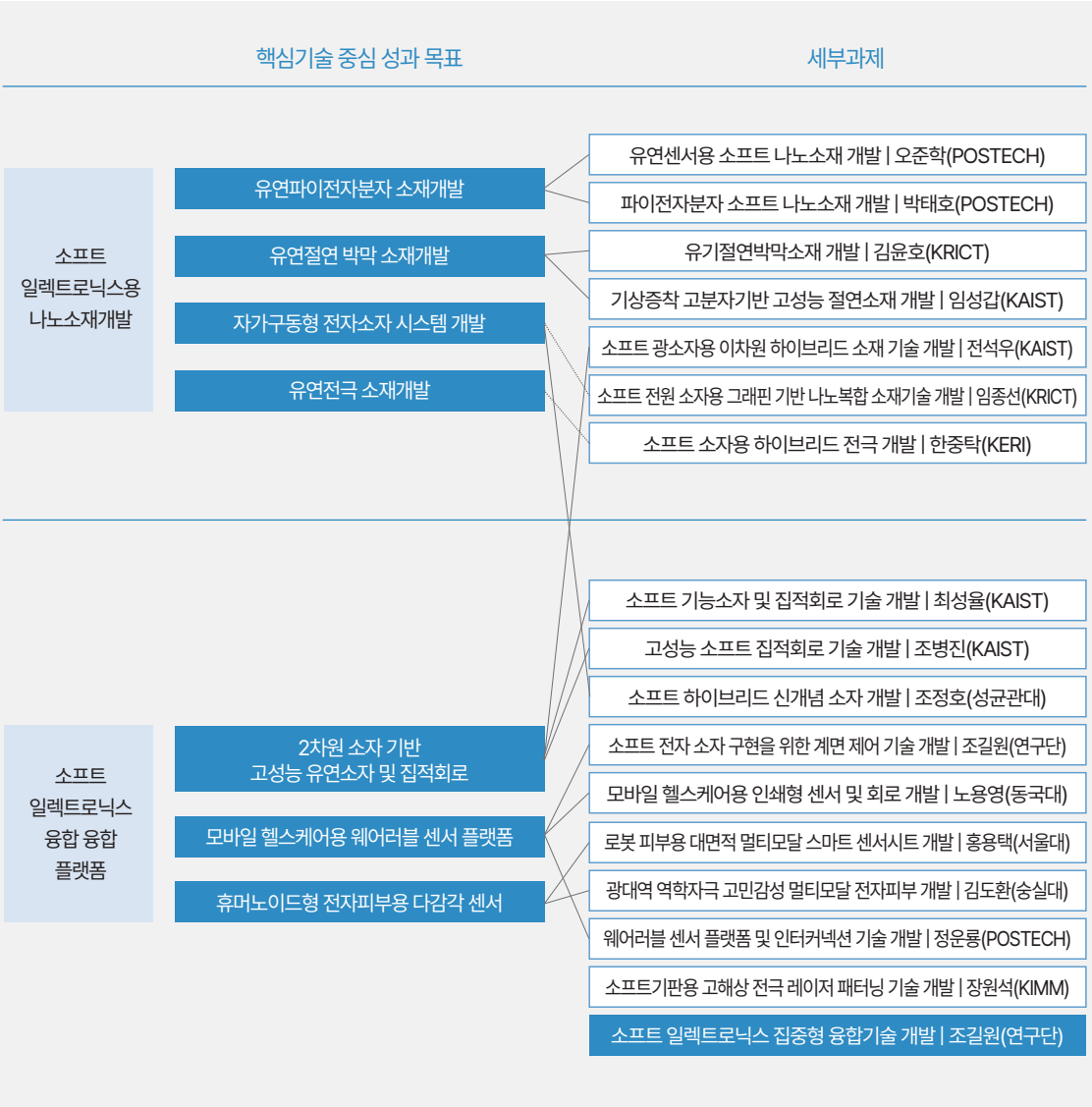
• 단위센서기술
단위 센서를 위한 소재, 소자 및 센서 기술

• 플랫폼기술
센서 구동회로, 칩, 배터리 및 인터컨넥션 기술

• 시스템 기술
모바일헬스케어, 휴머노이드용 전자피부, 환경감지용 대면적 센서 어레이의 시제품 제조 및 고도화 기술

다. 핵심기술별 연구목표


소재
1-1 유연 센서용 소재
1-2 파이전자분자 소재
1-3/4 절연체 재료/공정
1-5 2D 하이브리드 소재
1-6 나노복합 소재
1-7 광소자용 하이브리드 소재
2-1/9
계면 제어 및 패터닝 기술 개발
소자
2-4
소프트 하이브리드 신개념 소자
2-2/3
유연 집적 회로 기술
2-2/6
인쇄형 센서 및 멀티모달 센서
2-4/8
신축성 전원
2-6/8
하이브리드 인터커넥션
플랫폼
2-5
모바일 헬스케어
2-7/8
휴머노이드용 전자피부


핵심기술 중심 성과 목표
세부과제
소프트
일렉트로닉스용
나노소재개발
유연파이전자분자 소재개발
유연절연 박막 소재개발
자가구동형 전자소자 시스템 개발
유연전극 소재개발
유연센서용 소프트 나노소재 개발 | 오준학(POSTECH)
파이전자분자 소프트 나노소재 개발 | 박태호(POSTECH)
유기절연박막소재 개발 | 김윤호(KRICT)
기상증착 고분자기반 고성능 절연소재 개발 | 임성갑(KAIST)
소프트 광소자용 이차원 하이브리드 소재 기술 개발 | 전석우(KAIST)
소프트 전원 소자용 그래핀 기반 나노복합 소재기술 개발 | 임종선(KRICT)
소프트 소자용 하이브리드 전극 개발 | 한중탁(KERI)
소프트
일렉트로닉스
융합 융합
플랫폼
2차원 소자 기반
고성능 유연소자 및 집적회로
모바일 헬스케어용 웨어러블 센서 플랫폼
휴머노이드형 전자피부용 다감각 센서
소프트 기능소자 및 집적회로 기술 개발 | 최성율(KAIST)
고성능 소프트 집적회로 기술 개발 | 조병진(KAIST)
소프트 하이브리드 신개념 소자 개발 | 조정호(성균관대)
소프트 전자 소자 구현을 위한 계면 제어 기술 개발 | 조길원(연구단)
모바일 헬스케어용 인쇄형 센서 및 회로 개발 | 노용영(동국대)
로봇 피부용 대면적 멀티모달 스마트 센서시트 개발 | 홍용택(서울대)
광대역 역학자극 고민감성 멀티모달 전자피부 개발 | 김도환(숭실대)
웨어러블 센서 플랫폼 및 인터커넥션 기술 개발 | 정운룡(POSTECH)
소프트기판용 고해상 전극 레이저 패터닝 기술 개발 | 장원석(KIMM)
소프트 일렉트로닉스 집중형 융합기술 개발 | 조길원(연구단)

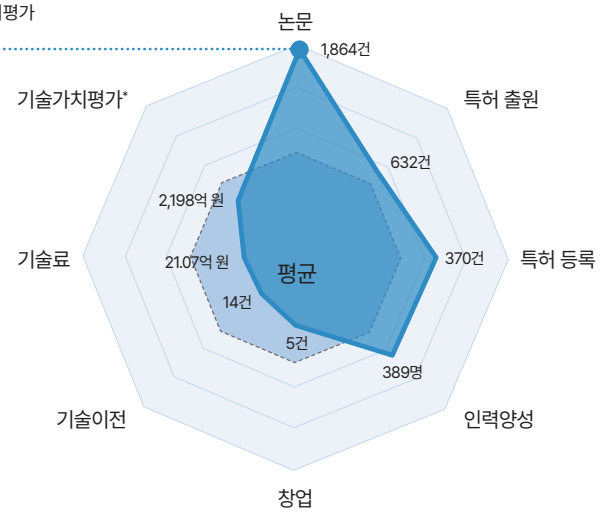
03 연구성과

1. 총론

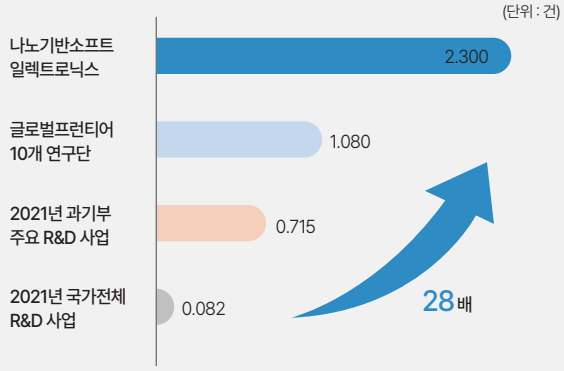
입고 붙이고 끼울 수 있는 웨어러블 스마트 기기가 인간의 육체적 한계를 뛰어넘는 미래 기술로 주목받는 가운데 나노기반소프트일렉트로닉스연구단은 이를 구현하기 위해 필수적인 소재 연구성과들을 내놨다. 휘고 접고 구부릴 수 있는 소프트한 소재를 통해 로봇용 전자피부, 신체 부착 헬스케어 기기, 생체모방형 인공신경, 스마트 콘택트렌즈 등을 구현하는 길을 제시했다. 잉크와 프린팅 기술을 활용해 신체에 부착할 수 있는 스마트 기기를 제조할 수 있는 기술로, 이 기술로 창업한 기업은 74억 원의 투자를 받고 2022년에 23억 원의 매출을 벌어들였다. 욕창 방지 스마트침대, 골프 자세시스템, 영유아 호흡 모니터링 등 폭넓은 분야에 쓰일 수 있는 기술의 확장성이 높은 평가를 받고 있다.
연구단은 총 1,864편의 논문을 발표했고 그중 97.8%인 1,823편이 SCI 논문이었다. 총 632건의 국내외 특허를 출원하였고 370건을 등록했다. 이 분야 세계 특허에서 차지하는 비중은 3.26%에 달한다. 연구단의 성과를 바탕으로 우리나라는 이 분야에서 세계 2위의 특허성과를 확보했다. 연구단이 내놓은 성과의 기술가치평가를 한 결과 총 2,198억 900만 원으로 평가됐다. 연구성과는 14건이 기술이전돼 21억 670만 원의 정액기술료 수입으로 이어졌다. 또 총 5개 창업기업이 탄생해 19명의 고용을 창출하고 16억 9,200만 원의 투자를 유치했다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 8건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 SCI 논문 산출 성과

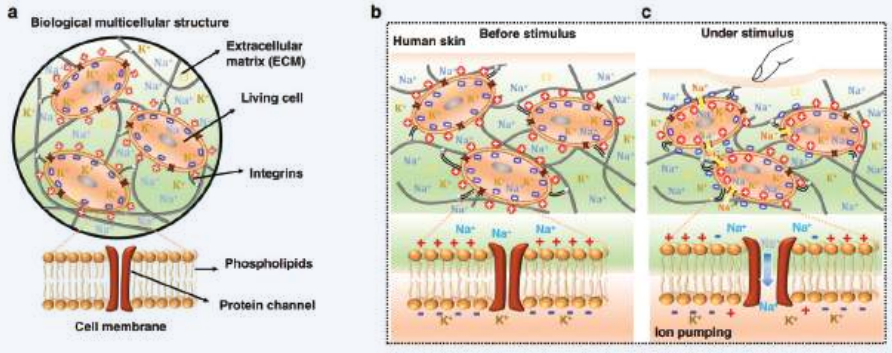


- 나노기반소프트일렉트로닉스의 연구성과는 논문부분에서 특히 두드러지는 것으로 분석
- 연구단의 총 SCI논문 건수는 1,864건으로 연구비 1억 원당 약 2.3건의 SCI 논문을 산출
- 해당 수치는 글로벌프런티어 10개 연구단 종합 성과의 약 2.1배 수준이며, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 3.2배, 2021년 국가 전체 R&D 대비 약 28배 수준
- 또한, 연구단의 SCI 논문 중에서 상위 10% 학술지에 개제된 논문이 총 881건으로 48.33% 비율을 차지하고 있어 질적으로 우수한 논문성과를 창출한 것으로 분석

2. 대표 연구성과

나노기반 01

생체 모사형 초고감도 이온트로닉 전자피부 개발 (한양대학교 김도환)



[이온성 기계수용체 개념도]

- 연구단은 포유류의 피부를 구성하는 촉각세포가 외부압력을 감지하는 원리를 구현한 '점유탄성 고분자 신소재 개발' 통해 소리, 혈압, 일반 터치, 물체의 하중 감별이 가능한 세계 최초 초고감도, 초저전력, 고신축성 전자피부 개발
- 해당기술은 피부에 존재하는 촉각세포의 구조 및 역학자극에 의한 이온 거동 현상을 모방한 것으로 역학자극에 의한 이온이동 및 자유 이온의 농도를 증폭시키는 것이 핵심
- 연구단은 해당기술을 활용하여 점-유탄성 이온펌프를 적용한 광대역 역학자극 감지형 전자피부도 세계 최초로 개발하였으며, 해당 기술은 다양한 형태의 웨어러블 촉각 인터페이스의 핵심기술로 활용될 수 있음
- 해당 기술은 과학기술정보통신부 '2017년 10대 나노기술 10선'에 선정되었으며, 2020년 1월 과학기술인상에 선정됨
- 해당 기술은 ㈜맥스플로러에 기술이전되었으며, 스마트 헬스케어용 촉각센서로 적용 및 사업화를 위한 과정이 진행되고 있음

논문

· An Ultrasensitive, Visco-Poroelastic Artificial Mechanotransducer Skin Inspired by Piezo2 Protein in Mammalian Merkel Cells(Advanced Materials, 2017)

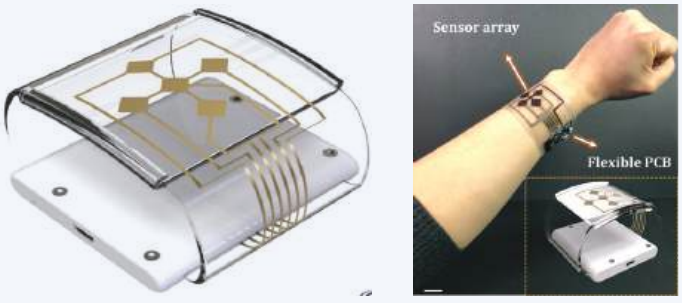
· An Ultra Mechanosensitive Visco Poroelastic Polymer Ion Pump for Continuous Self Powering Kinematic Triboelectric Nanogenerators(Advanced Energy materials, 2019)

· A bioinspired, hydrogen bond-triggered ultrasensitive ionic mechanoreceptor skin(Nature Communications, 2019)

특허

· 이온성 탄성 유전체 기반 섬유형 트랜지스터 및 그 제조방법(KR 10-2015-0104805, BBB등급)

· 이온성 액체를 포함하는 복합체, 이를 구비하는 압력센서, 및 압력센서 제조방법(PCT/KR2019/004045)

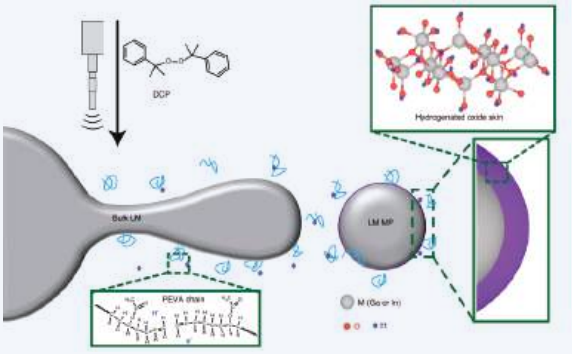


[광대역 역학자극 감지형 전자피부 장치 및 착용사진]

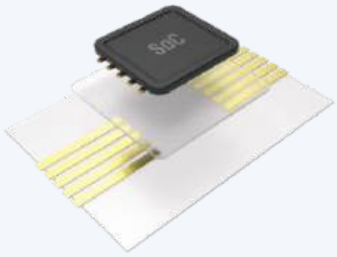
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Communications)	-	○	3.6억 원	-

나노기반 02

고신축성 고전도성 전극 및 배선 소재 개발 (POSTECH 정운룡)



[수소과도핑 및 고분자 표면 흡착 모식도]



[신축성 배선-SoC 연결]

- 연구단은 세계 최초로 점소성 높은 산화막과 3차원 프린팅이 가능한 고신축성 액체 금속잉크를 개발
- 해당기술은 산화막에 수소 과도핑과 고분자 표면 흡착이 동시에 이루어지는 경우, 초박형 산화막에 점소생이 발생하여 반복적인 연신에도 기계적 안정성을 유지할 수 있는 것을 활용한 기술
- 개발된 잉크를 활용하여 전도도, 연신성, 세계 최고수준의 이동도(17.8 cm2/Vs), 안정성/친환경 공정, 신축성을 확보한 배선 개발에 성공하였으며, 개발된 고신축성 배선은 웨어러블 전자소자 및 신축성 디스플레이, 로봇용 전자피부 등 다양한 신축성 소자에서 활용될 수 있음
- 또한, 연구단은 해당 기술을 통해 마이다스H&T가 설립되었으며, 관련 기술은 해당 기업으로 1.25억 원에 기술이전 개발하며 세계 최초로 유기반도체의 고정밀 정량 평가기술을 확립
- 해당 기술을 통해 마이다스H&T가 설립되었으며, 관련 기술은 해당 기업으로 1.25억 원에 기술이전

논문

· Fabrication of Foldable Metal Interconnections by Hybridizing with Amorphous Carbon Ultrathin Anisotropic Conductive Film(ACS Nano, 2019)

· Hydrogen-Doped Viscoplastic Liquid Metal Microparticles for Stretchable Printed Metal Line (Nature Materials, 2021)

특허

· 고 신축성 유기 반도체 복합체, 그 제조 방법 및 그를 포함하는 유기 박막 트랜지스터(KR 10-2014-0041904)

· 고 신축성 유기 반도체 복합체 박막, 그 제조 방법, 및 그를 포함하는 유기 박막 트랜지스터(KR 10-2015-0144954)

· 신축성 고분자 복합체, 그의 제조방법 및 그를 포함하는 유기박막 트랜지스터(KR 10-2019-0051578, BB등급)

MiDAS H&T

창업일 : 2018.04

대표자 : 장세윤

주요 아이템 : 고분자 기반 연신성 인쇄 전극 배선

- 마이다스 H&T는 신소재 기반 소부장전문 스타트업
- 현재 이전받은 기술을 바탕으로 스트레처블 전자 재료 프린팅 기반 On-Fabric 웨어러블 시스템을 개발하여 제품으로 판매 중
- 2023년 현재까지 누적투자 74억 원, 2022년 매출액 23억 원을 달성

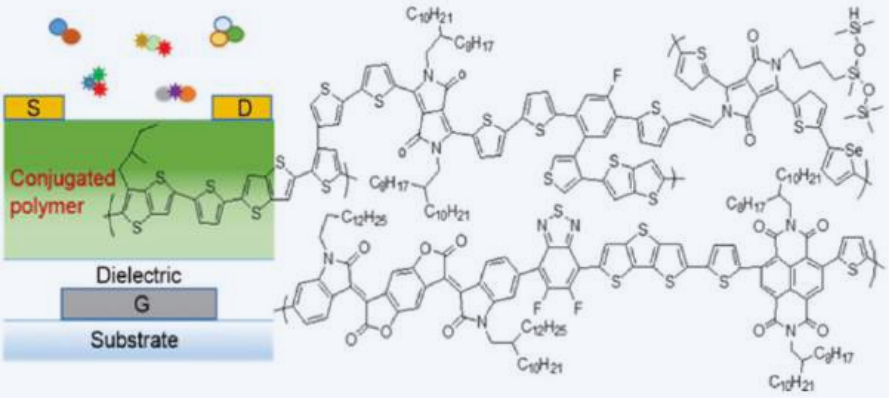


[마이다스 H&T의 On-Fabric Wearable System]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Materials)	-	○	1.25억 원	㈜마이다스H&T (투자유치 74억 원)

나노기반 03

고순도 CNT 복합반도체 잉크 및 이를 이용한 인쇄형 유연 가스센서 및 트랜지스터 개발 (동국대학교 노용영)



[OTFT기반 가스센서 및 유기공액고분자 구조]

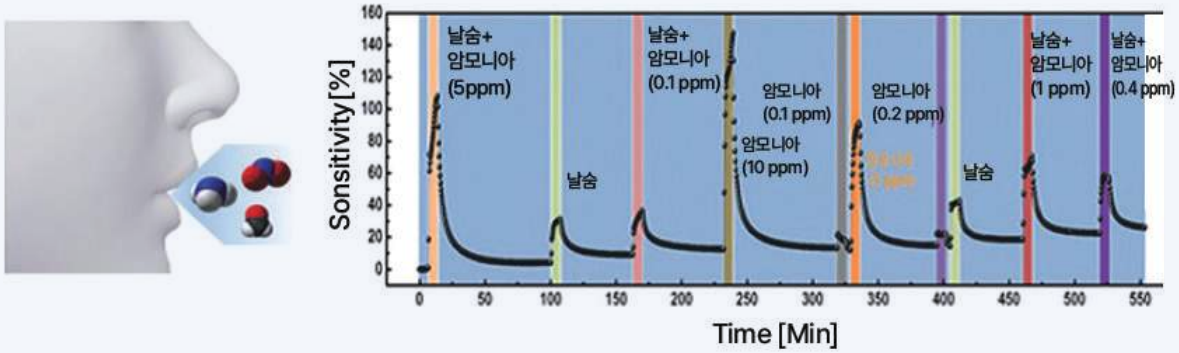
- 연구단은 반도체성 CNT의 고순도 분리에 성공하여, 신규 복합 반도체 소재인 CNT 공액고분자 반도체 잉크 제조 원천기술을 확보
- 공액고분자를 이용하여 고순도 분리, 분산 및 전기화학적 특성제어를 통한 맞춤형 잉크소재 개발이 가능해, 연구단은 이를 이용하여 고성능 가스센서 및 트랜지스터 소자구현에도 성공
- 제작된 가스센서 소자는 암모니아 가스에 대해 매우 빠르고 높은 센싱 특성을 가지며, 세계 최초로 인간의 날숨 환경이나 혼합가스 상황에서도 1 ppm 농도의 암모니아 검출에 성공
- 또한, 해당 기술을 통해 간단한 구조, 저온 용액 제조 공정, 상온에서 소자 동작 등의 장점을 가진 고민감도 센서의 구현이 가능하여 상업적 활용이 높을 것을 기대
- 연구단은 해당 기술을 사업화하기 위해 ㈜나노웨어러블을 창업

논문

· Organic thin film transistor with conjugated polymers for highly sensitive gas sensors(Macromolecular Research, 2017)
· Preparation of non-woven nanofiber webs for detoxification of nerve gases(Polymer, 2019)

특허

· 탄소나노튜브 층간층, 이의 제조방법 및 이를 이용한 박막트랜지스터(KR 10-2014-0057719, B등급
· 탄소나노튜브 유기반도체, 이를 포함한 박막트랜지스터, 이를 이용한 화학센서 및 어플리케이션(KR 10-2014-0079922, BBB등급)
· 탄소나노튜브가 포함된 유기반도체층, 이의 제조방법 및 이를 이용한 박막트랜지스터(KR 10-2015-0155311, B등급)
· 암모니아 가스 감지용 트랜지스터 및 이를 이용한 감지센서(KR 10-2016-0101089, B등급)
· 첨가제가 포함된 가스센서용 전자소자 및 박막트랜지스터(KR 10-2017-0181316, B등급)

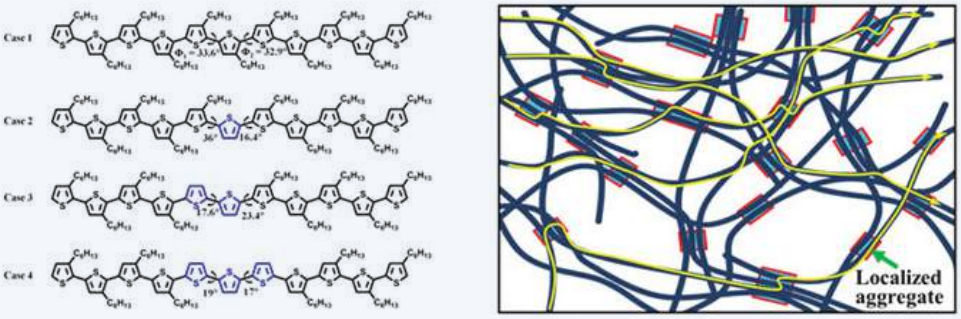


[개발된 가스센서 검증]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	2,000만 원	㈜나노웨어러블

나노기반 04

친환경 용매 공정이 가능한 파이전자분자 및 계면 제어 기술을 이용한 고이동도 고성능 소프트 전자 소자 개발 (POSTECH 박태호)



[DFT 분석을 통한 주쇄의 평면성 계산 및 효율적인 전하이동을 위해 고분자 미세구조에 징검다리 컨셉을 도입한 모식도]

- 파이전자 분자의 친환경 용매로써 비할로겐 용매를 이용하려하는 노력이 있었으나, 여전히 독성이 있다는 한계점이 있었음. 이에 연구단은 세계 최초로 세계 최초 친환경 용매에 용해도가 우수한 파이전자분자 설계 기술 확보
- 친환경 용매인 호두 및 페퍼민트 오일에서 15 mg/mL 이상의 용해도를 확보함과 동시에, 기판의 표면에너지와 특성을 제어하여 파이전자 분자의 결정 배향을 제어할 수 있는 세계 최고 수준의 전하이동도를 갖는 설계기술을 확보
- 연구단은 개발한 파이전자분자를 유기센서, 페로브스카이트 태양전지, 유기트랜지스터에 적용하여, 유기센서로서는 1,000배 이상의 민감도를 보이는 메탄올 및 마약 센서 구현, 세계 최초 액체상 유기용매 직접 감지 화학센서를 개발
- 해당기술은 2019년도 국가연구개발 우수성과 100선 선정 (에너지환경 부문, 과학기술정보통신부) 및 한국도레이 과학기술상 응용분야 수상

논문

· Perovskite Granular Wire Photodetectors with Ultrahigh Photodetectivity(Advanced Materials, 2020)
· Boosting the Performance of Organic Optoelectronic Devices Using Multiple-Patterned Plasmonic Nanostructures(Advanced Materials, 2016)
· Green-Solvent-Processable, Dopant-Free Hole-Transporting Materials for Robust and Efficient Perovskite Solar Cell(Journal of the american chemical society, 2017)
· Control of Crystallite Orientation in Diketopyrrolopyrrole-Based Semiconducting Polymers via Tuning of Intermolecular Interactions(ACS Applied Materials & Interfaces, 2019)

특허

· 티오펜 유도체를 포함하는 공중합체 및 공중합체 주사슬의 배향 방법(KR 10-2015-0087383, CC등급)
· 싸이에노피롤 유도체를 포함하는 공중합체 및 그를 포함하 는 유기전자소자(KR 10-2015-0086909, BB등급)
· 전도성 고분자 화합물 및 그를 포함하는 유기전자소자(KR 10-2015-0095192, BB등급)
· 신축성 기판의 제조방법 및 그를 포함하는 신축성 전자기기의 제조방법(KR 10-2019-0026893, BB등급)
· 2종 이상의 올리고모를 이용한 신축성 기판의 제조방법 및 그를 포함하는 신축성 전자기기의 제조방법(KR 10-2019-0047194, B등급)

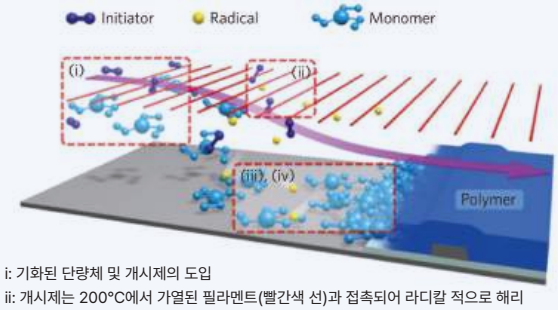


[파이분자의 고전하이동용 친환경 용매]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

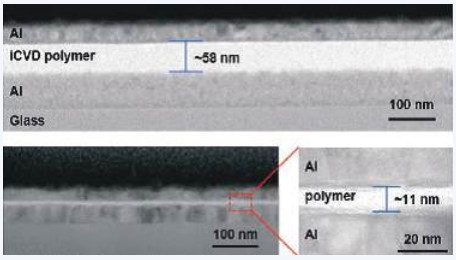
나노기반 05

기상증착 및 용액공정 기반 고분자 초박막 유연절연박막 소재 개발 (KAIST 임성갑)



i: 기화된 단량체 및 개시제의 도입
ii: 개시제는 200°C에서 가열된 필라멘트(빨간색 선)과 접촉되어 라디칼 적으로 해리
iii: 단량체와 개시제 라디칼은 냉각된 기판(40°C)의 표면에 흡착

[iCVD 공정 메커니즘]



[iCVD 공정으로 형성된 고분자 초박막 두께]

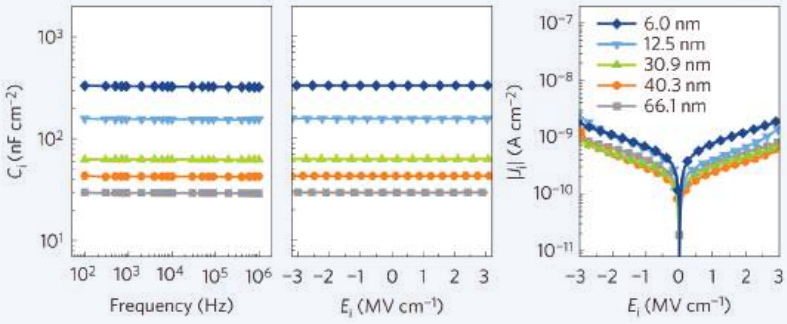
- 연구단은 "개시제를 이용한 화학 기상 증착법(initiated chemical vapor deposition 이하 iCVD)"라는 새로운 고분자 증착 공정을 이용하여 현존하는 유기물 기반 절연소재 중 가장 우수한 절연성능을 지닌 세계 최초 6 nm 이하 초박막 유기물 기반 절연소재 합성 성공
- 특히, 해당기술은 세계최초로 기판과 관계없이 나노미터 두께의 초박막 고분자 절연막을 형성할 수 있으며, 세계 최고 수준의 산업 적용이 가능한 내열성(>350°C) 및 전기 절연성(10^{-9} A/cm^2)을 가짐
- 개발한 고분자 초박막 유연절연박막 소재는 실제 제품으로 적용 가능한 수준의 절연 성능을 가져 향후 IoT 및 Wearable electronics 제품 개발의 핵심적인 요소 소재로 활용될 것으로 기대

논문

· Synthesis of ultrathin polymer insulating layers by initiated chemical vapour deposition for low-power soft electronics(Nature Materials, 2015)
· Vapor-phase deposited ultrathin polymer gate dielectrics for high-performance organic thin film transistors(Advanced Electronic Materials, 2016)
· One-step vapor-phase synthesis of transparent high refractive index sulfur-containing polymers(Science Advances, 2020)

특허

· 가교된 혼성 유기게이트 절연체용 고분자 조성물 및 이를 포함하는 박막 트랜지스터(KR 10-2015-0138192, BB등급)
· 박막 트랜지스터 절연막용 조성물, 이를 포함하는 절연막 및 유기박막 트랜지스터(KR 10-2017-0050307, BB등급)
· 서브 챔버를 구비한 iCVD 시스템 및 방법(KR 10-2017-0154402, BB등급)
· 개시제를 이용한 화학 기상 증착법을 이용한 고분자 감압 접착제의 제조방법(KR 10-2017-0143041, BB등급)
· 다층 iCVD증착 시스템(KR 10-2017-0084766)
· 개시제 및 플라스마를 이용한 화학 기상 증착 시스템 및 그 동작 방법(KR 10-2019-0031572, CC등급)
· 신축성 및 절연 특성을 가지는 고분자 박막과 형성 방법(KR 10-2020-0038184)

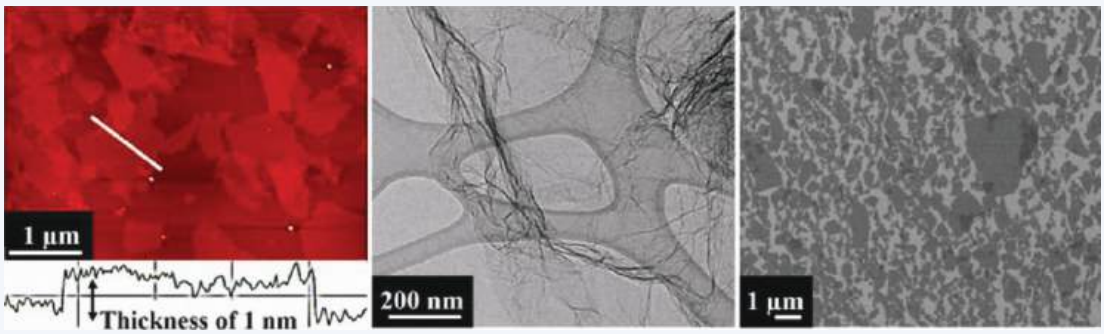


[형성된 고분자 박막의 절연 성능]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Materials)	○	○	-	-

나노기반 06

그래핀 제조 및 고기능화 기술 (KRICT 임종선)



[산화그래핀의 표면]

- 연구단은 결정립계에 의한 결함이 개선되고, 기계적, 전기적 또는 열적 특성이 강화된 그래핀 제조 기술 개발
- 화학적 기능화를 통한 고분산 안정성 그래핀 잉크 제조 및 기능기 치환에 따른 산화그래핀 일함수 제어
- 해당기술은 그래핀 기반 복합소재 , 유기반도체 소자 소재 , 전자차폐제, 방열소재, 베리어 소재로 응용 가능
- 국가연구개발 우수성과 100 선(2015년)
- 해당 기술은 ㈜참트론, ㈜그래핀올, ㈜코리아엠에프씨에 기술이전되었으며, 그래핀 제조 과정에 적용되고 있음.

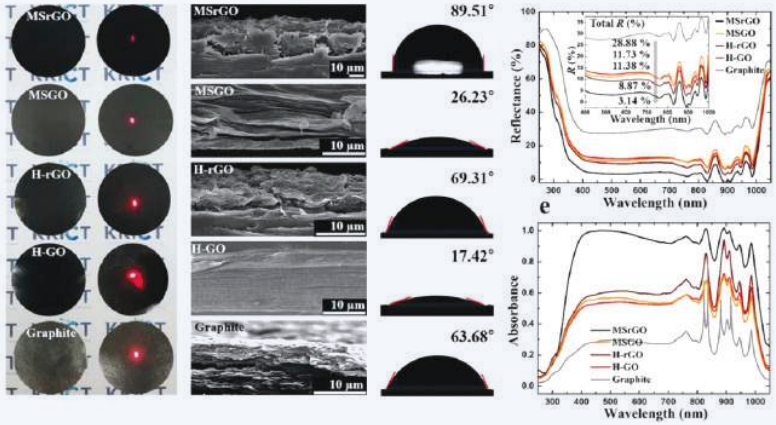
논문

· In-depth exploration of the synergistic interplay between perovskite barium titanate nanoparticles and two-dimensional graphene oxide for flexible piezoelectric nanogenerators(Applied Surface Science, 2020)

· Long-term air-stable Au doping of graphene by layer-by-layer assembly with graphene oxide for flexible transparent electrodes(Carbon, 2017)

특허

· 산화그래핀 제조방법(KR 10-2018-0040874, CCC등급)
· 그래핀 적층 구조체 및 이의 제조방법(KR 10-2016-0157216, BB등급)
· 환원된 산화 그래핀 및 이의 제조방법(KR 10-2014-0134684, CCC등급)
· 그래핀 적층 구조체의 제조방법 및 이로 제조된 그래핀 적층 구조체(KR 10-2014-0138458, CCC등급)
· 브롬화그래핀의 제조방법 및 이를 포함하는 기능화된 그래핀의 제조방법(KR 10-2014-0091913, CC등급)
· 분산성이 뛰어난 그래핀 화합물 제조방법 및 이로부터 제조된 그래핀 화합물(KR 10-2012-0030785, A등급)

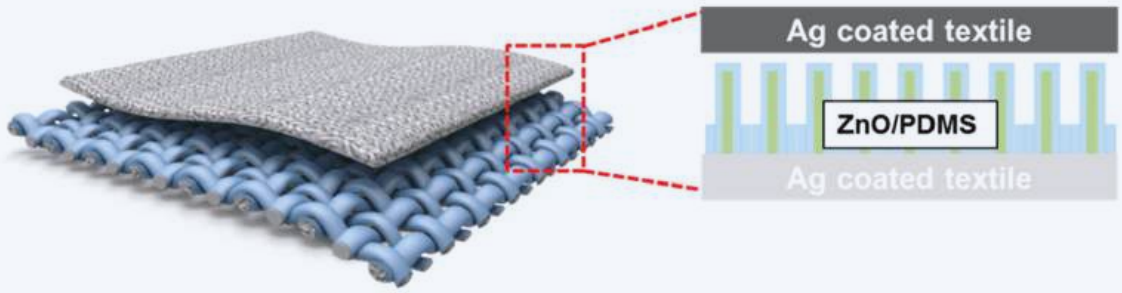


[산화그래핀의 표면]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	3건	-

나노기반 07

유연에너지 발전소자 기술 (성균관대학교 김상우)



[웨어러블 마찰전기나노발전기 모식도]

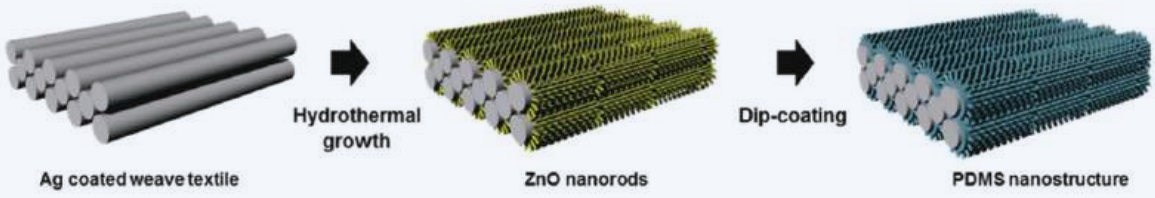
- 연구단은 주변에 존재하는 미세진동이나 인간의 움직임으로부터 발생된 소모성의 기계적 에너지를 전기에너지로 무한히 추출할 수 있는 새로운 개념의 친환경 에너지 발전 소자 기술 개발
- 마찰에 의한 정전기 효과를 유지 및 증폭시키고, 출력을 대폭 향상할 수 있는 효과 보유

논문

· Dual Friction Mode Textile-Based Tire Cord Triboelectric Nanogenerator(Advanced Functional Materials, 2020)
· Self-boosted power generation of triboelectric nanogenerator with glass transition by friction heat(Nano Energy, 2020)
· High Permittivity CaCu3Ti4O12 Particle-Induced Internal Polarization Amplification for High Performance Triboelectric Nanogenerators (Advanced Energy Material, 2020)
· Highly Conductive Ferroelectric Cellulose Composite Papers for Efficient Triboelectric Nanogenerators(Advanced functional Materials, 2019)
· Point-Defect-Passivated MoS2 Nanosheet-Based High Performance Piezoelectric Nanogenerator(Advanced Materials, 2018)
· Highly Efficient Photocurrent Generation from Nanocrystalline Graphene-Molybdenum Disulfide Lateral Interfaces(Advanced Materials, 2015)

특허

· 마찰전기 에너지 발생 장치(KR 10-2016-0162558, B등급)
· 고유전 물질을 이용한 정전기 에너지 발전소자(KR 10-2016-0037001, CCC등급)
· 회전운동을 이용한 마찰전기 에너지 발생장치(KR 10-2015-0021488, BBB등급)
· 타이어 코드지용 섬유를 이용한 정전기 에너지 발생장치(KR 10-2014-0172027, BBB등급)
· 섬유형 마찰전기 발전 소자, 마찰전기를 이용한 전기자극기 및 이를 이용한 마찰전기 발전 의류(KR 10-2014-0168844, A등급)
· 강유전 또는 압전 물질층 상의 2차원 구조의 물질을 이용하여 투명성 및 기계적 특성이 향상된 정전기 에너지 발전 소자(KR 10-2014-0138879, BB등급)
· 3차원 뿔 형태의 정전기 에너지 발전 소자(KR 10-2014-0003069, B등급)

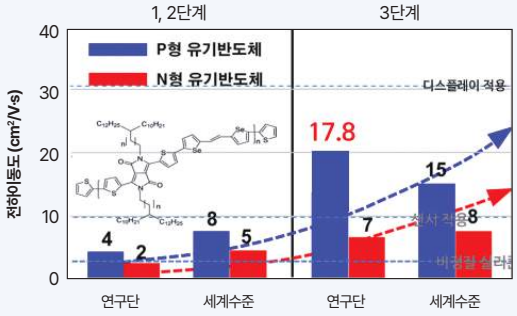


[나노패턴 PDMS 구조물 제작 과정]

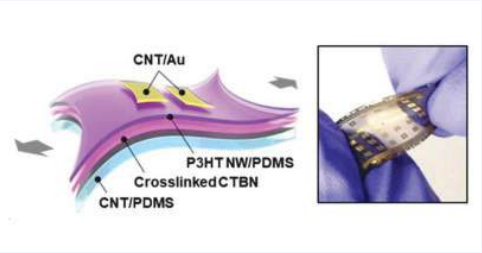
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	-	-

나노기반 08

고성능 유기반도체 소재 기술 ((재)나노기반소프트일렉트로닉스연구단 조길원)



[유기 반도체 소재 전하이동도 비교]



[신축성 유기박막 트랜지스터의 구조와 실제 모습]

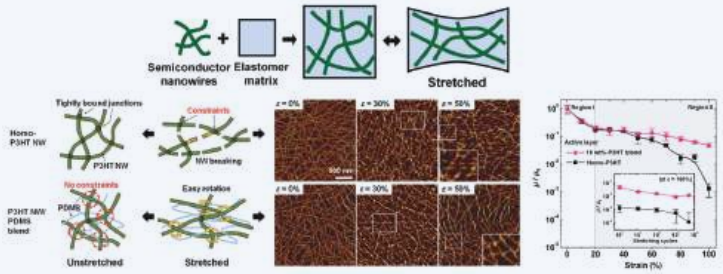
- 연구단은 유연 디스플레이, 유연 집적회로, 웨어러블 컴퓨터, 유기 태양전지, 유연센서 등 소프트 일렉트로닉스 핵심 기반 기술 개발
- 유기반도체의 고정밀 정량 평가 기술 세계 최초 확립
- 세계 최고 수준의 이동도 (17.8 cm^2/Vs) 달성
- 세계 최고 수준의 신축성 (40% 연신에도 초기 이동도 유지) 달성
- 세계 최고 수준의 안정성/ 친환경 공정성 확보

논문

· Charge-Transfer-Controlled Growth of Organic Semiconductor Crystals on Graphene(Advanced Science, 2020)
· Top-Split-Gate Ambipolar Organic Thin-Film Transistors(Advanced Electronic Materials, 2018)
· Enhancing 2D growth of organic semiconductor thin films with macroporous structures via a small-molecule heterointerface(Nature Communications, 2016)
· Molecular Orientation-Dependent Bias Stress Stability in Bottom-Gate Organic Transistors Based on an n -Type Semiconducting Polymer(Advanced Electronic Materials, 2016)
· Three-Dimensional Inkjet-Printed Organic Transistors and Integrated Circuits with 100 Yield High Uniformity and Long-Term Stability(ACS Nano, 2016)
· Tailoring Morphology and Structure of Inkjet-Printed Liquid-Crystalline Semiconductor/Insulating Polymer Blends for High-Stability Organic Transistors(Advanced Functional Materials, 2016)
· Stretchable and Transparent Organic Semiconducting Thin Film with Conjugated Polymer Nanowires Embedded in an Elastomeric Matrix(Advanced Electronic Materials, 2015)

특허

· Method of manufacturing surface-modified polymer film and method of fabricating organic electronic device comprising the same(US 11050024)
· 바코팅을 이용한 유기 반도체 박막 제조방법 및 그를 포함하는 유연 유기반도체 트랜지스터의 제조방법(KR 10-2018-0065956, CC등급)
· 유연기판을 갖는 그래핀 적층체, 그의 제조방법 및 그를 포함하는 유기전자소자(KR 10-2019-0021272, BB등급)
· 그래핀 적층체, 그의 제조방법 및 그를 포함하는 유기전자소자(KR 10-2018-0065388, BB등급)
· 신축성 고분자 복합체, 그의 제조방법 및 그를 포함하는 유기박막 트랜지스터(KR 10-2019-0051578, BB등급)

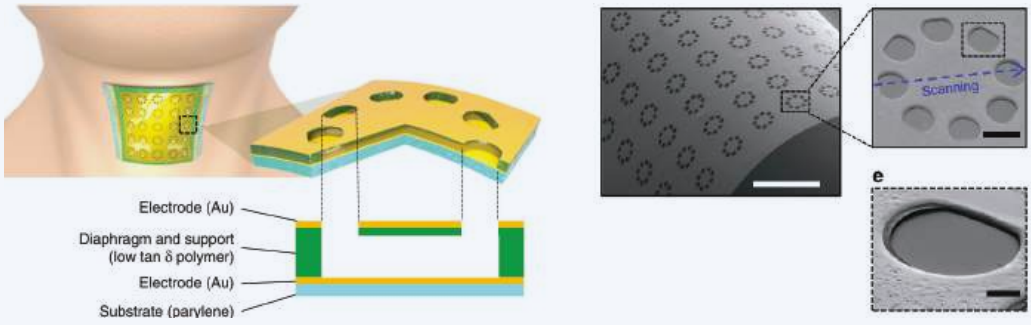


[신축성 유기박막 트랜지스터의 제조방법 모식도 및 표면 이미지]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Communications)	○	○	-	-

나노기반 09

피부 부착형 음성인식기술 ((재)나노기반소프트일렉트로닉스연구단 조길원)



[피부부착형 진동판 구조 및 단면도]

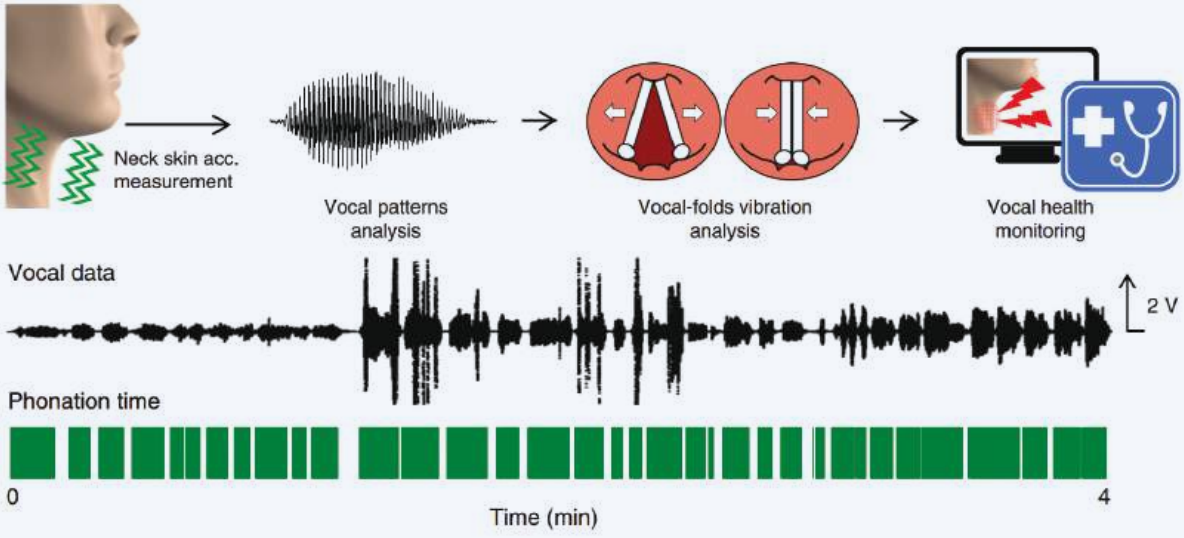
- 연구단은 목 피부에 부착하여 넓은 주파수 대역에서 일정한 높은 민감도 유지(세계 최고 수준) 하고 주인 목소리만 알아듣는 시스템 등 음성 인식 시스템 개발
- 기존의 마이크로폰 대체, 인공후두기 및 보청기, 반려동물 성대 수술 대체, 소음 많은 산업시설(방독면, 소방시설 등)에서 응용 가능
- 해당 기술은 ㈜비놀로지에 기술이전되었으며, 피부부착형 진동센서로 사업화를 위한 과정이 진행되고 있음

논문

· An ultrathin conformable vibration-responsive electronic skin for quantitative vocal recognition(Nature Communication, 2019)

특허

· 부착형 진동센서 및 그의 제조방법(KR 10-2018-0067929, BBB등급)



[목에 부착된 진동 센서로 보컬정보를 바탕으로 목소리 발생 여부 구분]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Communication)	-	○	3,000만 원	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	총합계
특허	국내	출원	5	19	32	54	106	64	90	54	39	23	486
		등록	-	3	9	21	36	45	67	59	51	31	322
	해외	출원	1	2	9	11	25	20	29	22	17	10	146
		등록	-	1	1	2	3	7	6	10	5	13	48
	소계		**6**	**25**	**51**	**88**	**170**	**136**	**192**	**145**	**112**	**77**	**1,002**
논문	sci		11	148	217	265	268	221	228	173	175	117	1,823
	비 sci		1	5	7	6	10	4	2	3	2	1	41
	소계		**12**	**153**	**224**	**271**	**278**	**225**	**230**	**176**	**177**	**118**	**1,864**
기술이전 /사업화	기술이전		-	1	-	-	-	2	2	5	1	3	14
	기술이전 (정액기술료)		-	450	-	-	-	516.5	30.0	640.0	35.0	435.2	2,106.7
	창업		-	-	-	-	-	1	-	2	1	1	5
학위배출	박사		4	12	15	23	13	18	21	7	30	22	165
	석사		9	10	20	29	27	22	32	5	19	14	187
	학사		-	9	12	3	1	8	4	-	-	-	37
	계		**13**	**31**	**47**	**55**	**41**	**48**	**57**	**12**	**49**	**36**	**389**
학술발표	국내		29	107	257	248	332	333	346	214	212	97	2,175
	국외		6	55	55	76	84	95	101	77	57	2	608
	소계		**35**	**162**	**312**	**324**	**416**	**428**	**447**	**291**	**269**	**99**	**2,783**
국제협력	MOU		-	-	-	3	-	-	-	-	-	-	3
	공동연구 논문		8	61	42	35	51	43	46	37	38	20	381

나. 논문 및 특허 현황 분석

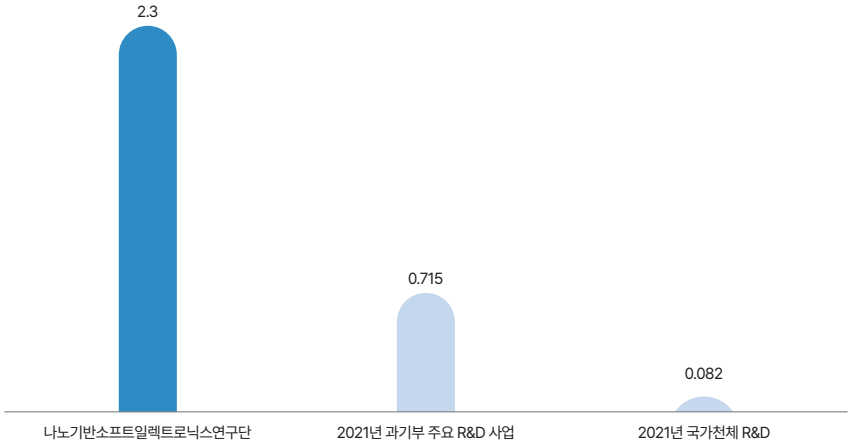
(1) 논문 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 1,864건의 논문 성과 중 1,823건의 SCI 논문을 게재하였으며, 전체 사업기간동안 연구비 1억 원당 약 2.3건의 SCI 논문 성과를 창출하였다.

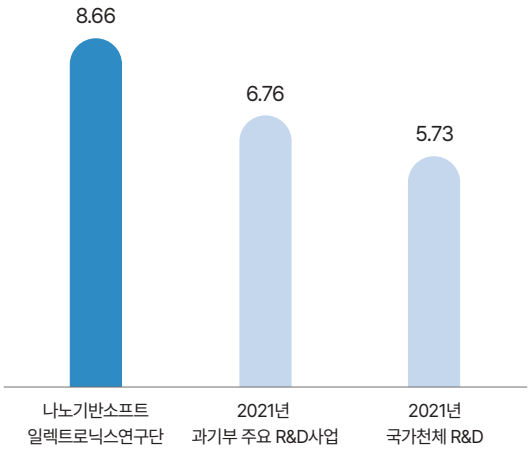
특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 8.66이며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 86.52(상위 13.48% 저널 게재)로 높은 질적 수준을 증명하였다.

[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

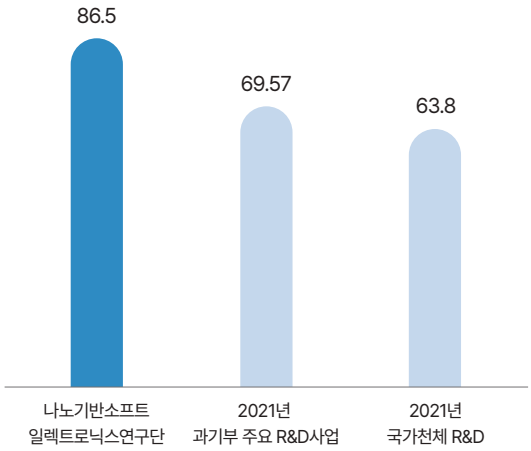
(단위: 건)



[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]



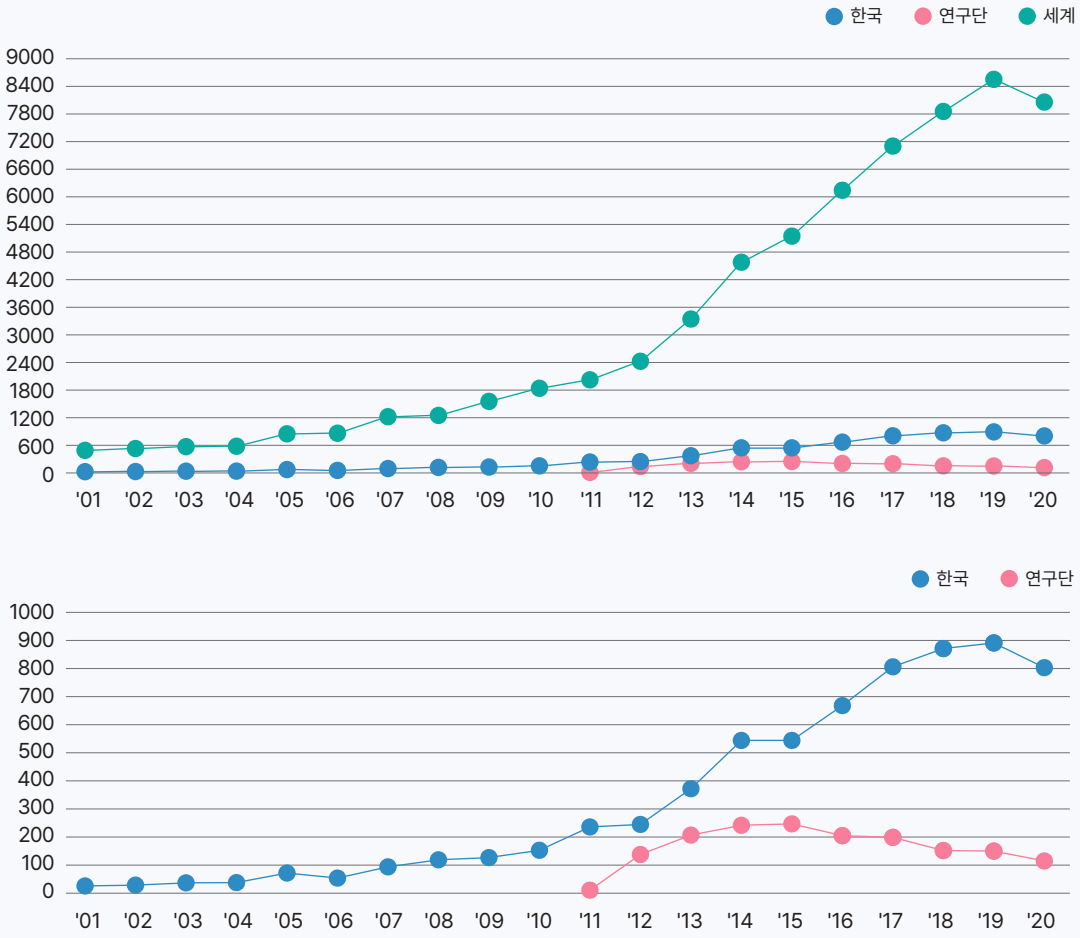
연구단의 SCI 논문 게재 성과는 전체 1,823건이며, 연구비(정부출연금 793.82억 원[1]) 1억 원당 2.3건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 SCI 논문 창출 성과 0.082건[2]에 비해 약 28배가 넘는 수준으로 나타났다.

사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

연구단의 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)의 논문 성과를 비교해본 결과, 연구단의 게재 SCI 논문 건수는 1,823건이었으며, 사업수행기간 동안 연구단 출범 이전보다 한국 논문 게재 건수가 749건에서 5,980건으로 약 8배 증가한 것으로 나타나, 동일 기간에 세계 전체 논문 건수가 9,742건에서 55,235건으로 약 5.6배 증가한 것에 비해 높은 증가율을 보였다.
사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전의 7.69%에 비교하여 사업수행기간 동안 10.83%으로 증가하였으며, 사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 3.30%, 한국 대비 30.48%를 차지하여 관련 기술에 대한 한국의 연구개발 활동이 활성화 되었음을 알 수 있다.

1) 연구비는 정부출연금 기준으로 함(타부처 및 민간 제외).
2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



(2) 특허 현황 분석

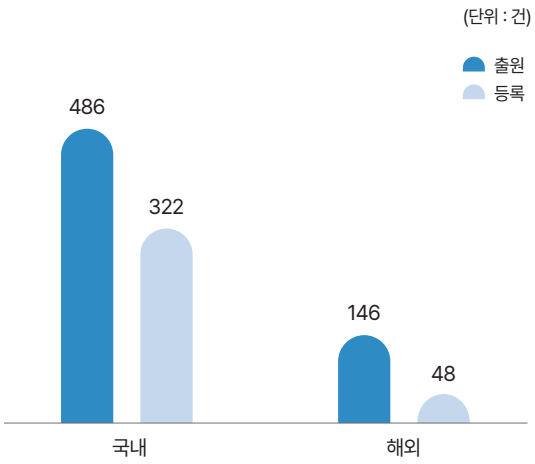
연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 1,002건[3]으로, 전체 특허 중 370건의 등록 기술을 보유하고 있으며, 미국, 일본, 중국, 유럽 등 해외 개별국에 146건의 특허를 출원하고 48건의 등록 기술을 보유하고 있다.

연구단의 특허출원 성과는 632건, 특허등록 성과는 370건으로, 연구비(정부출연금 793.824억 원) 1억 원당 0.8건의 특허출원 성과와 0.47건의 특허등록 성과를 창출하였다.

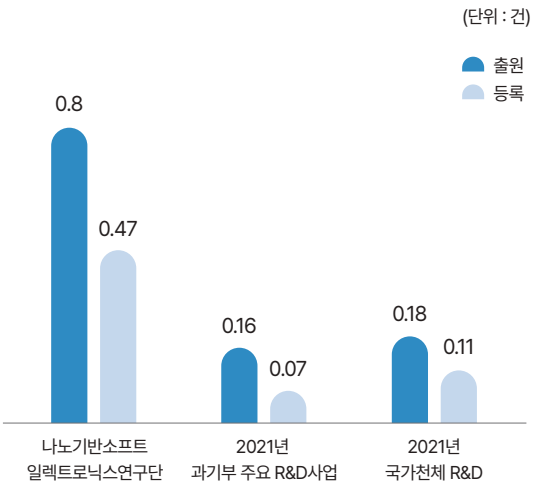
이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[4]에 비해 약 4.4배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 5배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 4.4배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건에 비해 약 6.7배의 수준으로 성과를 창출한 것으로 분석 된다.

3) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
4) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



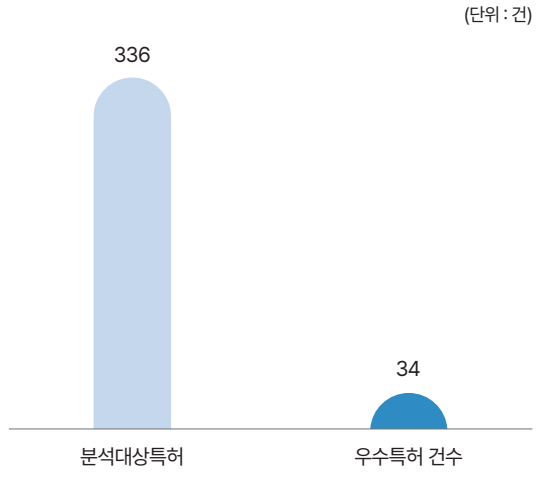
[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



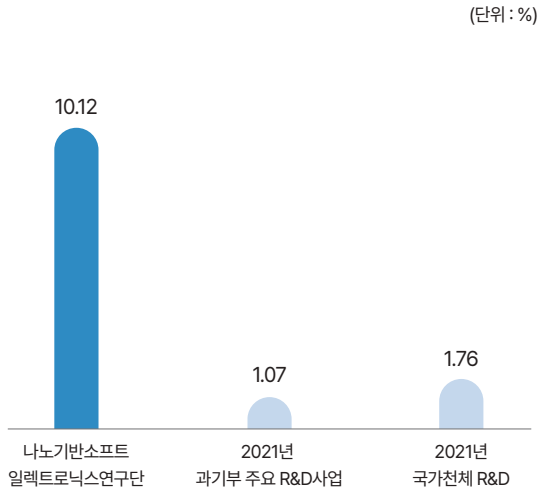
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[5)]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 336건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 34건으로 약 10.12% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 5.75배, 9.46배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]

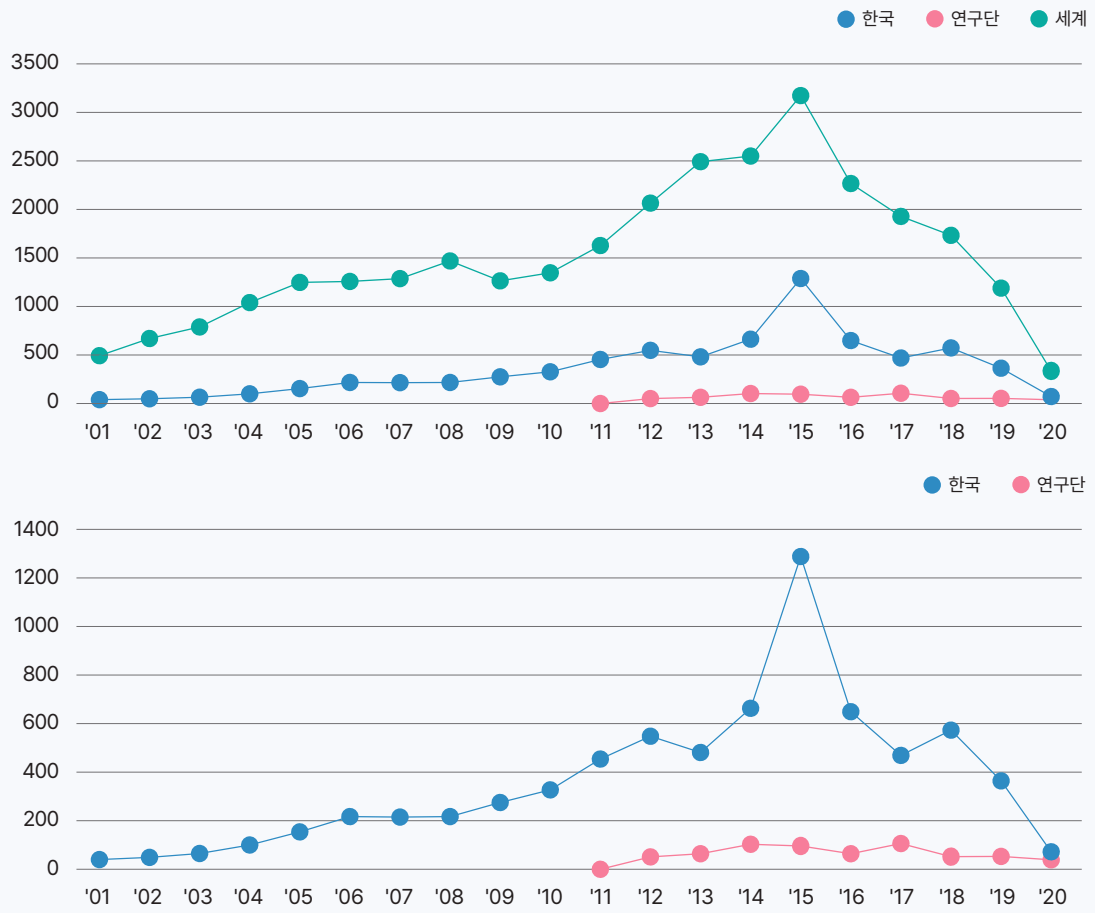


5) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용

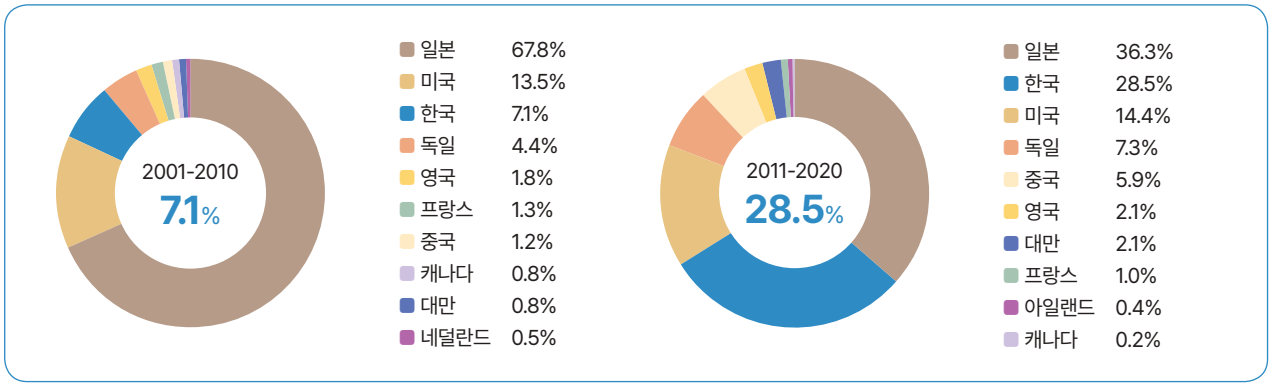
연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

나노기반소프트일렉트로닉스연구단의 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)의 연구단 중심 연구분야인 유연 전자기술[6]에 대한 특허를 중심으로 전 세계 특허 출원 건수를 검색한 결과, 해당 분야 세계 특허는 연구단 출범 이후 19,361건의 특허가 출원되었으며, 연구단 출범 이전 10,865건에 비해 약 1.78배 증가하였으며, 한국 특허는 1,659건에서 5,561건으로 3.35배 증가하였다. 사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 3.26%, 한국 대비 11.36%였고, 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전 15.27%에 비교하여 사업수행기간 동안 28.72%로 증가, 연구단 출범 이전과 이후 한국의 특허 출원이 3위에서 2위로 상승한 것으로 보아 연구단이 동 분야 연구개발에 기여한 것으로 분석된다.

연구단 사업수행 전후 특허 출원 증감 추이

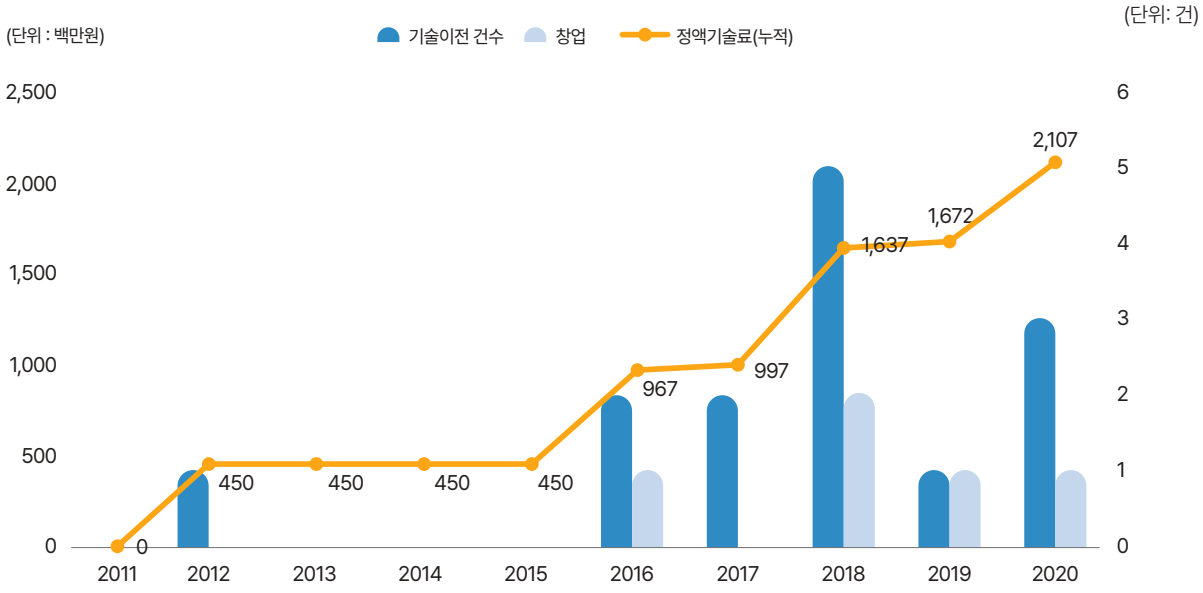


6) 유연전자 관련 주요 IPC를 기반으로, 유연전자 기술 선별
H01L-051/00 : 능동 부분으로서 유기 재료를 이용하거나 능동 부분으로서 유기 재료와 다른 재료와의 조합을 이용하는 고체 장치; 그들 장치 또는 그 부품의 제조 또는 처리에 특별히 적용되는 방법 또는 장치
C01B-031/04 : 흑연
H01L-051/05 : 정류, 증폭, 발진 또는 스위칭에 특별히 적용되며, 적어도 하나의 전위 장벽 또는 표면 장벽을 가지는 것; 적어도 하나의 전위 장벽 또는 표면 장벽을 가지는 캐패시터 또는 저항기
C01B-031/02 : 탄소의 제조
C08G-061/12 : 고분자의 주사슬에 탄소 이외의 원자를 포함하는 고분자 화합물
B82B-003/00 : 마찰발전기
H01B-005/14 : 개별 원자 또는 분자의 조작 또는 개별 단위로서 원자 또는 분자의 제한된 집합에 의한 나노 구조의 제조 또는 처리
H02N-001/04 : 절연지지체상에 도전층 또는 도전필름이 있는 것



(3) 기술이전 및 창업 실적

연구단은 연구기간 동안 총 14건, 정액기술료 2,106.7백만 원의 기술이전 성과를 도출하였고, 특히 사업화를 위한 기술 개발에 중점을 둔 3단계(2016~2020년)에 기술이전이 활발히 이루어진 것으로 나타났다. 총 5건의 창업 성과를 통해 연구단의 연구 기술이 실제 사업화로 이루어졌으며, 5개 기업 총 투자유치 약 17억 원 외 매출, 일자리 창출 등 사회경제적 성과 창출에 기여하였다.



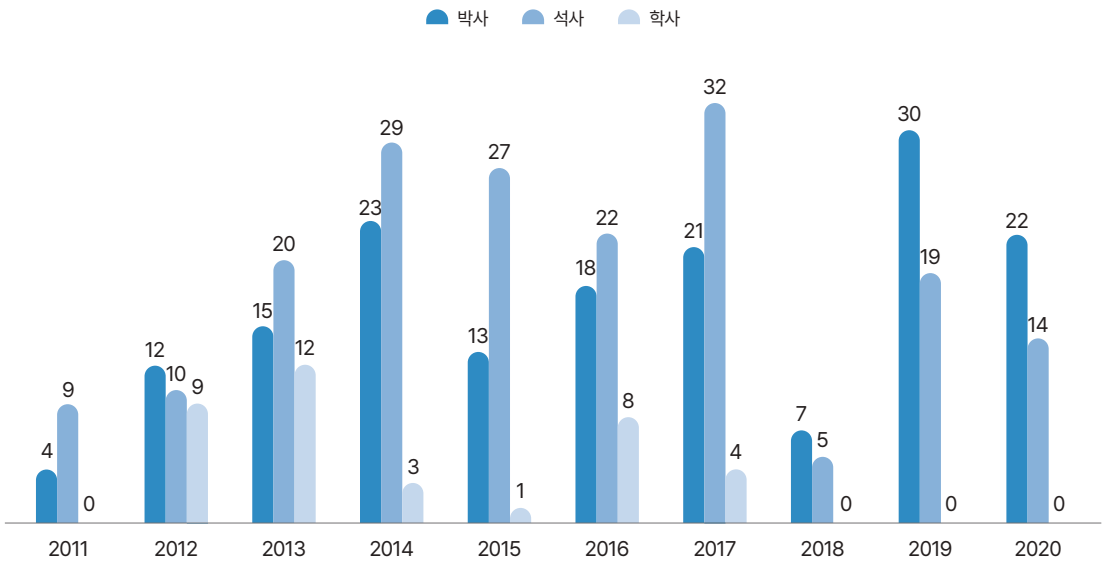
창업성과 상세현황

구분	기업명	창업일자	연구기관(책임자)	주요 사업(제품)	비고
연구자 창업	나노웨어러블	2016.01	POSTECH (노용영)	반도체성 SWCNT 분리기술 및 CNT 복합 반도체를 이용한 전자소자 제조기술	· 매출액 : 1.56억 원 · 투자유치 : 0.72억 원 · 고용창출 : 3명
	㈜디플랫	2018.04	성균관대 (이창구)	차세대 유연디스플레이용 2차원 반도체 소재 대면적 합성 및 전사기술	· 매출액 : 0.023억 원 · 투자유치 : 1.7억 원 · 고용창출 : 1명
	마이다스H&T	2018.05	POSTECH (정운룡)	욕창관리 서비스 개발 및 스마트 호스피탈 솔루션	· 매출액 : 0억 원 · 투자유치 : 13억 원 · 고용창출 : 13명
	넵튠	2019.09	POSTECH (정운룡)	장방형 유연 프린터블 압력센서 기반 교반탱크 모니터링 IoT 시스템	· 매출액 : 0억 원 · 투자유치 : 1.5억 원 · 고용창출 : 2명
	비케이켐	2020.10	성균관대 (임병권)	은 나노와이어, 금속 나노분말, 투명 분자 접착제	-
합계				**5건**	

(4) 인력양성

연구단은 전체 연구기간 동안 총 389명의 학위를 배출하였으며, 박사 165명, 석사 187명, 학사 37명이 지원을 받았다.

(단위: 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
고민감성 멀티모달 전자피부 기술	헬스케어 센서 시장	498.19
소프트 소자용 하이브리드 전극 소재 기술	투명 전극 시장	115.10
그래핀 제조 및 고기능화 기술	그래핀 시장	221.21
고신축성 전극 및 배선소재 기술	신축성 전도 소재 시장	122.39
유연 에너지 발전 소자 기술	유기 에너지 시장	213.74
유연 광전소자용 유기반도체 소재 기술	광전소자 시장	156.19
초박막 고분자 절연체 기술	유연 전자 소자	555.43
고감도 가스센서 기술	화학센서 시장	315.84
총액		**2,198.09**

연구단의 우수 연구성과 8건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, 산업통상자원부의 '기술가치평가 실무 가이드(2021년)'를 참조하였다. 나노기반소프트일렉트로닉스 연구단의 8건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 2,198.09억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

나노기반 소프트일렉트로닉스 연구단은 연구기간 동안 약 142건의 언론보도, 기획기사, 방송, 기술전시 컨퍼런스 등을 통해 연구단 성과에 대해 국민들에게 효과적으로 홍보하고자 하였다.

가. 언론보도

단계	1단계		2단계			3단계					합계
구분	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
횟수	3	10	15	18	15	12	8	19	19	23	142

보도자료(109건)

❶ 코리아헤럴드(2016.04.12)
❷ 전자신문(2016.12.16)

기획기사(11건)

❸ 동아일보(2019.07.05)







방송(22건)

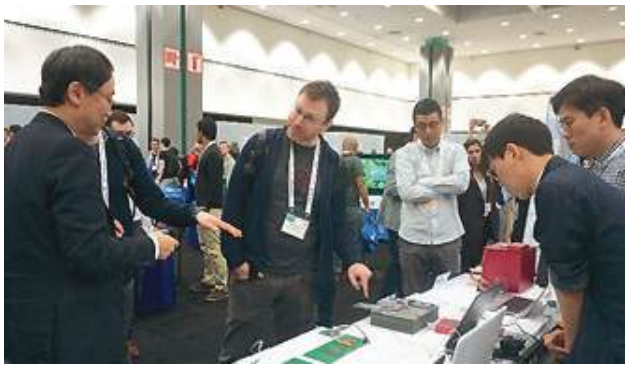
❶ YTN(2015.11.01), 냄새 맡는 '전자피부' 세계 첫 개발
❷ YTN(2015.11.01), 미세질감 및 소리 감지하는 '생체모사 전자피부' 개발
❸ YTN 사이언스(2017.09.22), 호두 향 나는 물질로고효율 태양전지 제작 성공
❹ TBC 뉴스(2019.07.01), 소음 속에서도 목소리 뚜렷이 인식하는 '성대 패치' 개발
❺ YTN 사이언스(2020.09.10), 200번 늘였다가 줄여도 끄떡 않는 배터리 제작 성공
❻ 포항 MBC(2020.11.20), 실제 피부처럼 '느낄 줄 아는' 전자피부 개발



나. 국내외 기술전시 컨퍼런스 참가

1. 2017 Tech-fair
2. SID2018(미국)
3. 2018 공동 tech-fair
4. 2019 사업화 유망기술 설명회
5. CES2019(미국)







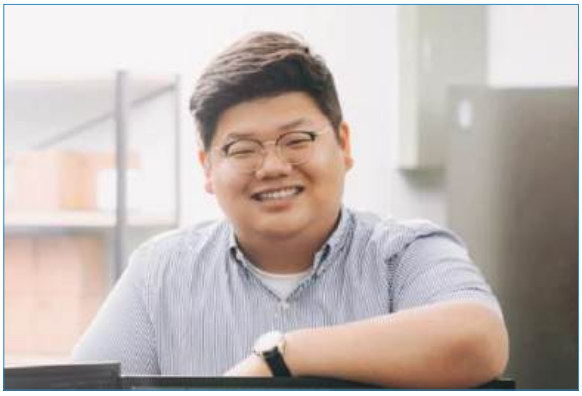




04 기술사업화 성공스토리

1. 장세윤 대표 인터뷰

- 기업명: (주)마이다스H&T
- 창업시기: 2018.04
- 도입기술명: 고분자 기반 연신성 인쇄 전극 배선 및 압력센서 시스템
- 도입시기: 2018.10/2019.11 (총 3건)



2018년 4월에 창업한 (주)마이다스H&T는 3건의 기술이전을 받아 대면적 압력센서 기반 헬스케어 시스템(욕창/영유아 돌연사/낙상 예방 등)과 인쇄전자 기반 웨어러블 시스템 등을 개발하였다. 성공적인 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 (주)마이다스H&T 장세윤 대표님을 만나 그 비결과 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 장세윤 대표님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

(주)마이다스H&T는 신소재 기반 헬스케어 전문 스타트업으로 포스텍 대학창업펀드 1호 투자기업입니다. 현재는 창업한 지 5년이 넘었으며 17명의 인원이 함께하고 있습니다. 스트레쳐블 전극을 프린팅 가능하게 하는 전도성 잉크 제조 기술을 기반으로 리얼 스마트 웨어러블, 전자 부품 압력센서 제조 기술을 개발하여 제품을 판매하고 있습니다.

Q2 연구에서 창업을 하시게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

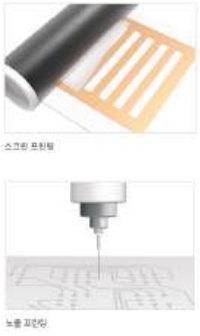
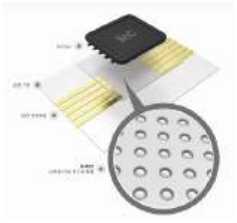
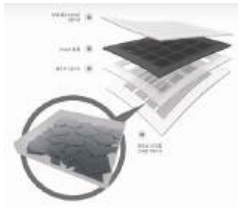
A2

제가 학부 마지막 학년인 2018년 4월에 회사를 설립하였습니다. 욕창으로 고생하셨던 할머니와 같은 환자분들을 도와드리고 싶어서 기술을 찾다가, 연신성 전극을 활용하여 침대용 센서를 만들면 도움이 많이 되겠다는 사실을 깨닫고 창업을 하였습니다. 연신성 전극으로 만든 압력센서를 사용하여 만든 욕창 예방·관리 매트를 환자들이 누워있는 침대에 놓으면 매트 속 압력 센서가 압력을 인지해 환자의 상태를 평가하고 관련 내용이 간호사실로 전달되는 방식으로 서울아산병원과 함께 임상 전 단계 실험 중입니다. 이 매트는 침대 위에 놓아도 이물감이 없고 내구성도 좋아서 크기를 줄이면 영유아 돌연사 방지 매트로도 이용할 수 있어 일본의 한 보육원에 15개가 공급되어 임상 전 실험에 들어갔습니다.

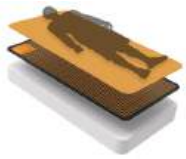
Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

실리콘과 은은 물과 기름처럼 반대되는 성질을 가지고 있어 쉽게 섞이지 않습니다. 이러한 성질을 이용하여 실리콘 고분자와 은의 조합으로 잉크를 만들어 신축성을 가진 압력센서를 개발하였습니다. 이 기술을 기반으로 필름 및 의류 등에 프린팅이 가능할 정도의 접착력을 높이고 100% 이상의 신축성과 안정적인 복원으로 내구성을 확보한 제품을 개발했습니다. 사업 초기에는 영유아 돌연사 증후군 방지를 위한 '베이비 모니터링 시스템', 욕창 방지 및 관리용 '모니터링 베드 시스템' 등의 제품에 집중했으며 현재는 압력 센서에 대한 니즈가 있던 골프를 비롯한 다양한 스포츠 및 피트니스 기업들과 협업을 통해 스포츠 산업으로 진출하여 제품을 출시하고 있습니다.

폴리머+판상형 은(Silver) 전극	금(Gold) 스퍼터링 전극	고분자 기반 신축성 ACF(SACF)	스트레처블 압력센서
높은 탄성력과 연신율을 갖는 전극 구조	금의 높은 전기 전도도와 미세 패턴 제작 기술 활용	신축성 이방 전도성 필름을 통한 유연기판과 반도체의 완벽한 접착과 전기적 연결	연신성 전극 배선을 이용한 간단 구조의 필름형 센서
			

<마이다스H&T 핵심기술>

SIDS(돌연사 증후군) 방지를 위한 베이비 모니터링 시스템	욕창 방지 및 관리용 모니터링 베드 시스템	스트레처블 전자 재료 프린팅 기반 On-Fabric 웨어러블 시스템	압력 센서를 활용한 골프 밸런스 시스템
			

<마이다스H&T 주요제품>

Q4 앞으로 회사가 나가고자 하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

가상현실(VR)을 다룬 영화 '레디 플레이어 원'을 보면 의류 자체가 진동 및 촉감 등 가상현실의 감각을 그대로 사용자에게 전달합니다. 영화에서 나온 기술을 구현하기 위한 프린팅 기술과 이를 통한 데이터 연결 시스템을 모두 다루는 기술을 보유한 기업은 현재 마이다스H&T 뿐입니다. 앞으로 마이다스H&T는 피트니스 시장뿐 아니라 VR·AR 시장까지 적용 가능하게 사업을 확장할 계획입니다.

Q5 기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

창업 시 기술을 신속하게 제품화하기 위해서는 연구실에서 기술을 개발한 후, 그 기술을 설립한 기업에 이전하여, 대학에서는 개념 연구를, 기업에서는 실용화 연구를 중심으로 역할을 나누는 것이 좋습니다. 또한 실험실에서 간과되었던 물질 선택의 중요성을 인식하고, 수많은 새로운 노하우를 축적해야만 개념 연구 결과로부터 제품화가 가능해집니다.

Q6 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 말씀해주세요.

A6

저의 스승이자 마이다스H&T CTO인 정운룡 교수님의 연구에 대한 글로벌프런티어사업 연구단의 지속적인 지원과 관심이 있었기에 마이다스H&T가 현재 이 자리에 있는 것 같습니다. 대학의 연구가 실용화 가능성까지 검증하는 연구가 될 수 있도록 기술 목표에 대한 관심과 꾸준한 연구비 지원이 이루어질 수 있는 정부 주도형 대형 R&D 사업이 지속되길 희망합니다.

2. 유희준 대표 인터뷰



- 기업명: ㈜그래핀올
- 도입기술명: 산화그래핀 제조방법
- 도입시기: 2018.05

㈜그래핀올은 한국화학연구원(KRICT)으로부터 산화그래핀 제조방법이라는 기술을 이전 받았다. 성공적인 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 ㈜그래핀올 유희준 대표를 만나 그 비결과 앞으로의 계획에 대해 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 대표님 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

저희 ㈜그래핀올은 화학적 박리 그래핀을 중심으로 다양한 형태의 탄소 나노 소재를 만드는 일과 고객사 맞춤형 그래핀 응용재 개발 사업을 진행하고 있습니다. 동탄에 있는 중앙연구소를 중심으로 플라스틱 복합체 사업과 기능성 코팅제 사업을 진행하고 있으며, 화성과 철원 사업장에서는 그래핀 원소재 생산, 대구 사업장에서는 그래핀 첨가 기능성 초경합금 사업을 집중적으로 진행하고 있습니다. 한국화학연구원, 한국과학기술연구원 등 국내 다수의 탄소 나노소재 연구개발 기관들과 협력하고 있으며 우리나라 소재부품 산업의 글로벌 경쟁력을 높이는 데 기여하고자 노력하고 있습니다.

Q2 기술이전을 하시게 된 계기와 그 추진 스토리에 대해 궁금합니다.

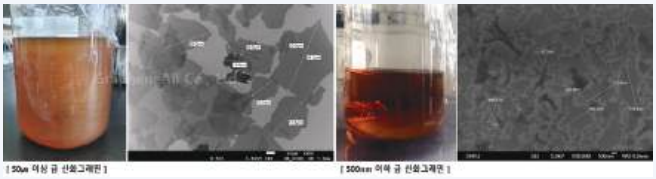
A2

저희는 사실 한국화학연구원과 과학기술정통부가 지원하는 나노소재원천기술개발사업에 함께 참여한 바 있습니다. 정부가 지원하는 연구개발 사업에서 화학연구원과의 공동연구를 통해, 저희는 산화그래핀 양산 품질 관리 기술과 제조원가 절감 기술을 확보할 수 있었습니다. 이번에 저희가 이전받은 특허 기술은 산화그래핀의 제조원가를 이전 대비 1/20 수준으로 낮출 수 있고 품질 균일화를 가능하게 하는 기술로 산업적으로 유용한 화학적 박리 그래핀을 안정적으로 양산할 수 있게 하는 중요한 기술 내용이라 할 수 있습니다.

Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

한국화학연구원과는 이후에도 지속적으로 연구 협력하고 있으며, 저희 사업의 중요한 기술적인 기반이 되고 있습니다. 실제 저희는 화학연구원과 산화그래핀 면의 크기를 제어하는 연구개발을 후속 연구로 수행하였으며, 현재는 일정한 품질의 연구개발용 고순도 면 크기별 산화그래핀 제품을 시장에 공급하는 일을 실현하였습니다. 기술이전을 통해 화학적 박리 생산 방식의 그래핀 생산에 있어 산업적 대량 생산의 한계를 극복하고 경제적이고 일관성 있는 고품질의 그래핀을 생산하여 공급하는 것이 가능해졌습니다.



<화학적 박리 생산 방식을 적용한 고품질 산화그래핀>



<(주)그래핀올에서 판매하는 그래핀 제품>

저희 스마트 스토어를 통해 누구나 쉽게 고품질의 산화그래핀을 구입하는 것이 가능하며, 또한 국내 소재부품 산업에 종사하는 연구 개발자분들에게 그래핀 응용 제품 개발에 관한 기술 상담을 제공하고 있습니다.

Q4 앞으로 회사가 나가고자 하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

국내 소재부품 시장의 성장과 발전을 위해 지속적으로 고품질 그래핀을 개발하고 공급하는 것이 우리 회사의 사명이라 생각합니다. 규격화된 일정한 품질의 원소재 공급 사업에서 더 나아가, 우리 회사는 고객의 사업 현장에 맞춘 중간재 형태로 그래핀을 한 단계 더 발전된 응용 제품 형태로 개발하는 "수요고객 맞춤형 응용 제품 사업"을 지속하고 있습니다. 이러한 사업을 통해 국내 소재부품 시장에 그래핀이 효율적으로 뿌리내리고 글로벌 시장에서 우리나라 소재부품산업의 경쟁력을 한 단계 높이는데 이바지하는 기업으로 성장하고 싶습니다. 현재 우리 회사는 그래핀 첨가 플라스틱 복합체 형태의 Master Batch 사업과 그래핀이 복합화된 기능성 합금 사업, 그리고 그래핀을 활용한 기능성 코팅제 공급 사업을 집중적으로 진행하고 있습니다. 이러한 사업들을 통해 그래핀올은 우리나라 소재부품 시장에 중요한 역할을 담당하는 기업으로 성장할 수 있을 것으로 기대됩니다.

Q5 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술이전에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견을 말씀해주세요.

A5

대형 R&D 사업과 같은 우리나라 정부가 선도적으로 지원하는 연구개발 투자가 없었더라면 세계적인 수준의 기술 확보가 불가능했을 것입니다. 정부의 국책사업은 산업적 유행에 따라 산업적 투자 자금이 집중되는 분야보다는 중장기적인 투자가 필요하여 단기간 수익 실현이 어렵지만, 우리 산업의 근간이 되는 중요한 분야에 투자되는 것이 옳다고 생각합니다. 정부가 진행하는 R&D 투자는 결국 내수 경제를 활성화하고 일자리를 창출하는 원동력이 되며, 산업을 활성화하고 정부의 세수를 높이는 결과로 이어집니다. 공적자금 형태의 정부 R&D 자금마저 단기간의 사업성과를 따지고 유행 산업에만 집중된다면, 소외된 산업과 기술 분야가 발생하게 되고, 지속성장 가능한 안정적인 산업 환경을 만들 수 없게 될 것입니다. 정부의 연구개발 자금은 우리나라 산업 전체의 균형을 맞추고 지속적인 성장이 가능하게 만든다는 목적으로 사용되는 것이 바람직하지 않을까 하는 생각입니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

지난 수십 년간 전자기기의 발달은 주로 실리콘 반도체를 비롯한 무기물 전자소재를 기반으로 빠른 동작 속도와 소형화, 대용량 등을 구현하기 위해 기술의 한계를 극복하는 것에 집중되어 왔다. 그러나 미래 전자 정보기술의 패러다임은 **단순한 기기의 성능 향상 이외에 사용자 편의, 착용감, 감성 및 주위 환경과의 자유로운 소통을 중시하는 인간 친화적인 기술을 지향점으로 나아가고 있다.**

소프트일렉트로닉스 기술은 소프트 나노소재를 이용하여 신축성과 형태 변형성이 극대화된 차세대 일렉트로닉스 기술로서 자유자재로 휘고 구부리고 늘어나는 형태의 변형을 통해 인간과 주변 환경에 자연스럽게 조화할 수 있는 새로운 패러다임의 혁신적인 IT 기술이다.

연구단은 **기존 실리콘 소재의 한계를 극복하고 새로운 소프트 나노소재 및 공정 개발과 이를 활용한 신개념의 소자 및 플랫폼 기술이 어우러진 융복합 원천기술을 개발**하였다. 앞으로도 이 원천기술을 바탕으로 융합 연구에 적극 매진하여 다음과 같은 목표를 달성하고자 한다.

연구단은 연구개발에 참여했던 우수 인력들을 중심으로 소프트일렉트로닉스 소재의 개발과 기능성 유연 소자의 실용화를 가치에 두고 있으며, IoT(Internet of Things) 기술을 선도하는 국내외 기업 및 연구진과 긴밀하게 협력하여 웨어러블 디바이스, 모바일 헬스케어, 플렉서블 디스플레이 등 연구개발을 지속적으로 수행할 계획이다. 이를 바탕으로 **소프트일렉트로닉스 개발을 위한 글로벌 연구거점으로 성장**하고자 한다.

또한 연구단이 보유한 다양한 인적/물적 연구 기반을 바탕으로 사업화 과정에서 발생하는 다양한 문제들에 대한 통합 솔루션을 제공할 수 있는 **오픈 이노베이션 센터를 구축**하여, 학계와 산업체의 중심에서 그 중간자로서의 역할을 수행해 나가고자 한다.

사업 종료 이후에도 기술사업화, 기업 공동연구, 장비 운용 등을 통해 수익을 확보하여 지속 가능한 연구센터를 구축할 계획이다. 연구센터로서의 기능을 다할 수 있도록 **센터 내 연구진들의 협업은 물론, 글로벌 파트너와의 지속적인 융합연구 및 교류를 지원**함으로서 고부가가치 비즈니스 모델을 창출하고, 글로벌융합연구의 중심허브 역할을 할 계획이다.

나노기반소프트일렉트로닉스연구단
연구단장 **조길원**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 인간 친화형 소프트일렉트로닉스를 구현하는데 필요한 핵심 원천기술을 확보하고, 소프트일렉트로닉스 기술의 새로운 패러다임을 제시하였다. 이러한 유기적 융합 연구의 노하우를 바탕으로 세계적인 연구거점으로서의 성장을 계획하고 있다.

후속 연구과제와 연계 심화 연구 추진

첫째로, 최근 유연 플랫폼 기반의 피부 부착형 전자피부(Electronic-Skin, E-Skin)에 대한 관심이 증가하고 있다. 이러한 글로벌 시장 흐름에 발맞추어 연구단에서는 **소프트 나노소재 기반의 "Flexible E-Skin" 개발을 목표로 장기적이고 집중적인 연구를 추진**하고자 한다. 이를 위해 연구단에서 보유한 국내외 특허를 바탕으로 신축성 센서 및 플랫폼 소자 개발을 계획하고 있으며, Flexible E-Skin 소자의 생체친화성, 유연화 연구를 중심으로 연구 및 특허 전략을 수립할 계획이다.

둘째로, 인구 고령화 현상이 심각해짐에 따라 원격의료를 위한 모바일 헬스케어용 소프트일렉트로닉스 산업에 대한 관심이 확대되고 있다. 이에 연구단에서는 **소프트일렉트로닉스 기반의 "스마트 헬스케어를 위한 생체융합 전자시스템" 개발을 목표로 연구를 진행**하고자 한다. 연구단에서 보유한 원천기술을 바탕으로 다기능 집적 의료 소자를 개발하고 있으며, 소자의 성능검증 실험을 계획 중에 있다.

셋째로, 모마일/웨어러블 기기의 사용이 증가함에 따라 휴대용 플랫폼에 적합한 전원장치 개발 수요가 급속도로 증가하고 있다. 따라서 연구단에서는 태양광, 압력, 열로부터 에너지를 수확함으로써 에너지 효율을 향상시킬 수 있는 **소프트일렉트로닉스 기반의 "에너지 하베스팅"기술을 개발**하고자 한다. 태양광, 압력, 체열 등의 에너지들을 전기에너지로 변환하는 압전, 열전과 같은 자기발전 웨어러블 디바이스 연구를 추진할 예정이며, 더불어 유기 태양전지 기술을 활용하여 빌딩에 부착시켜 면적 소비 없이 효율적으로 에너지를 생산하는 연구를 진행할 계획이다.

나. 앞으로의 계획

기술표준화 환경 조성 및 추진

국내 기업의 보유기술을 기반으로 제품에 유리한 기술표준화 환경을 조성하기 위해 한국 주도의 기술 표준화 활동을 할 계획이다. 이를 위해 한국표준협회의 주관으로 추진되는 웨어러블 기기의 국제 기술표준화에 적합한 기반 기술을 제시하고자 한다.

오픈이노베이션 센터 구축

연구단이 보유한 글로벌 전문가 네트워크를 기반으로, 기술을 사업화하는 과정에서 발생하는 다양한 문제에 대한 통합 솔루션을 제공하고 성능을 평가해줌으로써 창업자와 기술자가 협의할 수 있는 오픈이노베이션 센터를 구축하고자 한다.

글로벌 연구거점 확보

웨어러블 소자 기술은 바이오-헬스 모니터링 센서 및 치료와 접목되는 기술로, 기업, 병원, 연구집단 및 정부가 공동으로 참여해야만 효율적인 사업화가 가능하다. 바이오-메디컬 분야의 국제 석학들의 자문을 통해 원천기술 확보 전략을 제시할 수 있는 국제적 연구거점으로 성장하고자 한다. 사업화를 위해 연구개발 단계부터 정부 정책을 논의 후 진행할 계획이다.

글로벌 네트워크 기반의 새로운 R&BD 모델 개발

건강한 삶, 안전한 삶, 편리한 삶을 추구하기 위해 소프트일렉트로닉스 기술의 중요성이 점차 부각되고 있다. 연구단은 앞으로도 공익적인 사업을 지속적으로 추진하는 동시에, 다양한 연구기관 및 산업계와의 협력을 통해 민간에도 기여할 수 있는 글로벌 네트워크 기반의 새로운 R&BD 모델을 개발하고 정립할 수 있도록 노력할 것이다.



RESEARCH
GROUP

06
다차원스마트IT융합시스템 연구단

Center for Integrated Smart Sensors

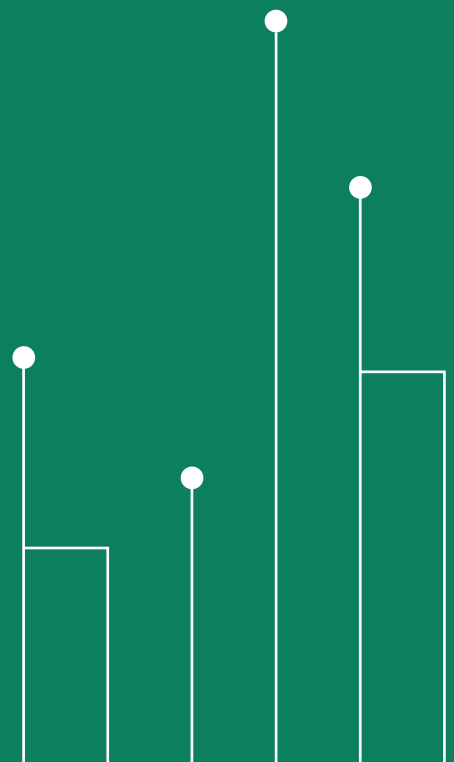
01 연구단 9년사 260

02 사업목표 267

03 연구성과 269

04 기술사업화 성공스토리 287

05 미래제언 293



대표 연구성과별 파이프라인

2011 — 2012 — 2013 — 2014 — 2015 — 2016

스마트 01
(두뇌 광자극 디바이스)

스마트 02
(광시야 3D 카메라)

(2016.05)

컬러 나이트 비전
특허 1건

스마트 03
(뇌파기반 치매 진단)

스마트 04
(고해상도 뇌영상 장비)

(2013.06) (2014.10) (2015.07) (2016.02)

OBELAB

광분광학 시스템
특허 1건

광분광학 시스템
기술이전 1건

SOLID STATE CIRCUITS

Time-divided spread-spectrum code-based 400fW-detectable multichannel fNIRS IC for portable functional brain imaging

스마트 05
(다중 무선충전)

(2016.01)

WARP solution
Wireless recharge & RF Power

스마트 06
(개조형 전기차 KIT)

(2013.10) (2016.06)

에너지 공급회로
특허 1건

EMVCON

스마트 07
(플라스틱 웨이브가이드)

(2013.10) (2015.11) (2016.06)

고속 유선 인터페이스 등
특허 2건

SCIENTIFIC REPORTS

Plastic straw:future of high-speed signaling

POINT 2

스마트 08
(구조물 모니터링센서)

다차원스마트IT융합시스템연구단

2017 — 2018 — 2019 — 2020 — ~ 2023

(2018.11)
BRAIN GEAR Live a better life

(2019.05)
SCIENTIFIC REPORTS 논문발표

(2020.12)
뇌파 측정 기기 특허 1건

(2021)
투자유치 21억 원

(2017.11)
영상 스티칭 특허 1건

(2019.04)
360도 영상 특허 1건

(2020.01)
ARGOS VISION SPATIAL VISION SOLUTIONS

(2021)
투자유치 3억 원

(2019.02)
뇌파 측정 장치 특허 1건

(2020.01)
Megnosis

(2022)
CES 2022 참가

(2023)
제품 판매 및 수출

(2017.04)
무선 충전 시스템 등 특허 2건

(2020)
ICT 규제 샌드박스 지정

(2021)
누적 투자유치 41억 원

(2018.02)
배터리팩 냉각 구조 등 특허 2건

누적 투자유치 23억 원

(2017.04)
칩-칩 인터페이스 기술이전 1건

(2018.12)
투자유치 20억 원

(2019.11)
투자유치 35억 원

누적 투자유치 278억 원

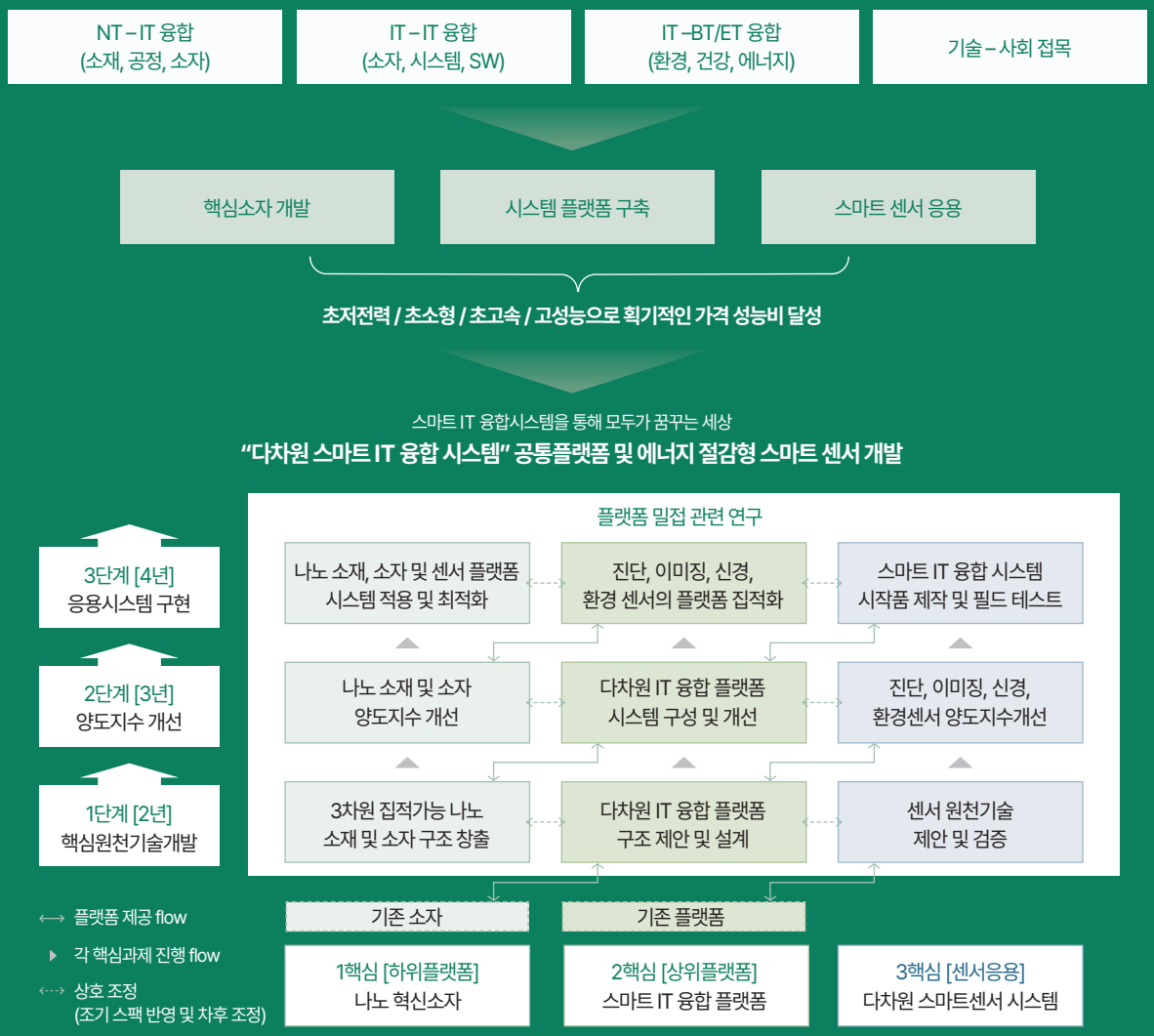
(2017.06)
AIP Applied Physics Letters
Accelerated damage visualization using binary search with fixed pitch-catch distance laser ultrasonic scanning

(2018.05)
발명의날 근정포상

(2019.11)
Ultrasonic wireless sensor development for online fatigue crack detection and failure warning

구조물 진단 기술이전 1건

한눈으로 보는 다차원스마트IT융합시스템연구단 9년



정량적 연구성과

(단위 : 건, 명, 백만원)

구분	논문건수			특허					
	SCI	비SCI	계	출원			등록		
				국내	국외	계	국내	국외	계
합계	828	56	884	595	285	880	330	71	401

구분	학위배출				국제협력		기술사업화		
	박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전		창업
							건수	기술료(백만원)	
합계	191	417	42	650	49	139	49	3393.427	35

핵심과제별 기술 창업 실적 및 성과

Core Project 1
나노 혁신소자 기술

Core Project 2
스마트 IT 융합 플랫폼

Core Project 3
다차원 스마트센서 시스템

2013

(주)오비이랩

2014

(주)포인투테크놀로지

(주)스몰머신즈

(주)듀얼어퍼처인터내셔널

2015

피에스에스(주)

(주)칼리온

(주)와이젯

(주)듀얼리티

2016

(주)이엠브이

(주)워프솔루션

(주)키센스

(주)루프트센스

(주)브이픽스메디칼

(주)프로닉스

2017

(주)브이아이소프트

(주)아이리스

(주)오펠솔루션

(주)쉐마

2018

(주)파인나노

(주)셀라바이오텍

(주)브레인기어

(주)피코파운드리

(주)소리케어

(주)엠시스랩

2019

(주)올케어러블

(주)무티

(주)유벤처파트너스

2020

(주)메그노시스

(주)아고스비전

(주)피티씨

(주)덱셀리온

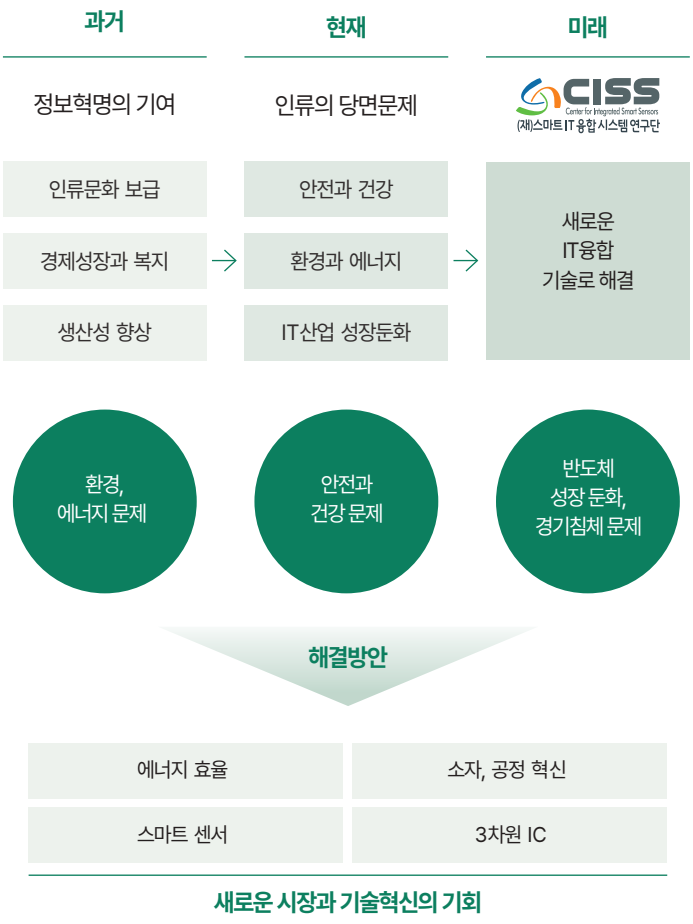
누적 창업	35社
투자 유치	약 440억원
누적 매출	약 171억원
총 기업 가치	약 4,000억원

01 연구단 9년사

1. 설립배경

현재 인류는 전 지구적으로 대형구조물의 붕괴, 방사능 누출 등의 안전사고뿐만 아니라, 전염병과 난치병, 자연재해, 환경파괴와 에너지 고갈의 위협 등 여러 심각한 문제에 당면해있다. 이는 인류가 편리하고 풍요로운 삶을 지속하기 위해 반드시 풀어야할 최대 과제이며, 연구단은 '다차원 스마트 IT 융합시스템[1]' 개발을 통해 인류가 현재 당면한 여러 과제들을 해결하는 데에 기여하고자 하였다.

정보혁명 시대 이후 인류의 당면 문제와 다차원스마트IT융합시스템연구단의 해결 방향



1) 소재, 공정, 소자, 회로, 다차원 IC, 디지털 플랫폼, 소프트웨어, 네트워크 등을 망라한 다차원기술 공간에서 의료/진단기기, 차량, 로봇, 센서 네트워크 등 다양한 응용 영역에 최적 성능으로 설계된 IT-BT-NT 융합시스템

가. 기술적 측면

20세기 후반 IT 산업의 지속적인 발전의 근본 요소 중 하나는 고성능화 및 소형화였으며, 이후 인터넷 및 이동통신 산업의 발전과 함께 소비자들은 언제, 어디서나, 고속으로, 대용량의 다양한 정보 서비스를 제공받을 수 있는 기술을 요구하게 되었다. 그러나 점점 소형화 한계에 근접함에 따라 성장이 정체되고 정보량 폭증에 따른 에너지 소비량의 급격한 증가로 기존 IT 산업의 패러다임을 뛰어넘는 총체적이고 다차원적인 Break-through가 필요하게 되었다. 이에 IT 기술을 자동차, 기계/로봇, 센서, 의료/진단기기 등 다양한 산업에 내재화하여, 신산업 창출, 생산성 향상, 제품에의 새로운 기능 부가 등 다양한 응용 영역 연구를 통한 IT 융합기술 개발이 시작되었다. 연구단은 바이오헬스, 모바일, 환경, 자동차, 의료 등 핵심 응용분야 전반에 걸쳐 성능을 혁신시킬 수 있는 핵심소자 창출과 함께 이를 탑재할 수 있는 '다차원 스마트 IT 융합 시스템' 공통 플랫폼을 개발하고 이를 기반으로 IT-BT-NT 융합을 통한 최적의 시스템을 구축하고자 하였다. IT 발전을 선도할 시스템 요소기술의 선도적 연구를 통해 글로벌 선도그룹의 위상을 구축하고, 선진국 연구기관과의 협력을 통해 국제적 기술 경쟁력을 확보하고 국제적 R&D 허브로 발돋움할 것으로 기대된다.

나. 경제적·산업적 측면

IT는 이미 IT산업을 넘어서 모든 분야에 혁신을 이루는 바탕이 되고 있다고 해도 과언이 아니다. 이에 따라 세계 각국은 IT융합기술 개발을 미래를 위한 주요 과제로 인식하고, 기존의 전통산업에 IT 기술을 접목시킴으로써 생산, 고용, 부가가치 창출이 가능한 산업으로 개척하고 있다. 연구단이 타겟으로 하는 센서를 기반으로 한 플랫폼 및 시스템 연구 역시 타 산업과의 융합이 가장 중요하며, 이미지센서, 압력센서, 바이오센서 등 다양한 센서 관련 시장규모의 성장과 사물인터넷의 상용보급 등의 산업화 동향은 연구단의 연구개발흐름과 잘 부합하여 경제적 측면으로도 파급효과가 클 것으로 기대되었다. 또한 IT, NT, BT에 걸친 다양한 응용분야의 한계를 극복하는 혁신적인 성능들을 성취해냄으로써 새로운 기술시대로 진입과 이들 기술의 융·복합을 통한 다양한 산업들이 지속적으로 성장을 이룰 수 있다. 특히 공용성이 큰 스마트 IT 융합 플랫폼 기술은 IT, 반도체, 정보기기, 자동차, 의료, 로봇, 건설, 환경, 교육, 문화에 이르는 산업 전반에 걸쳐 적용, 다양한 산업으로 확산될 수 있어 중장기적 파급효과가 매우 클 것으로 기대된다.

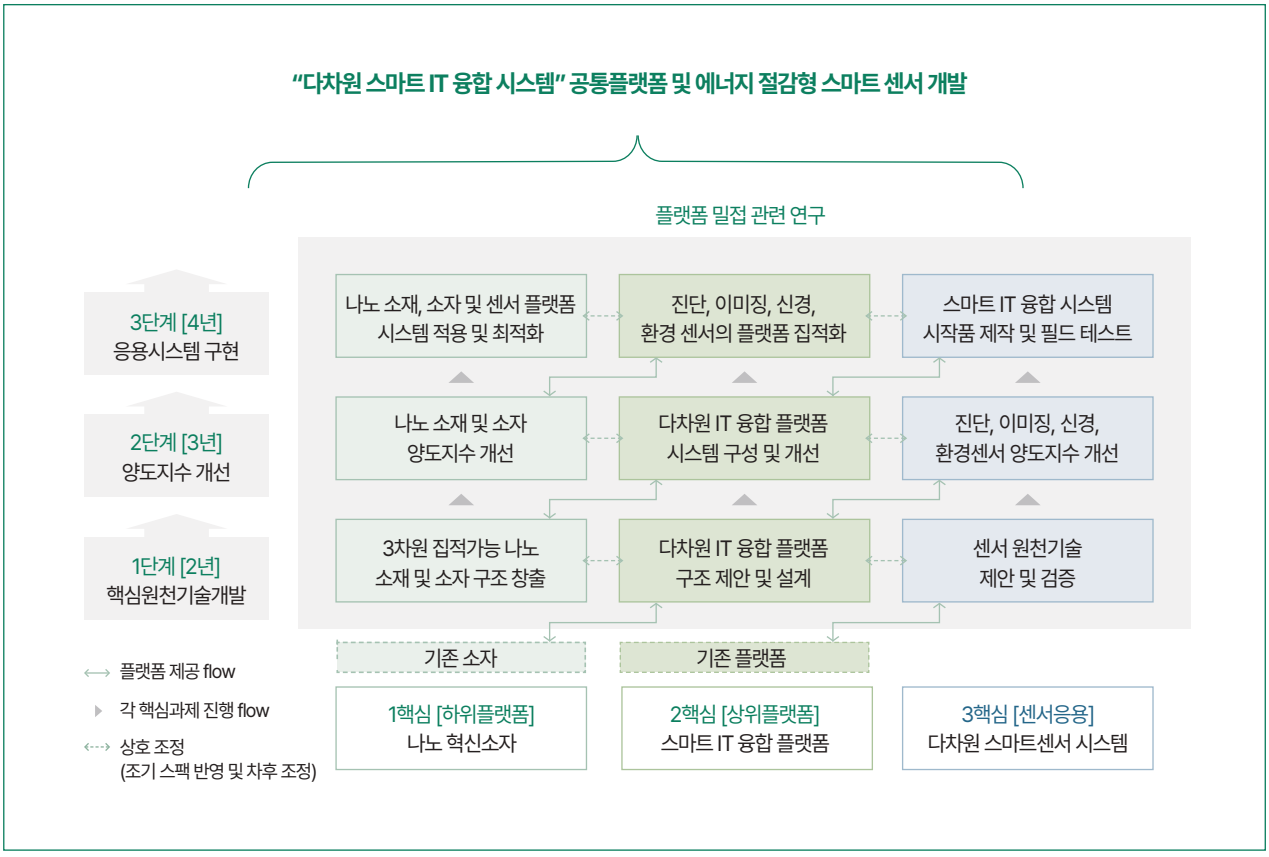
다. 사회적 측면

IT 기술에서 소형화, 고성능화의 성장이 정체되기 시작한 2010년 이후, 선진 주요국은 자연재해부터 에너지 고갈 등 인류가 당면한 전 지구적 미래 공동과제를 극복하고, 신 성장동력의 창출과 사회전반의 효율성 등을 강화하기 위해 IT 기술을 국가핵심 전략으로 설정하였다. 즉, 정보기술과 제반기술의 융·복합 연구는 국가적인 사활을 걸고 있는 바, 선진국과 경쟁할 수 있는 연구가 필요하였다. 연구단은 초저전력 고성능 정보 소자와 IT 기반의 시스템 플랫폼 구현이 인류에 편리하고 안전한 세상을 열어줄 것으로 판단하였으며, 인류의 미래 이슈로 이어질 여러 사회적 문제 해결의 핵심 기술을 제공함으로써 지속적인 성장과 확산의 효과를 얻고자 하였다. IT 산업의 지속적인 경쟁력 확보는 물론, 의료/진단기기, 차량, 카메라, 센서 네트워크를 통한 사회 안전망 구축, 에너지/환경 문제의 해결책 제공 및 그린 IT 구현을 통해 지속적인 국가 산업동력의 기반을 마련하고자 하였다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진체계 및 전략

다차원스마트IT융합시스템연구단은 "다차원 스마트 IT 융합 시스템" 공통 플랫폼 및 에너지 절감형 스마트센서 개발을 목표로 1단계에서 나노 혁신 소자 하위 플랫폼 핵심 원천기술을 확보하고, 2단계에서 스마트 IT 융합 플랫폼 개발을 통해 바이오헬스, 신경, 환경, 스마트 카메라 센서의 양도지수 개선, 3단계에서 다차원 스마트 센서로써 다양한 분야에 응용할 수 있는 시스템을 구현하고자 하였다. 또한 글로벌프런티어 4G 사업철학에 따라 세계적인 수준의 연구 역량을 지닌 국내 최고 전문가를 연구단 각 핵심 분야의 연구 책임자로 선정하였으며, 창의형·혁신형 연구, 다양한 분야 간 융합형 연구에 대한 지원을 강화하였다.



나. 운영관리 체계

연구단은 연구단장을 중심으로, 연구단 직무발명과 기술사업화에 관련한 중요사항을 심의하는 기술사업화위원회, 지식재산권위원회 및 연구행정본부 사업화지원팀을 두어, 연구단의 IP-R&D 기획 및 전략 수립, 창업 등 기술사업화 초기 지원 및 관리를 체계적으로 하고자 하였으며, 연구행정본부 외 기획(운영)위원회를 두어 연구사업의 행정지원에서 사업 및 성과 관리 지원 뿐 아니라 사업추진에 관한 사항을 심의하여 연구단을 보다 효율적으로 운영하였다. 또한, 공정성과 전문성이 확보된 산·학·연 국내 최고 전문가로 자체평가위원을 구성하여 책임평가제를 실시하였으며, 이를 통해 연구 성과의 극대화를 기하고자 하였다

3. 사업추진현황

가. 연구개발비 투입 현황

연구비는 과학기술정보통신부(구.미래창조과학부)가 지원하였고, 총 연구비 약 805억 원이 지원되었다.

(단위: 백만원)

연도	연구개발비			총계
	정부(과기부)	민간		
		현금	현물	
2011	4,700	-	-	4,700
2012	10,000	-	-	10,000
2013	10,000	-	-	10,000
2014	10,000	-	-	10,000
2015	8,330	-	-	8,330
2016	8,330	-	-	8,330
2017	8,197.3	-	-	8,197.3
2018	7,534.1	-	-	7,534.1
2019	7,888.1	-	-	7,888.1
2020	5,509	-	-	5,509
합계	**80,488.5**	**-**	**-**	**80,488.5**

나. 참여기관 현황

연구기간동안 연구단과 협약한 참여기관은 총 128개의 세부기관과 54개의 위탁기관이 있으며, 1단계 28개, 2단계 61개, 3단계 93개로 단계가 진행될수록 많은 기관의 참여로 연구가 활발히 이루어졌다.

(단위: 명)

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	13	7	20
	위탁	-	8	-	8
	합계	**-**	**21**	**7**	**28**
2단계	세부	-	42	12	54
	위탁	-	7	-	7
	합계	**-**	**49**	**12**	**61**
3단계	세부	-	47	7	54
	위탁	-	29	10	39
	합계	**-**	**76**	**17**	**93**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 3,964명으로 학계의 연구인력이 총 3,686명, 전체 93% 수준으로 참여도가 가장 높았다.

산학연 구분

(단위: 명)

구분	1단계	2단계	3단계	합계
산업계	-	10	19	29
학계	664	1,440	1,582	3,686
연구계	7	117	125	249
계	**671**	**1,567**	**1,726**	**3,964**

학위별 구분

(단위: 명)

구분	1단계	2단계	3단계	합계
박사	120	344	348	812
석사	238	512	730	1,480
학사	290	661	617	1,568
기타	23	50	31	104
계	**671**	**1,567**	**1,726**	**3,964**

4. 사업 및 성과 관리

가. 연구관리

연구 과제 기획

연구단은 연구단장 및 세부과제책임자로 구성되는 연구 기획위원회를 운영하여, 「다차원 스마트 IT 융합시스템 연구」 계획을 수립하였다. 글로벌 트렌드 및 국내 현황 기술, 정책 동향을 파악하여 미래 수요를 반영하고, 연구단 SWOT 분석을 통한 추진 전략 설정, 중점 세부기술도출 및 기술로드맵 수립, 연구과제 간 공동협력 연계방안에 대한 자문과 논의 등을 통해 과제를 기획하였으며, 연구 성과목표 및 관리목표를 재정립하여 최종 목표를 확정하였다.

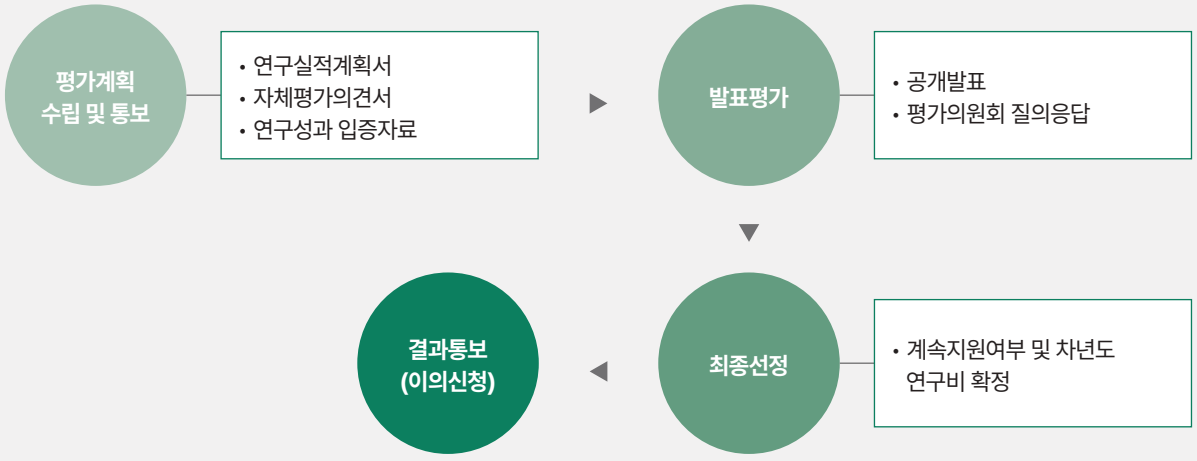
연구과제 기획 전략

1. **기술/시장/정책 환경분석**
   글로벌 트랜드 및 국내 현황 분석
2. **2단계 성과분석**
   논문/특허 실적평가
3. **기술예측**
   메가트랜드 분석
4. **논문 특허분석**
   논문/특허분석 IP창출전략제시
5. **SWOT 분석**
   자체 R&D 모델 제시, 연구방향 선정
6. **3단계 목표수립**
   유사 중복 연구 검토, 중점 세부 기술 도출, 세부연구성과 목표수립 및 관리지표 설정
7. **기술 로드맵**
   기술트리 및 기술로드맵 수립

연구 과제 평가

연구단은 전년도 연구실적과 연구계획에 대한 점검 및 자체평가를 실시하여 차년도 연구 수행을 지원하고 연구 성과 극대화를 기하고자, 세부과제 단위로 전년도 연구 목표 달성도, 결과의 우수성, 사업화 및 활용성 등을 고려하여 실적과 차년도 연구 개발 목표 및 방법의 타당성, 사업화 활용 가능성 등을 고려하여 평가하였다.

연차 및 단계평가 절차



연구 과제 관리

연구단은 연구 책임자 워크숍, 기술사업화 대상 워크숍 등을 정기적으로 개최하여 모니터링을 통해 문제점을 보완하여 연구단 전체 목표달성을 위한 세부과제 역할 및 기능을 강화하였다. 또한, 상호 협력 연구 연계방향을 제시하였으며, 세부과제 간 연계를 강화하였다. 핵심과제와 핵심기술을 세분하고 MECE[2]와 SMART[3]원칙에 의거, 연구 성과목표 및 지표 설정, 성과목표 지표 관리를 위한 체계와 시스템을 마련하였다. 또한 연구단 연구성과 기업설명회를 매년 개최하여 연구성과 홍보 및 기업과의 교류 확대를 통해 기술이전 및 사업화 기회를 가짐과 동시에 기업 참여를 유도하였으며, 주요 기업과 MOU 및 NDA 체결을 통해 실용화 기술개발을 위한 연구를 수행하였다. 연구단은 이를 통해 국내 IT 연구 산·학·연 협력 체계를 주도하고자 하였다.

나. 성과관리

다차원스마트IT융합시스템연구단은 성과창출, 성과활용, 성과확산 전략을 각각 수립하여 연구단의 우수한 연구 성과를 통한 핵심 플랫폼 기술 확보, 기술 분야 경쟁력 확보, R&D 성과확산을 위한 기술사업화 성과를 창출하고자 하였다.

성과창출 전략 : 글로벌 가치 창조를 위한 해결능력 및 핵심 플랫폼 확보

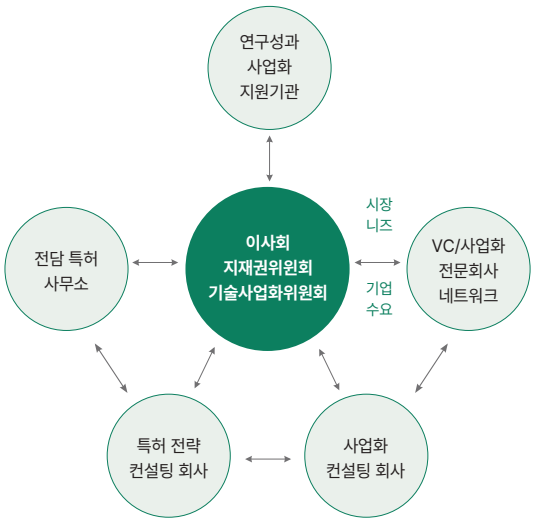
연구단은 R&D 기획 단계에서부터 해당 연구 분야의 미래예측과 기술 센싱을 강화하여 이를 기반으로 전략 분야를 선정, 집중 투자하였다. 사업화 조기 실현 과제와 미래 대비 Seed 기술 창출 과제로 구분, 사업화 및 연구개발 전략의 정합성을 제고하는 동시에 원천기술 확보를 위한 연구 활동을 활성화하였다. 또한 R&D 포트폴리오 관리 및 사업-기술개발 연계 프로세스를 통해 R&D 사업화 프로세스를 고도화하였으며, 내부 R&D시너지 제고와 다양한 Open Innovation 제도를 발굴하는 등 외부자원 활용을 극대화하여 연구기간 단축, 투자 리스크 및 비용 절감을 추구하였다.

성과활용 전략 : 기술 분야 주도, 시장 선점 가능한 '경쟁력있는 IP창출' 프로세스 구축

IP-R&D 연계 전략을 통한 경쟁력 있는 IP 창출, 즉 기술의 단기 또는 장기적 활용 가능성 확보를 위해 기술자산(특허, 표준화 등) 확보를 위해 시장, 비즈니스 모델 및 기술이 연계된 TBRM(Technology Business RoadMap)을 활용하였으며, 핵심 특허와 이의 대안이 될 수 있는 주변특허를 취득하거나, 국제적으로 활용 가능한 전략특허(특허 분쟁이 잦은 미국, 중국에 대한 출원 강화) 취득을 위해 중점적으로 자원을 투입 하였다.

더불어 연구단 전체의 운영과 기술 측면을 고려하여 전략적 IP 창출 전략 및 실행 체계를 제시할 수 있는 지재권위원회를 운영하였으며, 특허출원/유지/활용 선별 기능을 강화하기 위한 특허평가 시스템, 사업화까지의 전주기 통합 지원·관리를 통한 사업화 체계 고도화를 위한 지식재산운영체계를 구축하였다.

연구단 지재권 활용 협력 체계



2) MECE(Mutually Exclusive Collectively Exhausitive) 연구단 최종목표를 달성하기 위해 핵심과제/세부과제 수준에서의 개별 기술개발 성과 목표 간의 개념상 중복이 없게, 각 세부과제 연구 성과목표를 달성함으로서 개별과제의 목표가 합해져서 연구단의 목표를 달성할 수 있도록 설정

3) SMART(Specific/Measurable/Attainable/Realistic/Timely) 연구단의 최종목표를 달성하기 위해 내용을 명확하고 구체적으로, 측정가능하며 달성 가능할 수 있도록 구성

성과확산 전략 : R&D 성과확산을 위한 기술사업화 플랫폼 구축

연구단은 기술사업화 촉진을 위한 다양한 지원 체계를 구축하였는데, 1)연구단과 기업 간의 협력 시스템 구축을 통한 R&D결과물에 대한 체계적 홍보, 2)연구단과 기술사업화 유관기관과의 협력 시스템 구축을 통한 기술사업화 성공 가능성 제고, 3)R&D 전주기 과정에서 사업화 전 과정가까지의 연구단 및 관련 기관의 공동지원 강화, 4)연구단 내부 기술사업화위원회를 통한 기술사업화 전략 및 지원 체계 구축하였다. 이로부터 창출된 기술사업화 성과는 연구단 R&D에 재투자함으로써 지속 가능한 기술사업화 선순환 시스템을 구축하였다. 또한 창업기업의 경우, 인력, 상용화 추가개발 기술 지원 등의 니즈를 반영하여 이에 대한 지원을 강화하였으며, 외부기관과의 유기적 협력을 통해 강소기업으로 도약하는데 필요한 선순환 시스템을 구축하였다.

다. 글로벌 선도연구 거점 구축

IT 기술 분야 기술혁신 전략의 패러다임 전환에 따른 원천기술 창출 기반 및 글로벌 연구거점으로서의 위상 확보를 위한 연구 네트워크 구축 및 환경을 조성하고자 하였다. 사업화 수익과 R&D 재투자를 통한 자립화를 달성하기 위해 인적네트워크 기반의 공동연구를 통해 국제적인 연구역량 확보, 워크숍 개최 등 주기적인 교류활동 및 성과를 확보하고자 하였으며, 연구자들에게는 지리적 극복할 수 있는 연구 환경을 제공하였다.

특히 연구단은 나노 혁신소자 기술, 스마트 IT 융합플랫폼 기술, 다차원 스마트 센서 시스템 기술을 주요 연구분야로 하여 IT 발전을 선두할 혁신적인 소자, 회로, 센서와 알고리즘 및 시스템 요소기술을 집적한 '다차원 스마트 IT 융합 시스템' 공통플랫폼을 개발하고, 이를 기반으로 다수의 에너지 절감형 고성능 센서를 창출, 스마트 IT 융합 연구 및 COST 센터로서의 세계 톱 시스템을 구축하였다.

또한 세계적 수준의 연구거점을 위한 국제협력 체계를 구축하고, 세계적인 연구센터 및 연구그룹과 공동연구 체계를 구축하여 인력, 기술교류, MOU 체결 등 산업화 확산에 주도적인 역할을 하였으며, 벤처, 투자자 및 정부 네트워크 등 다양한 파트너와의 협력을 통한 자원을 확보하고, 이를 기반으로 개방형 연구시스템을 구축하여 글로벌 선도연구거점 센터를 구축하였다.

글로벌 연구거점에 대한 비전 및 목표

비전

국제적인 연구 네트워크와 지속적인 R&D로 혁신적인 원천기술을 확보하고 창조경제 달성을 위한 신산업을 창출하여 국가발전을 위한 기술혁신의 중추적인 역할을 선도

목표

- 연구성과-사업화 순환 체계 구축
- 2020년 연구단 자립화 달성

추진방안

1단계	2단계	3단계
국제적인 연구역량 확보 (R&D IP 수행)	글로벌 연구거점체계 구축 및 기술사업화 연계 (수요기업 발굴, 시장 확보)	신산업 창출 및 R&D 재투자 순환체계 구축 (자립화 달성)
• 연구거점을 위한 국제협력 네트워크 확보 • R&D IP 체계 구축 • 기술사업화 지원 체계	• 핵심원천기술 확보 • 기술-시장(산업) 연계 R&BD 확대 • 국내외 기술사업화 협력 체계 구축	• 기술사업화를 위한 창업 및 자금확보 (투자유치) 체계화 • R&D 재투자 체계화

02 사업목표

1. 최종목표

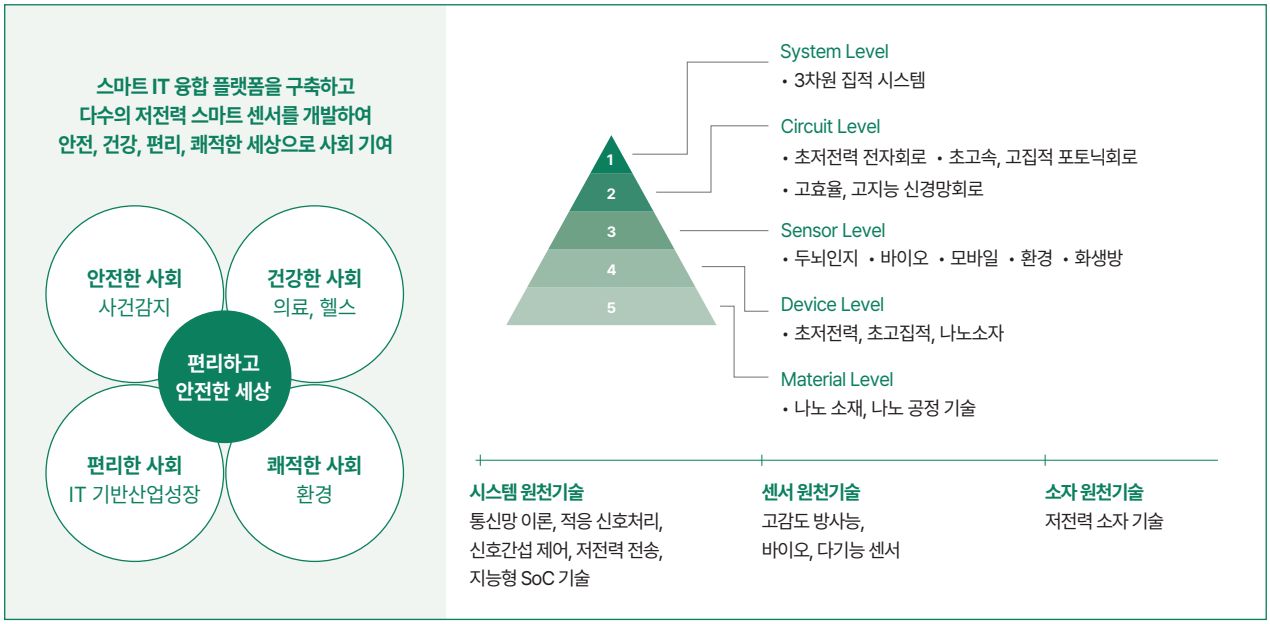
가. 최종목표

다차원스마트IT융합시스템연구단은 IT 발전을 선도할 에너지 혁신소자, 소재, 공정 등 시스템 요소기술을 개발하고, 이를 집적하여 새로운 시장을 열어 줄 수 있는 다차원 전방위적 시스템 최적 설계 기술을 개발하였으며, 바이오헬스, 모바일, 환경, 자동차 등 인류의 건강과 안전을 지켜주기 위한 핵심응용 분야를 위한 '다차원 스마트 IT 융합 시스템' 공통플랫폼을 개발하고, 이를 기반으로 다수의 에너지 절감형 스마트센서(바이오 헬스, 신경, 환경, 모바일, 차량, 스마트 카메라 센서) 시스템을 창출하는 것을 최종 목표로 하였다.

2. 연구개념 및 개발내용

가. 연구개념

연구단은 소재, 공정, 소자, 3차원 IC, 디지털 플랫폼, 소프트웨어, 네트워크 등을 다양한 IT 기술영역을 망라한 다차원 기술공간에서 의료 및 진단기기, 차량, 로봇, 센서 네트워크 등 다양한 응용 영역의 요구에 따른 양도지수[4]가 만족되도록 최적 성능으로 설계된 IT와 NT-BT 융합 시스템을 개발하였다.



4) 양도지수 : 에너지소모, 정보처리, 전송능력, 감도, 신뢰도, 제조비용 등 정량적인 평가 목표치를 의미하며, 다양한 요소를 곱하여 산출

나. 핵심 과제별 연구 분야

연구단은 IT 기술 발전의 정체요인인 소자 소형화의 한계 및 정보량 폭증에 따른 에너지 소비량 증가 등을 극복할 수 있는 나노혁신소자 기술개발과 함께 다기능 소자와 센서를 탑재한 공통 플랫폼을 구축하여 바이오헬스, 신경, 환경, 스마트 카메라 센서 등 다차원 스마트센서 활용기술을 개발하였다.

Core Project 1
나노 혁신소자 기술

1-1 초저전력 초소형 나노소자 및 집적 시스템
박원철 교수, 서울대
1-2 초저전력 전자 융합 소자 및 응용시스템
정연식 교수, KAIST

Core Project 2
스마트 IT 융합 플랫폼

2-1 스마트 IT 센서노드 플랫폼
박인철 교수, KAIST
2-2 사건기록 장치 및 플랫폼
양진영 교수, 연구단
2-3 저전력 무선 통신 및 위치기반 서비스 플랫폼
정세영 교수, KAIST
2-4 스마트 모빌리티 플랫폼
이순혁 교수, 연구단

Core Project 3
다차원 스마트센서 시스템

3-1 바이오 헬스 분석 시스템
천홍구 교수, 고려대
3-2 스마트 브레인 센서 네트워크
전상범 교수, 이화여대
3-3 환경 센서 시스템
김동익 교수, 연구단
3-4 스마트 카메라 시스템
경종민 교수, 연구단

[핵심분야 ❶] 나노 혁신소자 기술

- 전력소모의 획기적인 감소 및 정보 저장 및 처리용량의 획기적인 증대를 위한 기존의 반도체 소자를 뛰어넘는 새로운 형태의 전자소자 제안 및 제작기술 개발
- 신호 전송 능력의 획기적인 발전을 위한 3차원 집적 구조 및 고속 데이터 전송 나노소자 기술개발
- 2, 3 핵심과제를 지원하는 혁신적인 에너지 혁신 소자 기술의 개발

[핵심분야 ❷] 스마트 IT 융합플랫폼

- 1핵심과제에서 개발된 에너지 혁신소자기술을 이용한 설계를 통해 플랫폼의 성능 최대화
- 개발된 플랫폼에 3핵심과제에서 연구된 저전력 센서들을 저전력으로 구현
- 다양한 기능의 에너지 혁신소자, 스마트 센서들을 탑재할 수 있는 공통 플랫폼 기술 개발

[핵심분야 ❸] 다차원 스마트 센서 시스템

- 1핵심과제에서 창출된 소자기술을 기반으로 제2핵심과제에서 구축된 플랫폼을 활용하여 스마트 센서 시스템 기술 개발
- 바이오헬스, 신경, 환경, 스마트카메라센서 등 스마트 센서 개발

다. 과제별 역할 및 내용

연구단에서는 IT 융합연구의 전문성 확보 및 효율성을 극대화시키기 위해 소자, 회로 및 시스템, 응용시스템의 이슈별 대안에 따 3개의 핵심연구 분야(1핵심: 나노 혁신소자 기술, 2핵심: 스마트 IT 융합 플랫폼, 3핵심: 다차원 스마트 센서 시스템)로 나누어 연구 주체 간의 역할 분담을 통해 유기적으로 연계·융합하여 연구를 진행하였다. 1~3핵심은 각각 소자, 플랫폼, 시스템 기술로 구성되며, 1핵심에서는 초저전력 소자 및 이의 응용시스템을 개발하는 2개의 세부과제로 나노구조 전자융합소자, 초소형 광소자, 저전력 소자 연구를 수행하였다. 또한 2핵심은 4개의 세부과제로 나누어 스마트 IT 플랫폼 기술을, 3핵심 역시 4개 세부과제로 나누어 1, 2핵심의 소자 및 플랫폼 기술을 활용한 스마트 센서 시스템 기술을 연구하였다.

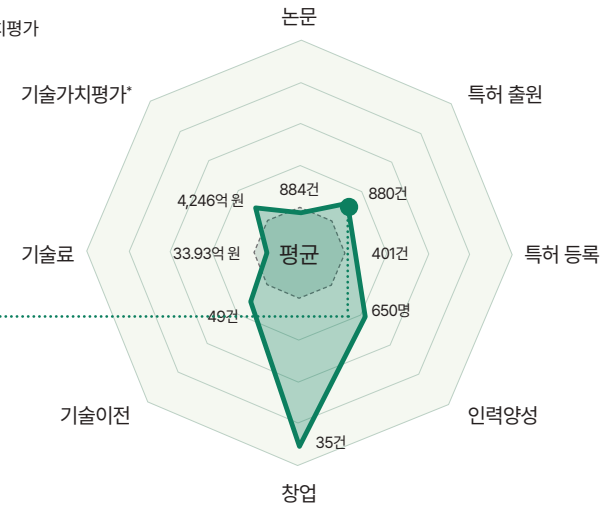
03 연구성과

1. 총론

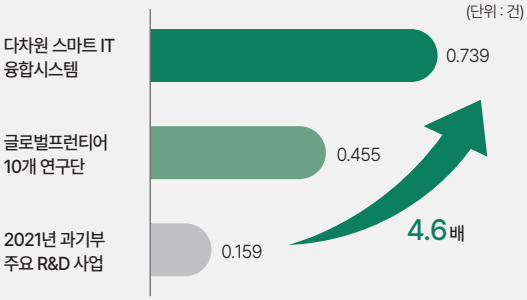
저전력 스마트센서가 구현되면 헬스케어부터 에너지, 제조 등 전 산업과 생활에서 과거에 없던 서비스와 시장을 만들 수 있다. 특히 급속하게 진화하는 인공지능 기술이 접목되면 그동안 인간의 능력으로 보거나 느끼고 제어할 수 없었던 영역이 디지털 공간으로 확장된다. 다차원스마트IT융합시스템연구단은 나노와 IT, 바이오, 에너지 등의 기술을 융합함으로써 고해상도 뇌영상 장비, 사람 수준의 넓은 시야를 갖춘 광시야 3D카메라, 뇌파를 활용한 치매진단, 다중 무선충전, 개조형 전기차 등 폭넓은 스펙트럼의 연구성과들을 내놨다.
연구단은 884편의 논문 중 93.7%인 828편의 SCI 논문을 발표하고 총 880건의 국내외 특허를 출원해 401건을 등록했다. 관련 분야 세계 특허 중 5.2%, 국내 특허 중 12.3%가 연구단을 통해 창출됐다. 연구성과의 총 기술가치는 4,246억 700만 원으로 평가됐다. 이들 성과 중 49건이 기술이전돼 33억 9,340만 원의 정액기술료 수입으로 이어졌다. 창업도 35건에 달했다. 창업기업들은 170억 원의 매출과 총 440억 원의 투자 유치, 약 198명의 고용 창출 성과를 만들었다.
특히 연구단에서 탄생한 창업기업이 헬멧형 광자극 디바이스로 두뇌에 광 활성화를 유도해 불면증, 인지장애 등을 개선할 수 있는 제품을 개발해 21억 원의 투자를 유치했다. 이 기업은 치매 환자를 대상으로 한 임상시험도 하고 있으며, 미국 FDA 허가를 준비하고 있다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 5건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 국내 특허출원 성과[5)]



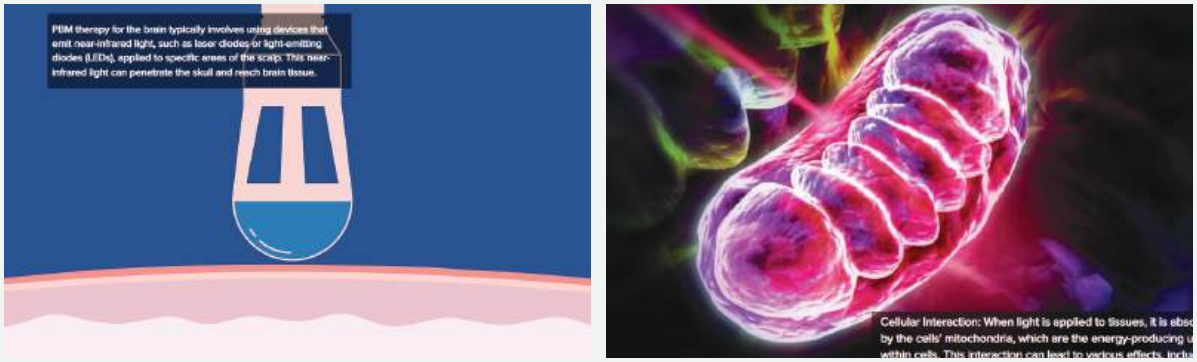
- 다차원스마트IT융합시스템 연구단의 연구성과는 창업부분이 가장 두드러지는 것으로 분석되었으며, 창업건수가 10개 연구단 평균보다 약 5배 정도 많은 것으로 나타남
- 또한, 연구단은 특허, 인력양성, 기술이전, 우수기술가치평가 부분이 10개 연구단 평균보다 우수한 것으로 나타남
- 연구단의 연구비 1억 원당 특허출원 성과는 약 0.739건으로 글로벌프런티어 10개 연구단의 종합 성과 대비 약 1.62배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 약 4.6배 우수한 것으로 분석

5) 창업성과 부분은 타 사업과 성과 비교가 불가능(해당 성과에 대한 데이터 없음)하여 그 다음으로 우수한 연구비 1억 원당 국내 특허 출원 성과를 비교

2. 대표 연구성과

스마트 01

두뇌 디지털 헬스케어의 핵심기술인 광-자극 디바이스 ((재)다차원스마트IT융합시스템연구단 김일구)



[LED 광원을 이용한 세포자극]

- 연구단은 두뇌 디지털 헬스케어가 가능한 헬멧형 광-자극 디바이스를 개발하였으며, 해당 디바이스는 AI 알고리즘을 적용하여 MRI 두뇌 분석 및 헬스케어 효과를 예측할 수 있음
- 헬멧에 내장된 고휘도 적외선 LED를 통해 광파장이 두뇌로 도달하게 되며, 광 파장을 통해 세포과정을 자극하고 다양한 생리학적 효과를 촉진시킬 수 있는 것이 주요 원리
- 또한 , 디바이스에는 연구단에서 개발한 유기 재료 기반의 적외선 감지 센서가 포함되어 있으며 이를 바탕으로 헬멧의 소형화 및 일체화에 성공
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 (주)브레인기어를 창업하였으며, 해당기술을 이용하여 빛을 이용한 두뇌 광 활성화를 유도하여 불면증을 해결할 수 있는 제품을 개발 및 출시

논문

· Moisture Effect on Particulate Matter Filtration Performance using Electro-Spun Nanofibers including Density Functional Theory Analysis(Scientific Reports, 2019)

특허

· 광흡수를 이용한 반사광 차폐 효과로 미세먼지센서의 크기를 줄일 수 있는 방법 및 미세먼지센서(KR 10-2018-0034889, BB등급)
· 경두개 근적외선 광 테라피 시스템 및 그 동작 방법(KR 10-2019-0140335, BB등급)
· 두뇌 전기 자극과 뇌파를 이용한 치매, 경도 인지 장애 진단 방법 및 시스템(KR 10-2020-0056239)

BRAIN GEAR
Live a better life

창업일 : 2018.08
대표자 : 김일구(다차원스마트 IT융합시스템연구단)
주요 아이템 : 외상성 뇌 손상(TBI) 환자용 경두개부 광 테라피 시스템

- 2021년 21억 원 규모의 시리즈A 투자유치하여 제품 개발 및 판매에 박차를 가하고 있음
- 2022년 호주의 대학병원과 치매환자를 대상으로하여 광-자극 디바이스의 임상시험을 진행 중 이며, 미국 FDA 허가를 준비하며 해외시장을 우선 공략하고자함

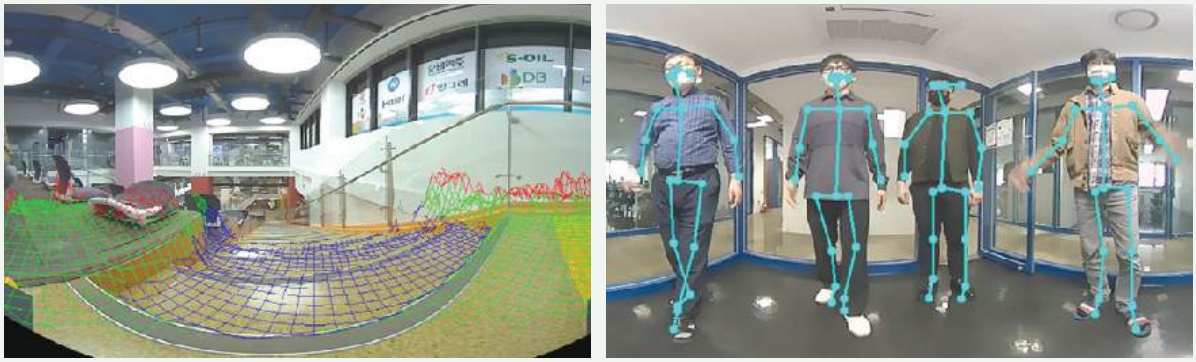


[브레인기어의 주요 제품]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	-	(주)브레인기어 창업 (투자유치 21억 원)

스마트 02

사람 수준의 넓은 시야를 제공하는 광시야 3D 카메라 ((재)다차원스마트IT융합시스템연구단 박기영)



[광시야 3D 카메라를 이용한 노면 단차 인식 및 근거리 사람 인식 화면]

- 연구단은 어안렌즈 스테레오 카메라로 수평 240도, 수직 160도 화각의 Depth Map 및 Point Cloud의 실시간 출력이 가능한 3D 카메라를 개발
- 특히, 로봇의 자율주행 센서, 산업 및 보건 분야에서 안전을 위한 사람/객체인식 센서로도 활용될 수 있음 로봇이나 자율주행차와 같이 스스로 상황을 판단하고 결정해야 하는 시스템에서 넓은 시야를 확보하는 것은 매우 중요하며, 연구단은 50cm 이내의 근거리에서 사람 전신 동작을 인식할 수 있는 수준으로 기술을 개발
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 (주)아고스비전을 창업하였으며, 해당기술이 적용된 광시야 3D 카메라 ArgosVue를 출시

논문

· Unsupervised deep learning for depth estimation with offset pixels(Journal of Sensor Science and Technology, 2020)
· Color reproduction pipeline for an RGBW color filter array sensor(Optics Express, 2020)
· On-chip Depth and Image Sensing System with Offset Pixel Apertures(Optics Express, 2020)
· Hybrid Discriminator with Correlative Autoencoder for Anomaly Detection(IEEE Sensors Journal, 2020)
· Imaged-Based Acquisition and Modeling of Polarimetric Reflectance(IEEE Access, 2020)

특허

· 컬러 나이트 비전 시스템 및 그 동작 방법(KR 10-2016-0057605, BBB등급)
· 광시야각의 스테레오 카메라 장치 및 이를 이용한 깊이 영상 처리 방법(KR 10-2020-0104281, B등급)
· 시점 변환을 이용하는 360도 영상 저장 방법 및 렌더링 방법(KR 10-2019-0037679, BBB등급)
· 시점 변환을 이용하는 영상 스티칭 방법 및 시스템(KR 10-2017-0160021, BB등급)

ARGOS VISION
SPATIAL VISION SOLUTIONS

창업일 : 2020.01
대표자 : 박기영
주요 아이템 : 광시야 3D 카메라

- 2021년 총 3억원의 시드투자 유치하였으며, 팁스를 통한 추가 5억원 투자유치
- 미국 라스베이거스에서 열리는 'CES 2023'의 CES 혁신상 수상
- 만도, 현대자동차 등과 아고스뷰를 서비스로봇에 적용시키기 위한 협업 진행 중

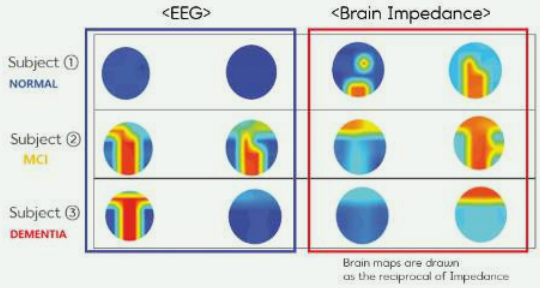


[ArgosVue]

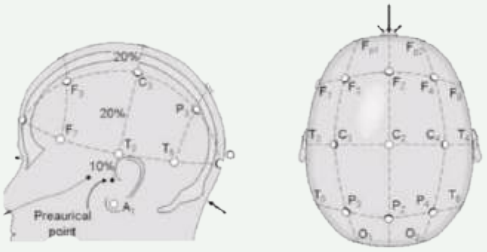
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)아고스비전 창업 (투자유치 8억원)

스마트 03

뇌파 기반의 치매 진단 기술 ((재)다차원스마트IT융합시스템연구단 이순혁)



[EEG(좌) 및 Brain Impedance(우) 의 뇌활성 분석 비교]



[치매진단 장비 전극 배열 구조]

- 연구단은 뇌파 기반의 20채널, 무선, 16bit resolution, 250Hz sampling rate의 뇌파 측정 장치를 개발함
- 해당 기술을 정상 및 치매 환자를 대상으로 임상시험한 결과, 치매 구분율 95%로 진단율이 우수하며, 기존 치매 진단이 전극 풀, 뇌파 캡 등을 이용한 방식 대비 전극 모듈을 사용함으로써 치매 진단이 기존 방식대비 매우 용이해짐
- 해당 기술은 전기자극 기반으로 치매 진단뿐만 아니라 치매 지연, 우울증 완화, 수험생 두뇌 활성화 등의 효과가 있으며, 치매안심센터와 보건소용 1차 치매 스크리닝 툴로 활용하거나 병원에서 2차 치매 진단 바이오마커로 활용될 수 있음
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 (주)메그노시스를 창업하고, Braincure/inspect 타입 제품 시리즈를 출시

특허

· 두뇌 임피던스 패턴을 이용하는 치매 진단 방법 및 시스템(KR 10-2020-0035413)
· 뇌파 바이오피드백을 이용한 두뇌 자극 방법 및 시스템(KR 10-2020-0049322)
· 두뇌 전기 자극과 뇌파를 이용한 치매, 경도 인지 장애 진단 방법 및 시스템(KR 10-2020-0056239)
· 헤드셋 방식의 무선 뇌파 측정 장치(KR 10-2019-0014453)

Megnosis

창업일 : 2020.01
대표자 : 이순혁(다차원스마트 IT융합시스템연구단)
주요 아이템 : 치매 진단 및 지연기기





[Braincure20-Headset Type]





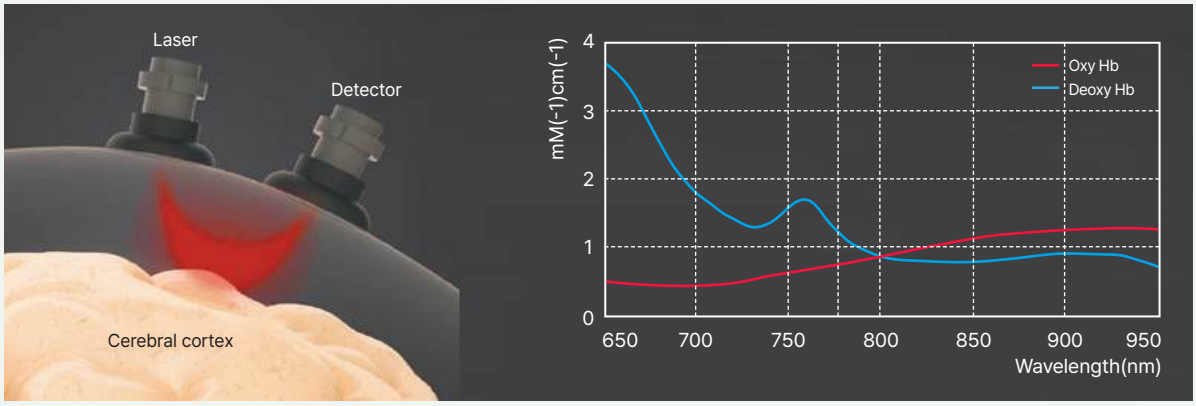
[Brainspect20-Headscap Type]

- '2022' 이노베이션 컴퍼니 뇌파 치매진단 기기 부문 '혁신 스타트업 대상'을 수상하였으며, 95% 치매 구분율로 기존 검사보다 진보된 기술이라는 평을 획득
- CES 2022 참가, 하버드 의대 등 미국 병원과 임상 시험을 계획하며 해외시장 진출을 계획하고 있음

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	-	(주)메그노시스 창업

스마트 04

휴대용 실시간 고해상도 근적외선 뇌 영상장비 (KAIST 배현민)



[근적외선 분광분석(NIRS) 모식도]

[HbO2 및 HbR의 흡수 계수 스펙트럼]

- 연구단은 CT나 MRI에 버금가는 높은 해상도를 보유하면서도, 저렴한 실시간 휴대용 고해상도 근적외선 뇌 영상장치를 개발
- 뇌 내부 각 영역의 산화도에 따라 빛의 흡수 정도가 달라지는 원리를 적용해 뇌에 근적외선을 쏘고 뇌를 투과한 근적외선을 분석해 뇌의 각 영역이 어느 정도 활성화됐는지를 파악, 실시간 3D 영상을 생성하는 기술
- 근적외선 분광분석(NIRS)를 적용하여 뇌 속의 옥시헤모글로빈(HbO2)과 디옥시해모글로빈(HbR)의 농도변화를 측정하고, 이를 영상화함으로써 뉴런의 활성화를 파악하는 것이 주요 원리
- 해당 장비는 휴대가 용이하므로 일상생활 중 뇌질환 뿐만 아니라 뇌 활동 측정을 위한 다양한 어플리케이션에 적용 가능할 것으로 예상
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 ㈜오비이랩 창업하였으며, 창업기업은 해당제품에 대한 식약처 의료기기 인증 허가를 획득하고 72억 원 매출 달성 및 투자유치 155억 원의 투자유치에 성공

논문

· Variable-Precision distributed arithmetic (VPDA) MIMO equalizer for power-and-area-efficient 112Gbps optical DP-QPSKsystems(JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, 2012)

· Time-divided spread-spectrum code-based 400fW-detectable multichannel fNIRS IC for portable functional brain imaging(IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2016)

특허

· 휴대용 시스템에서 생체 반응을 측정 및 분석하기 위한 광분광학 시스템 및 그 제어 방법(KR 10-2014-0149068, BBB 등급)

OBELAB

창업일 : 2013.06
대표자 : 윤한석
주요 아이템 : 휴대용 근적외선 뇌 영상 장치

- 2016년 8월부터 연구용으로 국내외 시장 대상 판매를 시작하였으며, 중국, 싱가폴, 호주 등 아태 및 미주 지역을 중심으로 제품 사용이 활발
- 연구자인 배현민 교수는 오비이랩의 최고기술자문으로 활동하며 지속적으로 기술을 고도화를 위해 협력하고 있음
- 오비이랩은 향후 우울증, 치매 등의 환자 모니터링 뿐만 아니라 교육 및 스포츠 분야에서 적용가능한 다양한 어플리케이션을 개발하고자 함

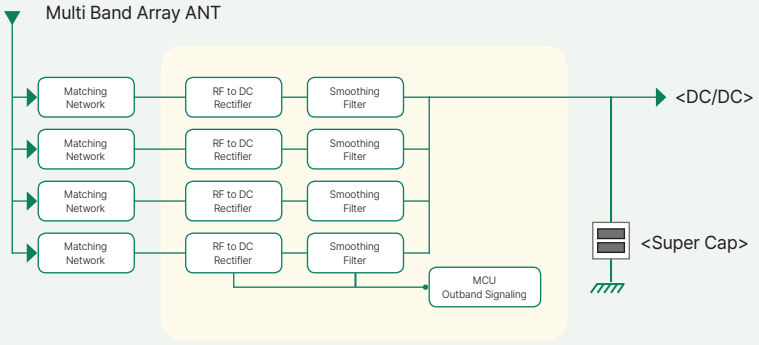


[㈜오비이랩의 NIRSIT]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	4,000만원	㈜오비이랩 창업 (투자유치 155억 원)

스마트 05

원거리 다수 기기 동시 무선 충전 기술 ((재)다차원스마트IT융합시스템연구단 이경학)



[RF 시스템 구성도]



[RF 수신 패키지 내부 구조]

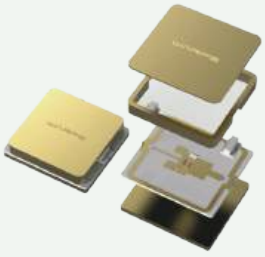
- 연구단은 9m 반경에서 다수의 IoT 기기(충전용량: 15W 이상)를 10대까지 충전가능한 다중무선 충전기술을 개발
- 해당기술은 RF방식의 충전기술로 인체에 무해하고, 다중 주파수를 이용한 방식으로 기존 대비 4배 이상 전력 수신 효과가 있음
- 특히, 기존의 RF 모듈은 사이즈가 크고, 가격이 비싸며 특성이 쉽게 변화되는 문제가 있으나, 연구단은 제품 개발부터 bare-die 칩 성능에 적합한 패키지 매칭 및 패턴형으로 설계하여 크기 및 가격 면에서 획기적으로 개선
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 (주)워프솔루션 창업하였으며, 창업기업은 국내외 투자유치 43억 원 달성, 26억 매출을 발생시키고 CES2020(세계 최대 가전제품 박람회) 참가 등 경제적/기술적으로도 우수한 성과를 창출

특허

· 주파수 제어 기반의 무선 충전 시스템(KR 10-2017-0050452)
· 파워 앰프 모듈 패키지 및 그 패키징 방법(KR10-2016-0086976, BBB등급)
· 원거리 및 근거리 무선 충전을 위한 다중 주파수 기반의 무선 충전 시스템(KR 10-2016-0086976)
· 안테나를 선택적으로 사용하는 무선 충전 시스템(KR 10-2017-0050455)

WARP solution
Wireless recharge & RF Power

창업일 : 2016.01
대표자 : 이경학(스마트 IT 융합시스템 연구단)
주요 아이템 : 치원거리 무선충전 기술



[Hybrid RF PA 패키지]



[10~20W 무선충전 모듈]

- 2020년 RF 원거리 무선충전 기술로 ICT 규제 샌드박스 지정
- 워프솔루션은 각종 웨어러블 디바이스들(무선 이어폰 등)의 충전 모듈 적용 목표를 시작으로 2024년에는 스마트 디바이스(핸드폰 등) 충전 모듈에 적용이 가능한 10W 제품을 2026년에는 전기자동차 충전 모듈에 적용이 가능한 1KW급의 성능으로 개발할 계획

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)워프솔루션 창업 (투자유치 43억 원)

스마트 06

고성능 개조형 전기차 (KAIST 장래혁)



[레이싱 전용 전기차 개조 성공 500kW급, 2017-2018]

[전기자동차 컨버전 키트]

- 연구단은 일반차량을 전기자동차로 개조할 수 있는 컨버전 키트 및 파워트레인 기술을 개발
- 해당 컨버젼 키트는 하네스 설계를 최소한 구조로 작업시간을 줄이고 안정성을 향상시킴
- 또한, 개조된 전기차의 운전자 조작을 지원하는 인터페이스를 표준화된 모듈로 설계 및 구현하고, 개조차량에 적합한 BMS(Battery Management System) 을 지원하는 것이 장점
- 해당기술은 커스텀 업무용, 연구용 전기자동차 개조에 적용될 수 있으며, 국산 플랫폼으로 수입 대체 및 비용절감의 효과가 있음
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 미국 실리콘밸리 법인인 (주)이엠브이(한국지사 보유)를 설립 해당기업은 세계 최초 익스트림 전기 지프 개조를 시도하였으며, 2016년 한국 모터쇼 등을 통해 시연을 진행 하기도 하며, 관련 제품의 꾸준한 개발 및 전기자 개조를 시도하고 있음

특허

· 전력변환기가 없는 에너지 공급 회로 및 이를 이용한 전자장치(KR 10-2013-0125343)
· 4륜 구동 전기 자동차, 4륜 구동 자동차를 4륜 구동 전기 자동차로 변환하는 방법 및 그 방법을 수행하기 위한 4륜 구동 전기 자동차 변환용 키트 (KR 10-2016-0145874)
· 배터리 팩 냉각 장치(KR 10-2018-0021953, BB등급)

창업일 : 2016.06
대표자 : 장래혁(KAIST, 연구책임자)
주요 아이템 : 전기차

- EMVcon Inc.는 캘리포니아 어바인에 본사를 두고 있으며, (주)이엠브이는 연구, 개발, 제조 및 고객 서비스를 위해 미국 본사와 원활하게 협력 중
- 현재 삼성 벤처투자, Rempus 등으로부터 투자유치를 받아 기술 개발 중이며, 삼성 SDI와 R&D 협력 중
- 또한, 개발된 배터리팩은 국토부 안전인증을 획득하고, 연구용 전기차량 개발을 위한 다양한 지원 서비스를 제공

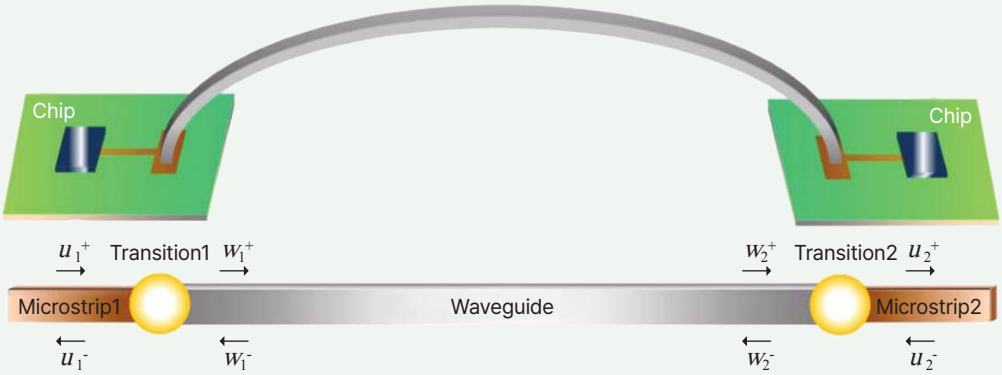


[전기차 개조 배터리 팩]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	-	(주)이엠브이 창업 (투자유치 23억 원)

스마트 07

플라스틱 웨이브가이드 기반 초고속 데이터 전송 장치 (KAIST 배현민)



[E-TUBE(플라스틱웨이브 가드)를 통한 2포트 네트워크 연결 모식도]

- 연구단은 유전체 도파관을 이용한 저전력·저비용 단거리 고속 유선 통신 인터페이스를 개발하였으며, 해당 기술은 부도체 기반의 유선통신 케이블 형태 . 즉, 구리선과 광케이블을 대체할 수 있으며, 기존 구리선 대비 6배 작게, 3배 가볍게 제작이 가능
- 무선통신에서 사용되는 두 안테나 사이를 부도체 라인으로 연결하여 무한에 가까운 대역폭을 확보할 수 있는 것이 주요 원리로 기존 무선통신 대비 수천배 향상된 전력 효율을 가지고 있으며, 세계 최고 기술수준과 비교하였을 때, 전송속도 17.7Gbps에서 56Gbps로 더욱 우수한 성능을 확인
- 연구단은 해당기술을 바탕으로 미국 실리콘밸리 법인 Point2 Technology 창업하였으며, 미국내에서만 2,200만 달러 투자 유치에 성공

논문

· Plastic straw:future of high-speed signaling(Scientific Reports, 2015)

특허

· 도파관을 이용한 멀티채널 칩대칩 저전력 고속 유선 인터페이스(KR 10-2012-0154094)
· 저전력, 고속 멀티-채널 유전체 웨이브가이드를 이용한 칩-대-칩 인터페이스(KR 10-2013-0123344, AAA등급)
· 전자기파 신호 전송을 위한 도파관(KR 10-2016-0104466, A등급)
· 다양한 커플링 방법을 갖는 광대역 유전체 도파관 상호연결 방법 및 장치(KR 10-2015-0158993)

POINT 2

창업일 : 2016.06
대표자 : 박진호
주요 아이템 : 단거리 고속유선통신

- 포인투테크놀로지에서는 연구단의 기술을 바탕으로 E-TUBE 제작에 성공. E-TUBE 의 양끝에는 포인투테크놀로지의 반도체 설계 기술로 만든 주문형 반도체가 포함되어 있는 형태
- E-TUBE는 현재 통신케이블 회사 몰렉스(국외)에 납품하고 있으며, 몰렉스에서는 아마존과 같이 데이터 센터를 운영하는 회사에 케이블을 납품하고 있음

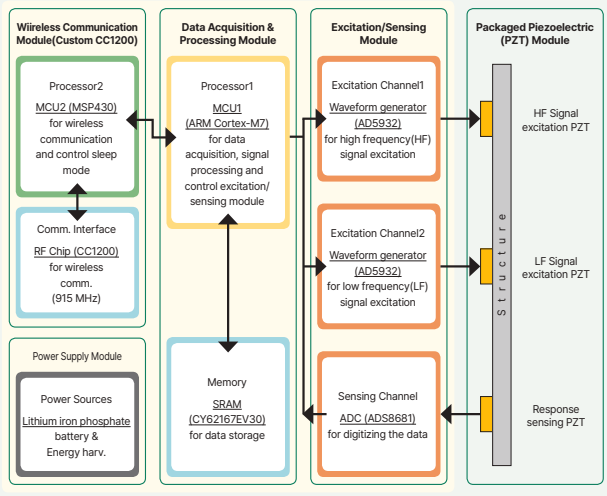


[E-TUBE]

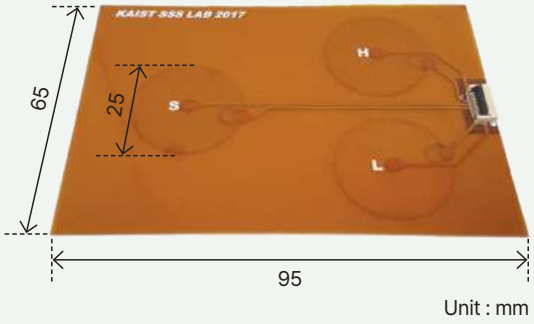
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	포인투테크놀로지 창업 (투자유치 2,200만 달러)

스마트 08

구조물 모니터링을 위한 자가 충족형 무선 센서 노드 (KAIST 손훈)



[센서의 주요모듈 개념도]



[압전 센서 프로토 타입]

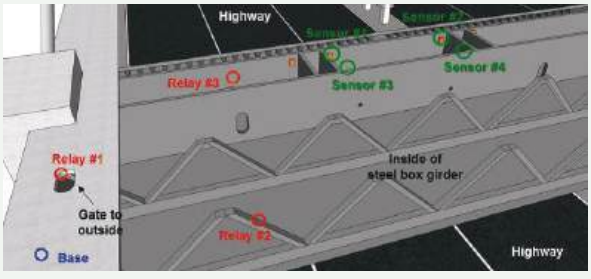
- 연구단은 배터리 교체 없이 반영구적인 운용이 가능한 자가 충족형 피로균열 자동 진단 무선 센스 노드를 개발
- 해당 기술은 단순 부착만으로 미세 피로균열(수 μm 수준 균열폭)을 감지할 수 있으며, 정상 구조물에서 계측한 기준 데이터 없이도 피로 균열의 유무를 판단가능
- 패키지 압전모듈을 통해 구조물에 초음파를 보낸 후 수신하고, 균열에 의해 생성된 비선형 초음파 변조를 기반으로 피로 균열진단을 수행하는 것이 원리이며, 영종대교에서 설치 및 실험한 결과, 90%이상의 성공률을 확인
- 해당 기술은 영종대교 설치 및 성능 검증 완료되었으며, 2018 발명의 날 근정포장을 수상함
- 또한, (주)티엠이앤씨에 약 1억 원의 정액기술료로 기술이전 되는 성과를 창출

논문

· Ultrasonic wireless sensor development for online fatigue crack detection and failure warning(Smart Structures and Systems, 2019)
· Development of a tunable low-frequency vibration energy harvester and its application to a self-contained wireless fatigue crack detection sensor(Journal of Applied Physics, 2018)
· Accelerated damage visualization using binary search with fixed pitch-catch distance laser ultrasonic scanning(Applied Physics Letters, 2017)
· Development of a "stick-and-detect" wireless sensor node for fatigue crack detection(Mechanical Systems and Signal Processing, 2017)
· Flexible highly-effective energy harvester via crystallographic morphotropic piezoelectric thin film(Journal of Sound and Vibration, 2017)
· An Adaptive and Integrated Low-Power Framework for Multicore Mobile Computing(An International Journal of Structural Health Monitoring, 2017)



[영종대교 피로균열 검출 시험 개요]



[무선센서 및 릴레이 위치]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	1.5억 원	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분/연도			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	총합계
특허	국내	출원	48	70	102	107	73	47	55	35	30	28	595
		등록	12	28	34	53	54	40	32	24	37	16	330
	해외	출원	12	17	21	89	49	26	34	19	18	-	285
		등록	1	1	2	8	2	11	10	10	19	7	71
	계		**73**	**116**	**159**	**257**	**178**	**124**	**131**	**88**	**104**	**51**	**1,281**
논문	SCI		49	101	119	111	120	88	97	59	57	27	828
	비SCI		5	5	8	8	13	5	4	2	1	5	56
	소계		**54**	**106**	**127**	**119**	**133**	**93**	**101**	**61**	**58**	**32**	**884**
기술이전 /사업화	기술이전		-	1	1	7	3	11	6	8	8	4	49
	기술이전 (정액기술료)		-	25	10	436.2	60	795.7	250	1546	143.5	127	3,393.4
	창업		-	1	3	4	4	7	2	7	3	4	35
학위배출	박사		16	34	16	22	43	23	10	4	14	9	191
	석사		56	70	47	65	68	44	21	18	14	14	417
	학사		10	4	1	4	7	6	2	-	7	1	42
	소계		**82**	**108**	**64**	**91**	**118**	**73**	**33**	**22**	**35**	**24**	**650**
학술발표	국내		51	48	3	15	19	106	72	42	68	25	449
	국외		70	123	75	74	66	77	50	33	30	21	619
	소계		**121**	**171**	**78**	**89**	**85**	**183**	**122**	**75**	**98**	**46**	**1,068**
국제협력	MOU		7	8	9	9	3	1	6	5	1	-	49
	공동연구 논문		5	8	23	17	15	15	16	15	21	4	139

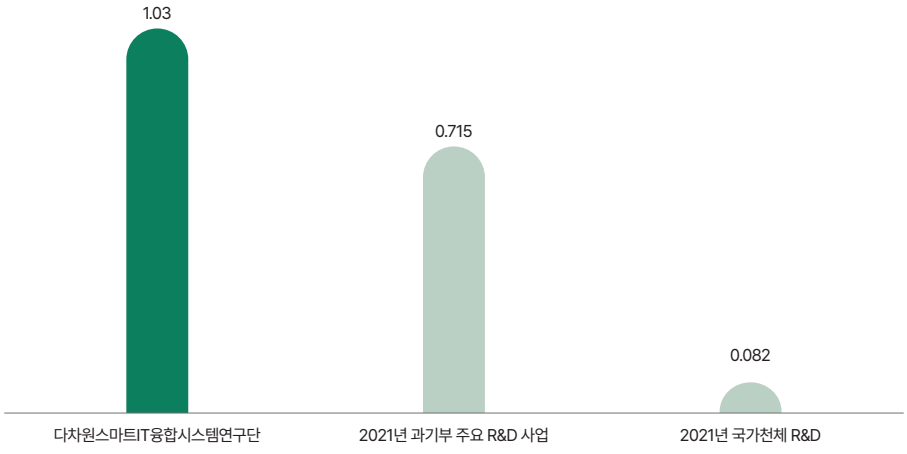
나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 884건의 논문성과를 창출하였으며, 그 중 SCI 논문이 828건으로 전체의 약 93%를 차지하고 있다. 전체 사업기간 동안 연구비 804.885억 원 기준으로 연구비 1억 원당 약 1.03건의 SCI 논문 성과를 창출하였다.

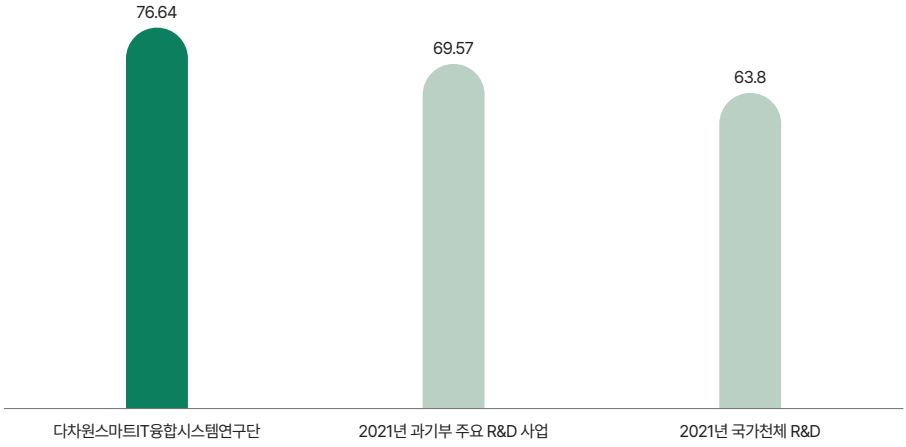
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위 : 건)



연구단 총 884편 논문 중 828편의 SCI 논문 전체 분야에서 Impact factor를 검토한 결과, 연구단은 논문은 상위 10%안에 33.3%의 논문이 출판되었음을 확인하였으며, 연구단의 '표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)' 평균값은 76.64로 나타났으며, 이는 산출된 SCI 논문이 평균적으로 해당 분야 내 상위 23%(mrnIF 기준) 이내의 수준에 해당하는 저널에 논문을 게재하고 있음을 의미한다고 할 수 있다.

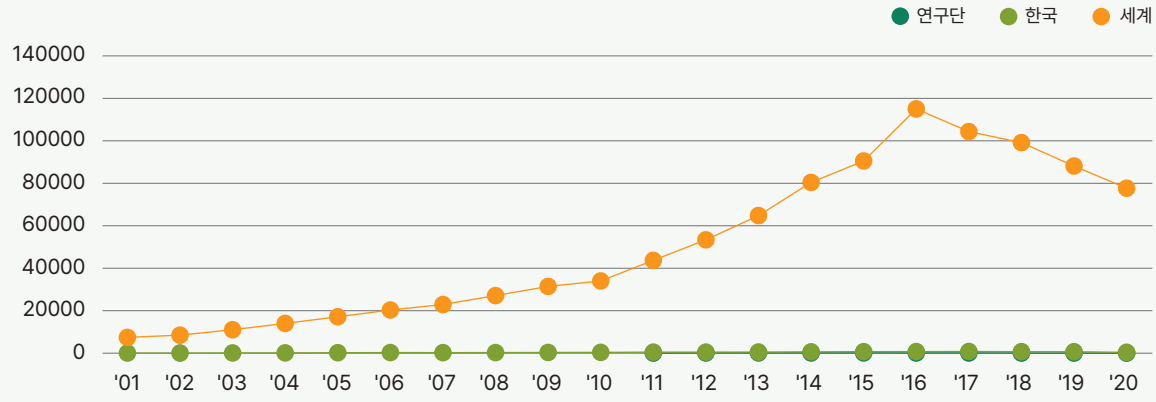
[평균 mrnIF 지수 비교]



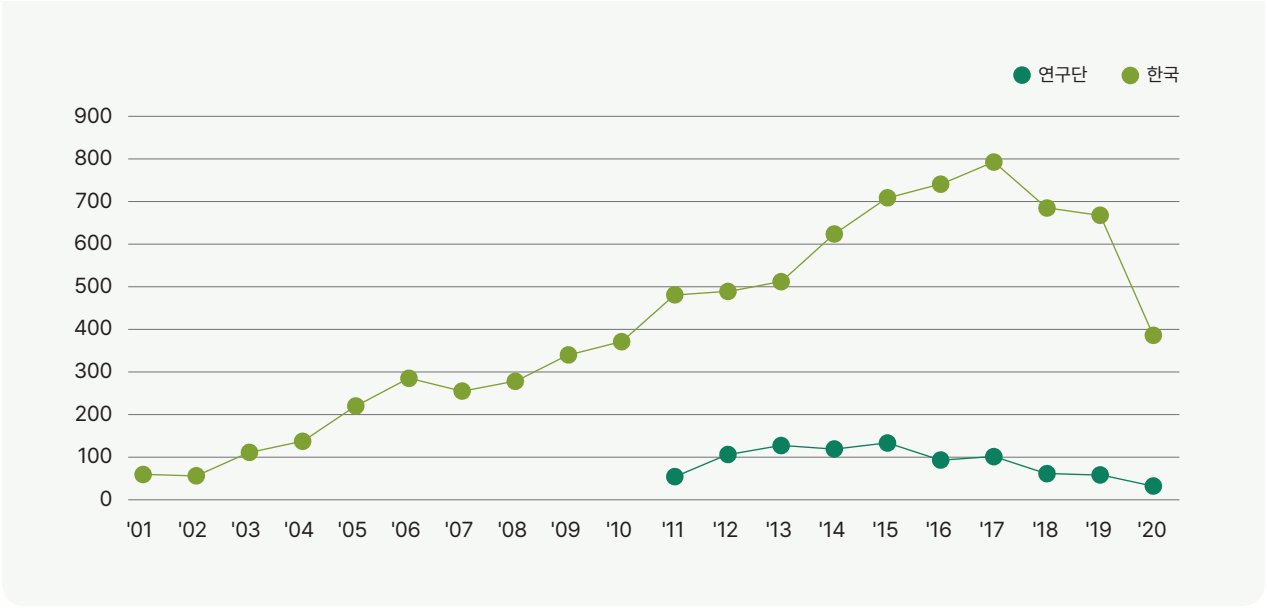
연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)의 연구단 연구분야의 논문을 분석한 결과[6], 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국의 논문 건수가 사업수행 전 2,112건에 비교하여 사업수행기간 동안 6,088건으로 증가하였다.
해당 분야 전 세계 게재 논문 대비 연구단의 논문 성과는 0.11%, 한국논문에서는 14.52%의 비중을 차지하는 것으로 나타났는데, 다양한 기술 분야와 융합 가능한 IT 기술 분야 특성상 연구단의 비중은 꽤 높은 편에 속한다고 분석될 수 있다.
연구단의 SCI 논문 성과는 연구비(정부출연금 804.885억 원, 828건) 1억 원당 약 1.03건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 성과 0.082건[7]에 비해 약 12.6배가 넘는 매우 높은 성과를 창출한 것으로 나타났다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



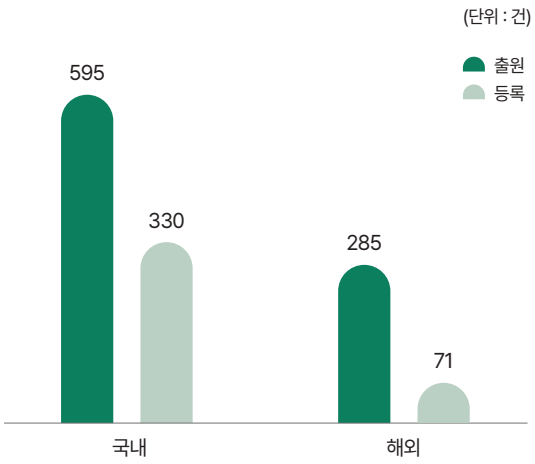
6) Web of Science Data Base에서 검색
7) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건



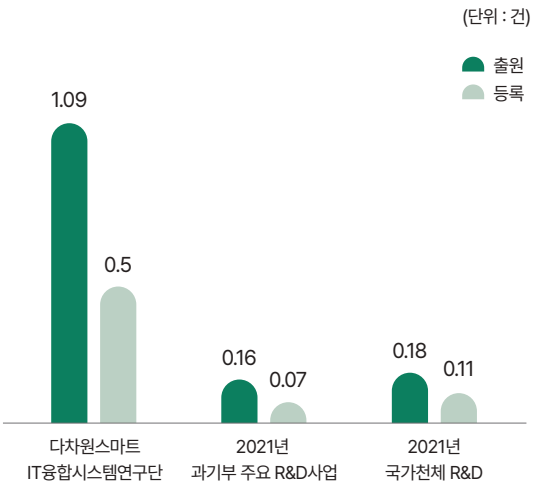
(2) 특허 현황 분석

연구단의 연구기간동안 도출된 특허성과는 총 1,281건[7]으로, 평균 연간 128건의 특허 성과를 창출하였고, 전체 특허 중 401건이 등록되었다. 연구기간 후반으로 갈수록 다소 특허 성과가 감소하고 있으나, 이는 사업화 비중이 높아졌기 때문으로 분석된다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]

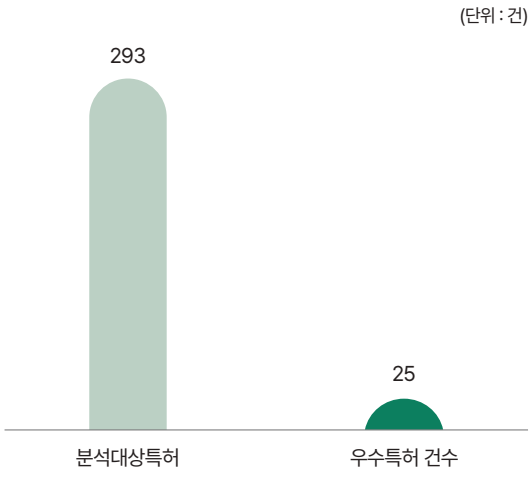


다차원스마트IT융합시스템연구단의 특허출원 성과는 880건, 특허등록 성과는 401건으로 연구비(804.885억 원) 1억 원당 1.09건의 특허출원 성과와 0.50건의 특허등록 성과를 창출하였다. 이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[8]에 비해 약 6배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 6.9배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108에 비해 약 4.6배의 수준을, 과기부 주요 R&D사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건에 비해 약 7.1배 수준의 특허등록 성과를 창출한 것으로 분석된다.

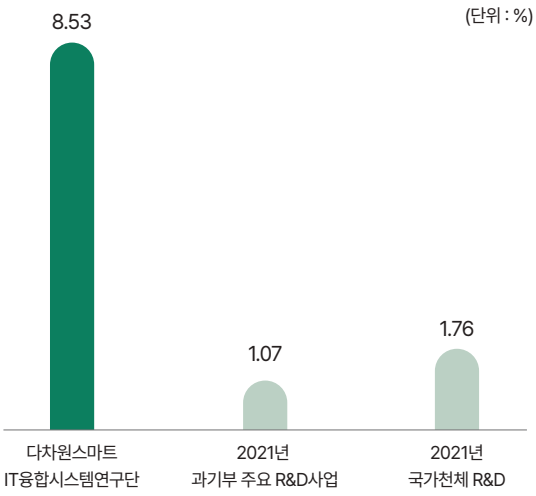
7) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
8) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[9)]

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



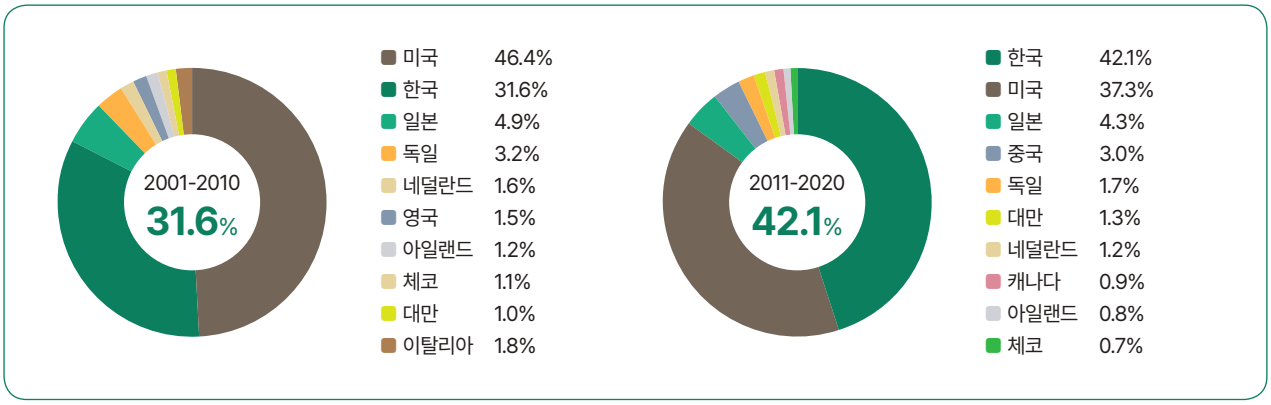
[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 293건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 25건으로 약 8.53% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 4.85배, 7.97배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

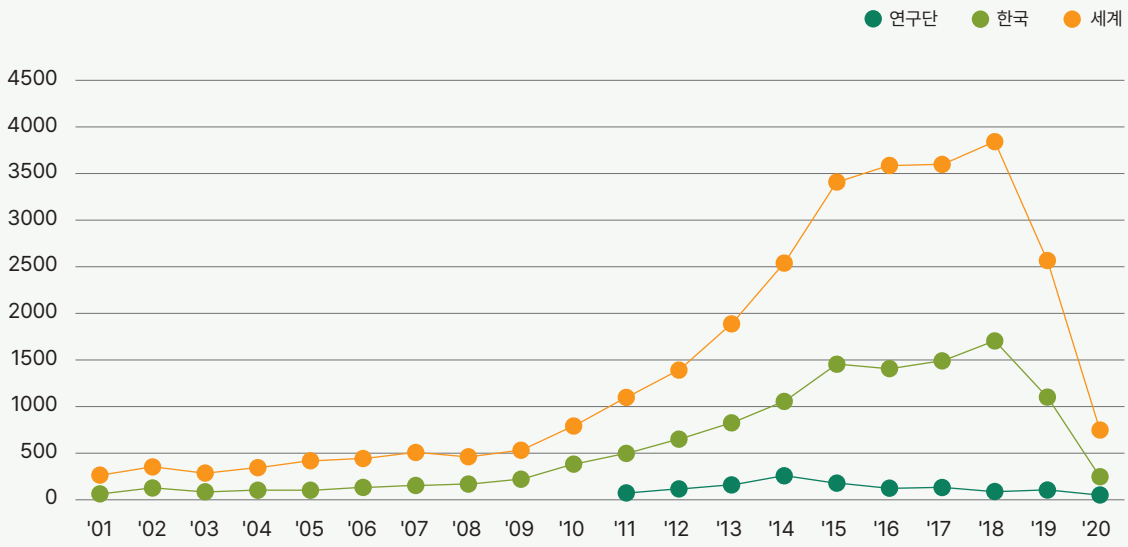
연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

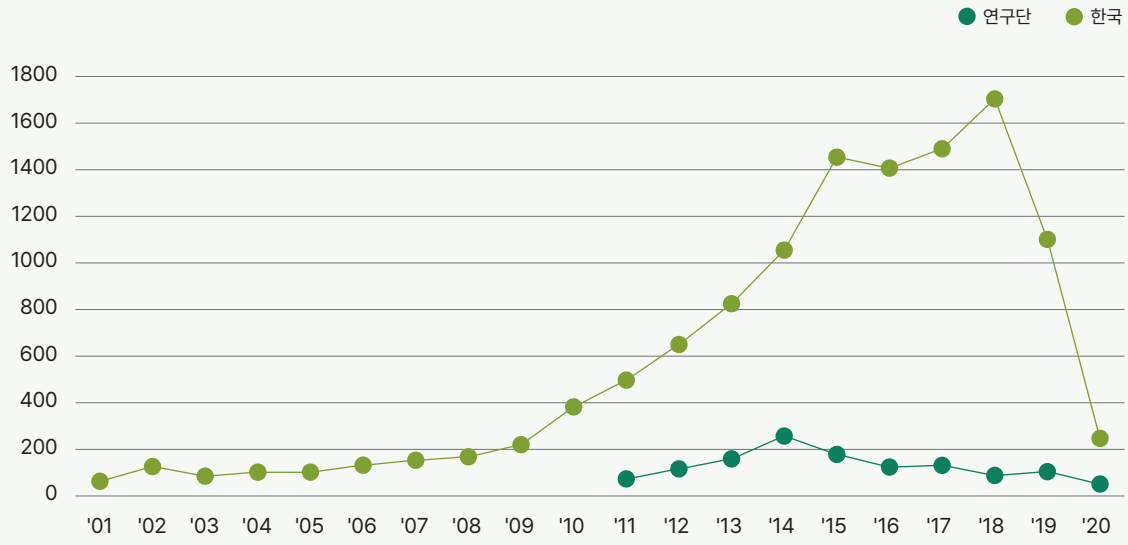
다차원스마트IT융합시스템연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 출범 이후(2011년~2019년) 연구단의 연구분야에 관한 특허 성과를 분석하였다. 연구단 출범 이전과 이후를 비교하면 관련 분야 한국 국적의 특허 건수는 1,533건에서 10,430건으로 약 6.8배 증가하였으며, 세계 특허 출원 건수 역시 4,396건에서 24,666건으로 약 5.6배 증가하였다.
연구단 출범 이전 한국은 세계 2위(31.57%)였으나, 연구단이 해당 분야 연구를 수행한 기간 동안 세계 1위(42.14%)로 상승하였고, 연구단은 세계 특허 대비 5.20%, 한국 특허 대비 12.3%의 비중을 나타내어 연구단이 국내 동 기술 분야 연구 개발에 일정 부분 기여한 것을 알 수 있다.



9) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용

연구단 사업수행 전후 특허 출원 증감 추이

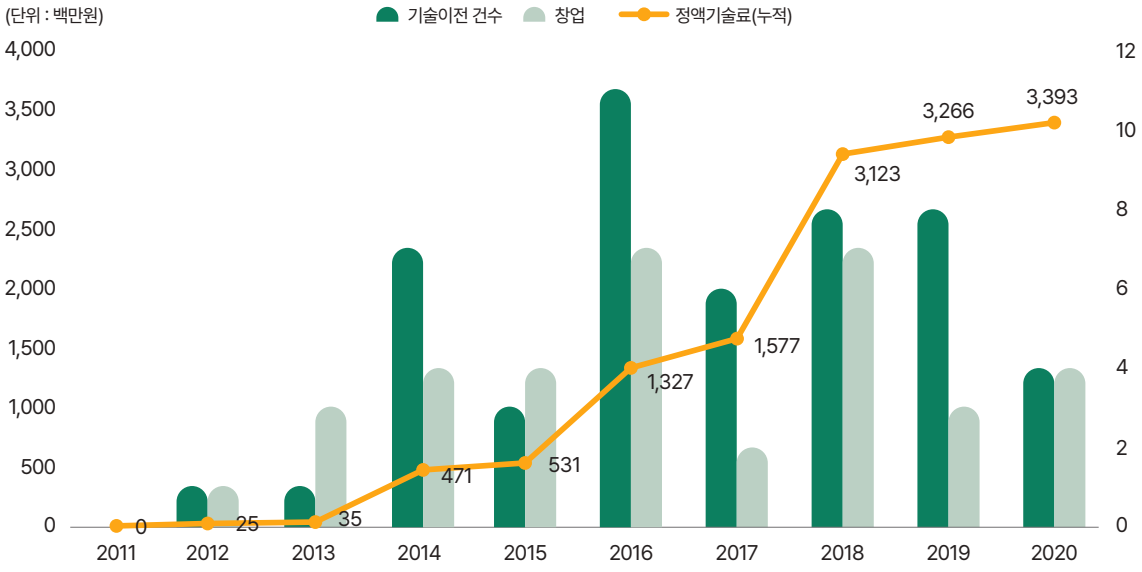




(3) 기술사업화 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 49건, 정액기술료 33억 원 이상의 기술이전 성과를 창출하였으며, 총 35개, 연평균 3개 이상의 창업을 통해 우수한 사업화 성과를 창출하였다.

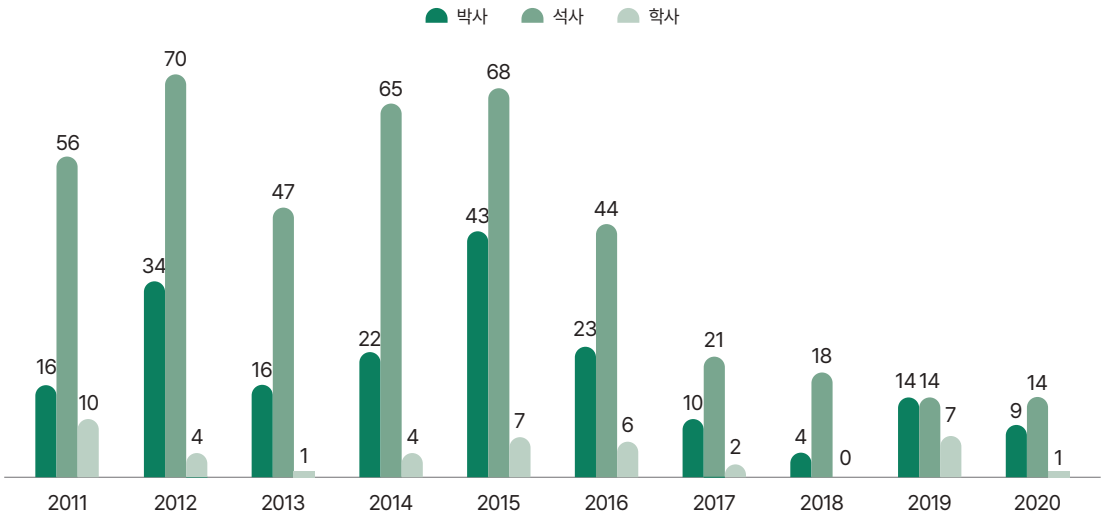
(단위: 건)



(4) 인력양성

연구단은 연구기간 동안 총 650명의 학위를 배출하였으며, 박사 191명, 석사 417명, 학사 42명을 지원하였다.

(단위: 명



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
뇌 영상 장비 관련 기술	뇌 영상 시스템 시장	538.46
전자기파 신호를 전송하기 위한 마이크로스트립-도파관 트랜지션 기술	고속 유선통신 시장	1,674.29
입력 패턴 및 출력 패턴이 분리 가능한 파워 앰프 모듈 패키지 및 그 패키징 방법	원거리 무선충전 시장	766.01
배터리 및 커패시터를 함께 이용하는 양방향 컨버터 제어장치 및 제어방법	전기차 시장	825.00
비선형 초음파 모듈레이션 기법을 이용한구조물의 무선 진단장치 및 그를 이용한 안전진단 방법	비파괴 검사 시장	442.31
총액		**4,246.07**

연구단의 우수 연구성과 5건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

다차원스마트IT융합시스템 연구단의 5건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 약 4,246억원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산성과

다차원스마트IT융합시스템연구단은 연구단 성과 대국민 홍보뿐만 아니라, 연구 성과의 사업화, 글로벌 연구거점 구축 및 글로벌 기업과의 연구/사업화 협력을 위해 MOU 체결, 국제워크숍 개최, 국제 연구 교류 등을 통해 IT 융합 기술의 발전과 상용화 등을 위한 비전을 공유하였다.

가. 국제공동연구, 글로벌 기업과의 사업화 기술 협력 등

연구기간 동안 연구단은 미국의 Purdue University, 호주의 University of Queensland 등 해외 유수의 대학과의 공동연구뿐만 아니라, 일본의 TANAKA, 스페인의 Playgiga, 프랑스의 Air Liquide 등 세계 각 분야 선도기업과의 기술사업화를 위한 협력을 통해 융합 기술의 상용화 노력을 지속하였다.

나. 이스라엘 요즈마 그룹과의 국제협력

- 연구단 주요 2개 기술 투자 유치 설명회 참가(2016.02.19, 판교)
- 전략적 파트너십 업무협약(MOU) 체결(2016.05.27)

다. 국제워크숍 개최

- CISS-Nano-Tera.Ch (Swiss) Joint 국제워크숍 개최(2013.10.16~17, KAIST)
- 헬스케어, 안전사회 등을 주제로 매년 '아시아 스마트센서 워크숍' 개최(2013~2018/총 6회)

라. 스마트센서와 관련한 전문서적 발간

- 세계 최대 과학 출판사 중 하나인 스프링거(Springer)를 통해 스마트 센서, 나노소자 및 회로 기술, 환경 모니터링, 에너지 하베스팅, 스마트 카메라 등에 대한 내용을 담아 3개 시리즈로 매년 전문 서적 발간

나노소자 및 회로기술 환경 모니터링, 스마트 카메라 등 3개 시리즈



Smart Sensors Systems 시리즈(총 4권)



마. 국내외 협력 네트워크 구축

국제적인 연구역량을 확보하고, 창출된 우수 성과에 대한 기술사업화(해외 기술이전 및 글로벌 창업) 연계 거점 역할을 수행하기 위한 글로벌 선도연구거점을 구축하기 위한 전략을 마련하였다.

▪ **글로벌 스마트 IT 융합시스템 연구/기술사업화 센터(CISS) 구축**

- **(선도연구거점)** 기술 기반의 미래 신성장 동력을 창출하고 지속 가능한 경쟁력을 확보하기 위해 Breakthrough Technology를 연구개발하고 사업화하는 거점 센터를 구축하여 창출된 우수연구성과에 대한 기술이전, 창업을 장려하고 보육하는 역할을 수행한다.
- **(글로벌 네트워크 구축)** 국내/외 대학, 연구기관, 글로벌 기업, 벤처, 전문가 네트워크 등 다양한 파트너들과 함께 협력하여 글로벌 선도연구 및 기술사업화 거점을 구축한다.
- **(운영방안)**
  · 주기적인 교류활동 제공(국제적인 워크숍/글로벌 투자 IR 개최 등)
  · 벤처, 투자자 및 정부 네트워크 등 다양한 파트너와의 협력을 통한 자원 확보
  · 개방형 연구 시스템 구축



<글로벌 연구 및 사업화 협력 개념도>



<글로벌 선도연구센터 구축 전략>



<연구단 국제협력 네트워크>

04 기술사업화 성공스토리

1. 배현민 교수 인터뷰



- 기업명: ㈜오비이랩
- 창업시기: 2013.06
- 도입기술명: 실시간 휴대용 고해상도 근적외선 뇌 영상장비
- 도입시기: 2014.03/2015.07 (총 2건)

2013년 6월에 창업한 ㈜오비이랩은 2건의 기술이전을 받아 실시간 휴대용 고해상도 근적외선 뇌 영상장비를 개발하였다. ㈜오비이랩 창업자이자 한국과학기술원(KAIST)에서 창업원장을 겸임하고 있는 배현민 교수를 만나 성공적인 사업화를 이끌어낸 비결과 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 배현민 교수님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

㈜오비이랩은 한국과학기술원 연구실 창업으로 2013년에 시작한 스타트업입니다. 세계최고수준의 반도체와 통신 기술을 융·복합하여 의료기기인 NIRSIT(휴대용 근적외선 뇌 영상 장치)를 개발하였습니다. NIRSIT는 기존의 fNIRS(functional Near-Infrared Spectroscopy) 기반의 뇌영상장치와는 차원이 다른 휴대성과 사용편의성에 합리적인 가격까지 갖춘 장비로 성능 면에서는 fMRI(functional Magnetic Resonance Imaging)에 가까운 고해상도를 제공하는 혁신적인 뇌기능영상장치입니다.

Q2 연구에서 창업을 하시게 된 계기가 궁금합니다.

A2

창업은 딥테크 기술을 완성해 나가는 과정에서 거쳐 가는 단계입니다. 연구자들이 고민해서 인류의 삶에 도움이 되는 딥테크 기술을 만들어도 논문을 작성하는 것에서 끝난다면 그 기술은 사장되고 맙니다. 요즘처럼 기술이 넘쳐나는 세상에서 다른 누군가가 내 기술의 가치를 알아보고 상업화까지 이끌어 가주는 경우는 매우 드문 일이기 때문입니다. '구슬이 서 말이어도 꿰어야 보배'라는 말처럼 누군가는 그 기술을 한 차원 높은 곳까지 가져가야만 상업화를 할 수 있고, 그 과정을 이끌어가야 하는 사람은 연구자 자신뿐입니다. 학생들과 새로운 기술들을 연구하고 그 결과가 충분한 사회적 기여가 있을 것 같다는 판단이 서게 되면 저와 그 기술을 함께 만든 학생들은 자연스럽게 창업의 과정으로 들어가게 됩니다.

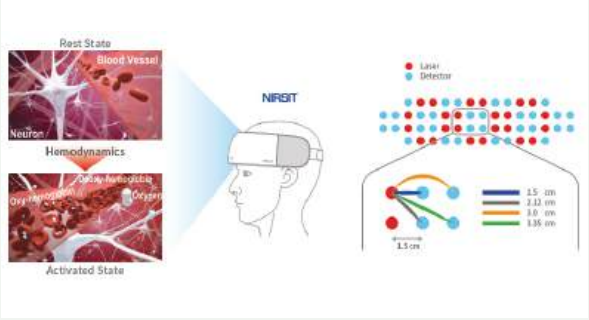
Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

오비이랩과 한국과학기술원이 수년간의 연구개발을 거쳐서 상용화한 'NIRSIT(휴대용 근적외선 뇌 영상 장치)'는 근적외선 분광분석기(NIRS) 원리를 기반으로 두 파장의 근적외선인 ~780nm, ~850nm 대역의 레이저를 대뇌 피질에 조사하여 뇌혈액 내 산소포화도 변화를 측정하고 이를 토대로 뇌의 활성화 정도를 파악할 수 있게 하는 장치입니다. 1mW 이하의 약한 빛으로 조사하기 때문에 인체에 무해하며, 휴대성을 극대화하여 언제 어디서나 쉽고 편리하게 뇌 상태를 모니터링할 수 있어 연구용 및 의료용으로 사용될 수 있습니다. 산소포화도 변화량을 측정하여 뇌의 활성화 정도를 실시간으로 모니터링할 수 있고 공간 해상도를 향상시켜 기존의 뇌 과학자, 연구자 및 의료진들이 CT나 fMRI와 같은 고가의 장비로는 어려웠던 일상생활에 관련한 실험들을 가능하게 합니다.



<NIRSIT(휴대용 근적외선 뇌 영상 장치)>



<NIRSIT 작동 원리>

Q4 앞으로 회사가 나아가고자 하는 계획 또는 비전을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A4

NIRSIT는 2017년 식품의약품안전처의 의료기기 허가를 받고 현재는 국내 대부분의 메이저 병원과 다양한 분야의 연구실에서 활용이 되고 있으며, 중국, 싱가포르, 호주 등 아시아태평양지역과 미주지역을 중심으로 한 해외에서도 뇌 연구 분야의 선도적인 연구자들이 활용하고 있습니다.

앞으로는 바이오 시장에서 4차 산업혁명에 발맞추어 Big Data Machine Learning을 기반으로 아직은 미지의 영역인 뇌질환 연구 및 치료에 이바지할 것입니다. 또한 우울증, 치매 등의 선별검사, 뇌졸중 환자의 모니터링 등 의료분야 뿐 아니라 교육, 스포츠 등의 분야에서 다양한 응용과 신제품 개발을 통해 뇌기능영상 분야의 선도적인 사업자로 자리매김하고, 궁극적으로는 브레인 빅데이터 기업으로 성장하는 것이 비전입니다.

Q5 창업을 많이 하신 것으로 알고 있습니다.
기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

기술이전을 통한 창업을 하려면 처음부터 목표에 부합한 시장조사와 관련 지식의 모음, 이를 바탕으로 한 실행방향을 마련해야 합니다. 또한 자신이 비교 우위에 있는 기술보다는 사회가 원하는 기술을 연구 개발한다는 기본 원칙에 충실하기 바랍니다.

Q6 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견이 있으시면 말씀해주세요.

A6

앞서 말씀드린 바와 같이, 학생들과 새로운 기술들을 연구하고 그 결과가 충분한 사회적 기여가 있을 것 같다는 판단이 서게 되면 창업의 과정으로 들어가게 됩니다. 이렇다 보니 새로운 기술이 완성이 되는 3~4년의 주기마다 새로운 창업이 이루어지고 있으며 지금도 계속 새로운 연구를 진행하고 있습니다. 저에게 있어 글로벌프런티어사업은 새로운 연구와 창업을 지속적으로 만들어 나갈 수 있는 토대이자 마중물이 되었습니다. 앞으로도 많은 연구자들에게 이러한 대형 국책 사업에 참여할 수 있는 기회가 제공되어 저와 같은 꿈을 이룰 수 있게 되길 희망합니다.

2 이경학 대표 인터뷰



- 기업명: (주)워프솔루션
- 창업시기: 2016.01
- 도입기술명: RF PA 모듈 및 무선 충전기기
- 도입시기: 2016.02/2020.12 (총 2건)

2016년 1월에 창업한 (주)워프솔루션은 2건의 대표 기술을 이전을 받아 원거리 다수기기 동시 무선 전력전송 및 충전기술, 5G 및 주파수(RF: Radio Frequency) 충전 기술의 핵심 소자인 초소형 RF 전력 증폭 소자, 고주파용 정류소자 등을 개발하였다. 성공적인 사업화를 이끌어낸 (주)워프솔루션 이경학 대표를 만나 그 비결과 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 이경학 대표님, 창업하신 기업에 대해 간략하게 소개해주세요.

A1

워프솔루션은 국내 최초로 주파수(RF: Radio Frequency)를 이용한 원거리 무선전력 전송기술과 5G 및 RF 충전 기술의 핵심 소자인 초소형 RF 전력 증폭 소자, 고주파용 정류소자 등 비메모리 전력반도체를 개발하는 팹리스(Fabless) 기업입니다. 2016년 한국과학기술원(KAIST)에서 창업한 이래로 끊임없는 혁신과 연구를 통해 국내 최초로 원거리 다중무선 충전 기술을 개발하였습니다. 이 기술은 세계적으로도 소수의 기업만이 보유하고 있는 기술로, 원천기술을 가지고 있는 워프솔루션은 이 분야에서의 경쟁력이 매우 크다고 할 수 있습니다. 올해로 창업한지 8년이 되었으며 17명이 근무하고 있습니다.

Q2 연구에서 창업을 결심하게 된 계기와 숨은 이야기를 말씀해주세요.

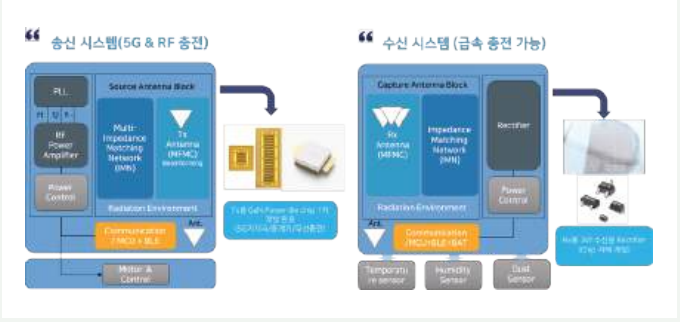
A2

스마트 센서를 개발해야 하는데 센서를 소형화하다보니 배터리를 넣을 자리가 없어 선을 없애고 배터리를 최소화할 방법이 무엇인지 고민을 하게 되었습니다. 그러다가 와이파이나 블루투스처럼 전선 없이 센서에 전력을 한꺼번에 '전송'해주면 복수의 센서를 단번에 충전할 수 있겠다는 생각을 하게 되었습니다. 일반적인 통신 구조에서 전력은 먼 거리까지 통신 데이터를 전달하고 버려집니다. 그리고 통신을 위한 기지국이나 중계기에서 보내지는 신호 중 95% 이상이 버려지는데 이렇게 버려지는 추진체 격인 전력 또한 공중에서 사라져 버려집니다. '이 전력을 버리지 않고 우리가 원하는 에너지로 변환하여 사용하면 어떨까?', '비효율적으로 사라지는 전력을 충전에 이용할 수 없을까?'라는 아이디어를 떠올리게 되었고 이러한 아이디어들을 현실화 할 수 있을 것 같아서 창업을 하게 되었습니다.

Q3 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A3

고성능 RF PA 기술과 주파수를 이용한 원거리 무선충전기술을 이용하여 다양한 주파수 대역대 무선 규모의 제품들, 그리고 핵심부품인 RF PA, 고주파용 정류기를 개발하였습니다. 이는 창업과 동시에 주파수를 이용한 무선 전력전송 기술과 핵심부품인 RF 전력증폭기 및 고주파용 정류소자의 직접 개발을 목표로 LG전자 및 전자/전파 관련회사에서 20년 이상의 경험을 쌓은 저를 중심으로 많은 연구진과 함께 RF 무선충전이라는 신기술에 대한 연구와 개발을 진행하면서 노력한 결과입니다.



<원거리 무선전력전송 기술>



<원거리 무선전력전송 기술의 적용>

이러한 결과를 바탕으로 워프솔루션은 근거리(10cm 이내)에서 원거리(1m 이상)에 이르기까지 다양한 응용 제품과 서비스 개발을 선도해왔으며, 각 환경과 어플리케이션에 적합한 솔루션과 노하우를 보유하고 있습니다. 중거리(10cm~1m)를 포함한 범위 내에서의 핵심 부품과 제품 개발은 워프솔루션이 경쟁사들과 크게 차별화되는 요소로 작용하고 있습니다.



<원거리 무선전력전송 개발 제품>

Q3 앞으로 회사가 나아가고자 하는 계획 또는 비전을 가지고 계신지 궁금합니다. 간략하게 말씀해주세요.

A3

전 세계에서 원거리 무선충전 기술을 갖춘 기업은 워프솔루션(한국), 에너저스(미국), 오시아(미국), 휴마복스(이스라엘) 4개 기업 밖에 없습니다. 워프솔루션은 전 세계 50여개의 특허를 보유하고 RF 무선 충전분야 ICT 규제 샌드박스 실증특례 1호로 선정되는 등 그 기술력을 인정받아 일본 벤처캐피털 '글로벌 브레인'(Global Brain)으로부터 20억원 등 총 48여억원을 투자를 받았으며 주파수를 이용한 전력전송 기술의 상용화를 선도하고 있습니다. RF 무선충전 기술을 이용하여 스마트 건전지와 마트 ESL 적용과 같은 혁신적인 프로젝트를 추진하고 있으며, 무선충전 시장과 어플리케이션에 대한 무궁무진한 가능성을 제시하고 있습니다. 더불어 워프솔루션은 RF기술을 기반으로 한 칩의 설계 기술 및 충전기술의 우수성을 갖고 있습니다. 이를 증명하듯, 워프솔루션은 송수신에 적용되는 칩을 자체 개발하고 있으며, "WARPS Inside" 라는 명칭을 통해 자사의 기술을 강조하고 무선충전 기술의 선두주자로서 경쟁사들과의 차별화된 점을 보여주고자 합니다. 또한 와이파워 기술은 와이파이와 비슷하게 무선으로 전력을 전송하는 기술로 이 기술을 이용하면 여러 가지 제품에 무선충전 기능을 부여할 수 있습니다. 현재는 와이파워 기술을 제품에 적용하여 데모를 진행하고 있으며, 국내 대기업들과 협업을 통한 무선충전 기술 개발을 목표로 하고 있습니다. 하지만, 이 기술은 비메모리 전력반도체의 한계로 인해 현재 5W 미만의 저전력 어플리케이션에만 적용할 수 있습니다. 그러나 자사에서 개발 중인 대전력 무선전력전송 칩의 개발이 완료되면, 전기자동차나 전자제품과 같은 고전력 제품들도 무선으로 충전할 수 있을 것으로 예상됩니다. 이렇게 와이파워 기술은 무선충전의 가능성을 넓혀주는 혁신적인 기술입니다.

향후, 워프솔루션의 무선충전 기술은 전기차 충전 인프라 구축에 활용되어 탄소중립을 실현하는데 기여할 수 있을 것입니다. 무선으로 전기차를 충전하면 연료 사용을 줄이고, 전기차의 보급을 촉진하여 탄소배출을 감소시킬 수 있습니다. 워프솔루션의 기술은 미래의 시장과 제품, 그리고 사회 전반에 걸쳐 혁신적인 변화를 가져올 것이며, 변화의 핵심 업체로 지속적으로 연구개발에 투자하고, 다양한 원거리 무선전력 전송 기술 및 원천기술 개발의 선두주자가 되고자 합니다.

또한 워프솔루션은 무선통신과 무선충전 기술의 선두주자로서, 기술력을 바탕으로 환경 친화적인 방향으로 활용하고자 하고 있으며, RE100과 CF100과 같은 지속 가능한 에너지와 탄소중립 솔루션 적용을 회사의 중장기 전략적 목표로 지속 가능한 미래를 구축하는데 앞장서고자 합니다.

Q4 기술이전을 통해 창업을 하고자 하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A4

창업은 시작일 뿐입니다. 창업자는 한 발짝 걸음을 내딛은 아이와 같습니다. 아이는 걷고 넘어지고 또 걷고 넘어지면서 성장합니다. 창업 이후에도 수많은 위기가 닥칠 것입니다. 그러나 그 위기를 극복하고 계속해서 길을 찾아 나아간다면 반드시 기회가 열릴 것입니다. 창업은 용기와 도전의 연속입니다. 그 도전을 즐기는 창업자는 멋진 성공을 이룰 수 있을 것입니다.

Q5 마지막으로 글로벌프런티어사업과 같은 정부 주도 대형 R&D 사업이 기술이전이나 창업에 어떠한 역할을 하였고 이러한 대형 국책 사업의 역할과 방향에 대한 의견이 있으시다면 말씀해주세요.

A5

2016년 1월 창업 이후, 원거리 무선전력 전송 기술을 개발해 왔습니다만, 국내에서는 전파 간섭을 이유로 규제가 많아서 수많은 어려움을 겪었습니다. 그런 상황에서도 저희의 기술력을 믿고 무려 7년 넘게 지원해주시고 응원해주신 (재)스마트IT융합시스템연구단에게 깊은 감사의 마음을 전합니다. 덕분에 저희는 세계를 선도할 수 있는 원천기술을 개발할 수 있었습니다. 앞으로도 혁신적인 기술을 장기적으로 지원할 수 있는 국책 사업들이 지속적으로 추진되기를 희망합니다. 그렇게 된다면, 미래에는 더 많은 연구자분들을 통해 크고 혁신적인 성과가 많이 창출될 것입니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

글로벌프런티어 사업은 정부 지원의 규모, 기간, 단장에 대한 신뢰라는 중요한 장점을 갖고 운영된 아주 좋은 국책연구사업으로, 어떤 면에서 선행 사업인 21세기프런티어 사업 등 이전 사업의 문제점을 잘 보완하여 기획되어 추진된 사업으로 생각한다. 그럼에도 불구하고 대형 국책연구사업을 추진하게 될 경우, 제언하고 싶은 것이 두 가지가 있다.

하나는 **서로 분야가 다른 10개 연구단을 서로 비교 평가하는 것보다는 각 과제를 어떻게 평가할 것인가 하는 문제에 초점을 맞추는 것이 바람직**하다고 생각한다. 각 연구단은 이미 각 분야에서 최고로 인정되어 선정된 것이므로 다른 분야와 비교를 하려면 기술 자체보다는 더 높은 수준에서 평가할 수 있는 평가단을 구성해야 하는데 이것은 쉽지 않다.

각 분야에 대한 전문성은 물론 그 연구를 왜 하는지 어떻게 활용해야 하는지에 대한 가이드 역할을 해 줄 수 있는 실력과 의지를 가진 사람들로 평가단을 구성하는 것이 사업의 성공에 꼭 필요하다고 생각한다. 이러한 평가단은 실력도 있어야 하고, 동기 부여도 되어야 할 것이다. 이를 위해서 사업의 시작부터 끝까지 함께 달릴 수 있는 평가자들로 평가단을 구성하고, 연구비의 일정 부분(5~10%)을 평가단에 지원해줄 필요가 있다.

다른 하나는 **다른 분야 간의 협력 시너지를 위한 수준 높은 메커니즘의 도입의 필요성**이다. 글로벌프런티어 사업의 경우에도 '추진위원회'가 있었지만 실제 더 높은 차원에서의 연구단 간의 협력과 융합 시너지를 일으키기 위해서는 훨씬 더 적극적이고 전문성을 가진 기구가 이 일을 맡아주어야 할 것이다.

이 두 가지는 메타 연구라고도 볼 수 있는데, 즉 그 자체는 연구는 아니지만, 연구의 방향, 의미, 효용성 진작을 위해서는 고민하고 풀어내야 할 문제이다. 어떤 의미에서는 연구 자체보다 더 중요한 문제이고, 연구비의 양이 어느 정도를 이미 넘어선 연구단에게는 시급한 문제이다. 이것이 우리 연구가 퀀텀 점프를 할 수 있는 계기가 될 것으로 생각하며 제언한다.

다차원스마트IT융합시스템연구단
연구단장 **경종민**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 **30개의 스타트업을 창업하였고, 이중 20여개의 스타트업에 주주로 참여하고 있다.** 향후 재정이나 인력 충원 등의 여건이 조성되면 대학과 연구소의 실용적인 원천 연구에 투자하고 창업의 전 과정에 참여하고 지원함으로써 스마트 센서 분야의 실리콘벨리와 같은 생태계 조성에 일익을 담당하고자 한다.

나. 앞으로의 계획

인류의 미래 이슈로 이어질 에너지 절감, 안전, 건강, 환경 문제 해결의 핵심기술을 제공함으로써 지속적인 성장과 확산 효과를 얻을 수 있다. IT, NT, BT에 걸친 다양한 응용분야에 대한 한계를 극복하는 혁신적인 성능들을 성취해냄으로써 새로운 기술시대로의 진입과 이들 기술들의 융·복합을 통해 다양한 소재, 부품, 공정 시스템 산업들이 지속적으로 성장할 수 있다. 공용성이 큰 스마트 IT 융합 플랫폼 기술은 IT, 반도체, 정보기기, 자동차, 의료, 로봇, 건설, 환경, 교육, 문화에 이르는 산업 전반에 걸쳐 적용되어 다양한 산업으로 확산할 수 있으므로 중장기적 파급효과가 매우 크다.

앞으로 시간은 걸리겠지만 결국 우리 주위, 즉 들고 다니는 모바일 기기, 자동차, 건물과 교량 그리고 우리 몸 여러 곳에 다양한 센서가 달리게 될 것이다.

연구실에서 시작된 연구가 어떻게 시장에서 실제로 팔리는 제품으로 연결될 수 있는지 그 과정을 직접 목격하게 될 것이며, 개발된 기술을 사용하여 양산 제품을 만들고 기업을 만들어 성공시키는 과정을 보게 될 것이다. **연구단은 기술이 창업으로 이어질수 있도록 지원하는 독립적인 투자법인의 역할까지 수행**할 예정으로 아직 그 일은 현재 진행형이다.

연구단으로서의 지난 9년간의 역할을 디딤돌 삼아 연구 촉진자로서의 제2단계 사업이 성공적으로 진행되어 조금이나마 한국 밸리를 만드는데 기여하도록 노력할 계획이다.



RESEARCH
GROUP

07
지능형바이오시스템 설계및합성연구단

Intelligent Synthetic Biology Center

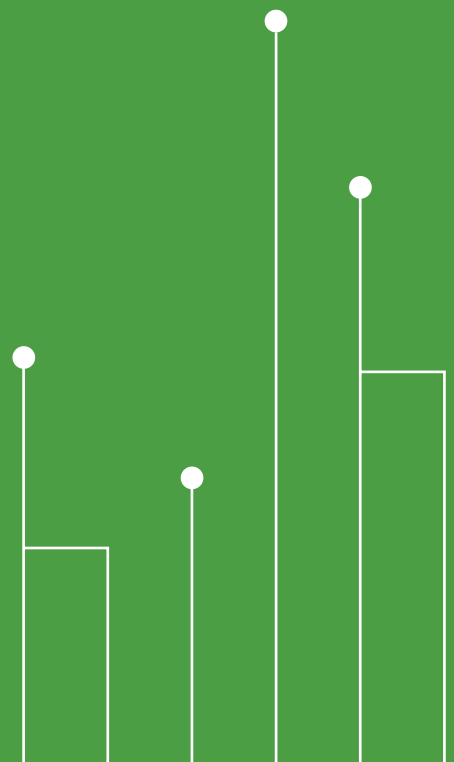
01 연구단 9년사 301

02 사업목표 308

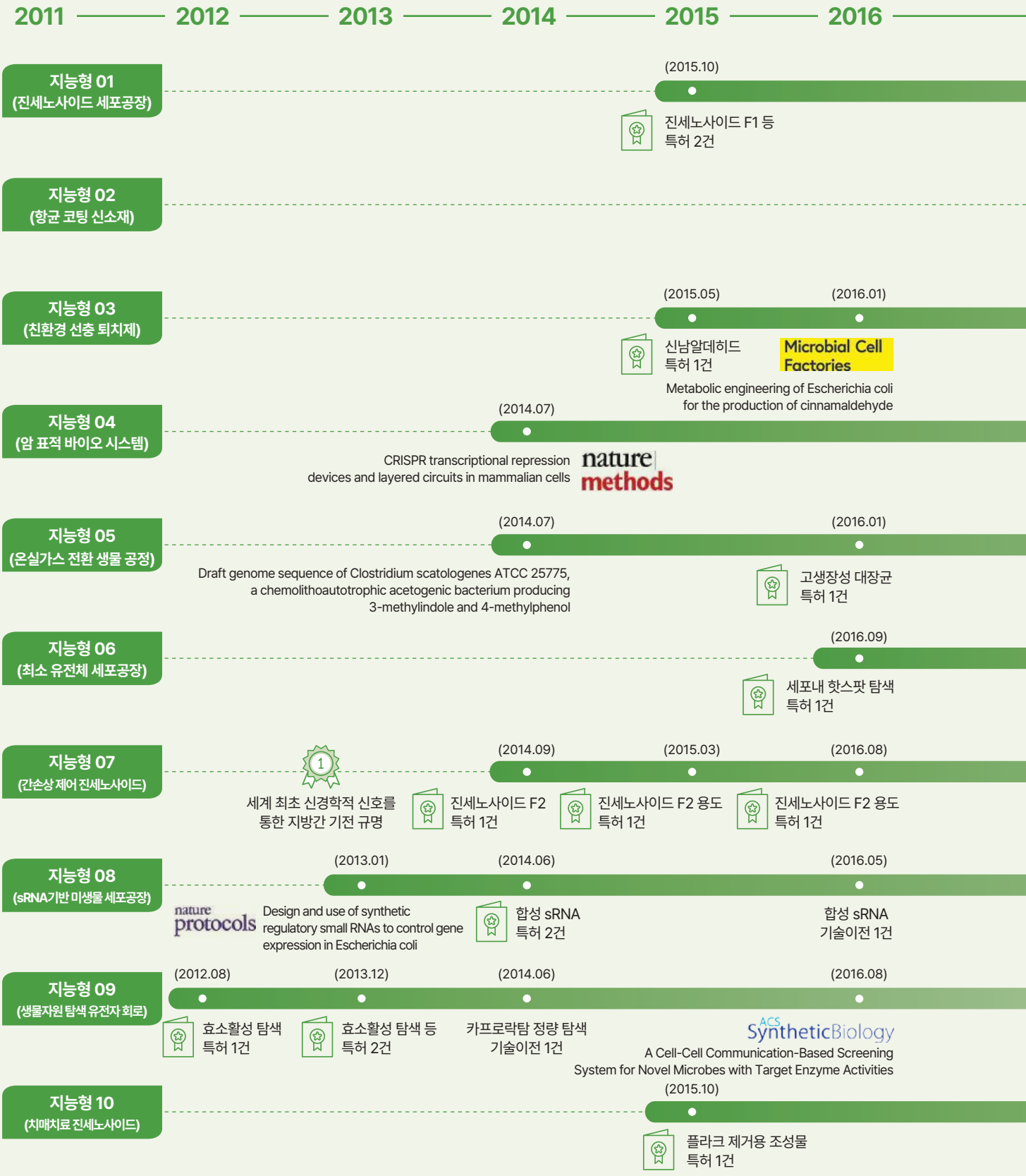
03 연구성과 314

04 기술사업화 성공스토리 332

05 미래제언 336



대표 연구성과별 파이프라인



지능형바이오시스템설계및합성연구단

2017 — 2018 — 2019 — 2020 — 2023 ~

(2017.04)
진세노사이드 F2
기술이전 2건

(2019.09)
Minor ginsenoside F1 improves memory in APP/PS1 mice

(2020.07)
뇌염증 억제용 조성물 등
특허 2건

(2017.08)
항균용 조성물
특허 1건

(2018.10)
항균 펩타이드
특허 1건

(2021~22)
International Journal of Molecular Sciences 논문발표 2건

(2019.05)
Green Chemistry 논문발표
2건

(2020.10)
대량생산 및 인허가
후속 연구개발 중

신남산 전환 균주
특허 2건

(2017.10)
Knockdown of BC200 RNA expression reduces cell migration and invasion by destabilizing mRNA for calcium-binding protein S100A11

(2019.05)
nature COMMUNICATIONS
Adaptive laboratory evolution of a genome-reduced Escherichia coli

MIT & Harvard Medical School과 공동연구 진행 중

(2019.01)
최소 유전체 미생물
특허 1건

(2020.10)
Functional cooperation of the glycine synthase-reductase and Wood–Ljungdahl pathways for autotrophic growth of Clostridium drakei

(2019.05)
nature COMMUNICATIONS 논문발표
2건

(2020.10)
KAIST Annual R&D
Report 선정

(2019.08)
Glutamate Signaling in Hepatic Stellate Cells Drives Alcoholic Steatosis
Cell Metabolism

(2020.04)
JGR
논문발표 1건

(2018.09)
PNAS
Design and use of synthetic regulatory small RNAs to control gene expression in Escherichia coli

(2018.11)
nature COMMUNICATIONS 등 논문발표
4건

(2018.07)
nature COMMUNICATIONS
Anterior cingulate cortex and its input to the basolateral amygdala control innate fear response

(2019.09)
논문발표 1건

(2020.08)
기억력 개선용 조성물
특허 1건

한눈으로 보는 지능형바이오시스템설계및합성연구단 9년



정량적 연구성과

(단위 : 건, 명, 백만원)

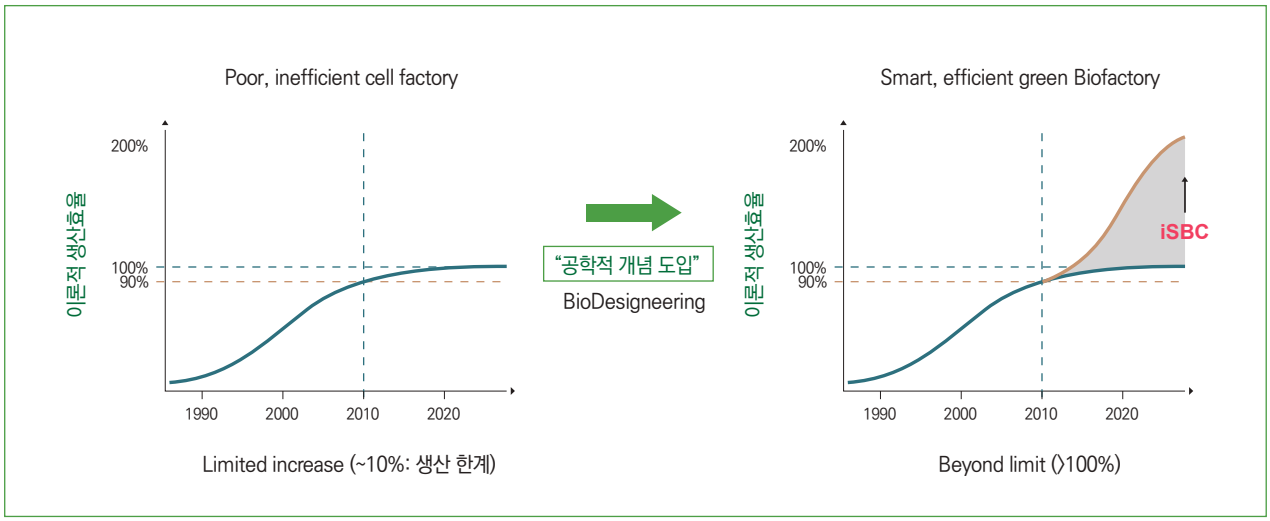
논문건수			특허					
SCI	비 SCI	계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
671	32	703	264	259	523	191	120	311

학위배출				국제 협력		기술사업화		
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전		창업
						건수	기술료(백만원)	
133	162	4	299	6	161	16	1,399	3

01 연구단 9년사

1. 설립배경

바이오는 기계, 화학, 전자산업이 이끌어온 현대 산업혁명의 대미를 장식할 분야이며, 지속가능하고 풍요로운 미래를 담보할 녹색성장의 핵심요체이다(앨빈 토플러 "제4의 물결"). 지금까지 바이오분야는 생명현상에 대한 탐구·규명을 중심으로 발전해왔으나, 미래에는 인류의 편익과 번영을 위하여 다양한 바이오 기술들을 더욱 능동적으로 발굴하고 활용할 필요성이 있다.
이에 지능형바이오시스템설계및합성연구단은 생명현상에 창의적 설계 및 공학적 원리를 도입하고 유전자/유전체 합성기술(BioDesigeering)을 이용하여 기존 세포공장의 이론적 한계를 뛰어넘는 생산성을 확보하고 바이오 기반 신성장동력을 창출하고자 하였다.



가. 기술적 측면

바이오기술은 미래 성장산업으로 지속가능하고 환경 친화적인 물질 및 에너지 생산, 신개념 의약 개발 등에 근간이 되지만 생명체 특유의 복잡성, 생명현상의 불가측성으로 인하여 기술개발의 효율성 및 범용화가 어려운 단점이 있다(미국국가정보위원회 "글로벌 트렌드 2025", 2005). 따라서 발굴·규명 중심의 바이오연구에 효율중심의 공학개념을 도입해서 기존 바이오기술의 한계를 극복하는 새로운 break-through가 필요한 상황이었다. 이에 생명현상 및 생체재료를 인류의 편익에 부합하도록 설계/제작하는 공학적 방식(부품화, 표준화, 모듈화)의 합성생물학 연구가 본격적으로 부상하였다. 방대한 유전체 정보의 확보/분석과 유전자 합성기술을 IT/NT 기술과 접목해서 바이오 기반 신성장동력을 창출할 것으로 전망되었다.
연구단은 생명체 기능을 부품/모듈화, 표준화 관점에서 재해석하고, 이를 기반으로 설계 및 제작된 지능형 바이오부품·회로를 세포에 장착, 생산성이 극대화된 생물세포공장을 만들어 바이오산업에 활용, 국가 성장 동력을 창출하는 합성생물학 원천기술을 개발하고자 하였다.

나. 경제적·산업적 측면

합성생물학은 바이오부품의 모듈화, 표준화를 통해 구축된 전자회로/시스템을 이용하여, 개별 생물/공학자들이 스스로 콘텐츠를 쉽게 구성할 수 있는 장점을 가지기 때문에 성숙단계에 접어든 현재의 바이오 시장의 출구가 될 수 있다. 콘텐츠의 성장은 바이오 부품의 개발자와 사용자의 수요증가를 가져와서 바이오 시장을 재편할 수 있을 것이며, 기존의 생물공학의 패러다임을 뛰어넘는 새로운 산업적 기반을 구축하여 생명공학분야에 새로운 변혁을 초래할 것으로 예상된다.

합성생물학 분야 세계 시장은 급속하게 팽창하고 있으며, 친환경 바이오 화학제품, 생물소재를 활용한 환경복원, 신재생 바이오에너지, 광범위하고 안전한 치료효과를 약속하는 차세대 바이오의약품 등에서 새로운 시장 창출이 가능하다.
연구단은 맞춤형 스마트 최소유전체 인공세포공장 구축 기술을 개발하여 바이오기반 친환경적이고 획기적인 대량생산으로 유용물질의 생산단가를 절감하였다. 이를 통해 의약품 시장과 바이오화학 시장에서 우리나라의 세계 경쟁력을 확보하고자 하였다. 또한, 합성생물학 세포공장을 이용한 고효율로 양산되는 각 물질들을 국내외 회사들과 협력하여 기술이전 및 판매를 추진함으로써 국내 바이오산업의 활성화에 기여하고자 하였다.

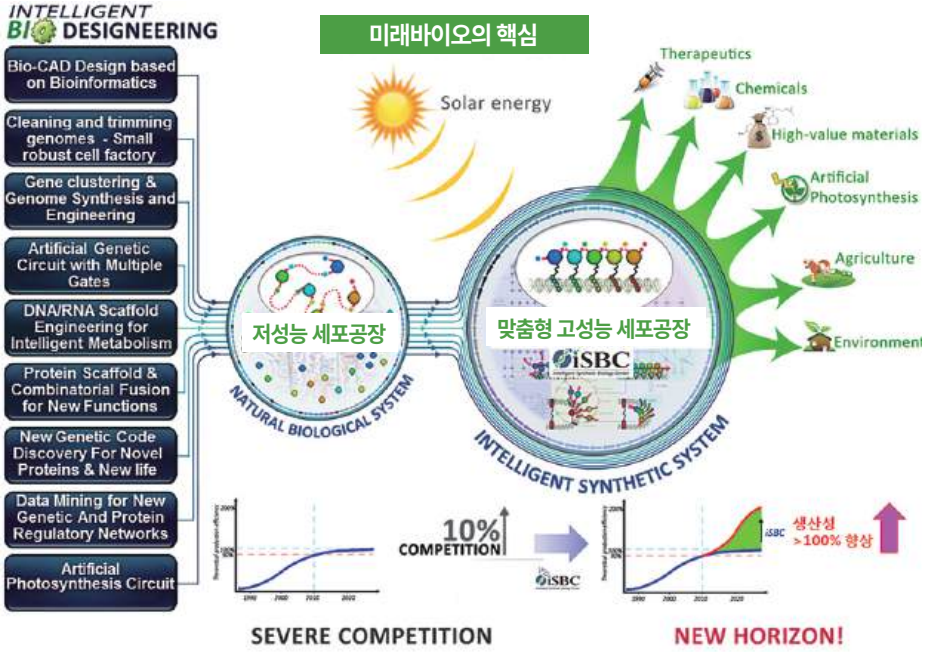
다. 사회적 측면

지구 온난화에 의한 기후변화로 생태계, 산업, 경제 전반에 큰 변화가 있으며, 선진국을 중심으로 탄소배출을 억제하려는 규제가 강화되고 있다. 이런 규제가 21세기 국가 간의 새로운 무역장벽으로 등장함으로써 녹색기술의 선점을 위한 글로벌 경쟁구도가 심화되고 있다(NIC's Global Trends, 2025). 만성적 자원부족을 겪고 있는 우리나라에서도 녹색성장의 기반이 되는 독창적 원천기술의 개발노력이 시급하다. 또한, 우리나라는 세계적으로 유례없이 빠른 속도로 고령화 사회에 진입하여 사회·경제적으로 심각한 문제들이 야기되고 있으며, 인류를 끊임없이 괴롭혀 온 갖가지 질병과 기아도 심각한 위협이 되고 있다.
이러한 맥락에서 합성생물학은 바이오분야 전반의 실용성을 제고할 수 있는 독창적인 핵심 원천기술의 근간을 제공할 것이다. 고기능 바이오부품을 활용한 바이오화학 산업균주 개발을 통해 기존의 화학공정을 환경 친화적인 생물공정으로 대체(BCC Research, 2015) 함으로써 세계적 관심사인 "저탄소 녹색성장" 비전 실현에 기여하고, 인류가 공동으로 직면한 기후 및 환경 문제 해결에 일조할 수 있다. 또한, 친환경적 대체에너지 생산이 가능한 재설계 인공미생물개발로 국가 에너지 안보 강화 및 경쟁력에 기여할 수 있고, 재설계 미생물을 통해 의약품 생산성을 높이고 비용을 낮춤으로서 국민 복지에 기여할 수 있을 것이다. 연구단은 이론적 생산성 한계치를 뛰어넘는 혁신적 생명공학 원천기술을 개발하여 이러한 사회문제를 해결하고 국민의 삶의 질 향상에 실질적으로 기여하고자 하였다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

지능형바이오시스템설계및합성(바이오합성)연구단은 생명현상에 창의적 설계 및 공학적 원리를 도입하고 유전자/유전체 합성기술(BioDesigeering)을 이용하여 고효율/고기능의 지능형 바이오 세포공장(Intelligent Cell Factory)을 구축하고자 하였다. 구축된 지능형 세포공장을 바이오의약, 화학, 에너지, 농업 및 환경 산업분야에 적용해 기존 세포공장의 이론적 한계를 뛰어넘는 생산성 확보와 바이오 기반 신성장동력을 창출하고자 하였다.



나. 사업추진 전략

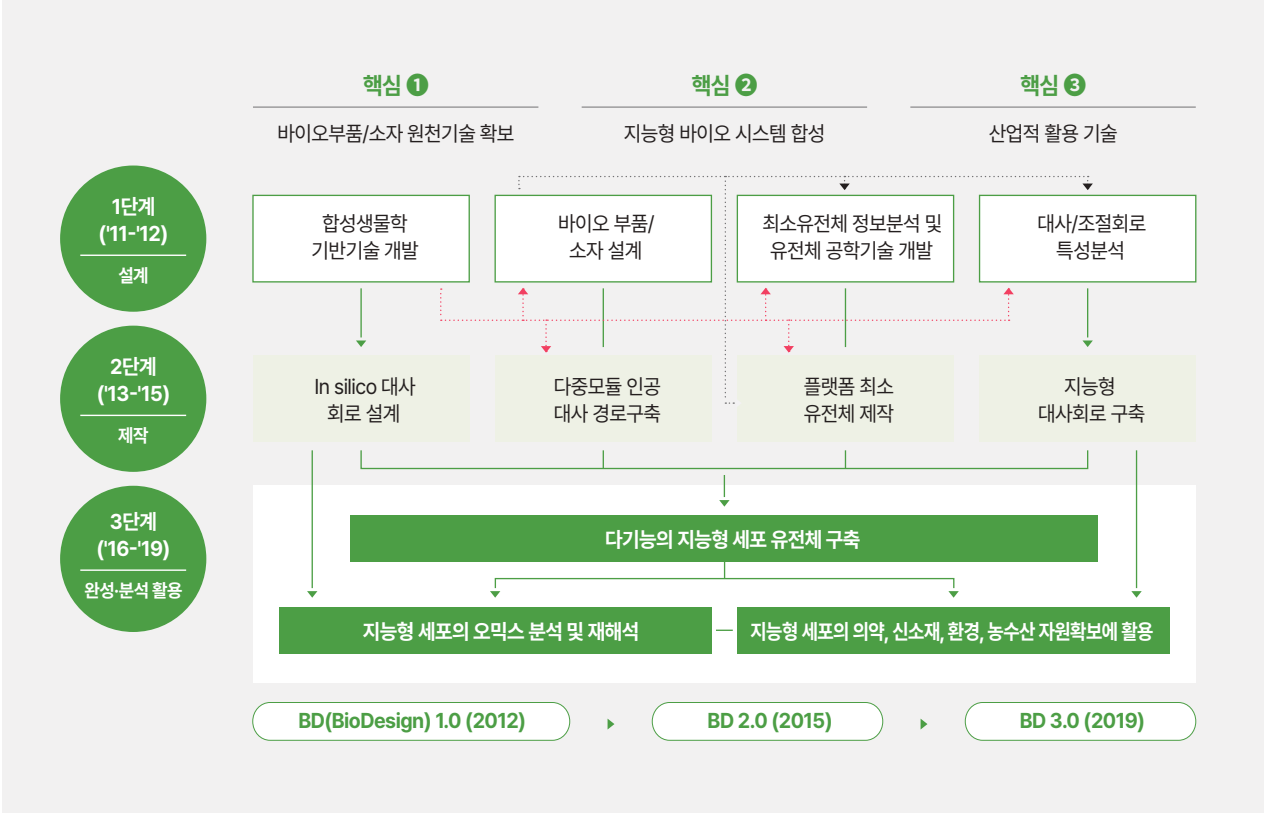
이슈별 기술 대안을 중심으로 3대 핵심과제를 구성하였으며, 연구개발 목표 및 결과를 유기적으로 공유함으로써 지능형 바이오시스템을 구축하고, 기존 biological system의 한계를 뛰어넘는 생산성 및 신개념 바이오·의약소재를 개발하여, 고기능 생리활성 물질, 항균 신소재, 친환경 바이오소재, 의약소재, 바이오 화학 기반 물질 등의 생산 극대화를 도모하였다.

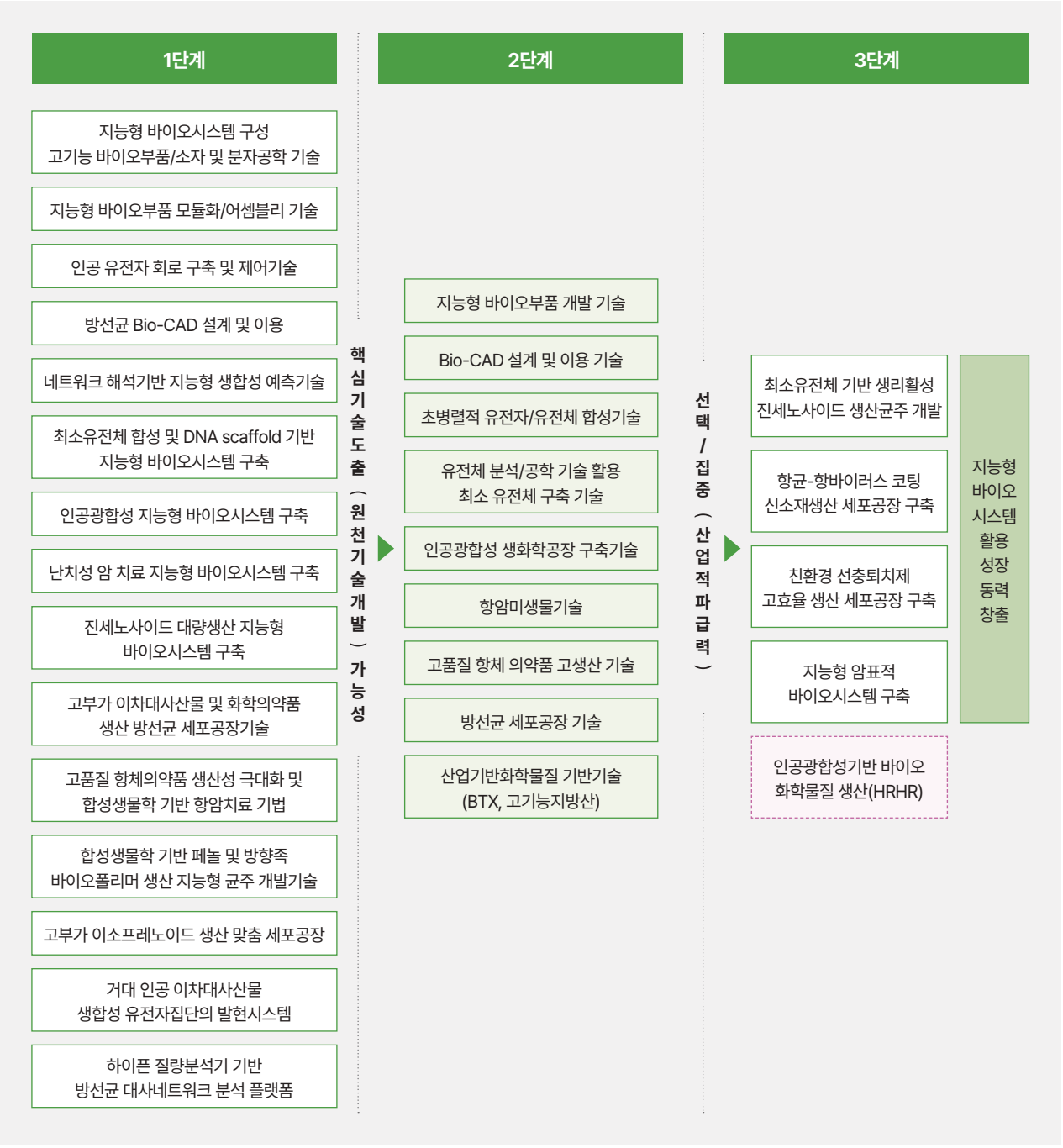
이를 위하여, 제1핵심과제는 유전자, 단백질, 대사/조절회로를 구성하는 표준 바이오 부품/모듈/회로를 제작하고 제공하여, 생체기능을 재조립하고 리팩토링하여 맞춤형 바이오시스템을 구현할 수 있도록 하였다. 바이오시스템의 구조와 기능을 해석하고 디자인할 수 있는 분자/네트워크 수준 바이오디자인 솔루션을 개발하였다.

제2핵심과제는 고효율 유전체합성 기술을 확보하고 최소유전체 생체시스템을 구현하여, 이에 각종 기능성 부품/모듈/회로를 장착하여 지능형 바이오시스템을 구현할 수 있는 뼈대를 이루는 플랫폼세포를 개발하여 제공하였다.

제3핵심과제에서는 각종 합성생물학 기술을 공학적으로 활용하여 의료 및 녹색산업 분야에서 파급효과가 큰 고기능 생리활성 물질, 항균 신소재, 친환경 바이오소재, 의약소재, 바이오화학 기반 물질을 고효율로 대량생산하는 세포공장을 개발하였다.

연구단의 3개 핵심분야 융합연구 및 세부과제간의 연구결과 연계 공유를 통하여 최종목표를 달성하기 위한 시너지효과를 극대화하였다. 또한, 연구단은 연구 필요성과 기술개발에 따라 1단계는 16개의 세부과제를 선정 수행하고, 2단계는 이를 원천기술 개발 정도에 따라 10개 기술로 집약하여 수행하였다. 3단계에서는 2단계 수행 10개 기술의 사업화 가능성과 과제의 미래가치를 고려하여 4개 전략과제와 1개 도전과제를 선택 집중하였다. 최종적으로 인허가 및 대량생산 시스템 확보를 통해 연구단의 성과창출 및 최종 사업화에 집중하였다.




1단계
2단계
3단계
지능형 바이오시스템 구성
고기능 바이오부품/소자 및 분자공학 기술
지능형 바이오부품 모듈화/어셈블리 기술
인공 유전자 회로 구축 및 제어기술
방선균 Bio-CAD 설계 및 이용
네트워크 해석기반 지능형 생합성 예측기술
최소유전체 합성 및 DNA scaffold 기반
지능형 바이오시스템 구축
인공광합성 지능형 바이오시스템 구축
난치성 암 치료 지능형 바이오시스템 구축
진세노사이드 대량생산 지능형
바이오시스템 구축
고부가 이차대사산물 및 화학의약품
생산 방선균 세포공장기술
고품질 항체의약품 생산성 극대화 및
합성생물학 기반 항암치료 기법
합성생물학 기반 페놀 및 방향족
바이오폴리머 생산 지능형 균주 개발기술
고부가 이소프레노이드 생산 맞춤 세포공장
거대 인공 이차대사산물
생합성 유전자집단의 발현시스템
하이픈 질량분석기 기반
방선균 대사네트워크 분석 플랫폼
핵심기술도출(원천기술개발)가능성
지능형 바이오부품 개발 기술
Bio-CAD 설계 및 이용 기술
초병렬적 유전자/유전체 합성기술
유전체 분석/공학 기술 활용
최소 유전체 구축 기술
인공광합성 생화학공장 구축기술
항암미생물기술
고품질 항체 의약품 고생산 기술
방선균 세포공장 기술
산업기반화학물질 기반기술
(BTX, 고기능지방산)
선택/집중(산업적파급력)
최소유전체 기반 생리활성
진세노사이드 생산균주 개발
항균-항바이러스 코팅
신소재생산 세포공장 구축
친환경 선충퇴치제
고효율 생산 세포공장 구축
지능형 암표적
바이오시스템 구축
인공광합성기반 바이오
화학물질 생산(HRHR)
지능형
바이오
시스템
활용
성장
동력
창출

3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

연구비는 과학기술정보통신부(구.미래창조과학부)로부터 연구기간 동안 총 833억 170만원을 지원받아 연구를 수행하였다.

연도	연구개발비(단위: 백만원)			총계
	정부	민간		
	과기부	현금	현물	
2011	5,100	-	-	5,100
2012	10,000	-	-	10,000
2013	10,000	-	-	10,000
2014	10,000	-	-	10,000
2015	8,330	-	-	8,330
2016	8,740.2	-	-	8,740.2
2017	8,607.5	-	-	8,607.5
2018	8,107.5	-	-	8,107.5
2019	8,488.5	-	-	8,488.5
2020	5,928	-	-	5,928
합계	**83,301.7**	**-**	**-**	**83,301.7**

나. 참여기관 현황

연구단 연구에 참여한 기관은 총 64개로, 1단계 18개, 2단계 24개, 3단계 22개였으며, 중복을 제외한 참여기관은 학계 23개, 연구소 5개로 학계의 참여가 많았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	6	2	8
	위탁	-	8	2	10
	계	**-**	**14**	**4**	**18**
2단계	세부	-	6	3	9
	위탁	-	14	1	15
	계	**-**	**20**	**4**	**24**
3단계	세부	-	4	2	6
	위탁	-	14	2	16
	계	**-**	**18**	**4**	**22**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 2,795명이었으며, 산학연별로는 학계가 2,175명으로 가장 많았으며, 학위별로는 석사가 1,206명으로 가장 많았다.

산학연별 구분

(단위: 명)

구분	1단계		2단계			3단계					합계
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
산업계	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
학계	178	289	304	268	248	219	201	188	171	109	2,175
연구계	66	77	59	75	64	61	71	70	45	32	620
계	**244**	**366**	**363**	**343**	**312**	**280**	**272**	**258**	**216**	**141**	**2,795**

학위별 구분

(단위: 명)

구분	1단계		2단계			3단계					합계
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	
박사	71	103	97	102	92	67	63	66	52	45	758
석사	86	139	154	127	178	125	123	121	96	57	1,206
학사	87	124	112	114	42	88	86	71	68	39	831
계	**244**	**366**	**363**	**343**	**312**	**280**	**272**	**258**	**216**	**141**	**2,795**

4. 사업 및 성과 관리

가. 사업관리 기본 철학

연구단 연구목표 및 기술사업화 목표 달성을 위해 연구개발 동향 및 시장 동향의 변화에 맞춰 세부과제 조정 및 신규과제를 추가하고, 세계적 수준의 우수 연구성과 창출을 위한 목표 심사를 강화하였다. 연구단 차원에서 산업계 전문가 등을 활용하여 IP 창출 전략을 수립하고 기술사업화를 추진하였으며, 다음과 같은 운영전략으로 사업을 관리하였다.



연구단은 연구결과의 실시간 모니터링을 통해 핵심 및 세부과제 간 체계적인 연계 및 순환형 연구가 진행될 수 있도록 조율하였으며, 수행과제 전념을 유도하고 책임감과 긍지를 부여하기 위해 우수연구팀에 과제별 3~7억의 연구비를 집중 지원하였다.
또한, 국내외 석학을 활용한 정기적인 자문 그룹 운영과, 창의형·혁신형 연구, 다양한 분야 간 융합형 연구에 대한 지원을 강화(전체 연구과제의 10% 이상)하였으며, 연구단 내 과제들이 개별적으로 운영되기 보다는 상호 유기적·네트워크형으로 운영되고 시너지가 창출될 수 있도록 연구관리 시스템을 운영하였다.
마지막으로 특허맵, 시장분석 등 사전 연구기획을 강화하고 과제 선정평가 시 이를 점검함으로써 연구시작 전부터 실용화 가능성을 염두에 두고 연구를 수행하도록 유도하였으며, 변리사 및 산업계 전문가의 자문 등 연구성과의 실용화 촉진을 위한 노력을 다각적으로 진행하였다.

나. 사업관리

(목표관리시스템 운영 및 목표심사 강화)

연구단 최종목표와 핵심과제, 세부과제 간의 연구목표가 상호 유기적으로 연계되도록 단계별, 연차별로 목표관리시스템을 구축하여 운영하였다. '기획운영위원회'를 통해 연구목표 심사를 강화하고 전략과제에 대해서 해외 전문가를 통한 자문·심사 위원회 운영하여 세계적 우수 연구성과 창출을 위해 노력하였다.

(인센티브 강화 및 진도관리 시스템 운영)

도전적 연구목표를 설정하고, 초과달성한 연구과제에 대하여 강력한 인센티브를 제공하고 과제의 연차별/단계별 평가 이전에 목표달성도 및 진행실적을 체크함으로써 우수성과 도출과 실질적인 진도관리가 되도록 운영하였다.

(체계적인 평가 관리)

연구개발 목표의 달성도, 연구결과의 질적 우수성, 연구결과의 활용에 중점으로 두고 정성적 평가를 하였으며, 연구단장이 총괄책임을 지도록 평가위원장을 겸임하고 각 분야별 전문가로 구성된 자체평가단을 구성하여 운영하였다. 산업계 인사를 평가위원으로 위촉하여 기업의 needs를 반영한 연구계획 수립을 유도하였다.
선정평가, 연차평가, 단계평가는 서면평가, 구두발표평가 등 객관적이고 엄격한 평가절차를 운영하며, 60점 이하 점수는 과제를 중단하였다.

다. 성과관리

(연구성과 관리체계 구축·운영)

연구단 사업을 통해 창출된 논문, 특허, 생물소재·자원 등의 연구성과물에 대해 성과관리체계를 별도로 구축하여 운영하되, 한국연구재단의 ERND 시스템 등과 연계함으로써 연구성과의 활용성을 극대화하였다. 기술평가사 자격이 있는 전담 직원을 채용하여 체계적으로 지식재산권을 관리하였으며, 세계 최초/최고 원천기술의 경우 기술이전 또는 사업화를 목표로 하고 있는 만큼 기술이전 또는 사업화가 이루어지기 전까지는 연구단에서 집중 관리하였다.

(성과확산 체계 운영)

특허전략 및 포트폴리오 지원, 기술이전 및 실용화 촉진, 기초 연구성과의 응용연구 활용 지원 등 창출된 연구성과물을 대상으로 성과활용을 극대화하기 위한 성과확산 시스템을 운영하였으며, 주요 원천기술의 경우 변리사 등 전문가를 활용한 전략적 특허출원을 지원하고 특허출원 후 논문이 게재되도록 유도하였다. 산업적 응용 가능성이 높은 기술의 경우 바이오산업 신성장동력 창출에 기여할 수 있도록 기술이전 및 실용화 촉진 체계를 운영하였다.

(외부 전문그룹을 통한 연구단 IP 창출 전략 컨설팅 실시)

연구단이 창출한 국내/외 특허 및 논문 등의 연구성과에 대한 기술분석·진단을 통하여 활용·확산 가능 기술을 발굴하고 사업화 전략을 수립하였다. 연구단 보유 기술 분야의 시장성 및 기술개발 동향을 고려한 특허 분석을 통해, 미래 시장 활용 가능성 기술을 발굴하고 지식재산권 확보를 선도하기 위한 특허 포트폴리오 전략을 수립하였다.

02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 현 바이오산업의 생산성 한계를 극복하기 위한 고성능 지능형 세포공장[1]을 개발하여 고부가 바이오물질(고기능 생리활성 물질, 항균 신소재, 친환경 바이오소재, 의약소재, 바이오화학 기반 물질 등)을 경제적으로 대량 확보하는 것을 최종목표로 하였다.

전략 목표

세계 바이오의약 및 바이오화학 시장 선점

산업화

지능형 인공 바이오 시스템 구축 및 활용

성과 목표

- 표준화 바이오부품/소자 개발 및 고도화
- 지능형 합성세포공장 구축 및 활용
- 차세대의약품, 기능성 생물소재, 기반화학물질 대량생산
- 원천특허 : 30 건
- 우수논문 : 170 편
- 기술가치 : 5조 원

핵심 분야

바이오 부품 디자인	세포 디자인/합성	세포공장활용
바이오 부품/회로 설계 및 제작기술	세포공장 설계 및 합성기술	세포공장 활용 고부가 바이오 제품 생산기술

중점 연구 내용

- Bio-GAD 설계 및 이용기술 개발
- 지능형 바이오 부품 개발 기술
- 인공생체회로 설계
- 유전체 분석 및 최소유전체 구축 기술
- 인공광합성 생화학공장 구축기술
- 지능형 항암제 기술
- 천연물 생산 세포공장 기술
- 천연 생리활성 물질 생산
- 친환경 바이오소재 생산
- 방선균 세포공장 기술
- 산업 기반 화학물질 생산 기술

1단계('11~'12)	2단계('12~'15)	3단계('16~'20)
지능형 바이오시스템 설계 및 기반기술 확보	**지능형 바이오시스템 구축/고도화**	**지능형 바이오시스템의 산업화**
• 바이오시스템 설계/Bio-CAD 기반 구축 • 바이오부품/소자 발굴, 표준화 • 유전체 재설계 및 플랫폼 세포 기술 개발 • 지능형 바이오시스템 산업적 활용 기반 구축	• 인 실리코 바이오시스템 고도화 • 바이오부품 모듈화, 어셈블리 및 리팩토링 • 최소유전체 및 플랫폼 세포 최적화 • 지능형 바이오시스템 구축 및 검증	• 고부가·고기능 생리활성물질 대량생산 기술 확보 • 신기능 바이오 메디칼 소재 대량 확보 기술 • 환경복원 바이오소재 확보기술 개발 • 인공광합성 세포공장 개발

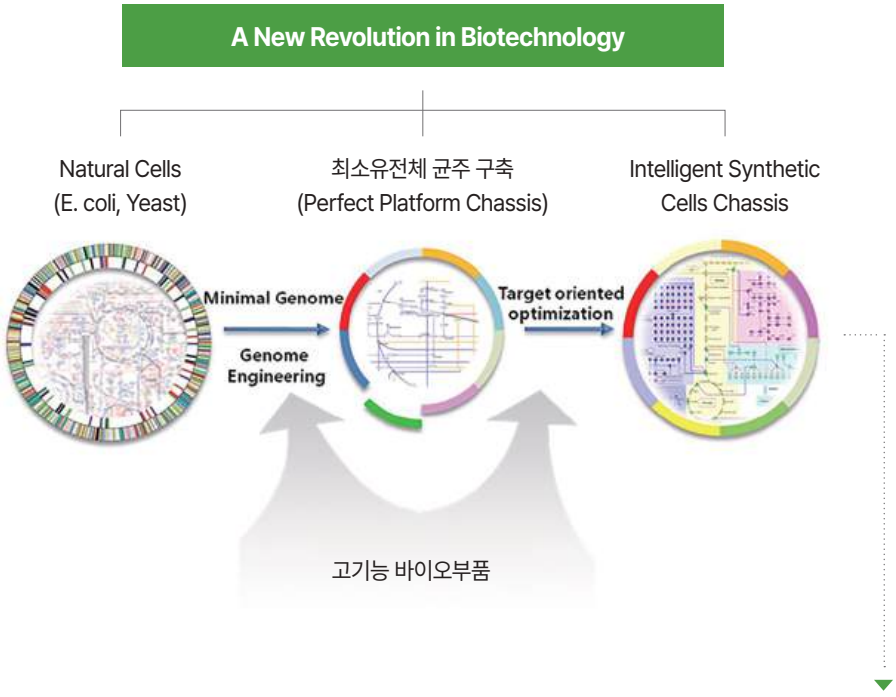
1) 세포공장: 대사공학에 의해 바이오생산물의 뛰어난 생산능력을 가지게 된 미생물 세포

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 바이오부품/회로를 설계하고 제작하여 바이오부품/소자 원천기술 개발, 세포공장을 설계하고 합성하는 지능형 바이오시스템 합성 원천기술 개발과 이렇게 만들어진 세포공장을 활용하여 고부가 바이오제품을 생산하는 산업적 활용 기술 개발이라는 3개 핵심 연구과제를 구성하였다. 이를 통해 기존 세포공장의 이론적 한계를 뛰어넘는 생산성을 확보하고 바이오 기반 신성장동력을 창출하는 것을 목적으로 하였다.

지능형 바이오시스템 기반 유용물질 대량생산/사업화



Targets

생리활성 바이오소재
노화방지, 치매, 항암, 간기능 개선 (Ginsenoside)
항암 생물제재(항암 바이러스)

친환경 바이오소재
선충저해제(cinnamic aldehydes)
신규 항균코팅제(접착성 펩타이드)

화학의약품
항암 치료제, 항생제 기능 강화제
(epothilone, clavulanic acid)

인공광합성
이산화탄소 저감, CH_3OH생산

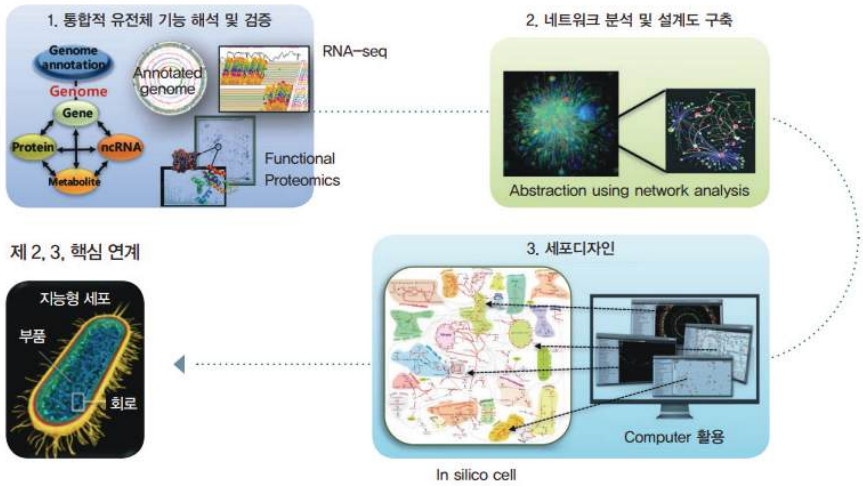
합성생물학 원천기술

나. 핵심과제별 연구분야 및 내용



❶ 1핵심 : 바이오 부품/회로 설계 및 제작기술

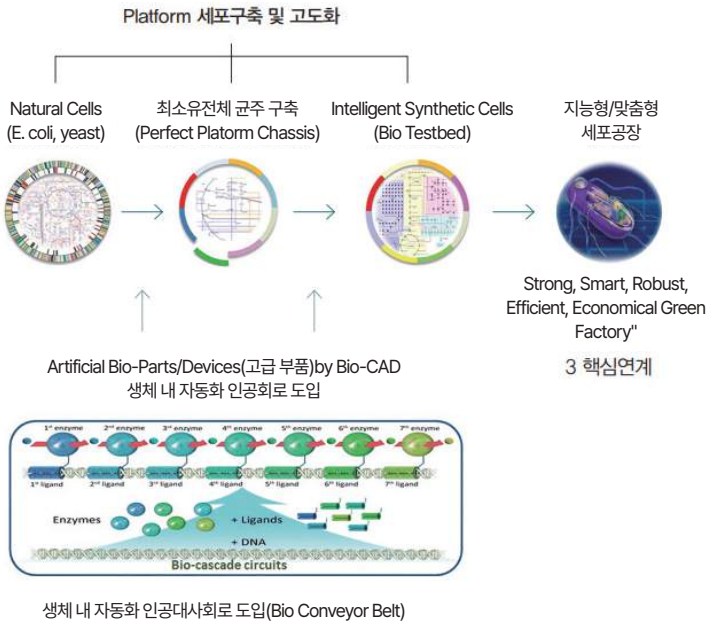
창의적 세포설계 및 바이오 부품 제작 기술을 바탕으로 생명현상의 메커니즘을 공학적 관점에서 재해석하고 생체물질에 단순화, 표준화, 모듈화 원리를 적용해서 새로운 바이오부품/소자/회로를 구축하였다.



세부 기술	연구 내용
지능형 바이오 부품 개발 기술	• 고감도 세포물질 감지(μM) 바이오부품기술 개발 • 세포상태를 인지하여 대사활성을 자동 조절하는 지능형 유전자회로 개발 • 인공 합성경로 개발: 모듈조합 회로 • 바이오 뱅크/팹 구축: 타 핵심 연계 대사/효소/조절 지원

❷ 2핵심 : 세포공장 설계 및 합성기술

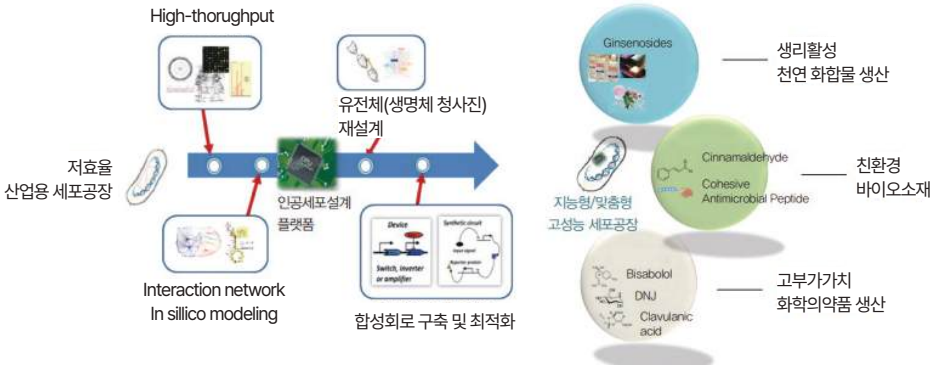
단순히 유전체를 복제하는 수준을 넘어 필수 대사회로 및 유전자 발현효율 등을 고려한 최적화된 유전체를 설계 및 합성하여 세포에 도입하는 맞춤 유전체 엔지니어링을 통한 지능형 세포공장 합성 기술을 개발하였다.



세부 기술	연구 내용
유전체 분석/편집기술 활용 최소유전체 구축 기술	• 대장균 기반 최소유전체 인공균주 구축 • 바이오 부품/모듈/회로 도입을 통한 지능형 바이오시스템 구축 • DNA Scaffold 원천 기술 개발 • DNA Scaffold를 바탕으로 한 RNA/Protein Scaffold 및 Nano-scaffold 기술 개발 • RNA 제어기술 개발 및 최소유전체 성능 극대화
천연 생리활성 물질 생산 세포공장 기술	• 다양한 이소프레노이드 생산에 범용적으로 사용 가능한 고성능 빌딩블락 생합성 모듈 개발 • 고부가 진세노사이드 대량 생산 최종 생합성 모듈 개발, 균주 구축

❸ 3핵심 : 세포공장 활용 고부가 바이오제품 생산기술

지능형 인공세포에서 기존 화학합성 및 대사공학 기술로 생산이 어려운 고부가 바이오제품(천연 생리활성물질, 항암/항생제, 산업기반화학물질 등)을 생산하는 기술을 개발하였다.



세부 기술	연구 내용
항균 및 항바이러스 소재 개발 기술	• 접착성 항균펩타이드 개발 • 비천연아미노산 DOPA의 생체 내 대량생산 시스템 개발 • 비천연아미노산 DOPA 도입 단백질 생산기술 개발 • 항균펩타이드 대량생산 세포공장 개발 • 펩타이드 기반의 항균 코팅제 개발, 의료기기 및 생활용품 적용
지능형 항암제 기술	• 세포간 유전자회로의 직접 전달용 유전자 회로 제작 • 암표적 마이크로리보핵산 발현분석 기반 암세포 구별 유전자 회로 제작 • 암세포/조직 사멸 유도 유전자 회로 제작 • 고형암 타겟 지능형 유전자회로 제작 및 난소암에 대한 효능 검증
친환경 선충 퇴치제 고효율 생산 세포공장 기술	• 친환경 선충퇴치제 Cinnamaldehyde 생합성 경로 구축 • 대사공학적 개량을 통한 페닐알라닌 및 cinnamic acid의 고효율 생산 균주의 개발 • 고활성 효소 개량 및 고효율 생산 시스템 구축 • 대량생산 공정 및 정제과정 확립 • 친환경 소나무 재선충 제어 소재 탐색 • 안전성 검사를 통한 '친환경유기농자재'로의 인증 및 상용화 추진
전기생합성 생화학공장 구축	• 자연모방 이산화탄소 환원반응의 in vivo 설계 및 최소유전체 기반의 전기생합성 생체회로 시스템을 개발하고, 이를 통해 바이오 화합물 전환효율이 극대화된 인공광합성 시스템 제작 • 인공광합성 미생물로의 효율적인 전자 전달이 가능한 다공성 지지체 제작/최적화 및 대면적화/대량생산 원천기술 개발
산업기반화학물질 생산 기반 기술	• 산업용 균주 대사 제어용 sRNA를 여러 환경에서 사용할 수 있도록 sRNA 발현 플랫폼을 3종 이상 개발 • 산업용 균주 대사 제어용 sRNA의 구조체에 돌연변이를 도입하여 유전자 발현 억제능을 향상시킨 구조체를 1종 개발 • 주요 산업 미생물 2 종에서 합성 조절 sRNA를 이용한 유전자 발현 조절 시스템 구축 • 방향족 화합물 생산 균주의 제작 과정에 합성 조절 sRNA를 활용하여 대사회로 최적화를 통한 생산성 향상 균주를 1종 제작
방선균 세포공장 기술	• 고부가 이차대사산물의 최적화된 인공 생합성유전자집단 설계 및 합성기술과 거대 생합성 유전자집단 효율적 발현시스템 개발 • 고부가 이차대사산물 초고생산성 지능형 방선균 세포공장 플랫폼 제작

다. 단계별 연구내용

1단계(2년)

구분	연차별 목표	
1차년도 (2011년)	· 바이오부품/소자 분자공학 원천기술 개발 · 인공 유전자회로 구축 기술 개발 · 지능형 바이오 시스템 유전체 정보 고속분석 기술 개발 · DNA Scaffold 기술 개발 및 검증 · 광화학적 조효소 재생 소재 탐색 · 인공광합성 시스템 탐색	· 종양표적능력이 향상된 균주 확보 및 단백질 전달시스템 개발 · DNA scaffold system 개발 · 진세노사이드 관련 유전자 발굴 · 목표 화합물의 생합성 유전자 확보 · 항체의약품 생산에 특화된 대상 숙주 세포주 선정 · 페놀 생산에 특화된 대상 균주 선정
2차년도 (2012년)	· 바이오부품/소자 및 분자공학기술 개발 · 인공 유전자회로 제어 기술 개발 · 지능형 바이오 디자인 기술 개발 · 필수 대사회로 관련 유전자 확보 · DNA scaffold 기술을 이용한 모듈 대사회로 구축 및 최적화 · 탐색 시스템의 인공광합성 경로 유전자 발굴 및 기능 규명	· 차세대시퀀싱 기법 개발 · 박테리아 약물 전달체계를 이용한 동물모델에서의 항암 치료 · 진세노사이드 합성 대사회로 구축 · 플랫폼 균주 유전체 분석, 모델 균주의 대사 조절 Network 규명 · 항체의약품 생산을 위한 숙주 세포주 개량 · 페놀 중간체 고농도 생산 균주 개량 기술 확립

2단계(3년)

구분	연차별 목표	
1차년도 (2013년)	· 바이오 부품-디바이스 개발 및 활용 제어기술 구축 · 차세대 고순도 올리고 획득 기술 개발 · 맞춤형 인공세포 최적화 기술 적용 세포성장 30% 촉진 · 전기생합성 미생물 유전체 발굴 및 분석	· Tunneling Nanotube를 이용한 세포간 교신장치 개발 · 이소프레노이드 생산균주 구축 및 생산배치 최적화 · Epothilone 벡터시스템의 최적화 · 방향족 단량체 생산 합성 대사회로 구축
2차년도 (2014년)	· 지능형 바이오부품/회로 적용 바이오소재 생합성 기술 개발 · 차세대 초병렬적 유전자 합성 기술 개발 · DNA Scaffold 기술 확장을 통한 인공세포 대사효율 50% 증가 · 전기생합성 미생물 유전체 서열 완성	· 암세포 구별장치 개발 · 이소프레노이드 생산 발효공정 최적화 · 세포공장 기초 최적화를 통한 이종숙주 최적화 · 방향족 화합물 및 고분자 생산 균주 제작
3차년도 (2015년)	· 지능형 바이오부품/회로 적용 바이오소재 생산 · 차세대 초병렬적 유전자 합성 기술 최적화 · 지능형 바이오시스템 MFG-2.0 구축 · 인공광합성 생화학공장 설계	· 암세포 사멸유도 및 지능형 암표적 항암제 개발 · 이소프레노이드 생산 발효공정 최적화 및 Scale-up · Epothilone B의 선택적 생산 시스템 최적화 · 방향족 화합물 및 바이오 폴리머 단량체 생산 균주 개발

3단계(4+1년)

구분	연차별 목표	
1차년도 (2016년)	· 산업적 유용 바이오부품 개발 · 유전체 전합성 기술 개발 · 최소유전체 구축 · 인공광합성 바이오시스템 구축 · 맞춤형 항암 치료 바이오 회로 개발	· 천연 생리활성 물질(진세노사이드 등) 확보 및 생산 세포공장 구축 · 신의약 생산용 방선균 개발 · 환경복원 친환경 바이오소재 생산 원천기술 개발 · 고부가 생리활성 물질 파일럿 플랜트 구축 · 구축 세포공장 및 바이오소재 안전성 실험
2차년도 (2017년)	· 바이오부품 적용 생산성 향상 · 유전체 전합성 기술 업그레이드 · 최소유전체 기반 산업용 균주 구축 · 인공광합성 바이오시스템 개선 · 맞춤형 항암 치료 바이오 회로 고도화	· 천연 생리활성 물질(진세노사이드 등) 안전성 실험 및 생산 · 방선균 세포공장 균주 최적화 및 기술이전 · 환경복원 친환경 바이오소재 생산기술 최적화 · 고부가 생리활성 물질 파일럿 플랜트 운영 · 구축 세포공장 및 바이오소재 안전성 실험
3차년도 (2018년)	· 바이오부품 적용 산업화 기술 개발 · 맞춤형 유전체 합성 자동화 기술 개발 · 최소유전체 기반 산업용 균주 최적화 · 인공광합성 실증모델 구축 · 맞춤형 항암 치료 바이오 회로 전임상	· 천연 생리활성 물질(진세노사이드 등) 생산 실증실험 · 환경복원 친환경 바이오소재 생산 실증실험 · 고부가 생리활성 물질 파일럿 플랜트 개선 · 신규 세포공장 및 바이오소재 안전성 실험
4~5차년도 (2019~2020년)	· 바이오부품 적용 산업화 기술 개발 · 맞춤형 유전체 합성 자동화 기술 개선 · 산업용 세포공장 사업화 기술 개발 · 인공광합성 실증모델 활용 · 맞춤형 항암 치료 바이오 회로 전임상	· 천연물 생리활성 물질(진세노사이드 등) 생산 최적화 · 환경복원 친환경 바이오소재 생산 제품 사업화 · 고부가 생리활성 물질 파일럿 플랜트 스케일업 기술 구축 · 바이오소재 안전성 실험 및 제품화 시연

03 연구성과

1. 총론

생명현상에 공학적 개념을 도입하면 제약, 에너지, 화학, 농업 등 산업과 기술 안보에 막대한 파급력을 얻을 수 있다. 기존 생명체를 공학적으로 활용하거나, 자연에 존재하지 않는 생물시스템을 설계, 제작, 합성함으로써 생명과학이 가진 속도와 규모의 한계를 뛰어넘을 수 있다. 최근에는 설계된 반도체를 전문적으로 제조하는 파운드리와 유사한 개념으로, 설계·합성·테스트·학습 과정을 통해 합성생물학을 고속화·대량화·저비용화해 산업화하는 바이오파운드리 개념이 부상하고 있다.

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 생명과학에 창의적 설계와 공학적 개념을 도입해 신기능 생물공장을 구축하는 것을 목표로, 인공 유전회로, 표준화 바이오 부품·소자, 지능형 바이오시스템, 차세대 의약품, 친환경 화학소재, 화합물질 등의 성과를 냈다.

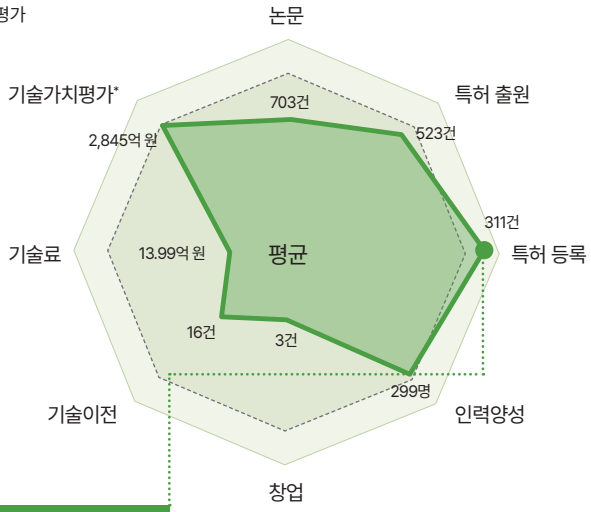
KAIST 연구진이 개발한 '합성 조절 sRNA 기반 미생물 세포공장 구축 원천기술'은 신약개발 기업 바이오니아에 1억 원에 이전돼 바이오매스 미생물 개발, 바이오화학 원료 개발 등이 활용될 전망이다.

연구단은 총 703편의 논문을 발표했다. 그 중 95.4%인 671편은 SCI 논문이었다. 국내외에 총 523건의 특허를 출원했으며 그중 311건을 등록했다. 학위인력 배출은 299명이었다.

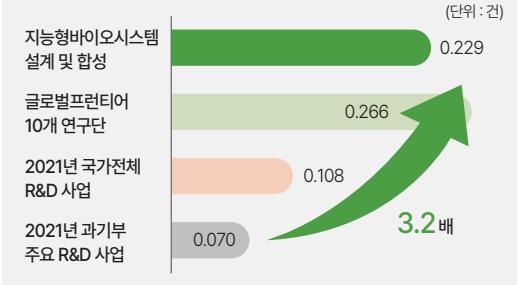
연구단이 창출한 성과에 대한 기술가치평가를 한 결과 총 2,845억 300만 원으로 평가됐다. 개발된 기술 중 총 16건이 이전돼 13억 9,900만 원의 정액기술료 수입을 얻었으며 3개 창업기업이 탄생했다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 8건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 국내 특허등록 성과



- 지능형바이오시스템설계및합성 연구단은 전반적으로 우수한 성과를 창출하였음
- 연구단의 연구비 1억 원당 특허 등록성과는 약 0.229건으로 글로벌프런티어 10개 연구단의 종합 성과보다는 약간 낮으나, 2021년 국가 전체 R&D 사업 대비 2.12배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 3.3배 높은 수준을 보이고 있음

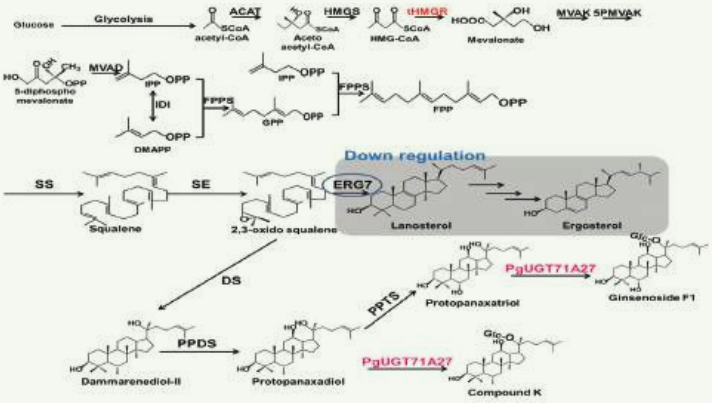
2. 대표 연구성과

지능형 01

바이오시스템 기반 진세노사이드 생산 세포공장 기술 ((재)지능형바이오시스템설계및합성연구단 김선창)



[진세노사이드 생산을 위한 효모균주 설계 프로세스]



[진세노사이드 생합성 과정]

- 연구단은 합성생물학 및 유전체 공학 기술을 활용하여 고기능 생리활성물질인 진세노사이드 생합성 기술(생산성 5g/L, 생산단가 1/100) 세계 최초 성공
- 기존 화학적 합성의 경우, 수율이 1%대로 연구단에서는 생산경로 및 발효공정 최적화를 통해 매우 높은 생산성의 진세노사이드 생합성 기술을 개발
- 또한, 특정 진세노사이드(C-K 포함 3종) 생산 유전자를 genome상에 삽입한 효모 균주를 구축하고, 특정 진세노사이드 효능 및 작용기작을 규명
- 해당 기술은 (주)아몽과 (주)액트퍼스트에 총 정액기술료 1.5억 원으로 기술이전을 진행

논문

· Expanding the Genetic Code of Mus musculus(Nature Comm. 2017)
· Ginsenoside Rh2 Ameliorates Atopic Dermatitis in NC/Nga Mice by Suppressing NF-kappaB-Mediated Thymic Stromal Lymphopoietin Expression and T Helper Type 2 Differentiation(Int. J. Mol. Sci. 2019)
· Minor ginsenoside F1 improves memory in APP/PS1 mice(Molecular Brain, 2019)

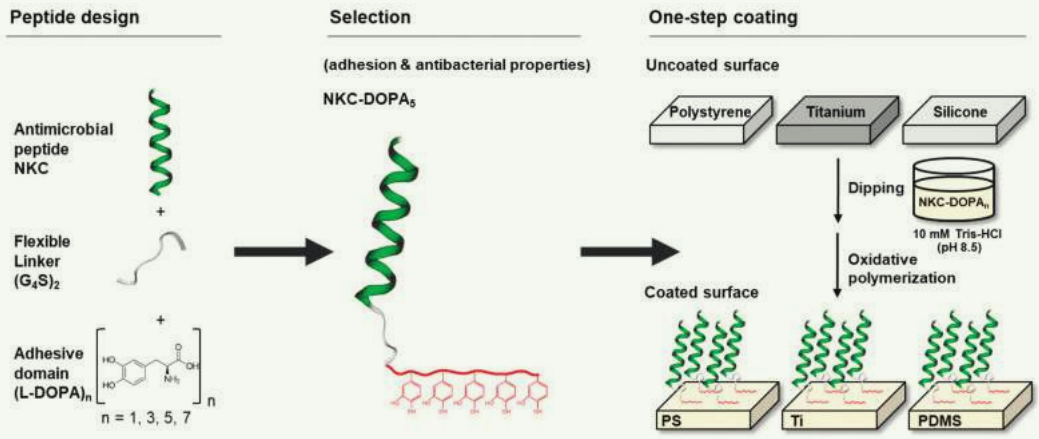
특허

· 진세노사이드 F1을 포함하는 아밀로이드 플라크 제거용 조성물(KR 10-2015-0148337, A등급)
· 진세노사이드 글리코시다제를 이용한 마이너 진세노사이드의 제조방법(KR 10-2015-0181763, A등급)
· 진세노사이드 Rh2 믹스의 대량제조방법(10-2017-0133508, BB등급)
· MT619 효소를 이용한 진세노사이드 G17 또는 CK의 생산방법(10-2020-0084876)
· 진세노사이드 F1 기반 추출물을 포함하는 뇌염증 억제용 조성물(KR 10-2020-0112040)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NCS (Nature Comm)	-	○	1.5억 원	-

지능형 02

감염제어 항균 코팅 신소재 생산 세포공장 기술 (KRIBB 성봉현)



[접착성 항균펩타이드 설계 및 제조 공정]

- 기존 항균 코팅제품은 화학적으로 생산하는 펩타이드를 활용하나, 가격이 매우 높다는 문제가 있음. 연구단은 이러한 항균 펩타이드를 생물학적으로 생산할 수 있는 기술을 개발
- 연구단은 강력한 항균펩타이드 NKC에 생체 유래 접착소재인 DOPA polymer를 결합한 접착성 항균펩타이드(NKC-DOPA polymer)를 개발하였으며, 해당 펩타이드의 접착성, 항균력, 항균지속력, 세포독성, 바이오 필름 저해능력 등 특성을 분석
- 특히, semisynthesis를 통한 비천연아미노산을 도입하였으며, 해당 기술은 다양한 비천연아미노산 포함 단백질 및 효소 생산에 적용할 수 있는 플랫폼 기술로써 의의를 가짐
- 접착성 항균펩타이드를 다양한 생활용품, 의료기기 및 전자기기 등에 적용하여 개발한 제품의 효능을 검증하였으며, 생물-화학 기술의 융합을 통한 항균펩타이드 경제적 생산 기술 마련(1.2 g/L)

논문

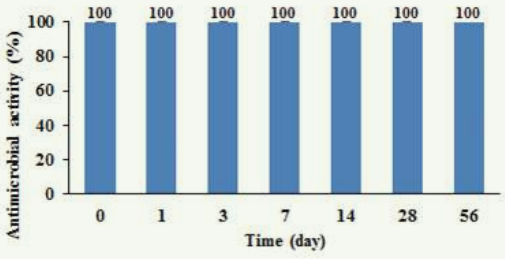
· Adhesive antimicrobial peptides containing 3,4-dihydroxy-L-phenylalanine residues for direct one-step surface coating(Int. J. Mol. Sci.2021)

· Semi-biosynthetic production of surface-binding adhesive antimicrobial peptides using intein-mediated protein ligation(Int. J. Mol. Sci,2022)

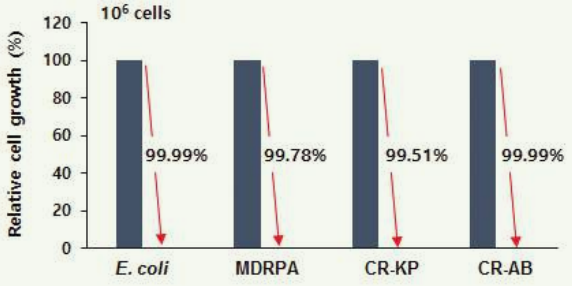
특허

· 접착성이 부여된 항균 펩타이드의 제조 방법 및 이의 용도(KR 10-2018-0128427, AA등급)

· 슈도모나스 속 균주 특이적 항균펩타이드 및 이를 포함하는 항균용 조성물(KR 10-2017-0104030, B등급)



[접착상태에서 항균 지속력]

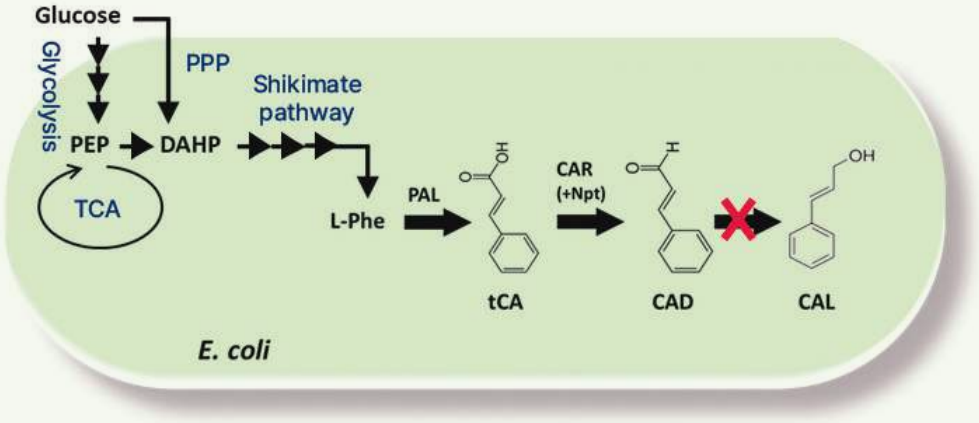


[항생제 내성균에 대한 항균 활성]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

지능형 03

친환경 선충 퇴치제 고효율 생산 세포공장 기술 (KAIST 정기준)



[대장균 기반 포도당으로부터 신남알데하이드 생산을 위한 균주 개량]

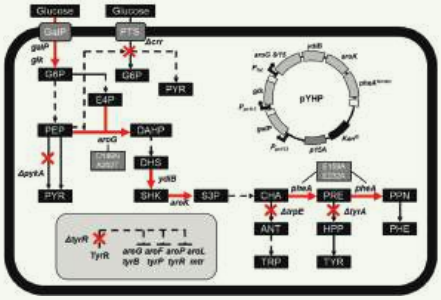
- 연구단은 대장균의 합성생물학적 균주 개량을 통해 토양 뿌리에 기생하는 선충의 퇴치에 우수한 신남알데하이드의 친환경 바이오 공정 개발에 성공 이는 저비용 고효율 생산기술로써 세계 최초 수준(10.1 g/L)이며, 대장균 기반 전구체인 페닐알라닌(50 g/L), 시나믹산(7 g/L)도 세계 최고 수준으로 개발하는데 성공
- 해당기술로 신남알데하이드의 대량생산을 기대할 수 있으며, 대량생산된 신남알데하이드는 농작물뿐만 아니라, 양식장의 스쿠티카충 제거, 모기유충 제거 등에도 적용될 수 있어 다양한 분야로 사업화가 기대됨
- 대량생산 공정 개발 및 인허가 등 사업화를 위한 후속 연구 추진 중

논문

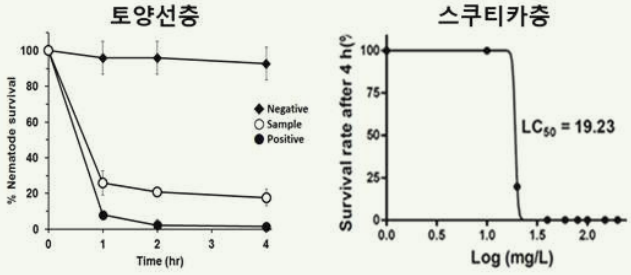
· Enhanced production of styrene by engineered Escherichia coli and in situ product recovery (ISPR) with an organic solvent. Microb(Cell Fact, 2019)
· Solar-driven biocatalytic C-hydroxylation through direct transfer of photoinduced electrons. (Green Chem, 2019)
· Metabolic engineering of Escherichia coli for the production of cinnamaldehyde (Microbial Cell Factories, 2016)

특허

· 신남알데하이드의 제조 방법(KR 10-2015-0067557, AA등급)
· 신남산으로부터 신남알데하이드를 효과적으로 전환할 수 있는 코리네 박테리움 변이 균주(KR 10-2020-0130193, BB등급)



[대사회로 개량]

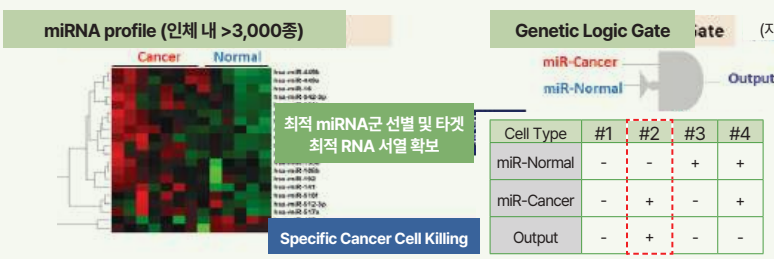


[생산된 신남알데하이드의 살선충테스트]

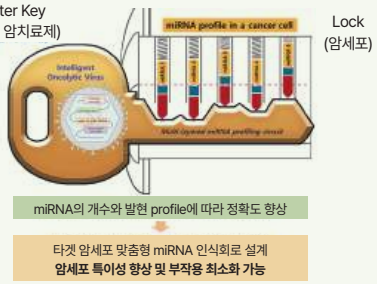
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

지능형 04

지능형 암표적 바이오시스템 구축 (KAIST 이준형)



[miRNA기반 유전자회로 개발 프로세스]

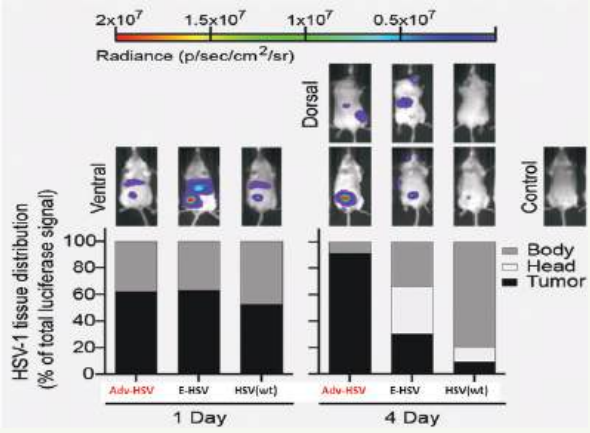


[다중 miRNA 인식회로 개념도]

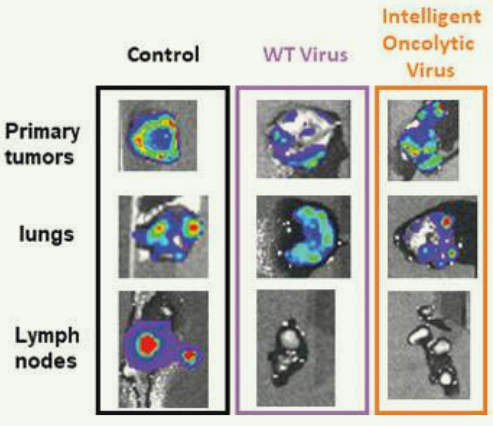
- 연구단은 기존 암치료제의 한계인 암조직 침투율 및 암세포 특이성 부족, 전이 및 재발 문제를 극복할 수 있는 모듈형 암표적 항암바이러스 시스템을 세계 최초로 개발
- 이를 위해 연구단은 기존 항암바이러스의 유전체를 재설계하고 새로운 기능의 프로파일링 인식 기반 유전자 회로를 도입하였으며, 개발된 시스템은 암세포와 정상세포의 구별능력을 극대화하고, 항암 면역활성 유도 기술을 통합하여 암세포의 성장, 전이 및 재발 억제가 가능
- 즉, 암세포 내부의 miRNA를 특이적으로 인식하고, 원하는 기능을 발휘하도록 설계된 유전자회로를 도입하여 부작용을 최소화할 수 있는 것이 특징
- 또한, 암세포 사멸과 동시에 암세포 스스로 항원을 배출함으로써 인체 면역세포를 활성화시키고, 이를 통해 암세포의 추적 및 제거가 가능한 면역치료용 단백질(GM-CSF, IL-12, Lactalbumin) 발현 시스템을 구축 및 도입
- 해당기술은 미국 MIT & Harvard Medical School과 공동연구 진행 중

논문

· CRISPR transcriptional repression devices and layered circuits in mammalian cells(Nature Methods, 2014)
· Knockdown of BC200 RNA expression reduces cell migration and invasion by destabilizing mRNA for calcium-binding protein S100A11(RNA Biology, 2017)
· Adaptive laboratory evolution of a genome-reduced Escherichia coli(Nature Communications, 2019)



[마우스 모델을 이용한 암세포 특이성 검증]

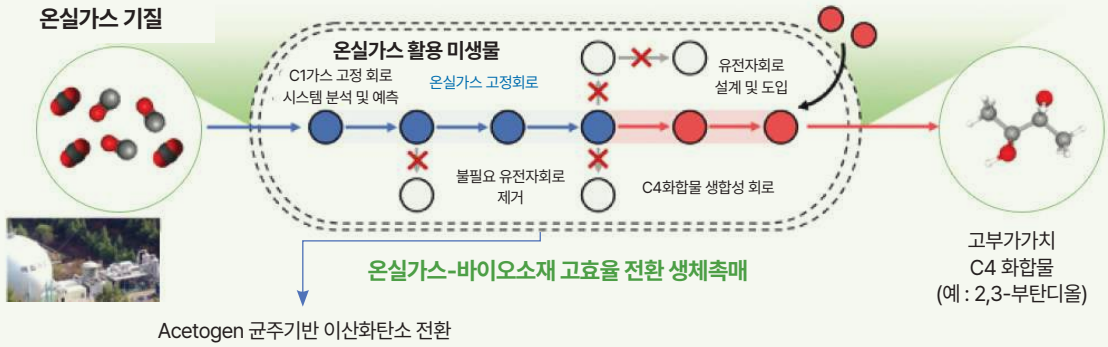


[지능형 항암치료제 적용 시 암성장 및 전이 억제 효과 확인]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NCS (Nature Methods)	-	○	-	-

지능형 05

기후변화 대응 CO_2 바이오소재 전환 생물공정 기술 개발 (KAIST 조병관)





[온실가스-바이오소재 고효율 전환 생체 촉매 개념]

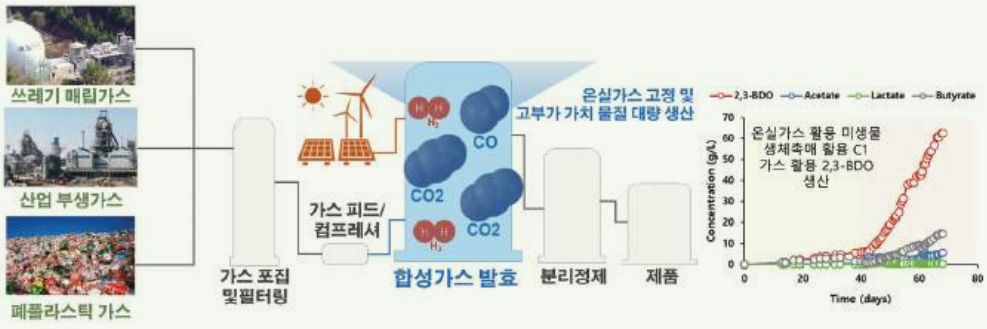
- 연구단은 유전체 편집 기술 등을 이용하여 이산화탄소 고정 균주에 적용 가능한 시스템(CRISPR/Cas9 및 CRISPRi)을 개발하였을 뿐만 아니라, 아세토인 생산 유전자의 발현을 조절하여 3배 이상의 아세토인 생산량을 증대시킬 수 있는 기술을 개발
- 이는 이산화탄소 고정 및 부가가치가 높은 물질로 전환가능한 미생물 생체 촉매를 개발한 것 이며, 해당기술을 통해 이산화탄소 저감 비용 완화 및 고부가가치 바이오화합물 합성을 통한 경제성 창출을 기대할 수 있음

논문

· Functional cooperation of the glycine synthase-reductase and Wood–Ljungdahl pathways for autotrophic growth of Clostridium drakei(PNAS, 2020)
· Primary transcriptome and translatome analysis determines transcriptional and translational regulatory elements encoded in the Streptomyces clavuligerus genome(Nucleic Acids Research, 2019)
· Draft genome sequence of Clostridium scatologenes ATCC 25775, a chemolithoautotrophic acetogenic bacterium producing 3-methylindole and 4-methylphenol(Genome Announcements, 2014)

특허

· 글리세롤을 탄소원으로 이용하는 고생장성 대장균(KR 10-2016-0056820, B등급)
· 최소 유전체를 갖는 신규 미생물 및 이의 제조 방법(KR 10-2019-0010539, BB등급)

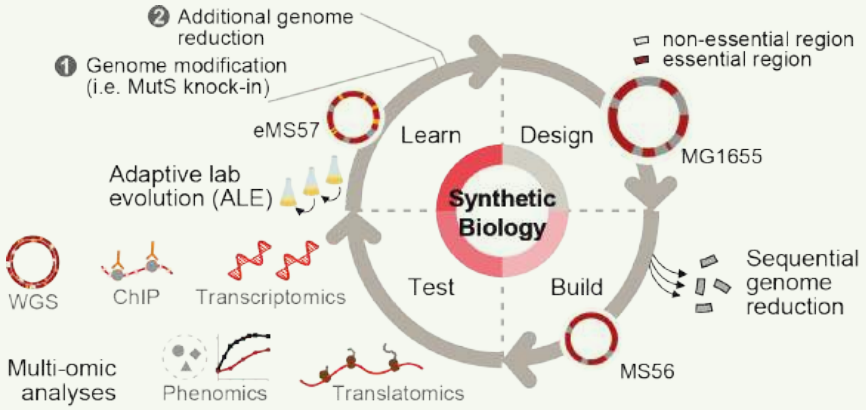


[이산화탄소 고정 바이오소재를 활용한 고부가가치 물질 생산 프로세스]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

지능형 06

바이오메디칼활성소재 최적 생산용 지능형 최소유전체 세포공장 개발 (KAIST 조병관)



[최소 유전체 설계 프로세스]

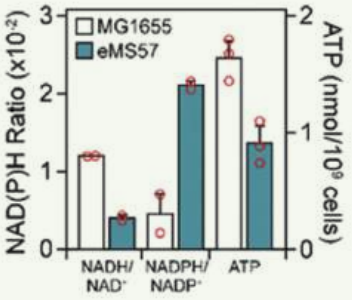
- 연구단은 불필요한 유전자가 모두 제거되고 생명을 유지하기 위한 최소한의 유전자만 남긴 '최소유전체' 대장균을 개발하였음
- 특히, 최소 유전체의 문제점인 낮은 성장속도를 적응 진화를 통해 실험실에서 단기간에 적응 진화하도록 유도하여 대장균 최소 유전체의 성장속도를 정상세포수준으로 회복시킴
- 연구단이 개발한 대장균 최소유전체는 정상 대장균과는 다른 당대사 경로를 이용하여, 환원력이 4.5배 높은 것이 밝혀졌으며, 이를 통해 리코펜 또는 비올라세인과 같은 유용물질을 80% 더 많이 생산할 수 있음
- 이를 인정 받아 KAIST Annual R&D Report (2019년을 빛낸 연구성과)에 선정되기도 함

논문

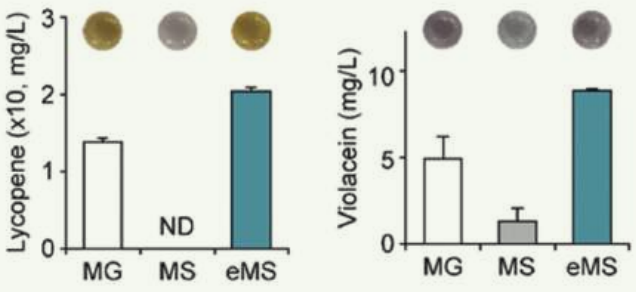
· Adaptive laboratory evolution of a genome-reduced Escherichia coli(Nature Comm, 2019)
· Genome Engineering of Eubacterium limosum Using Expanded Genetic Tools and the CRISPR-Cas9 System(ACS Synthetic Biol, 2019)

특허

· 최소 유전체를 갖는 신규 미생물 및 이의 제조 방법(KR 10-2019-0010539, BB등급)
· 차세대 시퀀싱 기반 재조합 단백질 발현을 위한 세포내 핫스팟 영역 탐색 방법(KR 10-2016-0119851, CCC등급)



[적응진화 최소유전체의 높은 환원력]

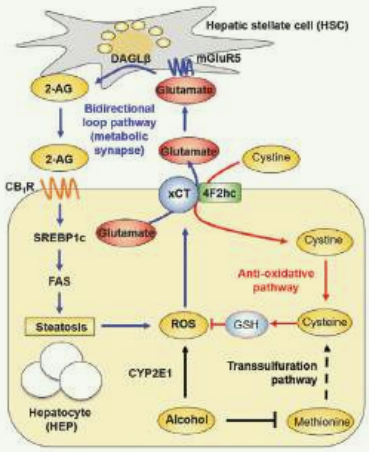


[일반 대장균 대비 80% 향상된 유용물질 생산량]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NCS (Nature Comm)	-	○	-	-

지능형 07

간손상 제어 및 치료용 특수 진세노사이드 GF2 개발 (KAIST 정원일)



[알코올성 지방간유도 기전규명]

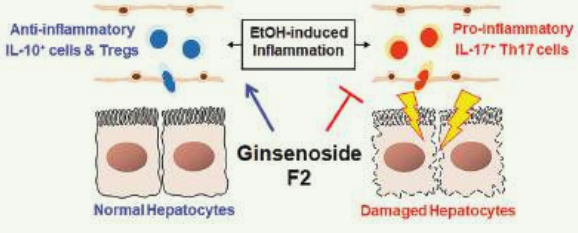
- 연구단은 알코올 섭취 시 간세포내 손상에 대한 보상작용을 위해 간세포가 xCT 수송체를 발현하고, xCT 수송체를 통해 알콜성 지방간이 형성되는 것을 규명
- 이를 위해 세계 최초로 간세포와 간성상세포와 양방향 전달고리를 가지는 유사 대사시냅스(metabolic synapse) 개념을 제시하였는데, 이는 신경학적 신호를 통한 알콜성 지방간 기전 규명을 세계최초로 규명한 것
- 또한, 알콜성 간염모델에서 진세노사이드 F2의 처치는 간염을 억제하는 항염증 싸이토카인(IL-10)의 분비를 촉진시키고, 염증성 싸이토카인(IL-17)의 감소를 촉진시키는 것을 확인
- 이러한 결과를 바탕으로 알코올성 지방간 억제 타겟발굴 및 진세노사이드F2를 활용한 신약개발에 활용할 수 있을 것으로 기대됨
- 연구단은 해당 기술의 우수성을 인정받아 S-Oil 제 1회 차세대의학상-생리의학상을 수상함

논문

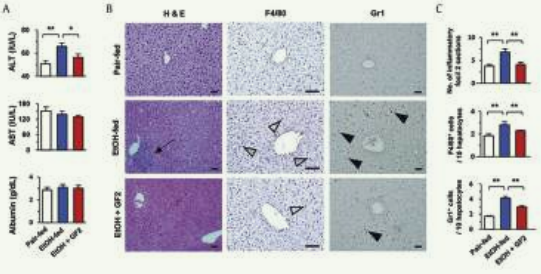
· Glutamate Signaling in Hepatic Stellate Cells Drives Alcoholic Steatosis(Cell Metab. 2019)
· Ginsenoside F2 attenuates chronic-binge ethanol-induced liver injury by increasing regulatory T cells and decreasing Th17 cells(J GinsengRes. 2020)

특허

· 진세노사이드 F2의 간 질환 예방 또는 치료 용도(KR 10-2014-0118544, AA등급)
· 진세노사이드 F2를 포함하는 비알코올성 간 질환 또는 인슐린 저항성의 예방 또는 치료용 조성물(KR 10-2015-0030031, A등급)
· 진세노사이드 F2를 포함하는 간암 예방 또는 치료용 조성물(KR 10-2016-0099978)
· 진세노사이드 F2를 포함하는 간암 예방 또는 치료용 조성물(KR 10-2018-0013583, BB등급)



[진세노사이드F2의 알코올성 간손상보호]

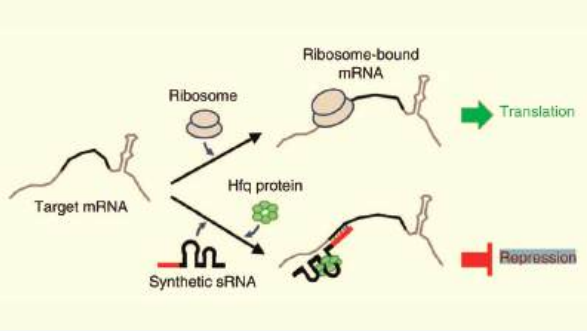


[알콜급여 마우스에서 간손상 및 염증세포 침윤]

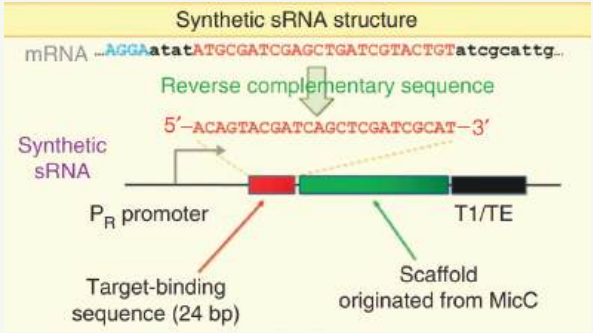
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Cell Metab)	○	○	-	-

지능형 08

합성 조절 sRNA 기반 미생물 세포고장 구축 원천기술 개발 (KAIST 이상엽)



[표적 유전자 발현량 조절 과정]



[합성 sRNA 구조]

- 연구단은 미생물 세포 공장 구축을 위해 표적 유전자 발현량 조절을 쉽고 빠르게 가능하게 하는 합성 조절 sRNA 원천 기술을 개발
- 해당기술은 sRNA가 표적 유전자의 mRNA의 변역 시작 서열에 상보적으로 결합하여 리보좀의 접근을 막아 유전자 발현량을 조절하는 방식이며, 기존의 유전자 결실 기법에 비해 10배 이상 짧은 시간 소요되어 쉽고 빠르게 표적 유전자 발현을 억제할 수 있음
- 또한, 연구단은 유전자 표적에 대한 게놈 수준의 sRNA 라이브러리를 구축하였으며, 이를 통해 수 많은 표적 유전자의 발현 억제 테스트를 진행할 수 있음
- 해당기술은 유전자 조작의 원천기술로 바이오매스 미생물 개발, 바이오 화학 원료 개발 등에 다양하게 활용될 수 있음
- 이러한 기술의 우수성을 인정 받아 해당 기술은 2013년도 정부 100대 우수연구개발 성과 최우수기술상을 수상
- 또한, (주)바이오니아에 1억 원의 기술료로 기술이전 되었으며, (주)바이오니아는 분자진단, 신약개발 전문기업으로 해당기술을 적극활용 할 예정

논문

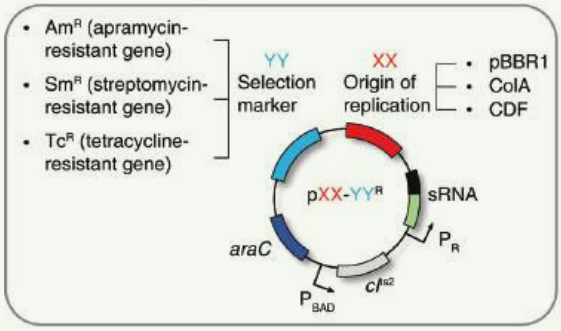
· Metabolic engineering of Escherichia coli using synthetic small regulatory RNAs(Nature Biotechnol, 2013)
· Design and use of synthetic regulatory small RNAs to control gene expression in Escherichia coli(Nature Protocols, 2013)
· Repurposing type III polyketide synthase as a malonyl-CoA biosensor for metabolic engineering in bacteria(PNAS, 2018)

특허

· 신규한 합성 조절 sRNA 및 그 제법(KR 10-2013-0003438, AAA등급)
· 합성 조절 sRNA를 이용한 클로스트리듐 속 미생물 유전자의 발현 조절 방법(KR 10-2014-0070869, BBB등급)
· 합성 조절 sRNA를 이용한 유전자 발현 미세조절 방법(KR 10-2014-0070868, BBB등급)
· 합성조절 sRNA 기반 동시 다중 표적유전자 발현억제 시스템 및 그 제법(KR 10-2018-0073970, BBB등급)



[Nature Protocols 학술지 표지]

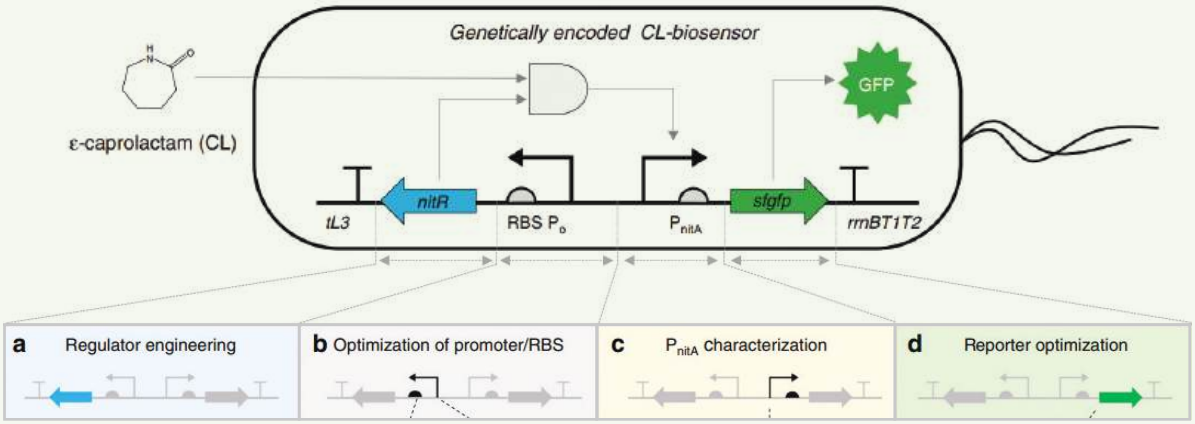


[다양한 합성 조절 sRNA 발현 플랫폼]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Biotechnol, Nature Protocols)	-	○	1억 원	-

지능형 09

초고속 생물자원 탐색용 지능형 유전자 회로 (KRIBB 이승)



[카프로락탐(CL) 정량 감지 바이오 센서 모듈 및 각 모듈의 구성]

- 연구단은 세포 내 효소활성을 증폭·감지하는 지능형 고감도 유전자 회로 기술 개발
- 해당 기술은 세계 최초 다양한 유전체자원(메타게놈/돌연변이)의 표적활성 보유여부를 단시간에 파악할 수 있는 대량 고속탐색기술이며, 단일세포 수준에서 효소 활성의 시각화 구현이 가능하고 기존 GC/MS기반 효소 탐색법에 비해 높은 분석률 가짐
- 카프로락탐 및 아미노카프론산 정량 분석기술에 대해서만 ㈜CJ제일제당에 기술료 1억 원으로 기술이전을 진행

논문

· A Cell-Cell Communication-Based Screening System for Novel Microbes with Target Enzyme Activities(ACS Synthetic Biol, 2016)
· A synthetic microbial biosensor for high-throughput screening of lactam biocatalysts(Nature Comm, 2018)
· Molecular engineered transcriptional regulator-based biosensor for exploring lactam synthesis (Nature Comm, 2018)
· A genetically Encoded Biosensor for Monitoring Isoprene Production in Engineered Escherichia coli (ACS Synthetic Biol, 2018)
· Evolution of enzymes with new specificity by high-throuput screening using DmpR- based genetic circuiuts and multiple flow cytometry rounds (Scientific reports, 2018)
· Development of a novel cellulase biosensor that detects crystalline cellulose hydrolysis using a transcriptional regulator (Biochemical and Biophysical Research Communications, 2017)

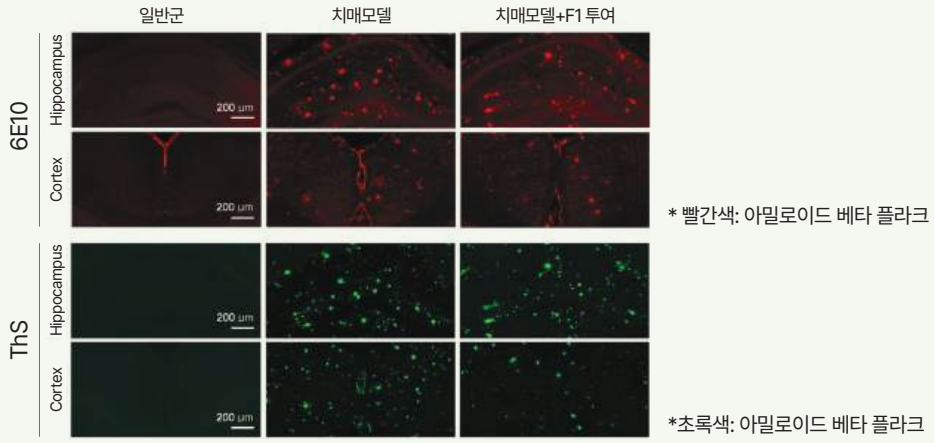
특허

· 재설계 유전자회로를 이용한 목적 효소 활성의 신규 탐색 및 정량방법(KR 10-2012-0093901)
· 재설계 유전자회로를 이용한 섬유소분해효소 의 신규 탐색 및 정량방법(KR 10-2013-0164442, B등급)
· 재설계 유전자 회로를 이용한 ￥-카프로락탐의 감지 및 정량 방법(KR 10-2014-0158791, BBB등급)
· 재설계 유전자회로와 세포 간 상호작용을 이용한 유해 환경물질의 감지방법(KR 10-2014-0156187, BB등급)
· 재설계 유전자회로를 이용한 아미노카프론산의 감지 및 정량방법(KR 10-2015-0076602, BBB등급)
· 신규 미생물자원의 탐색을 위한 미생물 프로토타이핑 기반 유전자 회로(KR 10-2015-0099372)
· 미생물 프로토타이핑 유전자 회로 기반 신규 미생물자원 탐색 시스템(KR 10-2016-0088411, CCC등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Comm)	○	-	1억 원	-

지능형 10

인지기능 향상 및 치매치료용 특수 진세노사이드 GmX 개발 (KAIST 한진희)



[진세노사이드 F1 투여 및 미투여 마우스의 피질영역 이미지]

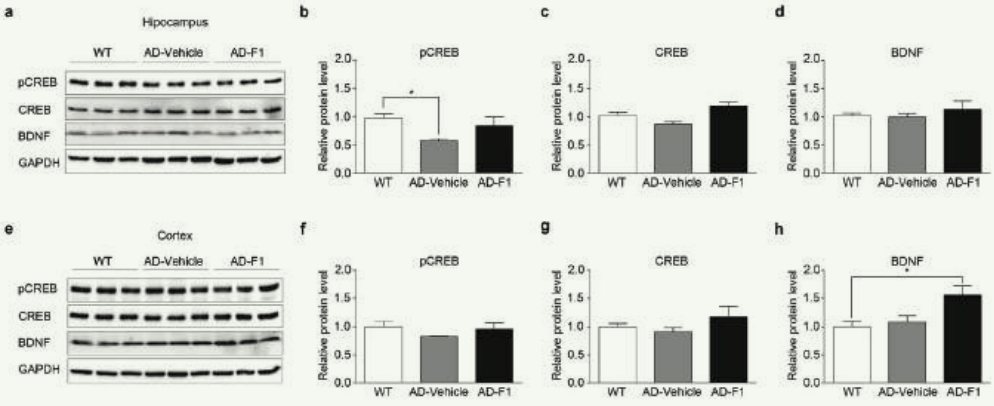
- 연구단은 진세노사이드F1의 섭식 전달을 통해 치매모델 마우스의 인지기능 회복을 확인하였으며, 그 과정에서 인지기능 회복의 내부 기작으로 아밀로이드 베타 플라크의 감소와 pCREB, BDNF 발현의 증가를 관찰
- 천연합성물인 진세노사이드를 이용하여 인지기능 향상을 관찰했을 뿐만 아니라, 기능 회복과 관련된 생체 내부기작을 확인하였다는 점은 천연합성물을 이용한 치매 치료 신약개발에 큰 기여를 한 것임
- 해당 연구는 연구단에서 개발한 진세노사이드 GmX가 치매에서 인지기능 향상에 효능이 있음을 검증한 것으로, 본 연구를 통해 치매치료 신약개발 및 건강기능 보조식품 등의 개발이 기대됨

논문

· Anterior cingulate cortex and its input to the basolateral amygdala control innate fear response. (Nature Comm, 2018)
· Minor ginsenoside F1 improves memory in APP/PS1 mice(Mol Brain, 2019)

특허

· 진세노사이드 F1을 포함하는 아밀로이드 플라크 제거용 조성물(KR 10-2015-0148337, A등급)
· 진세노사이드 F1 기반 추출물을 포함하는 기억력 개선용 조성물(KR 10-2020-0107077)



[실험용 마우스의 대뇌와 피질에서 pCREB, BDNF 증가 관찰 결과]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Comm)	-	○	-	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분/연도			2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	총합계
특허	국내	출원	23	34	53	62	20	14	21	18	8	11	264
		등록	7	7	13	36	32	24	30	9	23	10	191
	해외	출원	12	23	17	31	33	56	30	30	20	7	259
		등록	2	2	3	9	2	16	12	25	31	18	120
	소계		**44**	**66**	**86**	**138**	**87**	**110**	**93**	**82**	**82**	**46**	**834**
논문	SCI		35	92	109	95	71	69	60	51	58	31	671
	비SCI		4	2	5	7	3	1	1	3	3	3	32
	소계		**39**	**94**	**114**	**102**	**74**	**70**	**61**	**54**	**61**	**34**	**703**
기술이전/사업화	기술이전		-	2	-	4	4	-	3	1	2	-	16
	기술이전(정액기술료)		-	45	-	326	200	-	248	80	500	-	1,399
	창업		-	-	-	1	1	1	-	-	-	-	3
학위배출	박사		13	15	28	18	8	14	11	3	9	14	133
	석사		22	36	29	21	12	6	9	6	7	14	162
	학사		1	2	1	-	-	-	-	-	-	-	4
	소계		**36**	**53**	**58**	**39**	**20**	**20**	**20**	**9**	**16**	**28**	**299**
학술발표	국내		4	33	42	55	34	38	65	51	104	25	451
	국외		16	14	18	25	25	21	22	24	43	1	209
	소계		**20**	**47**	**60**	**80**	**59**	**59**	**87**	**75**	**147**	**26**	**660**
국제협력	MOU		-	-	1	2	1	-	2	-	-	-	6
	공동연구 논문		1	10	16	23	29	20	20	12	22	8	161

나. 논문 및 특허 현황 분석

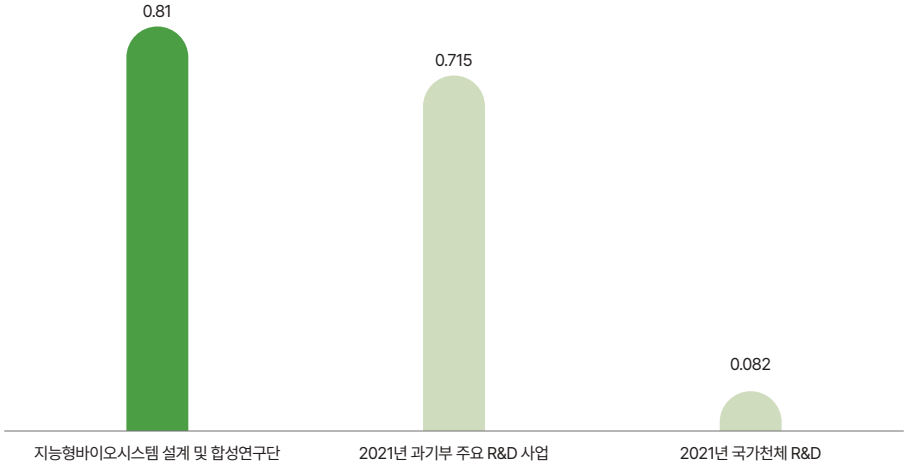
(1) 논문 현황 분석

연구단은 총 703건의 논문 성과 중 671건의 SCI 논문을 게재하여 전체 게재 논문의 약 95.45%가 SCI 논문이었으며, 전체 사업기간동안 연구비 833.017억 원 대비 연평균 약 0.81건의 성과를 창출하였다.

특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 5.42이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 76.76(최하위 0, 최상위 100)으로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

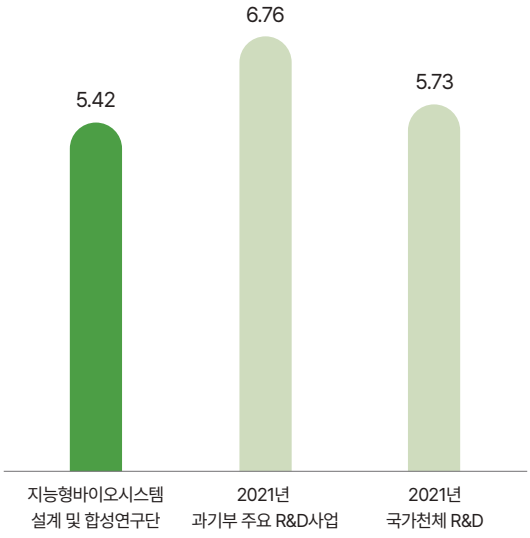
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위: 건)

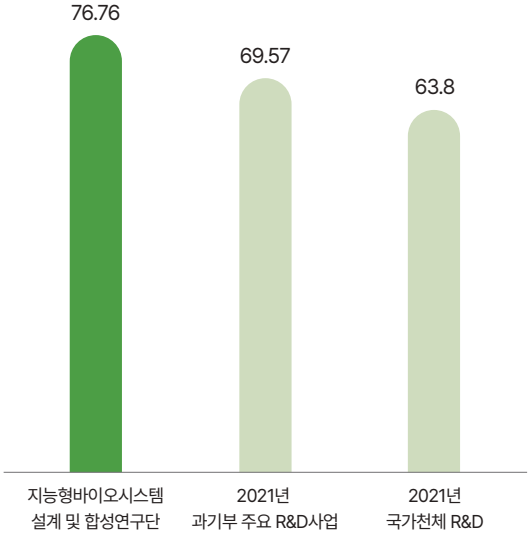


연구단의 SCI 논문 성과는 연구비(정부출연금 833.017억 원, 671건) 1억 원당 약 0.81건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 성과 0.082건[2]에 비해 약 10배의 수준의 성과를 창출한 것으로 나타났다.

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

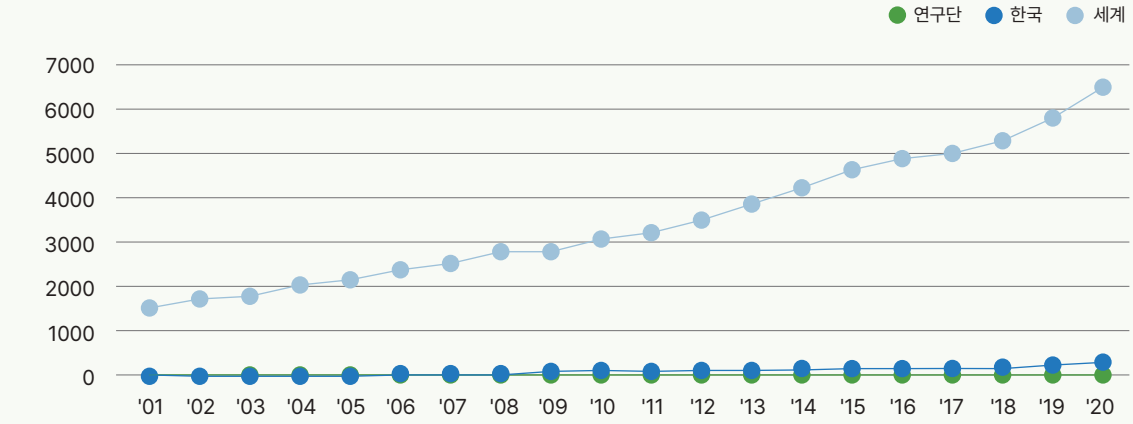


연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

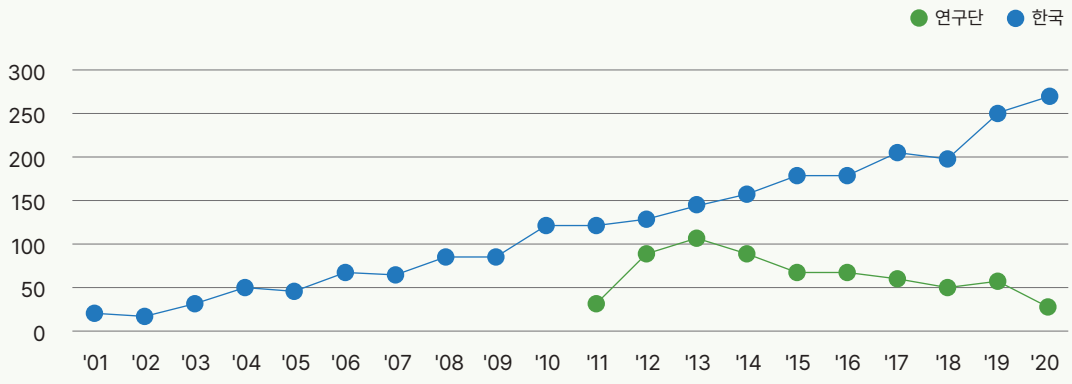
지능형바이오시스템설계및합성연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년) 관련 연구분야 세계 연구 대비 한국 논문 비중이 출범 이전 2.68%에서 3.94%로 증가하였으며, 연구단의 한국 SCI 논문 게재 비중은 36.37% 수준으로 연구단이 한국의 관련 연구에 기여하였음을 알 수 있다.

연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 이후(2011년~2020년)로 나누어 국내외 및 연구단의 SCI 논문 게재 성과를 비교 분석한 결과[3], 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국의 논문 건수가 사업수행 전 619건에 비교하여 사업수행기간 동안 1,845건으로 증가하였으며, 세계 논문 건수 역시 23,085건에서 48,866건으로 증가하였다.
해당분야 전 세계 게재 논문 대비 연구단의 논문성과는 1.43%, 한국논문에서는 36.37%의 비중을 차지하는 것으로 나타나, 연구단이 국내 해당 기술 분야 연구를 이끌어가고 있는 것으로 분석될 수 있다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건
3) PubMed에서 검색하였으며, 연구단 관련분야로는 시스템 해석 기반 바이오부품/소자 원천기술, 지능형 바이오시스템 합성 원천기술, 지능형 바이오시스템의 산업적 활용기술 분야를 확인하였음



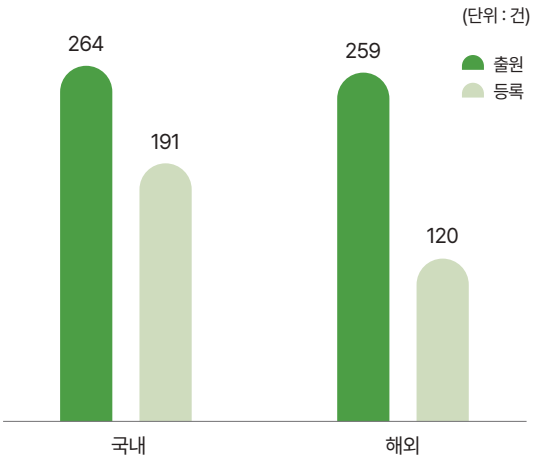
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 834건[4], 전체 특허 중 311건의 등록 기술 중 해외 등록 특허는 120건이었으며, 연구비 1억 원당 특허 출원 건수는 0.63건, 등록 건수는 0.37건의 성과를 창출하였다.

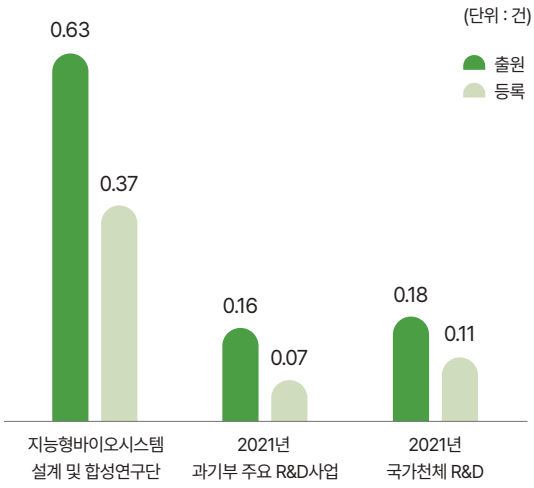
연구단의 특허출원 성과는 523건이었고, 특허등록 성과는 311건으로 연구비(정부출연금 833.017억 원) 1억 원당 0.61건의 특허출원 성과와 0.37건의 특허등록 성과를 창출하였다.

이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[5] 대비 약 3.4배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건 대비 약 3.8배로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건 대비 약 5.3배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 3.4배로, 연구단이 해당 연구분야에서 정량적으로 우수한 특허 성과를 창출한 것임을 알 수 있다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]

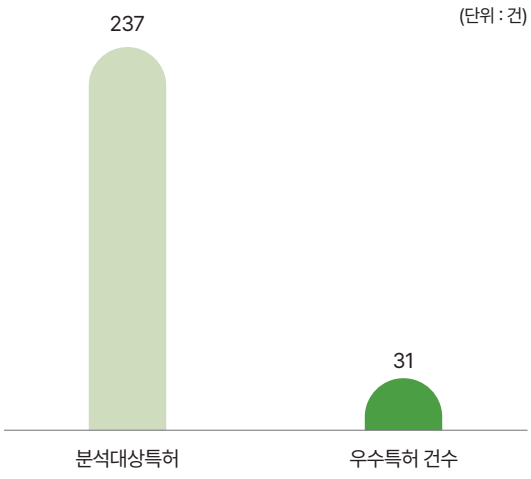


4) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
5) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

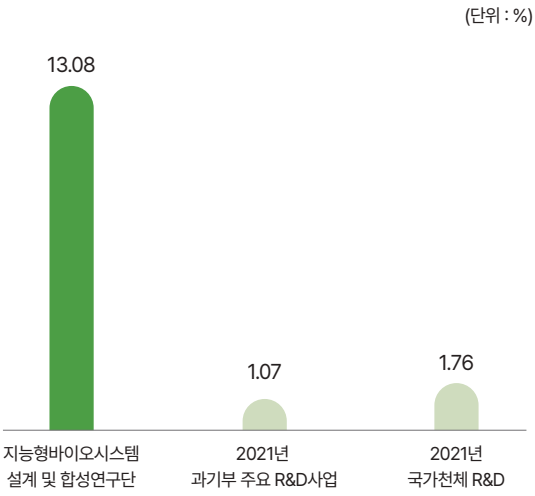
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[6)]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 237건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 31건으로 약 13.08% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 7.43배, 12.22배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



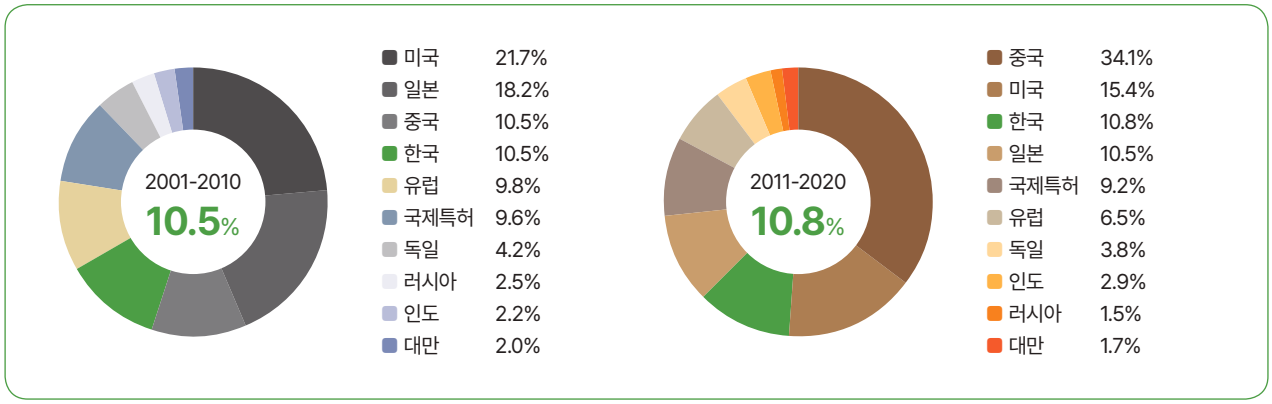
[우수특허 비율 비교]



연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

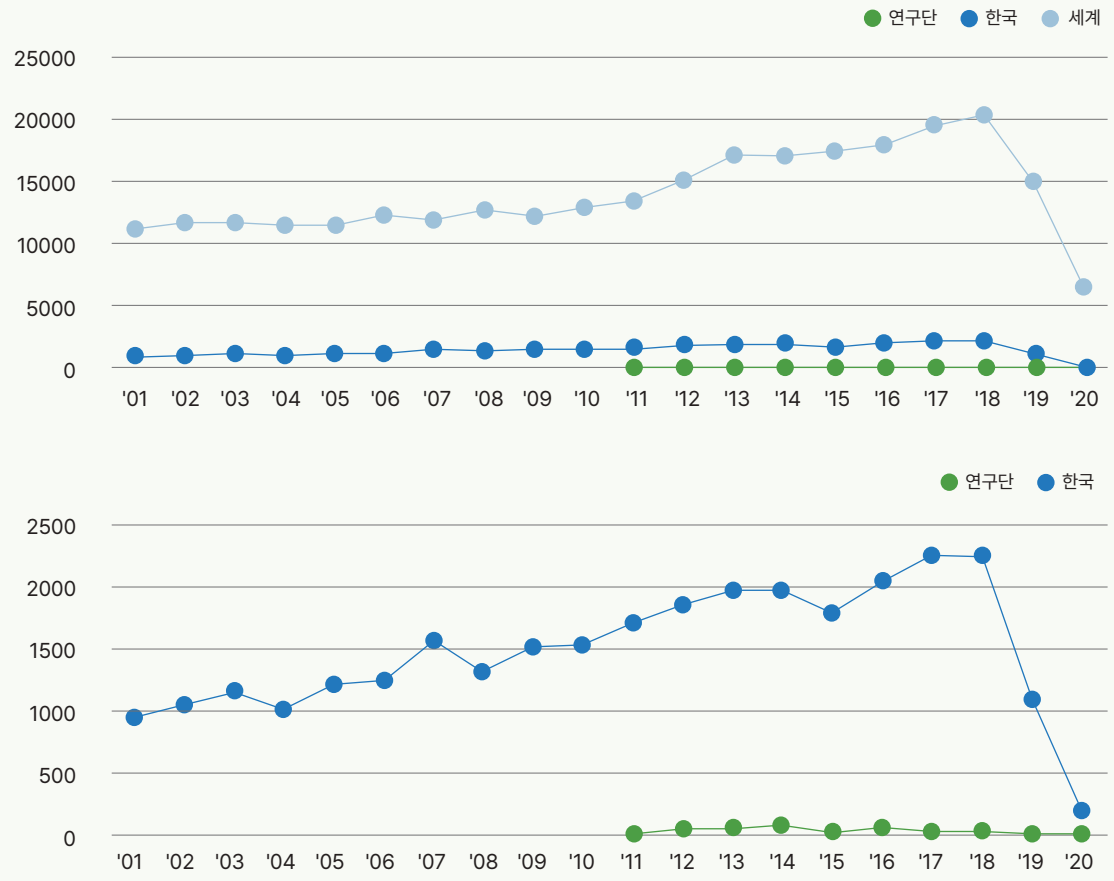
지능형바이오시스템설계및합성연구단 출범 이전(2001년~2010년)과 출범 이후(2011년~2020년) 연구단의 연구분야에 관한 특허 출원을 분석하였다. 연구단 출범 이전과 이후를 비교하면 관련 분야 한국 국적의 특허 건수는 12,593건에서 17,201건으로 1.37배 증가하였으며, 세계 건수의 증가 배수(119,841건 → 159,624건, 1.33배)보다 높았다.

연구단 출범 이전 한국의 특허 출원은 세계 4위(10.51%)였으나, 연구단이 해당 분야 연구를 수행한 기간 동안 세계 3위(10.77%)로 상승하였다. 이 기간 동안 1위에서 4위까지의 순위를 미국, 중국, 한국, 일본이 차지하고 있는 점에서 동 분야 연구 개발 및 특허 출원이 해당 국가에서 많이 이루어지고 있다고 분석되며, 중국의 증가세가 높고 미국과 일본이 상대적으로 비중이 낮아졌으나, 한국은 특허 출원 건수가 증가하고 있어 동 기간 국내 연구 개발이 활발하게 이루어졌다고 볼 수 있다.



6) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용

연구단 사업수행 전후 특허 출원 증감 추이

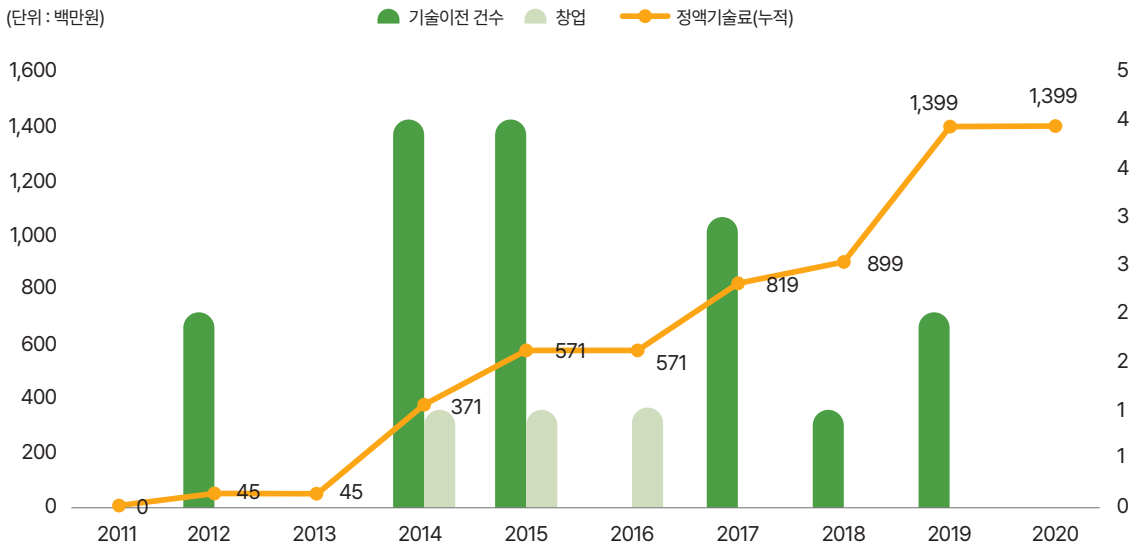


(3) 기술이전 및 창업 실적

연구단은 연구기간 동안 총 16건의 기술이전 성과를 창출하였으며, 총 13억 원 이상의 정액기술료 수입이 발생하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]

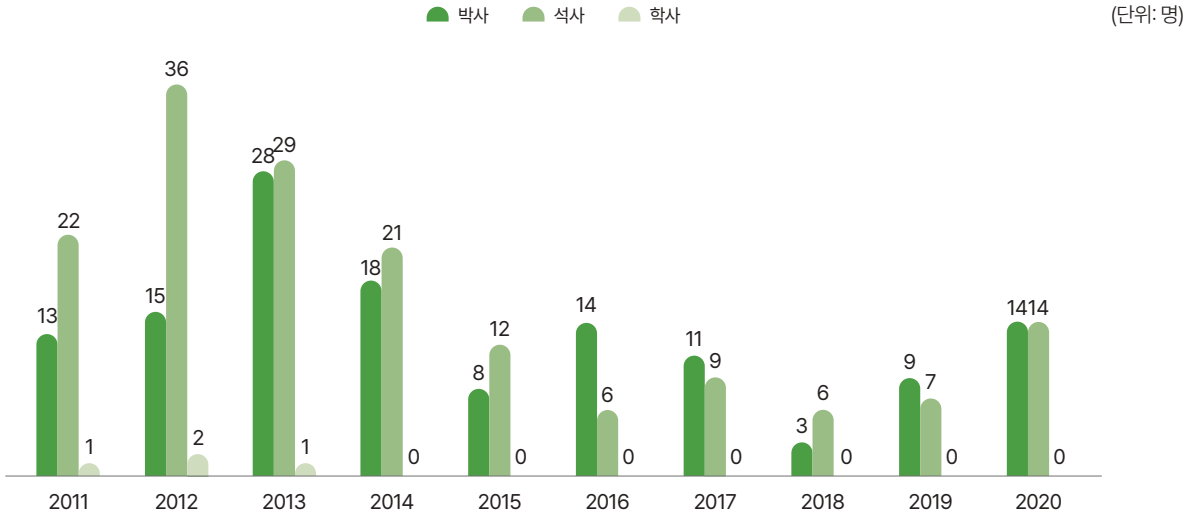
(단위: 건)



(4) 인력양성 실적

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 연구기간 동안 총 299명의 학위를 배출하였으며, 박사 133명, 석사 162명, 학사 4명을 지원하였다.

[연구단 인력양성 성과 현황]



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
지능형항암제를 이용한 혈액암 치료제 기술	혈액암 치료제	196.50
진세노사이드의 교모세포종 치료제 기술	교모세포종 치료제	87.00
진세노사이드의 글리벡내성 백혈병 치료제 기술	만성골수성백혈병 2차 치료제	234.20
진세노사이드를 이용한 간질환 치료제 기술	비알콜성 지방간 치료제 시장	818.63
진세노사이드를 이용한 간암 치료제 기술	간암 치료제	60.52
진세노사이드를 이용한 인지장애 및 치매 치료제 기술	인지장애 및 치매 치료제	1,134.27
항균펩타이드를 활용한 항균 코팅용 조성물 기술	항균 코팅제 시장	199.95
신남알데하이드 제조 기술	계피 오일 시장	113.96
총액		**2,845.03**

연구단의 우수 연구성과 8건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 미래 기술가치를 예측하기 위해 관련 진입가능 또는 경쟁 기술 시장을 분석하고, 현재의 기술개발 단계와 향후 사업화를 고려한 기반시설, 인증획득 등 을 고려한 사업화까지 발생할 수 있는 위험도를 반영하여, 이를 기반으로 기술이 미래 발생할 수 있는 수익을 현재 가치로 환산하여 산정하였다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, 산업통상자원부의 '기술가치평가 실무 가이드(2021년)'를 참조하였다. 지능형바이오시스템설계 및 합성 연구단의 8건의 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 약 2,845억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 한국일보, 중앙일보, 한겨레, 매일경제, 경향신문 등 주요 언론사 및 바이오 전문 포털사이트 바이오 인에서 언론홍보뿐만 아니라 다양한 지역에서의 성과전시회, 아시아 합성생물학회 등을 개최함으로 한국의 합성 생물학 위상을 강화시켰다.
연구단의 우수한 연구성과와 수상실적에 대한 총 186건의 언론 홍보성과가 도출되었으며, 여러 매체를 통해 홍보활동을 하였다.

가. 언론보도 및 뉴스레터 발간

구분	연차별 합계	단계별 합계	
2011	16	1단계	29
2012	13		
2013	8	2단계	45
2014	12		
2015	25		
2016	6	3단계	112
2017	23		
2018	35		
2019	33		
2020	15		
총합계	186	전체	186

뉴스레터 발간





나. 국제학술대회 및 성과전시회 개최



❶ 성과전시회(Tech-Fair) 개최

일시	2016.06.24
장소	대전 ICC 호텔 3층 컨벤션홀
참여자	산업체 관계자 및 세부/위탁/공동 연구책임자, 연구자 등 300여명
내용	· 연구단 기술 및 전시물 소개 · 기술이전 조인식 및 비즈니스 파트너링 · 특별 심포지엄



❷ 글로벌프런티어 성과전시회 개최

일시	2018.10.23
장소	서울 엘타워 메리골드홀
참여자	국내외 연구자 및 학생 등 약 300여명
내용	· 주요 연구성과 발표 · 전시물 관람 · 비즈니스 파트너링



❸ 아시아 합성생물학회(ASBA) 개최

일시	2018.11.22~2018.11.25
장소	하얏트 리젠시 제주
참여자	한국, 싱가포르, 일본, 중국 등 4개국 약 150여명 연구자
내용	· 아시아 합성생물학 연구 결과 및 동향 발표 · 연구자 간 긴밀한 네트워크 형성 · 아시아 합성생물학 분야 한국 위상 강화

04 기술사업화 성공스토리

1. 김선창 교수 인터뷰



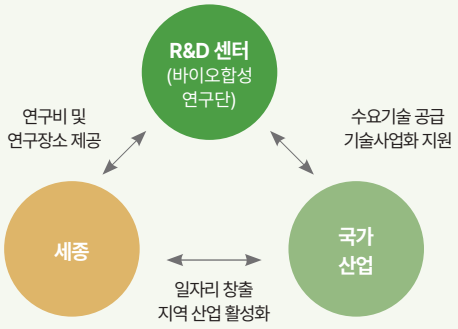
- 기술개발 책임자: 김선창 교수(KAIST)
- 기술명: 지능형 세포공장 기술
- 센터명: 바이오합성연구단 R&D센터
- R&D 센터 건립 시기: 2020.05

지능형바이오시스템설계및합성연구단은 바이오메디컬활성소재를 사업화하기 위한 제품화 양산 장비를 산업통상자원부와 협력하여 세종시 산학연지원클러스터센터에 R&D센터를 구축하였다. 이 R&D 센터는 국내 바이오메디컬활성소재 관련 기업과 공동으로 장비를 활용하고 인력 양성을 지원하는 등의 사업화를 추진하고 있다. 바이오합성연구단 R&D센터에 대해 한국과학기술원(KAIST) 김선창 교수를 만나 R&D센터 구축에 대한 이야기와 앞으로의 계획을 들어보았다.

Q1 안녕하세요. 김선창 교수님, 센터에 대해 간략하게 소개 부탁드립니다.

A1

연구단은 산업통상자원부와 협력하여 세종시에 스마트특성화기반구축사업을 유치하고 미생물 대량 배양(Lab scale, 30L, 50L, 300L fermenter) 및 전환 공정 시스템(저장교반기, 한외여과기, 반응기), 분리 정제 공정 시스템(연속원심분리기 2종), 최첨단 분석 장비(GC-MS/MS, LC/MS, HPLC)를 구축하였습니다. 이를 통해 국내 바이오메디컬활성소재 관련 기업들이 공동으로 활용할 수 있는 상용화 기반 시설과 장비를 구축하여, 기업의 기술 경쟁력 고도화 및 국내외 시장점유율 확대를 위한 사업화 전주기 기술 지원 플랫폼으로 역할을 하고 있습니다.



<바이오합성연구단 R&D센터 설립 체계 및 역할>

바이오합성연구단 R&D 센터는 천연물 소재의 상용화를 지원하기 위해 소재의 효능을 향상시키고, 상용화를 위한 효능 인증과 공정기술개발, 인허가 등 사업화 전 과정을 지원하고 있습니다. 뿐만 아니라 R&D 센터를 중심으로 고급 합성생물학 기술을 이용하여 국가 바이오 연구 역량을 결집하고 사업화까지를 전 주기적으로 추진하며, 여러 정부기관 과제에서 파생되는 바이오소재의 생산 및 실증연구를 위한 기반 시설을 제공하고 사업화를 지원하고 있습니다. 앞으로도 지난 9년간 축적한 연구역량을 통해 연구에서 사업화에 이르는 전반적인 기술 자문 등을 통해 국가 바이오산업의 육성에 기여하고 있습니다.

Q2 센터를 설립하게 된 이야기가 궁금합니다.

A2

바이오합성연구단은 글로벌프런티어사업을 통해 9년간의 연구개발을 수행하여, 다양한 고기능 지능형 세포공장(인공세포)을 개발하였습니다. 기존의 일반 바이오제품은 단기간 발효공정을 필요로 하지만, 희소가치가 높은 고부가 바이오메디컬활성소재는 장기간의 발효공정이 요구되어 새로운 발효공정과 인프라가 필요한 상황이었습니다.
바이오 설계 전략과 합성생물 기술을 이용하여 최고 품질의 바이오메디컬활성소재를 최소의 비용으로 생산성을 극대화하기 위한 생산 인프라 구축이 필요하였습니다. 이를 위해 R&D 센터를 설립하고 관련 시설 및 장비를 구축하여 바이오메디컬활성소재를 생산하고 제품화하고자 하였습니다.



<바이오합성연구단 R&D센터 시설>

Q3 센터를 설립하는 과정에서 어려운 점은 없었나요?

A3

연구단은 글로벌프런티어사업이 종료를 앞두고 있는 상황에서 센터를 설립할 공간과 연구인력 확보, 이를 운영할 예산 확보에 어려움이 있었습니다. 다행히 산업통상자원부와 세종시와의 협력을 통해 이러한 문제들을 어느 정도 해결할 수 있었습니다.

아울러, 바이오 분야 연구의 특성상 사업화를 위해서는 대량생산과 인허가 과정이 필요합니다. 인허가에 필요한 임상시험과 시료의 대량 확보 등에 많은 예산과 시간이 소요되나 최초 선정 시 예정된 사업화 추가 예산이 미지원됨에 따라 사업화 진행에 어려움이 있었습니다.
GMO 등의 인허가 과정에서도 협의심사기관들(4개 기관: 식약처, 해수부, 환경부, 농촌진흥청)이 유사 실험에 대해 조건을 달리하여 보완을 요구함에 따라, 비슷한 실험을 반복 실시하여 긴 심사기간과 많은 비용이 발생하였습니다. 또한 인허가 절차가 복잡하고 처리 기간이 오래 걸려 사업화 진행에 어려움이 있습니다.

Q4 개발된 기술은 센터에서 어떻게 활용되고 있나요?

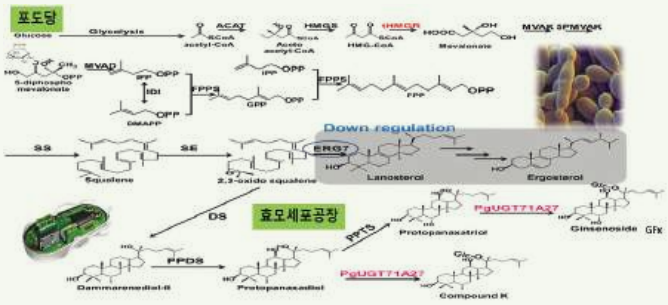
A4

연구단의 핵심기술인 지능형 세포공장 기술은 생명체의 공학적 설계와 유전자·유전체 합성기술 등을 이용하여 고효율·고기능 바이오시스템을 구축하고, 효율성과 범용성을 극대화한 새로운 세포공장을 제작하여 활용할 수 있는 기술입니다. 이는 바이오의약, 화학, 에너지 산업분야에서 이론적 생산성 한계치를 뛰어넘는 혁신적인 생명공학 기술입니다.
개발된 지능형 세포공장을 이용하여, 복잡한 화학적 구조로 인해 화학합성이 어렵거나 대량 생산이 불가능한 고부가가치 이차대사산물 및 특수 바이오소재를 생산하여 활용할 계획입니다. 또한 최근 고령화 사회로 변화함에 따라 치매, 당뇨, 암 등의 고령화 질병 문제에 적극적으로 대응할 수 있는 바이오메디컬활성소재를 제품화하고자 합니다.
기존 천연물 소재의 이용 방법은 원료의 상태에서 형태를 변화시키는 방식이 주로 사용되었습니다. 그러나 연구단의 기술은 천연물 소재의 핵심 성분을 강화시켜 원하는 특정 기능의 물질만을 생산하는 방식으로 기존 생산 방식의 한계를 극복하여, 단순한 제품군에서 벗어나 고기능 소재를 다양한 형태로 제형할 수 있어 맞춤형 소재로 활용이 가능합니다. 원하는 물질만을 분리하는 것은 천연물 소재의 기능을 확보하고 물질 간의 간섭 효과를 배제할 수 있어, 그 효능과 기능에서도 기존 제품보다 우수한 제품 개발이 가능합니다.

Q5 바이오합성연구단 R&D센터는 향후 어떤 계획을 가지고 있는지 궁금합니다.

A5

단순히 천연물 소재를 이용하는 것으로 높은 부가가치를 창출하기에는 한계가 있습니다. 연구단의 합성생물학 기술을 이용하여 개발된 지능형 세포공장을 통하여 목표로 하는 고기능 유용물질을 대량으로 확보하는 기술의 경우 기술적, 경제적 우위를 확보하고 있습니다. 또한 원하는 물질에 맞추어 지능형 세포공장을 변경하여 다양한 고기능 바이오소재 생산에 적용할 수 있어 산업적 경쟁력도 확보할 수 있습니다.
지능형 세포공장(인공세포)의 안전성 확보를 위하여 독성, 인체위해성, 환경위해성 등의 실험을 진행하였고 이 데이터를 기반으로 식약처로부터 "유전자변형미생물 안전성 심사"를 진행하여 사용 허가를 받았습니다.
바이오합성연구단 R&D 센터에서는 기존의 실험실 수준에서 개발된 지능형 세포공장을 실질적 대량생산에 적용하기 위한 최적의 조건 개발을 수행하였습니다. 추후 2~3년 이내에 최적의 생산 조건을 확인하고 생산 준비를 확립하여, 이후 대량생산은 외부 전문 생산 기업과 협력을 통하여 제품화(OEM)할 예정입니다.



<지능형 세포공장 기술>

Q6 마지막으로 하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A6

연구단에서 사업화를 목표로 진행했던 많은 연구들이 시장 진입이 가능한 수준까지 올라왔지만, 아직도 인허가와 임상 등 넘어야 할 일들이 많이 남아 있습니다.

바이오합성연구단 R&D 센터 설립과 함께 후속 연구와 사업화 연구를 지속적으로 추진하여 목표했던 사업화를 달성하고, 이를 통해 국민의 삶의 질 향상, 사회적 의료비용 절감, 고부가가치 물질 창출로 인한 국가 경쟁력 제고에 이바지하고자 합니다. 앞으로도 계속적인 관심과 응원을 부탁드립니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

생활환경개선, 기술의 발달에 따라 고령화 사회로 인구구조가 변화하는 상황 속에서, 경제에서 바이오의 비중이 지속적으로 증가할 것으로 전망되고 있다. 2015년 발표된 17개의 UN2030 아젠다에서 바이오와 관련한 것이 과반을 넘으며, 또한 EU는 바이오를 기반으로 한 순환경제를 통해 국제경쟁력 향상, 지속가능한 경제성장, 신규 고용창출을 목표로 하고 있다. 4차 산업혁명에서도 바이오는 중요한 축을 담당하는 핵심 분야의 하나이다. OECD 역시 기술융합을 통하여 2030년 경 바이오경제 시대가 도래할 것으로 전망했다.

우리나라 경제에서 바이오산업이 차지하는 비중은 크지 않다. 바이오는 R&D 비중이 높은 과학기술 집약 하이테크 분야이며, 여러 규제가 심해 진입장벽이 높은 분야이다. 이러한 이유로 **기술을 선점한 소수의 기업이 전 세계 바이오 시장의 흐름을 좌우**하고 있다. 국내 바이오분야의 발전을 위하여 많은 연구자들이 노력을 하고 있으며, 기업체에서도 틈새시장을 찾아 실력과 규모를 키우고 있다.

후발주자인 우리의 상황에서 기술의 발전을 위해서는 긴 안목을 가져야 한다. 지금 당장 남들보다 앞서지 못한다고 해서, 단기적인 성과에 집중하면 우리의 손에 남는 것은 꿰어지지 않은 구슬들뿐이다. 구슬을 꿰어서 보배로 만들 듯이 전체를 아우를 수 있는 능력을 양성해야 한다. 학문과 기술의 깊이를 위해서는 시간이 필요하므로 장기적인 투자가 필요하다. 장기적인 투자가 느슨함을 뜻하는 것은 아니다. 완벽을 위한 치열함을 위한 것이다. **그런 의미에서 적절한 규모의 중장기 R&D 프로그램이 필요**하다.

선택과 집중이 필요하다. 미래를 위한 상상력과 창의력을 키우고, 이를 중심으로 투자와 발전이 이뤄져야 한다. 우리는 우리의 미래를 위한 계획을 잘 수립하고, 그에 맞게 선택하고 집중하면서도 유연하게 우리의 미래를 선도해 나가야 할 것이다.

사람을 보아야 한다. 모든 일의 중심은 사람이다. **모든 학문과 모든 산업은 사람을 향하고 있다. 사람을 위해 과학·기술은 융합해야 하며, 문제를 해결해야 한다.** 물론 수요자 중심의 기술개발만 말하는 것이 아니다. 가보지 않은 길을 위한 과학자 중심의 기술개발과 적절히 조화를 이뤄야 한다. 그러면 내일의 대한민국은 오늘의 대한민국보다 더 나은 곳이 되어 있을 것이다.

지능형바이오시스템설계및합성연구단
연구단장 **김선창**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

유전공학의 급격한 발달로 생명시스템을 이용해 원하는 물질을 만드는 데 이론적 한계치의 약 90%에 도달했으며, 나머지 10%를 갖고 세계가 경쟁하는 상황에서 연구단은 바이오산업의 선두주자로 자리매김하기 위해 10% 내에서 경쟁하는 것뿐만 아니라 **기존 생명시스템과는 다른 새로운 생산성을 갖는 생명시스템을 만드는 데 매진**해왔다. 그 결과 **연구단은 맞춤형 인공세포를 구현하고 최적화, 고효율화할 수 있게 됨으로써 고기능 생리활성물질, 항균 신소재, 친환경 바이오소재, 의약소재, 바이오화학 기반 물질을 경제적으로 생산할 수 있는 기술을 확보**하였다.

연구단은 글로벌프런티어 사업 종료 후에도 법인을 유지하며 기 개발한 지능형 세포공장을 활용하고 발전시켜 새로운 바이오메티컬활성소재, 의약품 소재, 감염질병 예방 및 제어 소재, 친환경 바이오화학제품 등 다양한 소재 발굴 및 대량생산 시스템 개발 등 사업화가 가능한 원천기술을 개발하고자 한다.
기 구축된 합성생물학분야 글로벌 연구 및 연구자 네트워킹을 통하여 공동연구를 활성화하고 기술개발을 선도하는 글로벌 연구거점으로 발전하고자 한다. 우수인력 및 연구인프라를 구축하여 산업체 수요기술을 지원하고 공동 협력 연구를 추진하며 일자리와 신성장동력을 창출하는 연구지원 허브의 역할을 수행할 계획이다.

나. 앞으로의 계획

연구단은 지금까지 개발한 고기능 생리활성물질, 항균 신소재, 친환경 바이오소재, 의약소재, 바이오 화학 기반 물질 등 다양한 소재와 경제적 대량생산 기술을 산업적으로 활용하여 바이오 기반 신성장동력을 창출하고자 한다.

첫째로, 고령화, 삶의 질에 대한 관심의 증대로, 항노화 산업은 사회변화를 반영한 필요 산업으로 그 중요성이 높아지고 있다. 연구단에서는 바이오메디컬활성소재 및 대량생산 기술의 사업화를 위해 인허가와 임상을 진행하고 있으며, **항노화 산업 중 예방적으로 사용되며 단기적으로 사업화를 추진할 수 있는 건기식을 우선적으로 추진하고, 궁극적으로 의약소재 및 화장품 소재 등으로 타겟 시장을 확장할 계획**이다.

둘째로, 화학 농약의 경우 우수한 효능에도 독성 및 환경오염 등의 문제로 사용을 규제하고 있으며 친환경적인 생물농약의 수요가 증가하고 있다. 이에 **연구단은 농작물에 피해를 주고 있는 뿌리혹 선충에 높은 효능을 갖고 있는 신남알데하이드의 효능을 확인하고 대량생산 기술을 구축**하였다. 제품의 제형화 및 토양의 현장 적용을 위한 인허가 및 상용화를 추진할 계획이며, 신시장 개척을 위해 모기유충, 양식장 감염유충 퇴치 등 다양한 분야에 적용할 수 있는 제형화 및 적용공정 등의 개발을 진행할 예정이다.

셋째로, 세균 및 바이러스에 의한 감염성 질환 증가, 소득증가에 따른 치료/시술 증가에 따라 항균/항바이러스 코팅제의 필요성이 부각되고 있다. 연구단에서는 **합성생물학 기술을 활용하여 신규 접착성 항균/항바이러스 펩타이드를 개발하였고, 대량생산 기술도 구축**하였다. 단기적으로 항균 코팅칫솔 등 생활용품에, 중장기적으로 항균 코팅 도뇨관과 렌즈의 사업화를 추진할 계획이다.

연구단은 이러한 연구성과의 산업적 활용을 위해 **세종시에 바이오합성연구단 R&D센터를 구축하였으며, 세종시와 공동으로 "바이오메디컬활성소재 고도화 사업"(1단계 2020 ~ 2022)을 추진**하였다. 또한 추가적인 대량생산 및 활용 연구를 위해 산자부와 과기부 중심의 다부처 과제 등을 추진할 예정이다.

RESEARCH
GROUP

08
하이브리드인터페이스기반 미래소재연구단

R&D Center for Hybrid Interface Materials

01 연구단 9년사 343

02 사업목표 351

03 연구성과 355

04 기술사업화 성공스토리 376

05 미래제언 382

대표 연구성과별 파이프라인

2013 — 2014 — 2015 — 2016 — 2017 — 2018

미래소재 01 (수분흡착 MOF)

(2015.07) (2016.11) (2018.10)

Design of Hydrophilic Metal Organic Framework Water Adsorbents for Heat Reallocation

nature materials 논문발표 1건

nature energy 논문발표 1건

미래소재 02 (이차전지 양극 소재)

(2014.07) (2016.06) (2017.07) (2018.10)

리튬 산화물 등 특허 1건

High-energy-density lithium-ion battery using a carbon-nanotube Si composite anode and a compositionally graded

균열 원인 분석 등 기술이전 2건

Energy & Environmental Science 논문발표 1건

미래소재 03 (하이브리드 접착제)

(2016.04) (2017.05)

Mechanism of adhesion of the diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) to the Fe(100) surface

COMPOSITES SCIENCE AND TECHNOLOGY

접착제 설계 기술이전 1건

미래소재 04 (Al/Cu 초고성능 경량 합금)

(2015.07) (2017.12)

Design of exceptionally strong and conductive Cu alloys beyond the conventional speculation via the interfacial energy-controlled

Al 합금 기술이전 1건

미래소재 05 (무선센서용 자율전원)

(2014.01) (2015.04) (2018.02)

자기전기 복합재료 특허 1건

Energy & Environmental Science

Ubiquitous magneto -mechano-electric generator

표지 논문

Exceeding milli-watt powering magneto-mechano-electric generator for standalone-powered electronics

미래소재 06 (하이브리드 에너지 저장 장치)

(2014.01) (2015.11) (2016.07)

슈퍼 커패시터 특허 1건

Energy & Environmental Science

표지 논문

국가연구개발 우수성과 100선

미래소재 07 (그래핀-반도체 광센서)

(2014.01) (2015.09) (2016.06) (2017.08) (2018.06)

그래핀 포토디텍터 특허 1건

다층 그래핀 특허 1건

그래핀-반도체 특허 1건

ALPHA GRAPHENE 시그마 포토닉스

NANO · MICRO small

미래소재 08 (열전 에너지 하베스터)

(2016.07) (2017.02) (2018.06)

열전 소자 특허 2건

열전 재료 등 특허 2건

Journal of Materials Chemistry A

Simple and effective fabrication of Sb2Te3films embedded with Ag2Te nanoprecipitates for enhanced thermoelectric performance

미래소재 09 (원자크기 소자 검증)

(2018.11)

Isostructural metal-insulator transition in VO2

Science

미래소재 10 (하이브리드 인터페이스 플랫폼)

(2018.06)

연구 DATA 플랫폼 구축

분자 구조 모사 특허 1건

하이브리드인터페이스기반미래소재연구단

2019 2020 2021 2022 ~ 2023

(2019)
국가연구개발 우수성과 100선 최우수

(2020.04)
MOF 흡착제 기술이전 1건

(2023)
SH공사 납품

(2020.11)
ADVANCED ENERGY MATERIALS
Ni-Rich Layered Cathode Materials with Electrochemo-Mechanically Compliant Microstructures for All-Solid-State Li Batteries

(2023)
전기자동차용 배터리에 적용 중

(2021.03)
Prediction of Lap Shear Strength and Impact Peel Strength of Epoxy Adhesive by Machine Learning Approach
nanomaterials

(2023)
자체 구조용 접착제로 테스트 중

(2020)
출연연 우수성과

(2021.04)
국가연구개발 우수성과 100선

MATERIALS SCIENCE
Alloy design strategies to increase strength and its trade-offs together

(2020.09)
Energy & Environmental Science
Significant Power Enhancement of Magneto-Mechano-Electric Generators by Magnetic Flux Concentration\

(2022.01)
그래핀 전사 기술이전 1건

(2022.08)
알파그래핀 투자유치 3억 원

Gate-Controlled Graphene-Silicon Schottky Junction Photodetecror

(2021.11)
전극형성 기술이전 1건

(2022.06)
열전특성 측정 기술이전 1건

(2019.11)
현미경 특허 1건

(2020.07)
Science Advances 등 논문발표 2건

(2021.08)
가열챔버 기술이전 1건

(2022.05)
Science 논문 등재 1건

(2019.10)
촉매 구조 설계 특허 1건

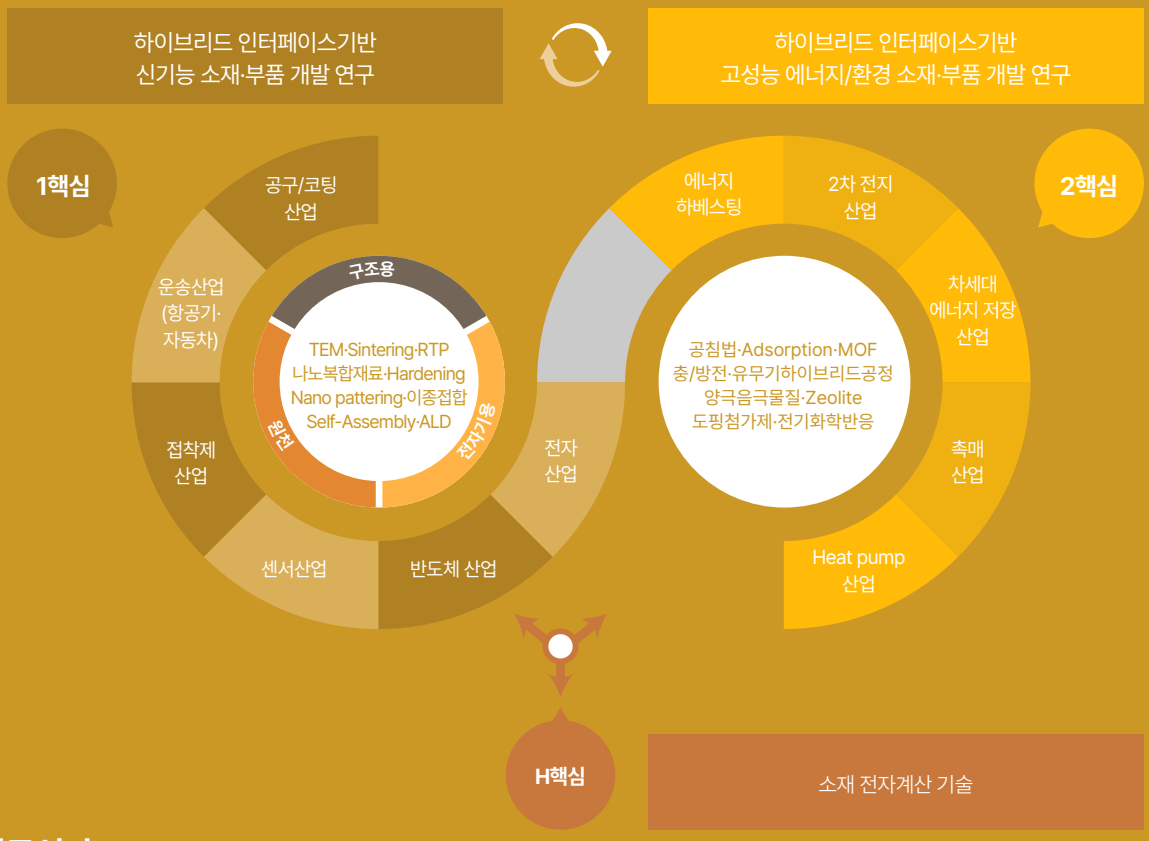
(2020.07)
Science
Critical differences in 3D atomic structure of individual ligand-protected nanocrystals in solution

연구 플랫폼으로 활용 중

한눈으로 보는
하이브리드인터페이스기반미래소재연구단 9년

비전 — 미래 혁신 제품을 개발할 수 있는 세계 1등 원천기술 확보

최종 목표 — 하이브리드 인터페이스 기반 미래소재 및 신부품 개발을 위한 융·복합 기술 창출



정량적 연구성과

논문건수			특허					
SCI	비SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
1,149	17	1,166	233	85	318	143	40	183

구분	학위배출				국제협력		기술사업화		
	박사	석사	학사	계	MOU 체결	공동연구 논문	기술이전		창업
							건수	기술료(백만원)	
합계	163	212	23	398	14	420	66	7,482.7	5

01 연구단 9년사

1. 설립배경

6T 분야에서의 기초.원천기술을 비롯한 세계 1등 기술과 국가 산업경쟁력의 핵심은 원천소재기술에 기반을 두고 있으며, 미래 핵심 주력 산업의 원천기술 및 경쟁력은 대부분 첨단 소재 기술에서부터 나온다. 제조업 강국인 독일, 일본의 산업은 소재-부품-제품의 체계적 산업기술트리를 갖추고 있으며 근본적으로 소재기술의 혁신으로부터 시작하는 반면에, 한국의 산업은 장치 및 시스템 산업으로부터 최근 부품의 개발에 눈을 돌리고 있으나, 중국과 크게 차별화되지 못하고 있어서 샌드위치 상태이다.



이종물질간의 경계면(인터페이스)은 단순한 경계면이 아니라 경계면 전후로 전자결합구조나 조성이 특이한 별도의 영역으로, 하이브리드 인터페이스 기반 미래소재연구단은 이러한 영역에서 과학기술적 연구를 통해 결합물질의 자체 특성과 새로운 복합기능을 발견하고, 설계를 통하여 기존에 없던 경계면 연결 구조(하이브리드화*)를 만들어 이를 통해 신기능의 미래소재를 창출하고자 설립하였다.

* 하이브리드화 : 원자나 분자레벨로 혼합되어 원자간 및 분자간 상호작용으로 새로운 기능을 나타내게 하는 것

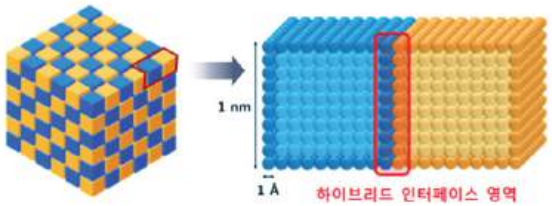
하이브리드 인터페이스 기반 미래소재

Hybrid Interface Materials(HIM)

서로 다른 이종 물질 혹은 이종 스케일 간의
하이브리드 연결기술을 통해 새로운 성능이 부여된 소재

Nano scale일 때, 인터페이스 영역은 전체 부피의
약 60%까지 달함.

이 하이브리드 인터페이스 영역을 다양하게 제어하면
소재의 특성을 크게 향상시킬 수 있음.



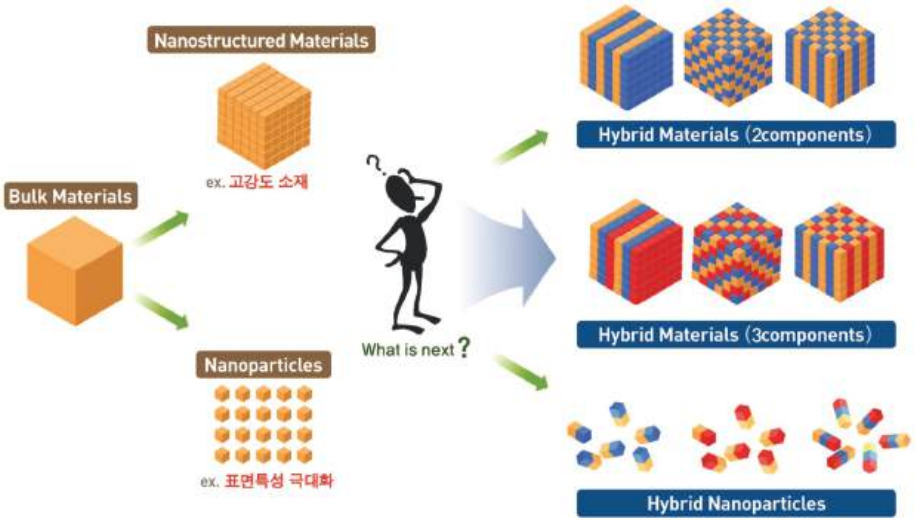
Grain size	S/V ratio(%)
Macro scale (10 μm ~)	≦0.006
Micro scale (0.1 μm ~ 10 μm)	0.6 - 0.006
Nano scale (1 nm ~ 0.1 μm)	60 - 0.6

가. 기술적 측면

나노소재는 표면원자의 활성화로 기존 소재보다 특이한 성질을 보이지만, 그 자체의 한계성(열화 메커니즘의 발현 등)과 다른 복합기능이 동시에 구현될 수 없는 한계점을 갖고 있다. 이를 극복하기 위한 방안으로서 이종 물질 또는 이종 스케일 간의 하이브리드화는 획기적 소재 기술로 주목받고 있으며 다양한 미래소재를 창출할 수 있는 원천기술이 될 것으로 예측된다.

하이브리드 인터페이스 구조에서 다양한 특이 현상들이 발견되고 있으며, 인터페이스 기술을 활용하여 여러 혁신제품이 창출되기도 한다. 하이브리드 소재는 과학기술 측면에서 새로운 현상을 발견할 수 있는 분야이다.

한편, 미국에서 2012년부터 대규모 MGI(Materials Genome Initiative)를 수행하여 소재 관련 Big Data 기반을 구축하고 있다. 본 연구단에서는 각 인터페이스 영역에서 얻어지는 다양한 연구정보들을 한국형 MGI D/B로 구축하여 미래 국제 네트워크로 구축될 플랫폼 사업에 참여하게 되는 교두보가 될 수 있을 것이다.



나. 경제적·산업적 측면

미래사회의 산업경쟁은 고성능 신기능 고부가가치 제품들이며 과학기술의 융합은 이들의 원천인 소재기술의 개발에 더욱 집중될 것으로 예측된다. 원천 소재과학기술은 여러 노벨상을 배출한 바 있고 이를 통한 기술혁신이 대대적으로 진행되었으며, 새로운 산업들을 창출했던 것처럼, 새로운 소재원천기술의 개발은 미래 과학/산업계에 큰 파급효과를 일으킬 것으로 예측된다.

한국의 산업제품이 품질에서 세계경쟁력을 갖추기 위해서는 소재기술에서부터 시작하여야 한다. 본 연구단에서는 독일·일본과 같이 고기능 소재를 개발하여 고성능 부품과 최고의 제품을 만들어 내는 근본적인 패러다임 변화를 주도하고자 하였다.

다. 사회적 측면

하이브리드 인터페이스 기반 미래소재의 연구개발은 6T를 포함한 거의 모든 산업분야에서 커다란 파급효과를 미친다. 배터리 및 에너지 저장 분야, 미래형 자동차, 차세대 3D 반도체, 우주항공, IT 및 바이오 분야 등에서 혁신제품 창출의 기반이 되어, 신산업 창출, 주력기반산업 강화, 하이테크 중소기업 지원의 역할을 하게 되며, 국가 신성장동력 창출, 양질의 일자리 창출에 크게 기여하게 된다. 기존 기술이 갖지 못하던 소재 혁신을 창출하고 혁신 부품/제품화로 사업화하여 국가 성장동력 및 일자리 창출로 연결시키고자 하였다.

2. 사업추진체계

가. 사업추진개요

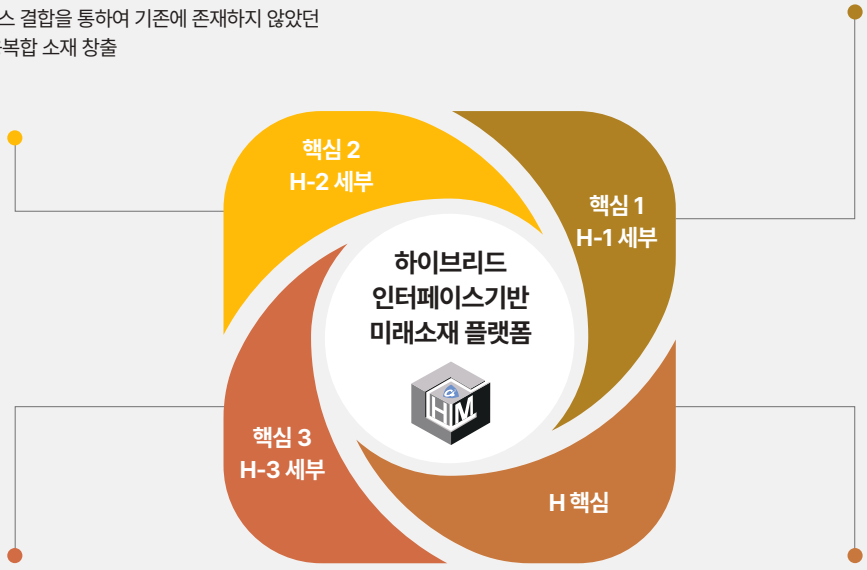
1단계에는 하이브리드 인터페이스 종류 및 고유영역에 따라 Soft, Hard, Active로 분류하여 1, 2, 3 핵심과제를 구성하고 각 인터페이스의 설계-합성-응용 연구를 추진하며, H 핵심과제는 Ab-initio, MD, MC, n-FEM 등 전산모사(Computation) 영역의 이론적 계산과 나노 물성 평가, 신뢰성 평가 등 신소재 개발에서부터 산업제품화에 이르는 종합적 지원을 하는 과제로 구성하였다.

Hard 인터페이스 기반 원천기술 개발

- 금속, 세라믹을 중심으로 고체-고체간의 하이브리드 인터페이스 결합을 통한 혁신 기능 (고기능, 복합기능, 신기능)을 창출
- 이종물질 및 이종스케일 소재간의 하이브리드 인터페이스 결합을 통하여 기존에 존재하지 않았던 새로운 융복합 소재 창출

Soft 인터페이스 기반 원천기술 개발

- 고분자 및 카본을 중심으로 이종소재간의 하이브리드 인터페이스 결합을 통하여 새로운 소재 창출 또는 혁신 기능을 부여



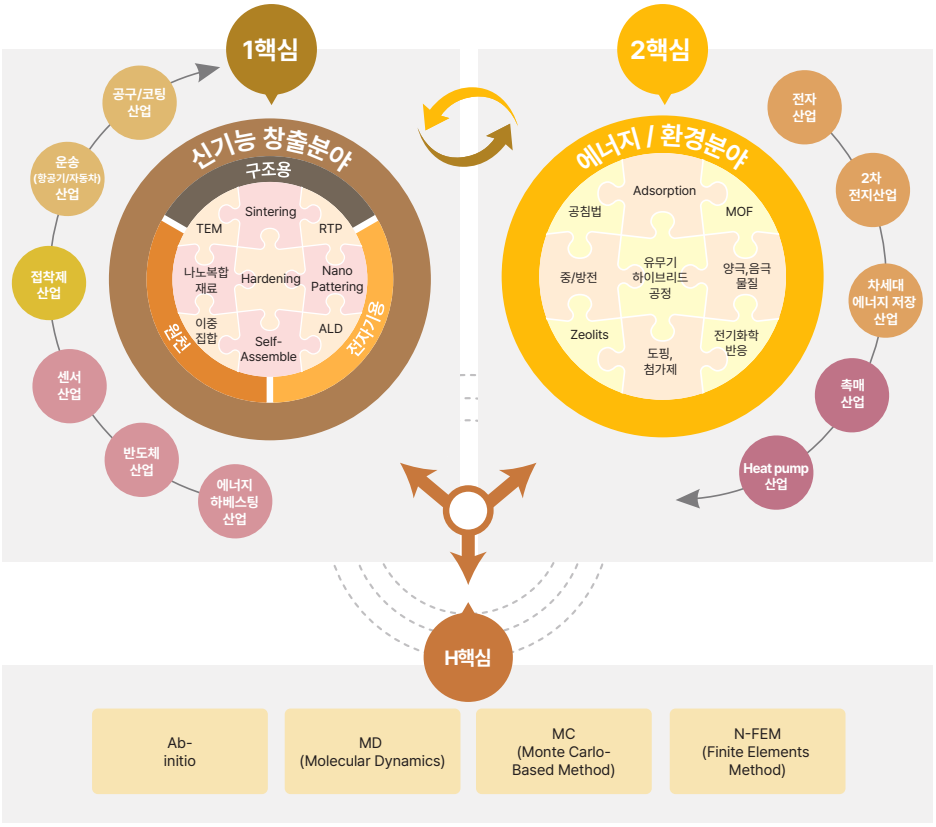
Active 인터페이스 기반 원천기술 개발

- 고체 표면에 화학적, 물리적, 전기(화학)적으로 active 인터페이스를 설계하여 주위에 있는 액체 또는 기체와 효율적으로 반응을 촉진하는 새로운 소재를 창출하거나 또는 혁신 기능을 부여

H Computation & CKTS

- 하이브리드 인터페이스에 관한 전산모사기술을 통하여 하이브리드 인터페이스의 설계-창제물성예측의 기능을 수행
- 핵심 1, 2, 3에 융합되어, Smart 미래 소재 설계를 수행

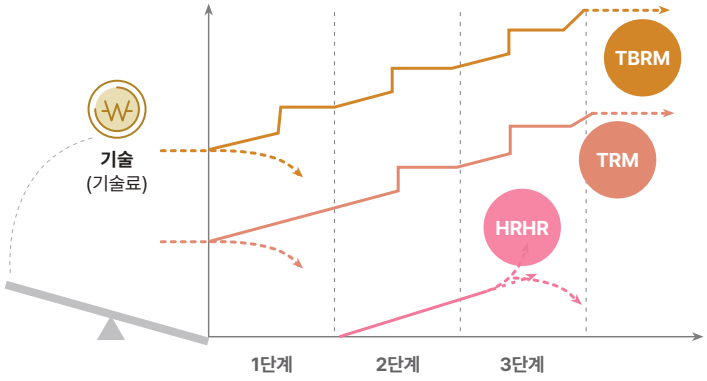
2단계부터는 글로벌프런티어 사업 철학 및 정부 정책 기조를 고려하여, 미래소재의 기능/목적을 중심으로 신기능 창출(전자기, 구조, 원천과학)을 위한 1 핵심과제(하이브리드 인터페이스 기반 신기능 소재·부품 개발 연구)와 미래 에너지 및 환경 대응을 위한 2 핵심과제(하이브리드 인터페이스 기반 고성능 에너지/환경 소재·부품 개발 연구)로 편제를 구성하여 기업기술과 교감할 수 있도록 하였으며, H 핵심과제(Materials Computation)는 1, 2 핵심과제 실험연구분야의 소재 설계를 보조하여, 효율적인 미래소재 개발이 이루어지도록 하였다.



나. 사업추진 전략

글로벌프런티어사업 1단계에서는 신기능소재 창출을 위하여 소재기술의 독자영역들을 서로 융합하는 집단연구를 다양하게 시도하였다. 선택과 집중의 철학을 바탕으로 심도 있는 1단계 자체평가를 통하여 2단계부터는 사업철학과 부합하여 발전해 나갈 수 있는 과제들을 크게 3가지 유형으로 분류하였다.

즉, 세부과제의 연구특성을 고려하여 TBRM형(선행기술을 이미 확보하고 추가 연구개발을 통해 혁신 기업기술로 발전시킬 수 있는 경우), TRM형(현존하는 시장은 없지만 기술개발을 통하여 미래시장을 창출할 수 있는 경우), HRHR형(기술개발은 어려우나 성공 시 파급효과가 커지는 경우)으로 분류하여 그에 따른 기술로드맵과 연구계획을 수립하였고, 이때 H과제는 연구개발의 효율성을 증진시키는 목표 및 연구내용 설정을 통하여 각 세부과제들을 지원하도록 하였다.



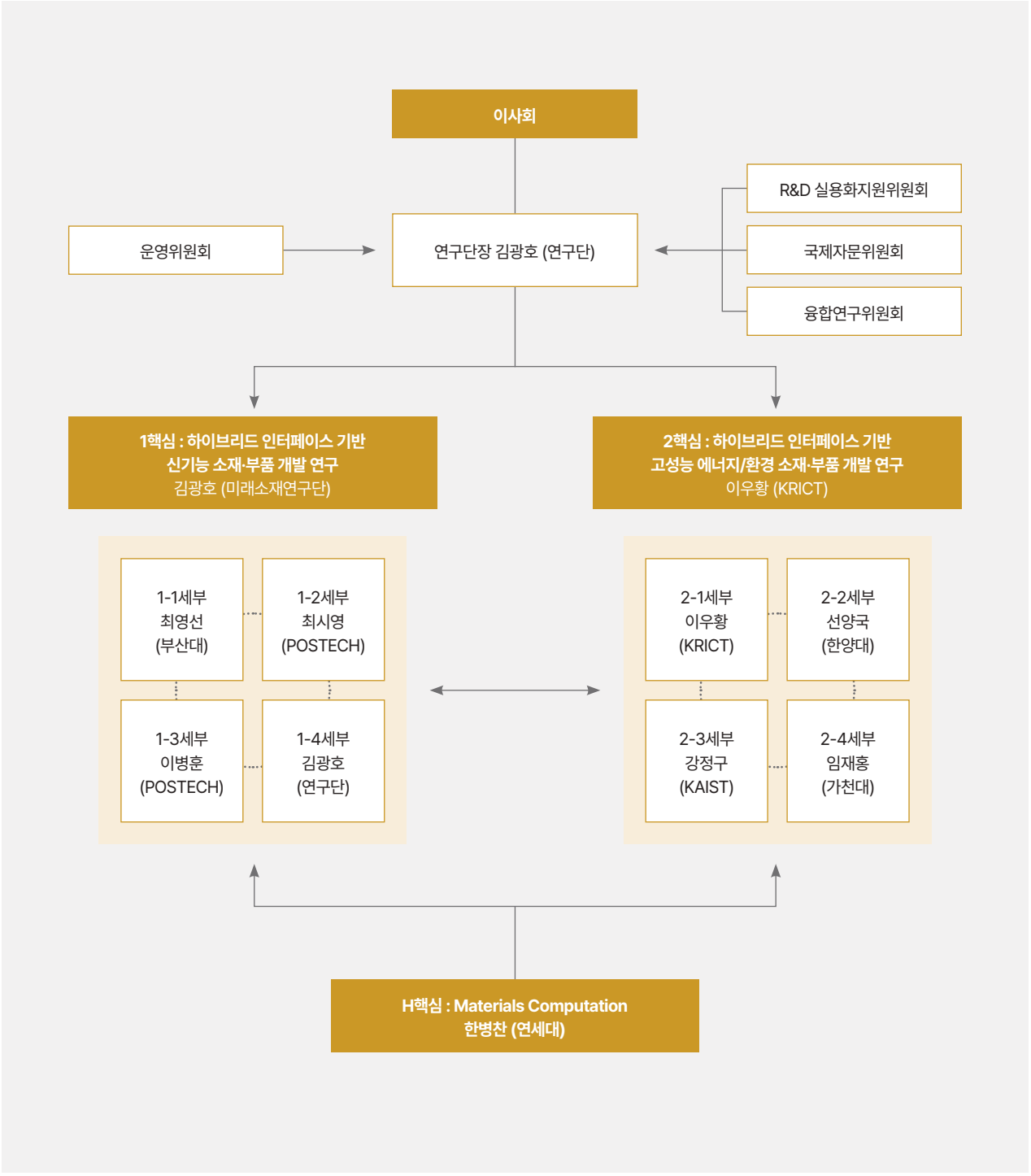
선행기술을 이미 확보하고, 추가 연구개발을 통해 혁신 기업기술로 발전시킬 수 있는 경우
(1-1세부, 1-3세부, 1-4세부, 1-4-1위탁, 2-1세부, 2-2세부, 2-3세부)

현존하는 시장은 없으나, 기술개발을 통하여 미래시장을 창출할 수 있는 경우
(1-2세부, 1-4-2위탁, 1-4-3위탁, 2-4세부)

기술개발은 어려우나 성공시 파급효과가 커지는 경우
(1-4-HRHR)

다. 운영관리 체계

연구과제 간의 연계를 통한 성공적인 융합연구를 도출하기 위하여, 연구단장을 위원장으로 하고, 핵심과제 책임자들로 구성된 융합연구위원회와 해외기술자문을 위한 국제자문위원회를 설치하였다. 융합연구가 제안되면, 융합연구위원회는 세부 및 핵심 과제간의 연구원 파견 및 지원을 통해 융합연구팀을 구성하고 필요 시 추가 연구원 투입 및 연구비 지원을 하였다. R&D 실용화지원위원회는 연구과제 초기부터 "상업성이 기대되는 강력한 원천특허" 창출과 실용화 지원 등 연구개발의 질적 향상 추진을 수행하였다.



3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

총 연구비는 약 811.015억 원으로, 과학기술정보통신부로부터 전액 지원되어 연구를 수행하였다.

(단위: 백만 원)

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2013	3,500	-	-	3,500
2014	10,000	-	-	10,000
2015	8,330	-	-	8,330
2016	8,330	-	-	8,330
2017	8,197.3	-	-	8,197.3
2018	7,920.5	-	-	7,920.5
2019	8,292.7	-	-	8,292.7
2020	9,482	-	-	9,482
2021	10,229	-	-	10,229
2022	6,820	-	-	6,820
합계	**81,101.5**	**-**	**-**	**81,101.5**

나. 참여기관 현황

연구단 연구에 참여한 기관은 총 41개로, 1단계 14개, 2단계 14개, 3단계 13개였으며, 산학연 중 학계의 참여 기관이 29개로 가장 많았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	6	4	10
	위탁	-	3	1	4
	합계	**-**	**9**	**5**	**14**
2단계	세부	-	6	3	9
	위탁	-	4	1	5
	합계	**-**	**10**	**4**	**14**
3단계	세부	-	6	2	8
	위탁	-	4	1	5
	합계	**-**	**10**	**3**	**13**

다. 참여 연구인력 현황

참여연구원은 총 3,125명이었으며, 산학연별로는 학계의 참여도가 2,623명으로 가장 높았고, 학위별로는 학사 참여도가 1,339명으로 가장 높았다.

산학연 구분

구분	1단계	2단계	3단계	합계
산업계	-	-	48	48
학계	448	917	1,258	2,623
연구계	63	181	210	454
계	**511**	**1,098**	**1,516**	**3,125**

학위별 구분

구분	1단계	2단계	3단계	합계
박사	151	205	355	711
석사	139	333	603	1,075
학사	258	449	632	1,339
계	**548**	**987**	**1,590**	**3,125**

4. 사업 및 성과 관리

가. 과제기획 및 시너지 제고

❶ 과제 기획

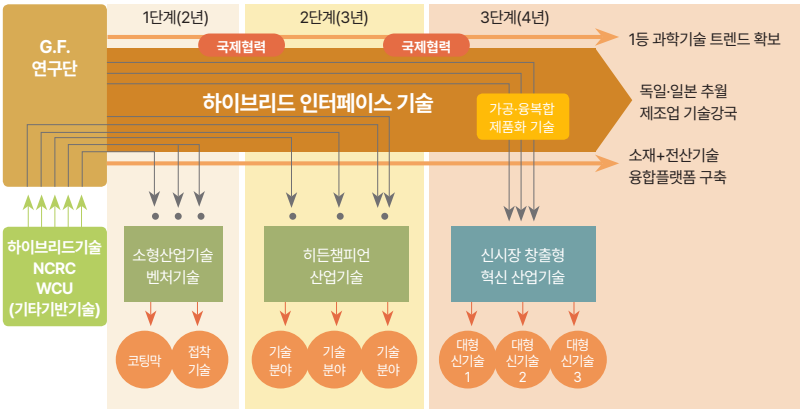
[미래 혁신형 산업화 기술 개발 및 고부가가치 창출형 사업화]

글로벌프런티어의 사업철학에 입각한 창의적이고 미래 혁신적인 기술개발에 총력을 기울이며, 이러한 연구성과를 바탕으로 글로벌 시장에서 고부가가치 창출을 위해 사업화를 추진하는 전략을 수립하였다. 기술개발의 정도와 시장성숙도를 기준으로 기술사업화 로드맵(TBRM), 기술 로드맵(TRM), 원천기술(HRHR)로 세분화하여 기술 로드맵을 구축하였다.

[Moving Target 적용]

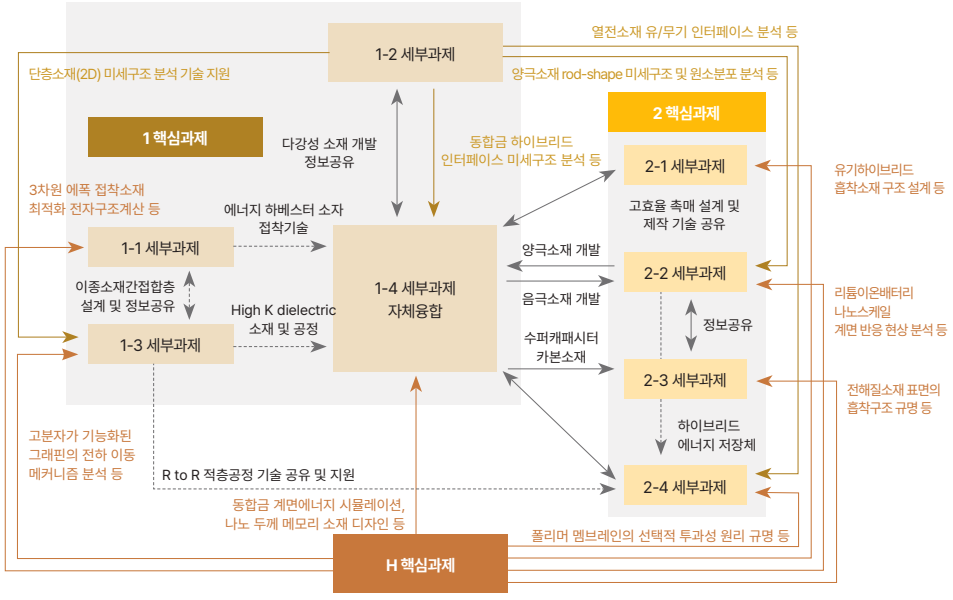
기술개발의 정도와 시장 성숙도를 분석하여 원천기술의 실용화 기술, 기술의 대량생산 및 대형화를 위한 상용화 기술, 바로 시장진입이 가능한 기업화 기술로 분류하여 이에 따라 연구목표의 moving target을 적용하였으며, 목표를 달성하기 위해 참여연구원을 조정 또는 재배치하였다.

연구개발 목표달성을 위한 과제기획 흐름도



❷ 과제연계 및 시너지 제고

세부과제간의 연계를 명확하게 하고 세부과제별 연계를 통해 시너지를 제고하였다.



나. 과제 관리 및 평가 전략

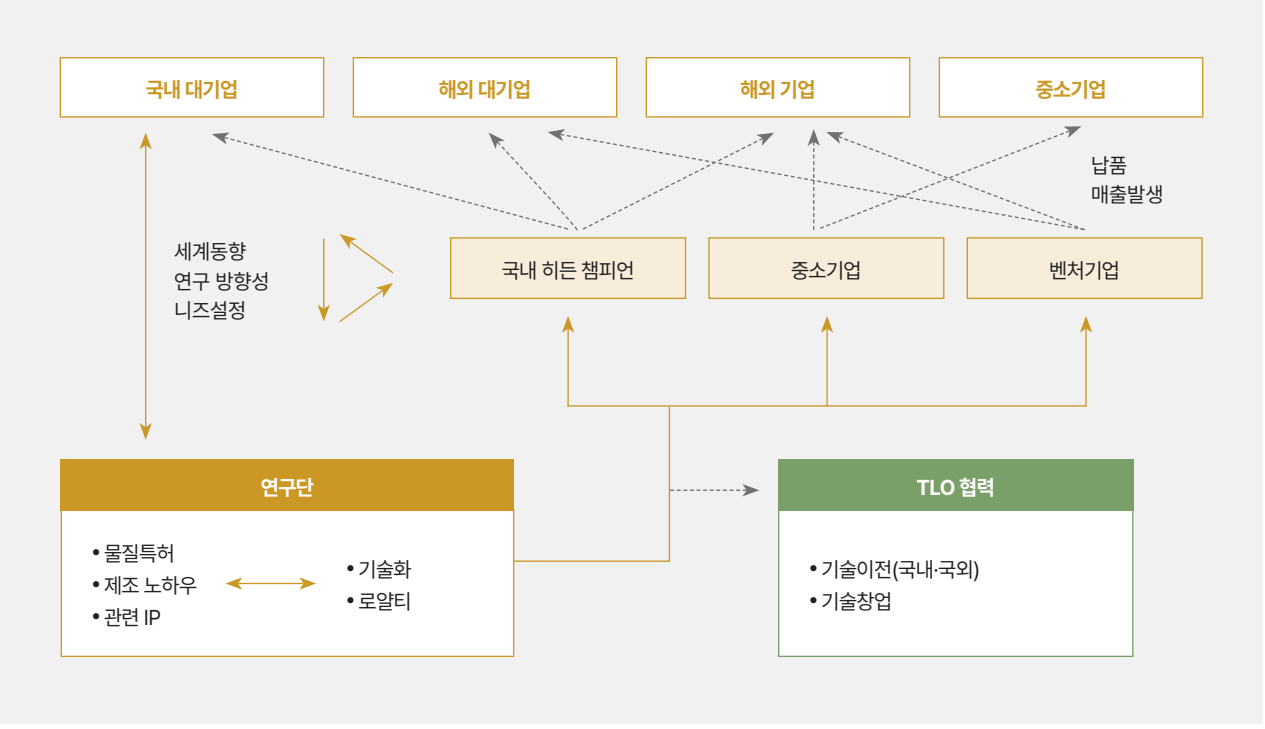
연구계획 및 과제 간 융합연구를 진행할 수 있도록 소통의 장을 마련하고, 연구 목표 대비 달성도와 성과를 지속적으로 모니터링함으로써 연구성과 창출을 독려하였다. 또한, 세부 및 핵심과제간의 연구원 파견 및 지원, 공동연구를 장려하기위해 융합성과가 창출되는 경우 가산점을 부여하고, 기술 완성도를 높이기 위한 융합·협력연구를 위한 세미나를 개최하기도 하였다.
기술개발과정에서 기술설명회 및 연구교류회를 개최하여 기업과 연구단이 기술 연구방향 및 성과에 대해 교류하고 기업의 니즈와 개발기술의 방향성을 통일하고, 기술이전의 촉진을 위한 노력을 하였다.

정성적 관점(세계최초·최고 원천기술, 학제간 융합·연계 연구, 국제적 연구 네트워크 구축, 원천특허 창출)에서 절대평가로 실시하였다. 국내의 자체 평가위원회뿐만 아니라 세계적 수준의 전문가로 구성된 국제자문위원회를 구성하여 연구목표를 peer review 형식으로 평가하였다.

다. 성과 활용 전략

본 연구단은 성과 창출을 극대화하기 위해 기술의 발전 정도를 고려하여 3가지 로드맵유형으로 분류하여 차별화된 전략을 구사하였다. 즉, 세부과제의 연구특성을 고려하여 TBRM형(선행기술을 이미 확보하고 추가 연구개발을 통해 혁신 기업기술로 발전시킬 수 있는 경우), TRM형(현존하는 시장은 없지만 기술개발을 통하여 미래시장을 창출할 수 있는 경우), HRHR형(기술개발은 어려우나 성공 시 파급효과가 커지는 경우)으로 분류하여 기술 로드맵을 구축하였다. 이러한 차별적 전략은 연구단의 다양한 최종 성과 창출에 기여하였다.

또한, 유관기관과의 연계, IP 창출 컨설팅, 마케팅/실용화 컨설팅, 기술발표회 및 기술이전 페어, 기업 맞춤형 기술이전 및 벤처 설립 등을 지원하였다.



02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

하이브리드인터페이스기반미래소재연구단은 이종물질간의 경계면(인터페이스) 영역에서 과학기술적 연구를 통해 결합물질의 자체특성과 새로운 복합기능을 발견하고, 설계를 통하여 기존에 없던 경계면 연결 구조(하이브리드화)를 만들어 이를 통해 신기능의 미래소재 창출을 목표로 연구를 수행하였다.

비전

하이브리드 인터페이스 기반 미래소재 기술로부터
미래 혁신 기능의 소재/부품/제품을 창출할 수 있는 핵심원천기술 개발

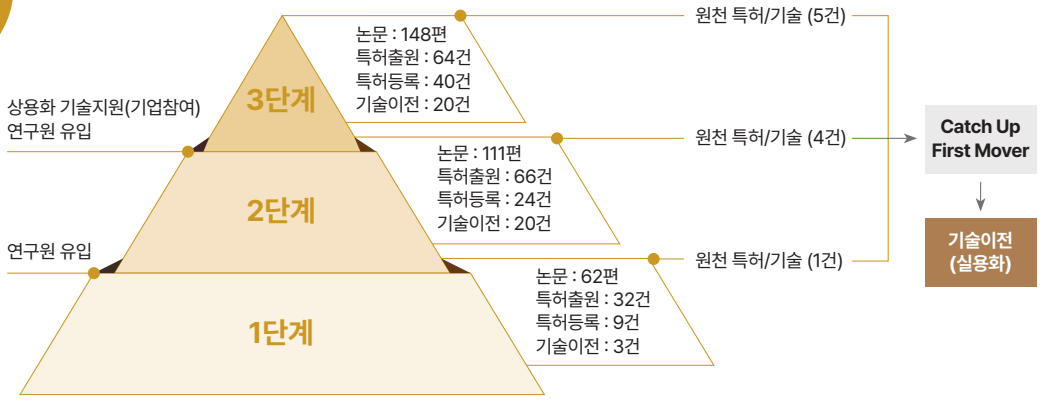
목표

지식재산(IP)
- 특허출원 : > 162건, 특허등록 : > 73건
- 원천 특허/기술[1] : 10건, 소재/부품/제품화 기술[2] : 43건

학술적 측면
- 융복합 우수연구논문 발표 > 321편

1) 원천 특허/기술 : 3개국 이상(국내, 해외 2개국 이상) 등록특허 및 이를 통한 기술이전
2) 소재/부품/제품화 기술 : 연구단 창출 등록특허를 통한 기술이전

Big 3 원천기술

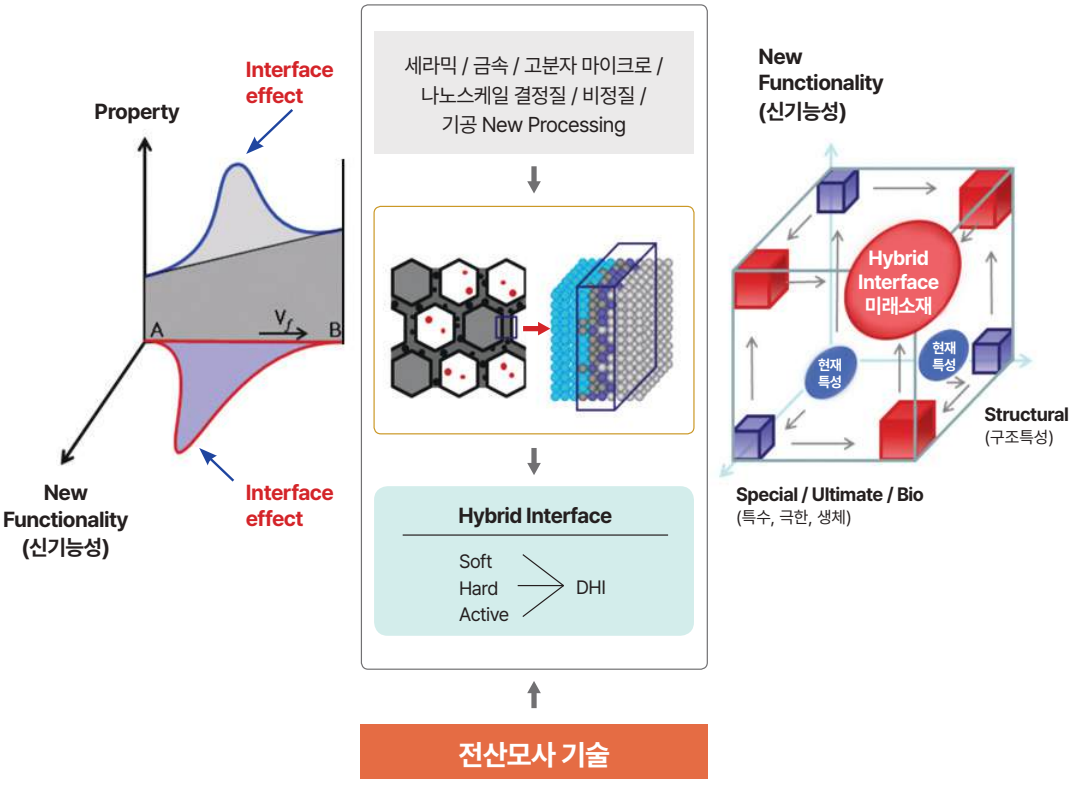


1단계('13~'14)	2단계('15~'17)	3단계('18~'22)
나노 하이브리드 인터페이스기술 개발	마이크로 하이브리드 인터페이스 공정기술 개발	하이브리드 인터페이스 응용부품 개발

2. 연구분야 및 개발내용

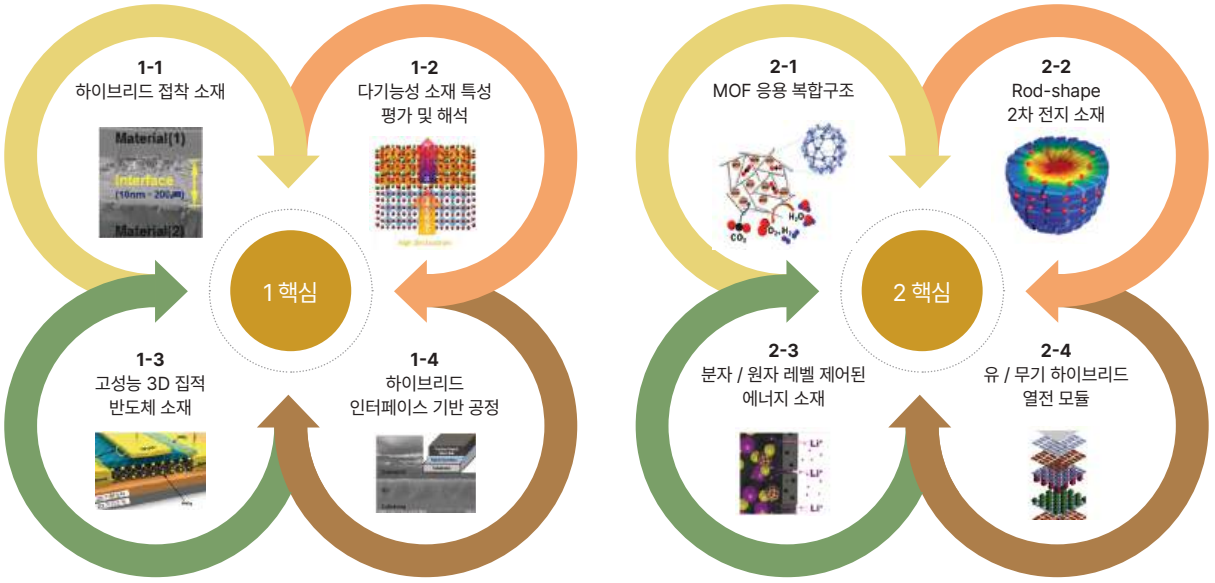
가. 연구범위

연구단은 이종물질이나 이종소재간의 전자, 원자, 분자 구조적 수준의 연결 기술과 새로운 기능이 발현될 수 있도록 하이브리드 인터페이스 물질 및 볼륨의 설계-창제-평가를 통하여 다양한 고기능, 융복합기능 및 신기능의 미래소재/부품/제품의 개발을 수행하였다.
또한, 새로운 하이브리드 인터페이스의 구조설계와 이를 구현할 수 있는 공정 및 특성평가 기술을 연구하고, 고성능 컴퓨터를 적극 활용하는 전산기술 분야와의 융합을 통해 효율적인 첨단 미래소재 및 부품/제품의 창출이 가능한 시장 선도(First Mover)형 원천기술, 스마트소재 가공기술, 대형화 공정기술, 융복합제품화 기술의 개발을 수행하였다.

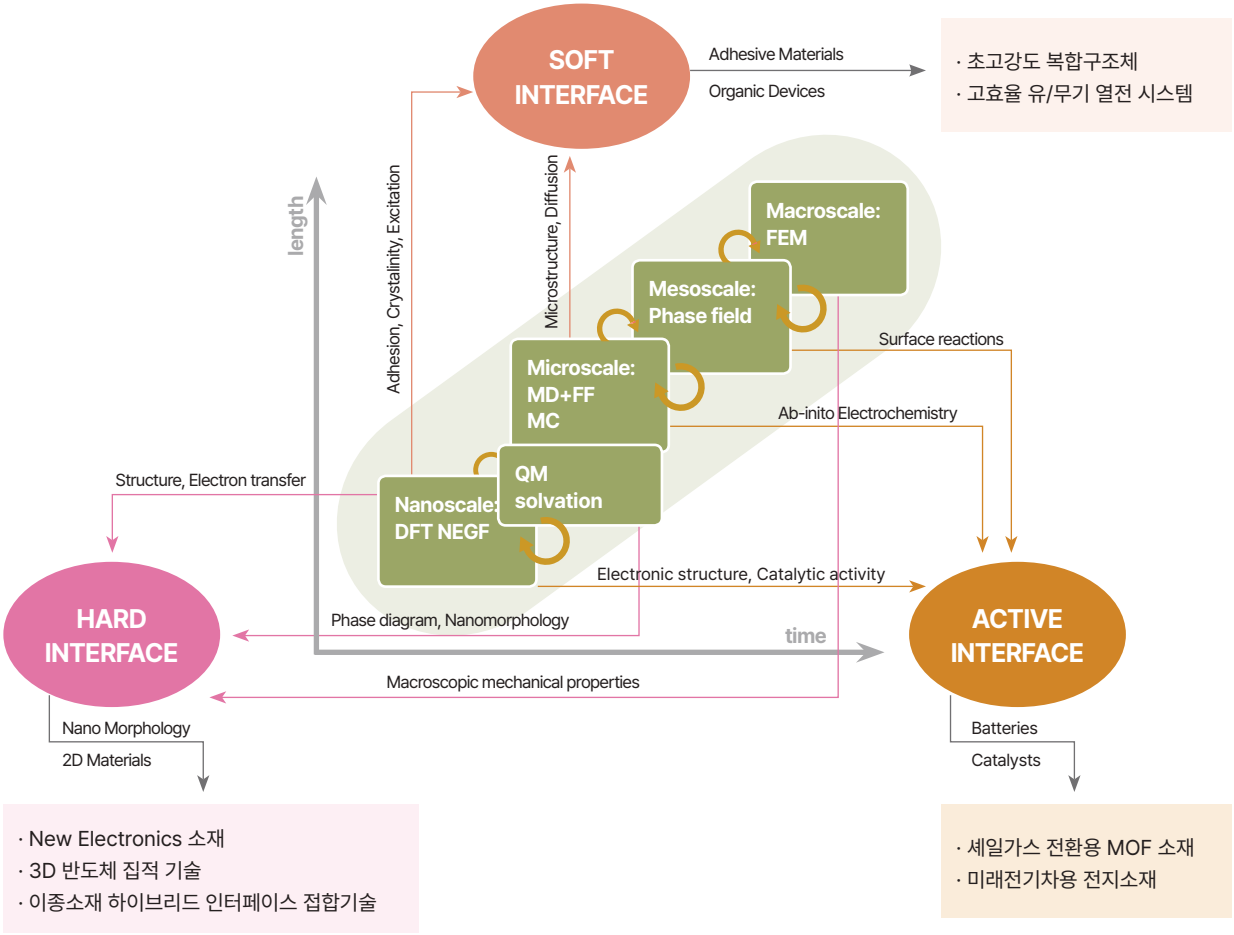


나. 핵심과제별 연구분야 및 내용

1핵심과제는 하이브리드 인터페이스 기반 신기능 소재·부품 개발 연구를 목표로, 초고강도 하이브리드 접착소재 원천기술 개발(1-1세부과제, 부산대학교 최영선), 신기능성 소재 특성 해석 및 첨단 분석기술 개발(1-2세부과제, POSTECH 최시영), 3D 집적 반도체소재 원천기술 및 응용 연구(1-3세부과제, POSTECH 이병훈), 하이브리드 인터페이스 원천기반공정 및 신기능 소재·부품 개발(1-4세부과제, 연구단 김광호)을 수행하였다.
2핵심과제는 하이브리드 인터페이스 기반 고성능 에너지/환경 소재·부품 개발 연구를 목표로, MOF 응용 복합구조체 원천기술을 통한 고활성 흡착제·촉매 개발(2-1세부과제, KRICT 이우황), 인터페이스 최적화 맞춤형 rod-shape 이차전지소재 원천 및 상용화기술 개발(2-2세부과제, 한양대학교 선양국), 분자/원자 레벨제어에 의한 고효율 에너지소재 및 device 개발(2-3세부과제, KAIST 강정구), 고효율 유/무기 하이브리드 열전 모듈 원천기술 개발(2-4세부과제, 가천대학교 임재홍)을 수행하였다.



H핵심과제는 하이브리드 인터페이스 소재에 관한 전산모사(Materials Computation)를 통하여 하이브리드 인터페이스의 설계-창제-물성예측의 기능을 수행(연세대학교 한병찬)하였다. Ab-initio, MD, MC, n-FEM 등 전사모사 영역의 이론적 계산과 나노 물성 평가, 신뢰성 평가 등을 통해 1, 2핵심과제들의 연구내용을 도와 저비용 고효율로 혁신소재를 개발할 수 있도록 지원하였다.



다. 핵심기술별 연구목표

연구단은 연구기간 동안 기술사업화가 가능할 것으로 기대되는 핵심기술 5개를 선정하여 세계 최고 또는 세계 최초 기술을 개발하여 원천기술을 확보하고자 하였다.

핵심성과	성과지표	최종 목표	설정근거
초고강도 하이브리드 접착소재 개발	- Lap-shear 강도 - Impact-peel 강도	- 37.0 MPa - 46 N/mm	- 2017년 기준, 세계 최고 수준(34~36 MPa, 독일 Fraunhofer, Henkel 연구소)의 구조용 접착제 수준과 동일 또는 우위의 성능 확보
비철합금기지내 제 2상간 인터페이스 제어에 의한 상반특성 동시향상기술 개발	- Al 합금 강도, 연신율 - Cu 합금 강도, 전도도	- 420 MPa, 10 % - 500 MPa, 92 %IACS	- 고인성 알루미늄 주조품의 경우 상용합금은 380 MPa / 4%의 인장특성을 보이고, 세계 수준의 합금은 400 MPa / 5% 이하임 - 알루미나 분산동의 세계수준 물성은 인장강도 480 MPa, 전도도 90 %IACS 임
다강성 계면 결합효과를 이용한 에너지 하베스팅 기술 개발	- 에너지 하베스팅 전력 생산량	- > 3 mW@ 10G, 60Hz 교류자기장	- Adv. Energy Mater. 1601244(2016) 논문 참고 : 0.7 mW
MOF 응용 고활성 흡착제·촉매 개발	- 가열효율/ 냉각효율 - 냉방장치 SCP	- COP_H 1.70 / COPc 0.85 - 400 Wh/kg (10 kW 급)	- 수분흡착 제어기술의 상용화된 기존 기술 및 세계 최고 수준과의 비교 시 기존 최고 효율의 수분흡착식 냉방용 제올라이트 흡착제 성능 이상 수준과 비교할 때, 흡착제 기준 단위무게당 냉방출력 200 Wh/kg 확보, 최고 재생온도 65°C 이하 필요. 냉각기 COP 효율 0.60 이상 필요
이차전지 소재 원천 및 상용화 기술 개발	• 리튬이온전지용 - 용량, 수명특성 • 소듐이온전지용 - 용량, 수명특성 • Li-S 전지용 - 용량, 수명특성	• 리튬이온전지용 - 220 mAh/g, 95 %/100 cycles • 소듐이온전지용 - 165 mAh/g, 85 %/100 cycles • Li-S 전지용 - 1,500 mAh/g, 80 %/100 cycles	- 리튬이차전지용 양극 소재의 경우 양극 소재 합성 기업 및 연구실 선행 연구결과와 비교하여 목표치를 산출함 - 소듐이차전지용 양극소재의 경우 세계 최고수준의 학술지(mrnIF 지수 95 이상)들을 기반으로 산출함 - Li-S전지용 양극 소재 및 전해질의 개선을 사용하는 (mrnIF 지수 95 이상) 학술지를 기반으로 산출함

03 연구성과

1. 총론

이차전지부터 반도체, 에너지, 우주산업까지 소재의 혁신이 미치는 파급력은 매우 광범위하다. 특히 글로벌 기술패권 경쟁과 공급망 재편 속에 소재 기술력 확보는 더욱 중요해졌다.

하이브리드인터페이스기반미래소재연구단은 이종물질간 경계면과 결하물질의 특성과 복합기능을 연구해 기존에 없던 소재를 발굴하고자 했다. 차세대 운송기기용 초고강도 하이브리드 접착소재부터 주행거리 걱정 없는 전기차용 이차전지 양극소재, 강도와 연성이 동시에 향상된 초고성능 경량 합금, 그래핀·실리콘 결합 고성능 광센서 등 기존 한계를 뛰어넘은 소재 확보를 목표로 출범했다.

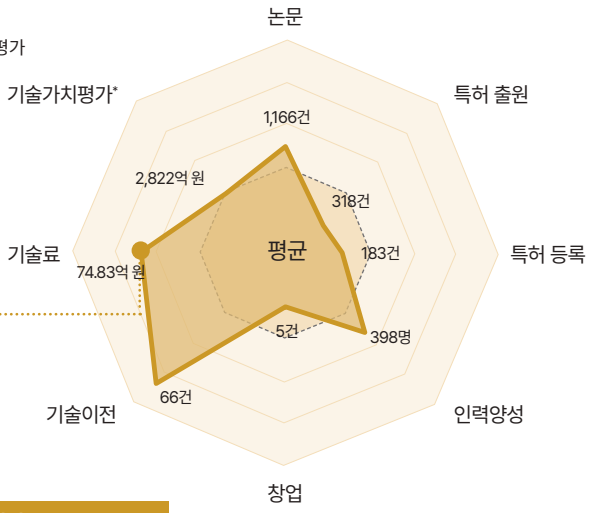
연구단은 총 1,166편의 논문을 냈는데 그중 1,149편이 SCI 논문이었다. 총 318건의 특허를 출원하고 그중 183건이 등록됐다. 연구단을 통해 배출된 학위인력은 398명에 달했다.

연구단 성과에 대해 기술가치평가를 한 결과 총 2,821억 8,000만 원으로 평가됐다. 개발된 기술의 상용화를 위해 총 66건의 기술이전을 통해 74억 8,270만 원의 정액기술료 수입을 거두고 총 5건의 창업기업을 배출했다.

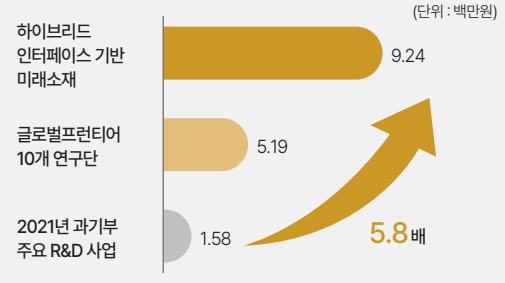
특히 한양대 연구팀은 고에너지밀도와 안정성을 갖춘 이차전지 양극소재를 개발해 LG화학 등에 총 23억 7,000만 원에 이전됐으며, 현대차 코나, 기아 니로 등에 적용됐다. 부산대 연구팀은 전기차 등에 채택 가능한 초고강도 하이브리드 접착소재를 개발하고 새론테크, 동성화학 등에 9억 9,000만 원에 기술을 이전, 현대차 및 기아의 전기차 동력모터 코어에 적용되고 있다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 6건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 기술료 성과[1)]



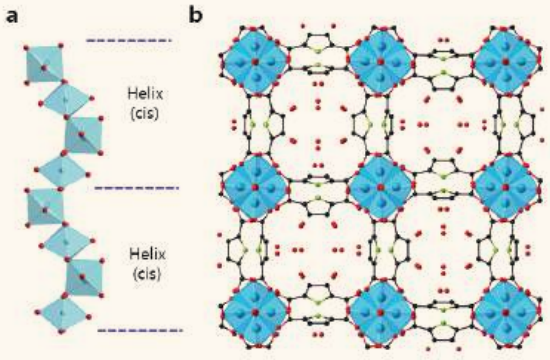
- 하이브리드인터페이스기반미래소재연구단의 연구성과는 기술이전 및 기술료부분에서 글로벌프런티어 10개 연구단 평균성과 보다 매우 우수한 수준을 보이고 있는 것으로 분석
- 연구단의 기술이전건수는 총 66건, 기술료는 약 74.83억 원으로 연구비 1억 원당 약 9.24백만 원의 기술료 성과를 창출
- 해당 수치는 글로벌프런티어 10개 연구단 종합 성과 대비 약 1.8배, 2021년 과기부 주요 R&D 성과 대비 약 5.8배의 수준

1) 단순 기술이전 건수 보다는 기술이전의 가치를 평가하기 위해 연구비 1억 원당 기술료 성과를 비교

2. 대표 연구성과

미래소재 01

실외기·전기료 걱정없는 에너지 절약형 냉방 신기술 개발 (KRICT 이우황)



[MOF 흡착제 KMF-1 결정구조]



[MOF 흡착제 제조(비드형)]

- 연구단은 에너지 절약형 고효율 수분제어용 MOF(Metal Organic Framework) 수분 흡착제 원천소재 및 응용기술을 개발하였으며, 세계 최고 학술지에 개발된 신규 MOF 수분 흡착제를 보고하고 메커니즘을 규명
- 연구단이 개발한 수분제어용 신규 MOF 원천소재는기존 수분 흡착제 대비 2~4배 이상의 흡착성능이 우수하며, 50~70°C 범위에서 재생될 수 있음
- 이러한 기술의 우수성을 인정받아 해당기술은 2018년 세계적 혁신기술 선정 및 2019 국가연구개발 우수성과 100선의 최우수로 선정
- 해당기술은 ㈜에이올코리아에 정액기술료 16억 원으로 기술이전 되었으며, ㈜에이올코리아에서는 기술을 적용한 제습 환기 장치를 출시하고 LH 공사, SH 공사에 납품 및 H건설에 납품 예정

논문

· A Robust Large-Pore Zirconium Carboxylate Metal-Organic Framework for Energy-Efficient Water Sorption-Driven Refrigeration(Nature Energy, 2018)
· Selective nitrogen capture by porous hybrid materials containing accessible transition metal ion sites(Nature Materials, 2016)
· Design of Hydrophilic Metal Organic Framework Water Adsorbents for Heat Reallocation(Advanced Materials, 2014)
· A room temperature synthesizable and environmental friendly heterogeneous ZIF-67 catalyst for the solvent less and co-catalyst free synthesis of cyclic carbonates(Applied Catalysis B-Environmental, 2015)

특허

· 유무기 하이브리드 나노세공체 및 이의 응용(KR 10-2020-0057640, CCC등급)
· 에너지 절약형 에어드라이어 및 이를 이용한 건조공기 제조방법(KR 10-2018-0129734, BB등급)



[KRICT-(주)에이올코리아 기술이전 협약식]

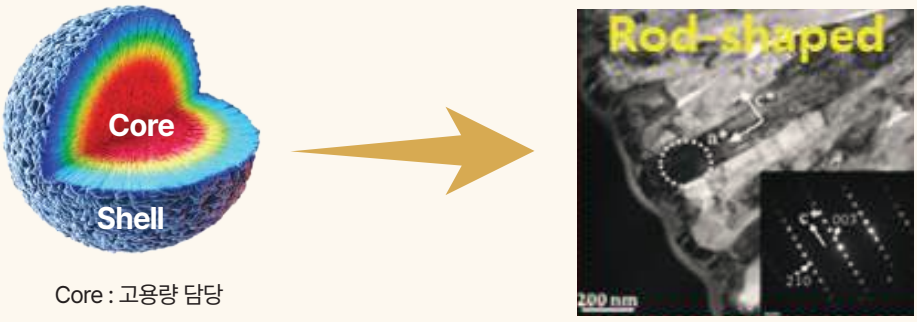


[(주)에이올코리아의 MOF 로터]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Materials)	-	○	16억 원	-

미래소재 02

주행거리 걱정없는 전기차용 이차전지 양극 소재 개발 (한양대학교 선양국)



Core : 고용량 담당
Shell : 안정성 담당

[이차전지를 위한 Rod-shaped 양극소재 물질 개념도]

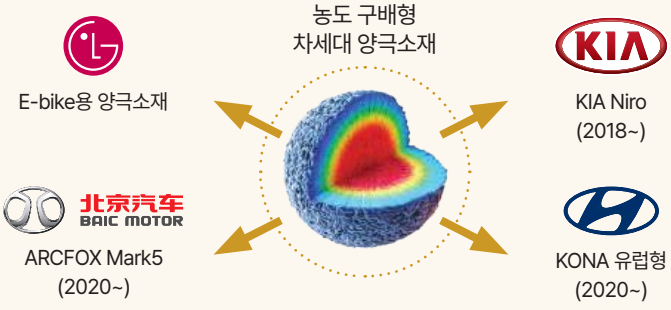
- 연구단은 인터페이스 최적화를 통해 고에너지밀도를 발현함과 동시에 안정성을 확보한 맞춤형 농도 구배형 양극 소재 개발
- 개발된 양극소재는 중심에 높은 에너지 밀도를 갖는 원소로 밀집되어 있으며, 외부에는 구조적·열적 안정성을 높이는 원소들이 감싸고 있어 높은 에너지밀도와 내구성을 모두 갖춘 것이 특징
- 연구단이 개발한 양극소재가 적용된 파우치형 배터리는 2,000회 충방전에도 85% 안정적인 수명 특성을 확보
(상용 NCM90소재 파우치형 배터리는 1,000회 충방전 시, 68.0% 수명특성)
- 해당기술은 (주)LG 화학 등으로 총 23.7억 원에 기술이전되었으며, 현재 기아자동차 니로(NIRO, 2018), 현대자동차 코나(KONA, 2020), 북경자동차 ARCFOX MARK 5(2021), E-bike용 배터리(LG)에 적용되고 있음

논문

· Sodium-Ion Batteries: Present and Future(Chemical Society Reviews, 2017)
· Pushing the limit of layered transition metal oxide cathodes for high-energy density rechargeable Li ion batteries(Energy & Environmental Science, 2018)
· High-energy-density lithium-ion battery using a carbon-nanotube Si composite anode and a compositionally graded LiNi0.85Co0.05Mn0.10O2 cathode(Energy & Environmental Science, 2015)
· Ni-Rich Layered Cathode Materials with Electrochemo-Mechanically Compliant Microstructures for All-Solid-State Li Batteries(Advanced Energy Materials, 2020)

특허

· 리튬 복합 산화물 및 이의 제조 방법(KR 10-2014-0098036, A등급)
· 리튬 이차전지용 양극활물질(KR 10-2014-0051935, BBB등급)

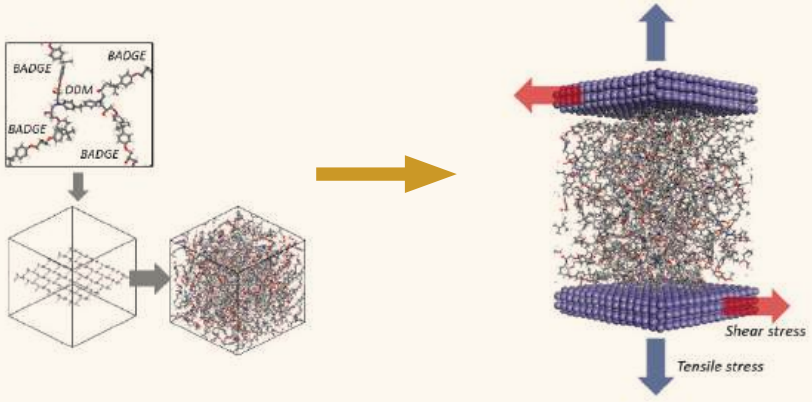


[개발 양극재 적용 제품]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	23.7억 원	-

미래소재 03

차세대 운송기기용 초고강도 하이브리드 접착소재 개발 (부산대학교 최영선)



[3차원 경화 에폭시 접착소재 –철강 인터페이스 모델 개발 프로세스]

- 연구단은 이종재료에 적용가능한 고강도 및 내충격 접착소재 기술을 개발하였음
- 기존 접착소재의 한계 성능을 극복하기 위해 인터페이스 소재 개념을 도입하고, 전산해석에 의해서 이종소재간의 인터페이스를 최적화함. 예를 들면, 성형 고분자(star polymer)를 합성하고, 탄성을 갖는 코어 표면에 유연한 팔을 붙여서 내충격성과 접착성을 보완하는 기능을 구현
- 개발된 접착제는 입자성 고분자 공중합체를 바탕으로 37~39 MPa의 전단 강도와 46~50 N/mm의 충격강도 확보함
- 해당기술은 (주)새론테크, (주)동성화학 등으로 정액기술료 9.9억 원에 기술이전 되었으며, 현재 현대 및 기아자동차의 전기자동차 동력모터 코어에 적용되고 있고, 현재자동차와 차체 구조용 접착제 양산적용 테스트 진행

논문

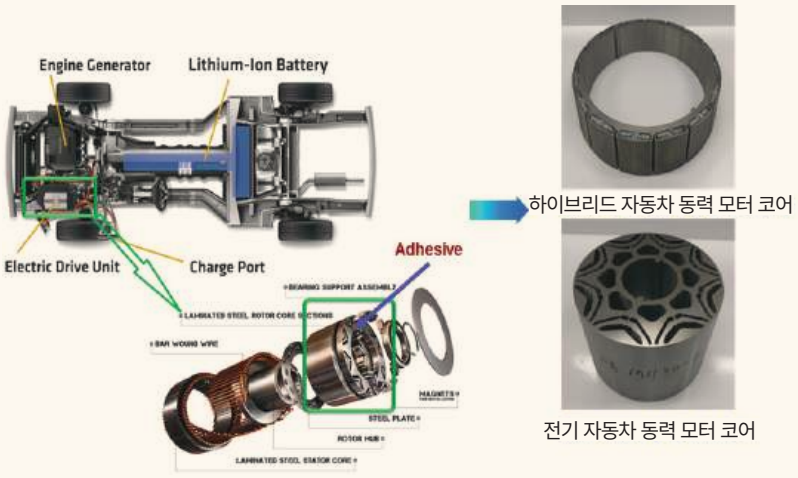
· Mechanism of adhesion of the diglycidyl ether of bisphenol A (DGEBA) to the Fe(100) surface(Composites Science and Technology, 2016)

· Prediction of Lap Shear Strength and Impact Peel Strength of Epoxy Adhesive by Machine Learning Approach(Nanomaterials, 2021)

특허

· STRUCTURAL ADHESIVE COMPOSITION HAVING HIGH ELONGATION AND IMPACT-RESISTANCE(EU 3623439)

· 높은 연신율 및 내충격성을 갖는 구조용 접착제 조성물(KR 10-2017-0059012, CCC등급)

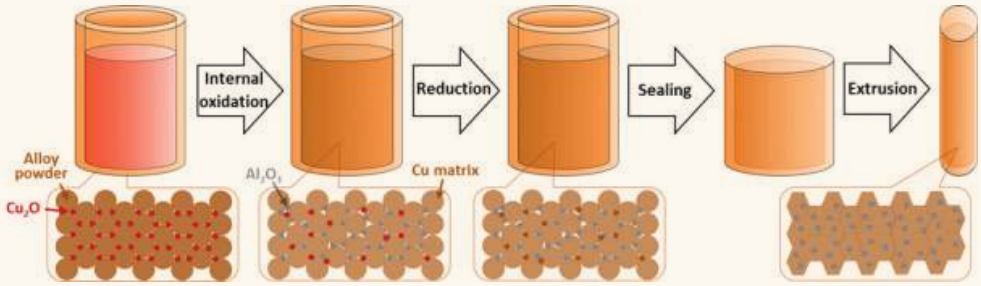


[하이브리드 접착소재 적용 사례]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	9.9억 원	-

미래소재 04

강도와 연성/전기전도도가 동시에 향상된 초고성능 경량 합금 개발 ((재)하이브리드인터페이스기반미래소재연구단 김광호)



[알루미나 분산동 제조 공정]

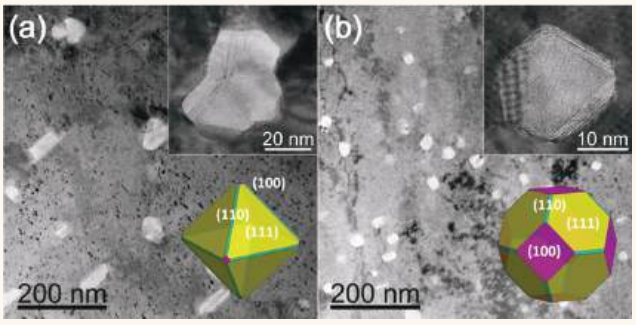
- 연구단은 구리합금에서 강화상과 기지의 계면에너지를 감소시킬 수 있는 원소를 찾아내어 세계 최고 성능의 신합금(Cu, Al)을 개발
- 구형 입자 강화, 나노규모 라멜라 강화상 알루미늄 복잡재료를 구현함으로써 복합재료의 강도, 전기전도도 및 연성을 동시에 향상시킴. 특히, 강도와 전기전도도는 상반특성으로 동시에 강화시키기 어려운 특성이며 강도 및 전기전도도를 동시에 강화한데서 큰 의의를 가짐
- 이와 같이 개발된 알루미늄 합금의 인장강도는 6,000 MPa로 기존의 알루미늄 합금의 한계를 뛰어넘었으며, 전기전도도는 순 구리의 50%에 육박하는 45%를 달성
- 해당기술은 전량 수입(일본)에 의존하는 고성능 합금소재를 대체할 수 있을 뿐만 아니라, 계면에너지를 활용한 합금 개발 신방법론으로 합금산업에 다양하게 적용될 수 있을 것으로 기대
- 이와 같은 기술의 우수성으로 2020년 출연연 우수성과, 2021년 국가연구개발 우수성과 100선 등 다수 선정되었으며, (주)일광주공 등에 기술이전되어 사업화를 앞두고 있음

논문

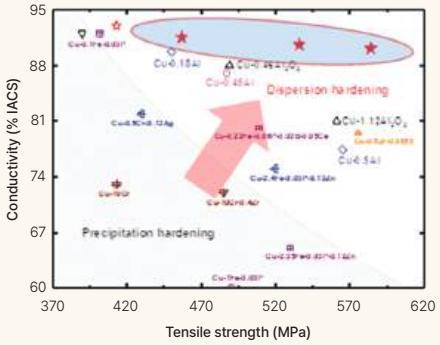
· Alloy design strategies to increase strength and its trade-offs together(Progress in Materials Science, 2021)
· Simultaneous increase in strength and ductility by decreasing interface energy between Zn and Al phases in cast Al-Zn-Cu alloy(Scientific reports, 2017)
· Increasing strength and conductivity of Cu alloy through abnormal plastic deformation of an intermetallic compound(Scientific reports, 2016)
· Design of exceptionally strong and conductive Cu alloys beyond the conventional speculation via the interfacial energy-controlled (Scientific reports, 2015)

특허

· 티타늄이 포함된 산화물 분산 강화 분산동 합금 및 그의 제조방법(KR 10-2014-0191034, A등급)
· 알루미늄-아연-구리(Al-Zn-Cu) 합금 및 이의 제조방법(KR 10-2017-0048119, A등급)



[알루미늄 합금의 TEM 현미경 사진]

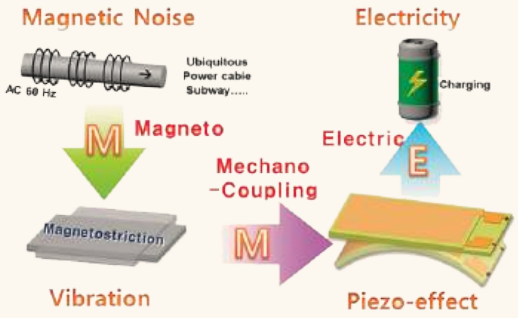


[합금 강도에 따른 전기전도도 특성]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	4.4억 원	-

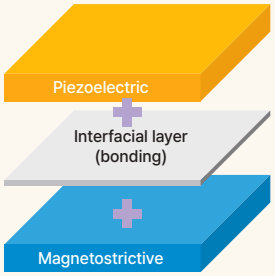
미래소재 05

배터리 교체가 필요없는 IoT 무선 센서용 자율전원 개발 ((재)하이브리드인터페이스기반미래소재연구단 김광호)



[표면 미세 자기장을 이용한 전력 변환 프로세스]

Piezoelectric : 압전소재
압력이 인가되면 전기에너지 발생
자기-전기결합 $\alpha_{ME} = k \frac{\partial \varepsilon}{\partial H} \frac{\partial E}{\partial \varepsilon}$



[입자설계 모식도]

- 연구단은 압전-자왜 결합현상을 이용하여 자기장을 전기에너지로 변할 수 있는 세계 최초 에너지 하베스팅 기술(자율전원)을 개발하였으며, 고품질의 이방성 압전 단결정 소재, 배향제어 자성소재, 계면 결합소재를 이용하여 미세 자기장을 전기 에너지 3mW로 변환하는데 성공
- 또한, 실제 적용을 위해 자기장 집속체 개념을 도입하여 하베스팅 소자의 출력을 3배 가량 증가시킬 수 있도록 고도화하였으며, 그 결과 배향된 Ga-Fe 합금과 압전 단결정을 사용함으로써 DC 정류된 3.8 W의 출력을 60 Hz, 7 G의 자기장에서 획득
- 해당기술은 한국전력 대덕변전소에 실장 및 실험을 완료 하였으며, 이를 통해 실시간으로 전력 케이블 온도 변화 특성을 모니터링할 수 있음을 확인

논문

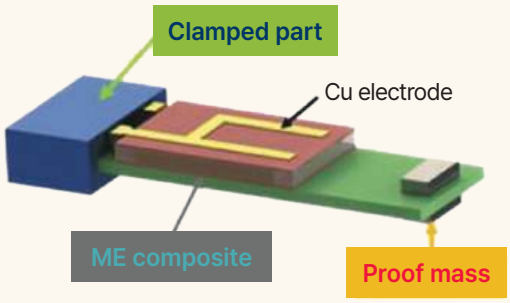
· Exceeding milli-watt powering magneto-mechano-electric generator for standalone-powered electronics(Energy & Environmental Science, 2018) 표지논문
· Significant Power Enhancement of Magneto-Mechano-Electric Generators by Magnetic Flux Concentration(Energy & Environmental Science, 2020)
· A high output magneto-mechano-triboelectric generator enabled by accelerated water-soluble nano-bullets for powering a wireless indoor positioning system(Energy & Environmental Science, 2019)
· Ubiquitous magneto-mechano-electric generator(Energy & Environmental Science, 2015)

특허

· 단결정 압전 섬유 포함 복합체 및 이를 포함하는 자기전기 복합재료 적층체(KR 10-2014-0010569, AA등급)



[Energy & Environmental Science 표지 논문 선정]

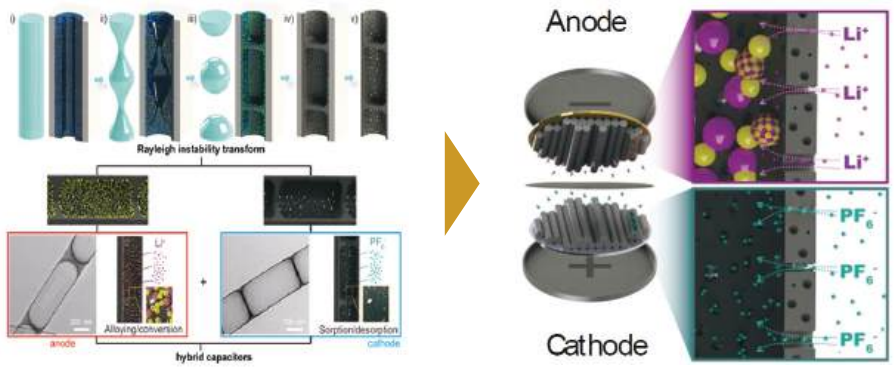


[하베스팅 소자]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	○	○	-	-

미래소재 06

급속충전 가능한 하이브리드 에너지 저장 디바이스 (KAIST 강정구)



[초고용량 하이브리드 커패시터 개념도]

- 연구단은 리튬 이온 음극 소재와, 슈퍼 커패시터 양극소재의 하이브리드 에너지 저장 기술을 개발 및 구현
- 이를 위해, 연구단은 분자의 길이를 조절하는 방식으로 전극 재료의 특정 형태 형성을 유도하고, 원자적으로 제어된 활성영역을 갖는 나노입자를 합성하여 에너지 저장 밀도가 높은 소재를 개발
- 이차전지보다 높은 에너지 밀도와, 기존 배터리 대비 약 100배(약 20초) 빠른 급속충전이 가능한 에너지 저장 디바이스
- 해당기술은 우수성을 인정받아 2016 국가연구개발 우수성과 100선 선정되기도 하였음

논문

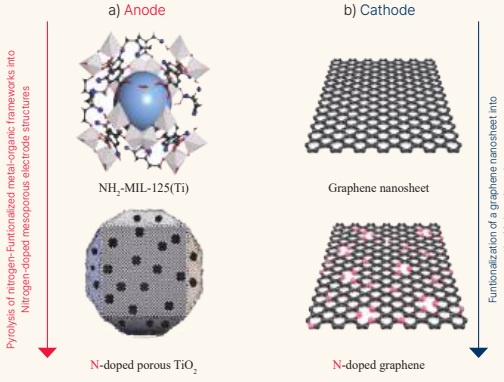
· Extra adsorption and adsorbate superlattice formation in metal-organic frameworks(Nature, 2015)
· Nickel Oxide Encapsulated Nitrogen-rich Carbon Hollow Spheres with Multiporosity for High-Performance Pseudocapacitors Having · Extremely Robust Cycle Life(Energy & Environmental Science, 2015) 표지논문

특허

· 유연성 탄소 포켓 복합 구조체, 이의 제조방법, 이를 포함하는 전극 및 상기 전극을 포함하는 에너지 저장 디바이스(KR 10-2017-0111350, A등급)
· 리튬을 이용한 금속 산화물이 재배열된 나노 결정의 에너지 저장 장치 및 이를 이용한 슈퍼커패시터(KR 10-2014-0181261, BB등급)



[Energy & Environmental Science 표지논문]

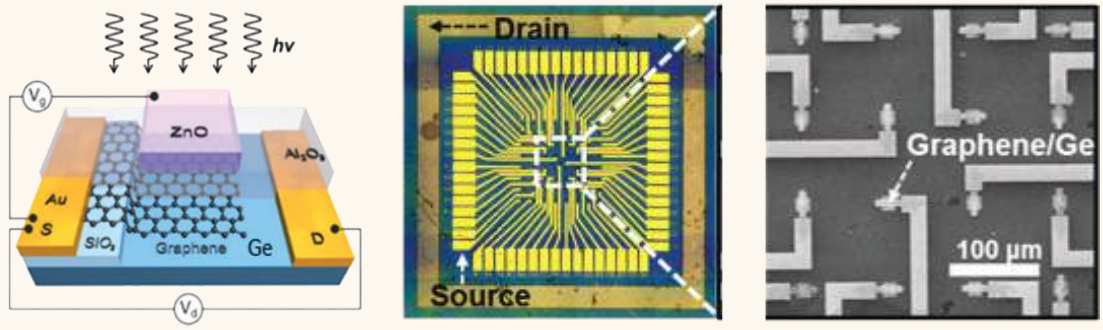


[개발된 양극 및 음극소재]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature)	-	○	-	-

미래소재 07

고성능 저비용 그래핀-반도체 이종접합 광센서 개발 (POSTECH 이병훈)



[그래핀-반도체 접합 광센서 모식도 및 이미지]

- 연구단은 그래핀 대면적 2D 소재 전사와 이를 활용한 적외선 센서를 상용화하였으며, 신소재 기반 응용 센서 및 차세대 소자를 개발
- 특히, Flake 수준을 넘어 대면적 고품질 그래핀 전사 기술 개발을 통해 그래핀-반도체 이종접합 기반 포토디텍터 제작하였다는 것에 큰 의의가 있음
- 고품질 CVD 그래핀 전사기술을 사업화하기 위해 (주)알파그래핀을 창업하였으며, 해당기술은 글로벌 기업의 경쟁 기술과 비교하여도 멀티레이어 및 불순물이 가장 낮은 수준으로 분석. 이러한 기술력을 인정받아 (주)알파그래핀은 3억 원대의 투자 유치에 성공
- 또한, 2D 하이브리드 소재 적용 광 센서를 사업화하기 위해 (주)시그마포토닉스를 창업하였으며, 해당기술은 대면적 전사로 글로벌 경쟁사들 대비 절반의 가격으로 시장에 공급가능한 상황 . 이러한 기술력을 바탕으로 (주)시그마포토닉스는 2억 9,500만 원대의 투자유치에 성공

논문

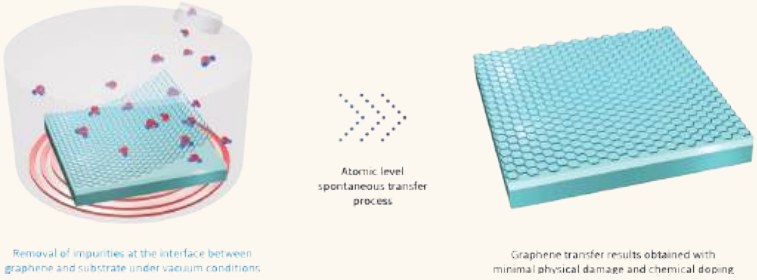
· A Fermi-Level-Pinning-Free 1D Electrical Contact at the Intrinsic 2D MoS2–Metal Junction(Advanced Materials, 2019)
· Gate-Controlled Graphene-Silicon Schottky Junction Photodetecror(Small, 2018)

특허

· 다층 그래핀의 제조방법(KR 10-2014-0092526, CCC등급)
· 그래핀-반도체 이종접합 광전소자 및 이의 제조방법(KR 10-2019-0052549, B등급)
· 그래핀 포토디텍터 및 그 제조 방법(KR 10-2014-0002154)
· 금속-그래핀 이종 접합 금속 배선, 이의 형성방법 및 이를 포함하는 반도체 소자(KR 10-2016-0072067, BBB등급)

ALPHA GRAPHENE
알파그래핀 주식회사

창업일 : 2017.08
대표자 : 이상경
주요 아이템 : CVD 그래핀

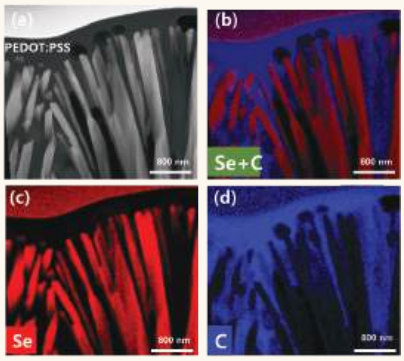


[(주)알파그래핀 진공전사 기술]

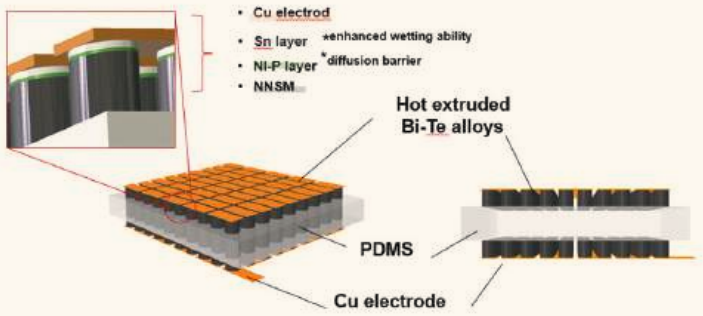
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)알파그래핀 창업 (주)시그마포토닉스 창업 총 5.95 억 원 원 투자유치

미래소재 08

전력기기 상태를 감시하는 열전 에너지 하베스터 기술 개발 (가천대학교 임재홍)



[개발된 유/무기 열전 소재]



[유/무기 열전 소자 구조]

- 연구단은 유무기 하이브리드 박막의 인터페이스 및 구조 조절을 통해 전기 및 열적 특성을 제어하는 기술을 개발
- 기존 박막형 열전소자는 벌크형에 비해 열전 효율이 낮아 소자 적용에 어려움이 있었으나, 연구단에서는 나노 와이어에 유기물질(PEDOT:PSS)을 디도핑하여 열전 효율을 향상시켰음
- 이렇게 제작된 복합체는 박막형태 및 소자화에도 용이하여 전기 및 열적 모니터링 시스템의 핵심 소자로 적용될 수 있으며, 마이크로 디바이스의 외부 전원, 에너지 하베스팅 온도조절 시트, 반도체 냉각판, 가전제품 등에 적용 가능할 것으로 기대
- 해당기술은 (주)아이앤아이, 미래기술 등에 총 정액기술료 2.12억 원에 이전완료 됨

논문

· Weighted Mobility Ratio Engineering for High-Performance Bi–Te-Based Thermoelectric Materials via Suppression of Minority Carrier Transporte, (Advanced Materials, 2021)

· Simple and effective fabrication of Sb2Te3 films embedded with Ag2Te nanoprecipitates for enhanced thermoelectric performance (Journal of Materials Chemistry A, 2018)

특허

· 유-무기 복합체를 포함하는 열전 소자 및 그 제조 방법(KR 10-2016-0093201, BB등급)

· 열전 재료(KR 10-2017-0084950, BB등급)

· 하이브리드 열전소재 및 그 제조 방법 (KR 10-2017-0020546, BB등급)

· 나노소재를 이용한 정전용량형 화학센서 및 그의 제조방법 (US 11255808)

· 열전 반도체 소자 및 이의 제조방법(KR 10-2019-0126807, CC등급)

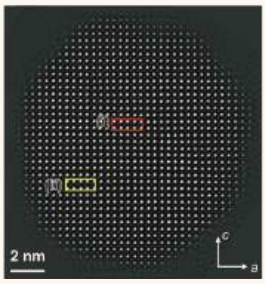


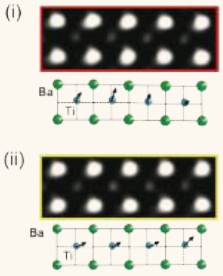
[열전소자를 이용한 열적 모니터링 테스트(한국전력)]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	2.12억 원	-

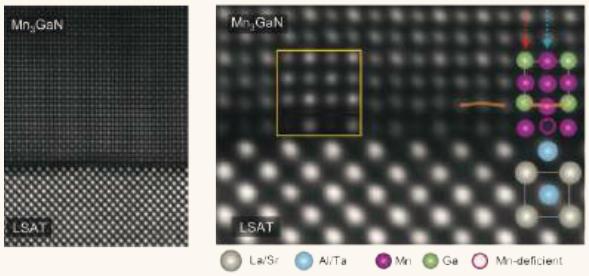
미래소재 09

원자크기까지 관찰할 수 있는 소재 검증 및 분석 기술 개발 (POSTECH 최시영)





[$BaTiO_3$ 나노 입자의 원자구조 분석 결과]



[Antiperoskite 질화물과 Perovskite 산화물의 계면 구조]

- 연구단은 Block matching 3D 방법과 모폴로지 연산을 통한 STEM 이미지의 노이즈를 최소화하고, 원자 구조 정보를 이용한 분류 및 분석툴을 개발하였으며, 개발된 분석툴은 오류가 매우 작고 미세한 변화 분석 수행이 가능함
- 해당기술은 관찰자의 주관성이 포함되는 기존 전자현미경 이미지 분석법에서 벗어나, 자동 구조 분석을 통한 빠른 이미지 분석이 가능한 것이 특징으로 기존 기술과 비교 시, 분석에 의한 오류가 평균 1픽셀 수준으로 아주 미세한 구조까지 분석이 가능
- 이를 통해, 새로운 소재 현상의 시각화, 알려지지 않은 미지 소재의 탐구, 새로운 물질개발 등에 다양하게 적용할 수 있으며, 연구단은 하이브리드 소재의 적용, 메커니즘 등을 규명하는데 적용
- 해당기술은 (주)넥스트론으로 이전되어 전자 현미경 사료와 같은 소형 미세 시료 전용 챔버 기술에 적용되었으며, (주)지엘코퍼레이션으로 이전되어 전기장 인가용 홀더 부품 및 수평 자기장 인가 기술에 적용되었음

논문

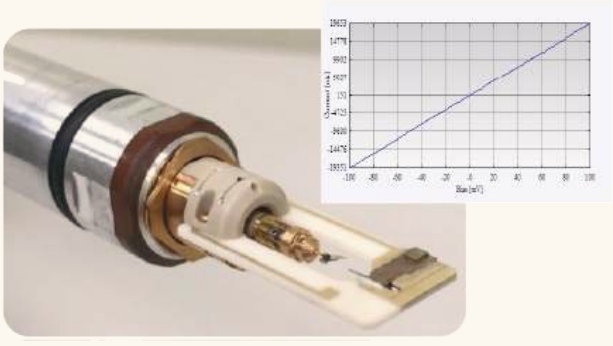
· Isostructural metal-insulator transition in VO2(Science, 2018)
· Epitaxial antiperovskite/perovskite heterostructures for materials design(Science Advances, 2020)
· Stabilizing hidden room-temperature ferroelectricity via a metastable atomic distortion pattern(Nature Communications, 2020)
· Highly enhanced ferroelectricity in HfO2-based ferroelectric thin film by light ion bombardment(Science, 2022)

특허

· 열처리 장치 및 이를 포함하는 현미경 시스템(KR 10-2019-0169562, CC등급)
· 기계학습을 이용한 페로브스카이트의 구조 분석 방법(KR 10-2018-0136190, CC등급)



[(주)넥스트론 - 소형 시료 전용 챔버]

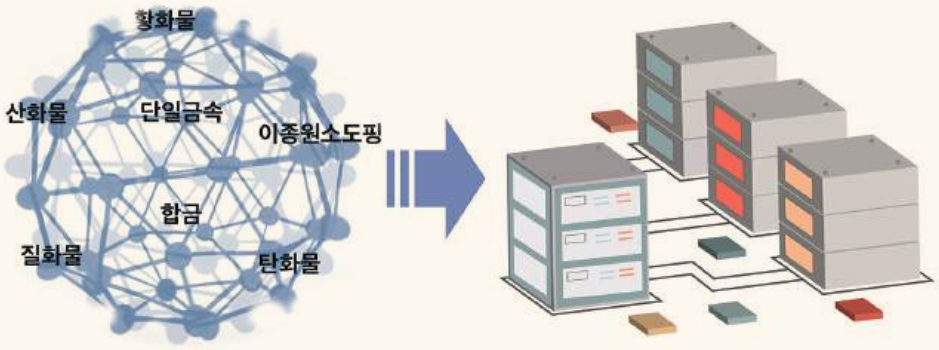


[(주)지엘코퍼레이션-전기장 인가용 홀더 부품]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Comm, Science)	-	○	1.81억 원	-

미래소재 10

하이브리드 인터페이스 전산 플랫폼 구축 (연세대학교 한병찬)



[전산모사를 이용한 소재 설계 및 구현 개념도]

- 연구단은 미래소재 관련 빅데이터를 확보하고 이를 시스템화 하기 위해 소재 전산모사를 위한 핵심과제를 구성하고, 과제들 간의 긴밀한 협업으로 합성소재의 메커니즘 규명 및 핵심인자를 도출, 이를 전산으로 관리 하였음
- 1단계) 연구방법론을 정리하고, 2단계) 실험 및 연구과제 협동 수행으로 고성능 하이브리드 인터페이스 소재개발, 3단계) 다년간 축적된 DB활용 플랫폼 구축
- 이는, 기존의 실험결과 해석 중심의 연구에서 데이터 기반의 신물질 탐색으로 소재연구 수행의 패러다임을 바꿀 수 있는 기술임
- 이와 같이 연구단 9년의 역사 동안 수집된 데이터는 자료화 되어 물질성능을 탐색하는 데 활용되었으며, 연구단은 더 나아가 기계학습 도입을 통한 신물질 개발 시 고속 스크리닝에 대한 가능성을 확인

논문

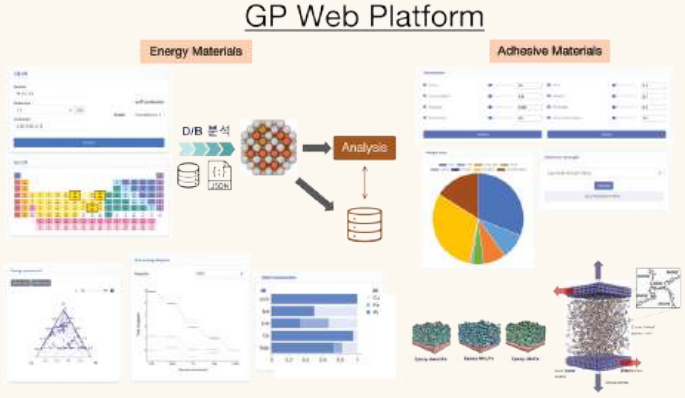
· First-principle-data-integrated machine-learning approach for high-throughput searching of ternary electrocatalyst toward oxygen reduction reaction, (Chem Catalysis, 2021)

· Critical differences in 3D atomic structure of individual ligand-protected nanocrystals in solution(Science, 2020)

특허

· 수소발생촉매구조체 및 그 설계방법(KR 10-2019-0125329, BB등급)

· 분자구조의 모사방법(KR 10-2018-0071480, CC등급)



[하이브리드 인터페이스 소재 웹 플랫폼]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Science)	-	○	-	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만 원)

구분연도			2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	총합계
특허	국내	출원	18	42	28	31	21	29	34	14	11	5	233
		등록	2	3	16	16	17	15	22	23	20	9	143
	국외	출원	5	11	15	2	10	9	16	9	4	4	85
		등록	1	1	2	5	5	5	3	10	4	4	40
	소계		**26**	**57**	**61**	**54**	**53**	**58**	**75**	**56**	**39**	**22**	**501**
논문	SCI		-	121	165	183	171	111	134	106	109	49	1,149
	비SCI		-	4	3	1	-	-	4	4	-	1	17
	소계		**-**	**125**	**168**	**184**	**171**	**111**	**138**	**110**	**109**	**50**	**1,166**
기술 이전/ 사업화	기술이전		1	8	6	4	9	7	10	10	7	4	66
	기술이전료 (정액기술료)		11	2,852	657.5	104.2	342.5	441.3	748.5	1,799.5	315.7	210.5	7,482.7
	창업		-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	5
학위 배출	박사		4	9	15	18	16	12	17	28	26	18	163
	석사		17	31	25	31	18	18	16	18	18	20	212
	학사		0	1	2	4	1	1	3	5	2	4	23
	소계		**21**	**41**	**42**	**53**	**35**	**31**	**36**	**51**	**46**	**42**	**398**
학술 발표	국내		85	160	166	98	68	43	89	82	63	65	910
	국외		53	56	67	44	18	31	43	8	9	6	355
	소계		**138**	**216**	**233**	**142**	**86**	**74**	**132**	**90**	**72**	**71**	**1,254**
국제 협력	MOU		2	5	2	-	2	1	-	-	-	-	12
	공동연구 논문		29	74	60	55	51	34	34	40	33	10	420

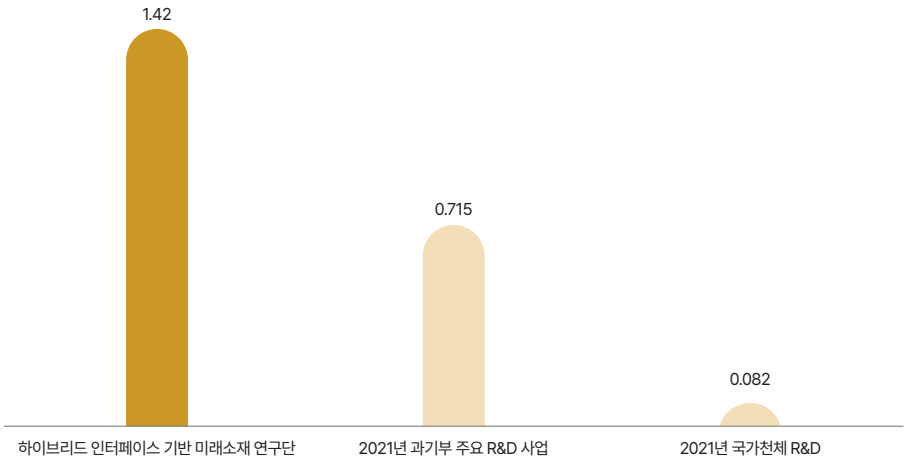
나. 논문 및 특허 현황 분석

(1) 논문 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 1,166건의 논문 성과 중 1,149건의 SCI 논문을 게재하였으며, 전체 사업기간동안 연구비 1억 원당 약 1.42건의 SCI 논문 성과를 창출하였다. 특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 10.45이며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 76.19로 높은 질적 수준을 증명하였다.

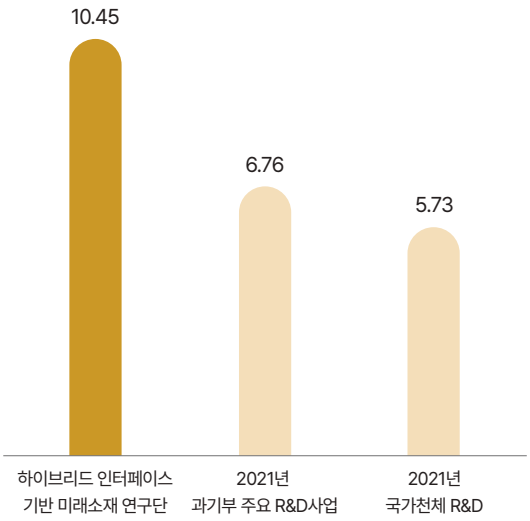
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위: 건)

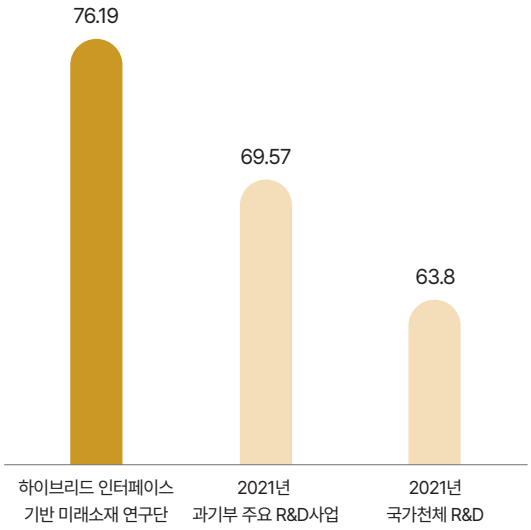


하이브리드 인터페이스 기반 미래소재연구단의 SCI 논문 성과는 연구비는 1억 원당 약 1.42건으로, 국가 전체 연구비[2] 1억 원당 성과 0.082건[3]에 비해 약 17.3배가 넘는 매우 높은 성과를 창출한 것으로 나타났다.

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

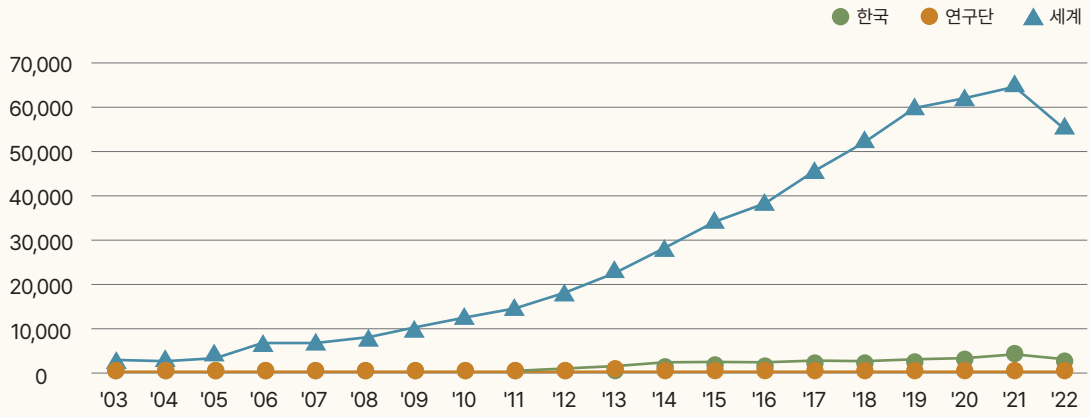


연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

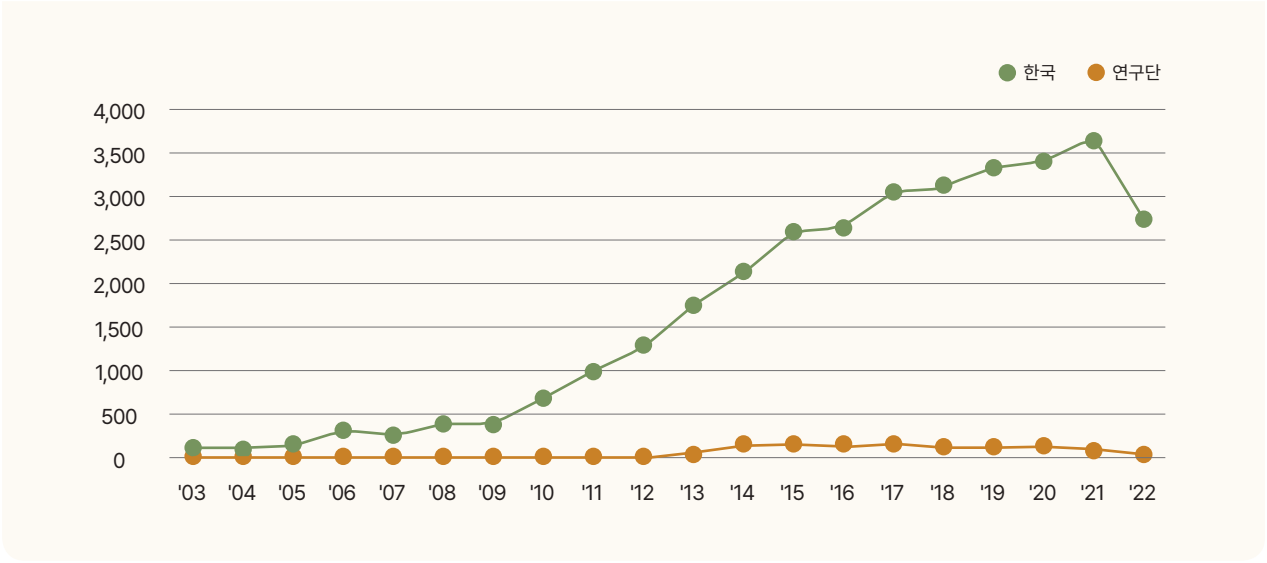
하이브리드 인터페이스기반 미래소재연구단 출범 이전(2003년~2012년)과 이후(2013년~2022년)로 나누어 연구단의 연구분야에 대한 SCI 논문을 분석한 결과[4], 해당 분야 세계 논문 건수는 연구단 출범 이후 83,177건에서 461,278건으로 5.55배 증가하였으며 한국 논문 건수는 4,742건에서 28,324건으로 5.97배 급증하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전의 5.7%에 비교하여 사업수행기간 동안 6.14%로 약 1.07배 이상 증가하였으며, 사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 0.25%이며, 한국 대비 4.06%를 차지하여 연구단이 한국 SCI 논문 세계 비중 확대에 기여하였음을 알 수 있다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



2) 연구비는 정부출연금 기준으로 함(타부처 및 민간 제외).
3) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건
4) Web of Science Data Base에서 검색

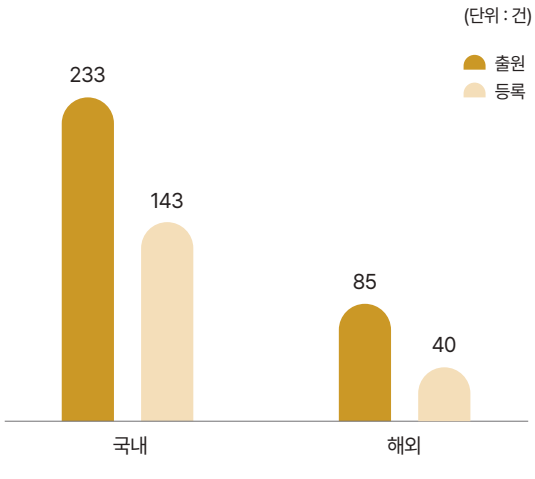


(2) 특허 현황 분석

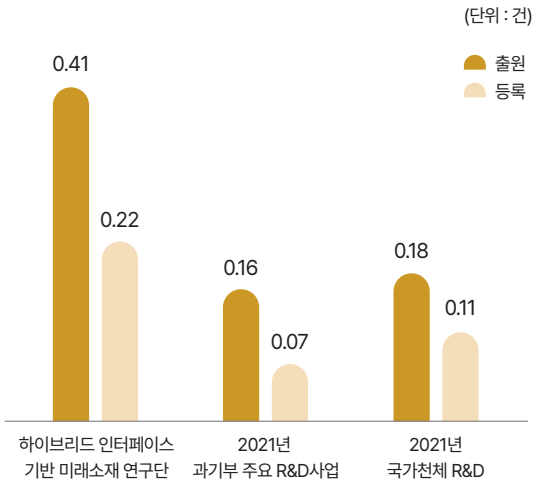
연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 501건[5]으로, 전체 특허 중 183건의 등록 기술을 보유하고 있으며, PCT를 포함한 미국, 일본, 중국, 유럽 등 해외 개별국에 85건의 특허를 출원하였다.

연구단의 특허출원 성과는 318건, 특허등록 성과는 183건으로 연구비(811.015억 원) 1억 원당 0.41건의 특허출원 성과와 0.22건의 특허등록 성과를 창출하였다.
이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182[6]건에 비해 약 2.3배의 수준을, 과기부 주요 R&D사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 2.6배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 2배의 수준을, 과기부 주요 R&D사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07에 비해 약 3.1배의 특허등록 성과를 창출한 것으로 분석된다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]

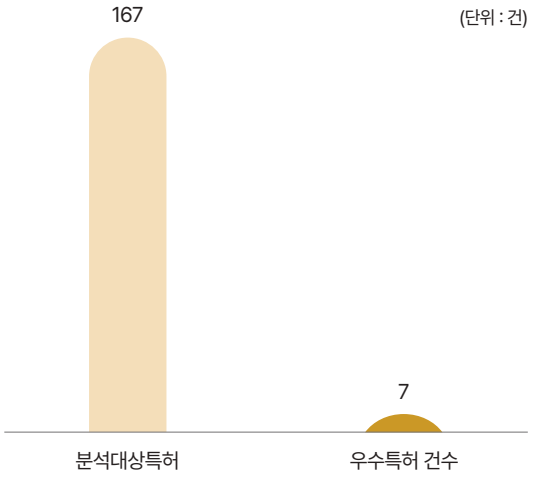


5) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.
6) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건

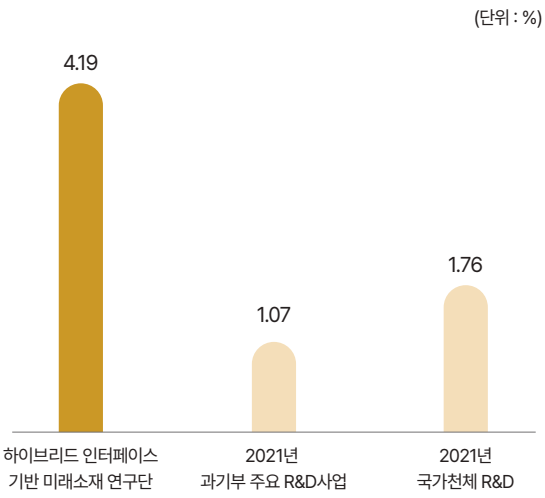
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[7]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 167건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 7건으로 약 4.19% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 2.38배, 3.92배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]



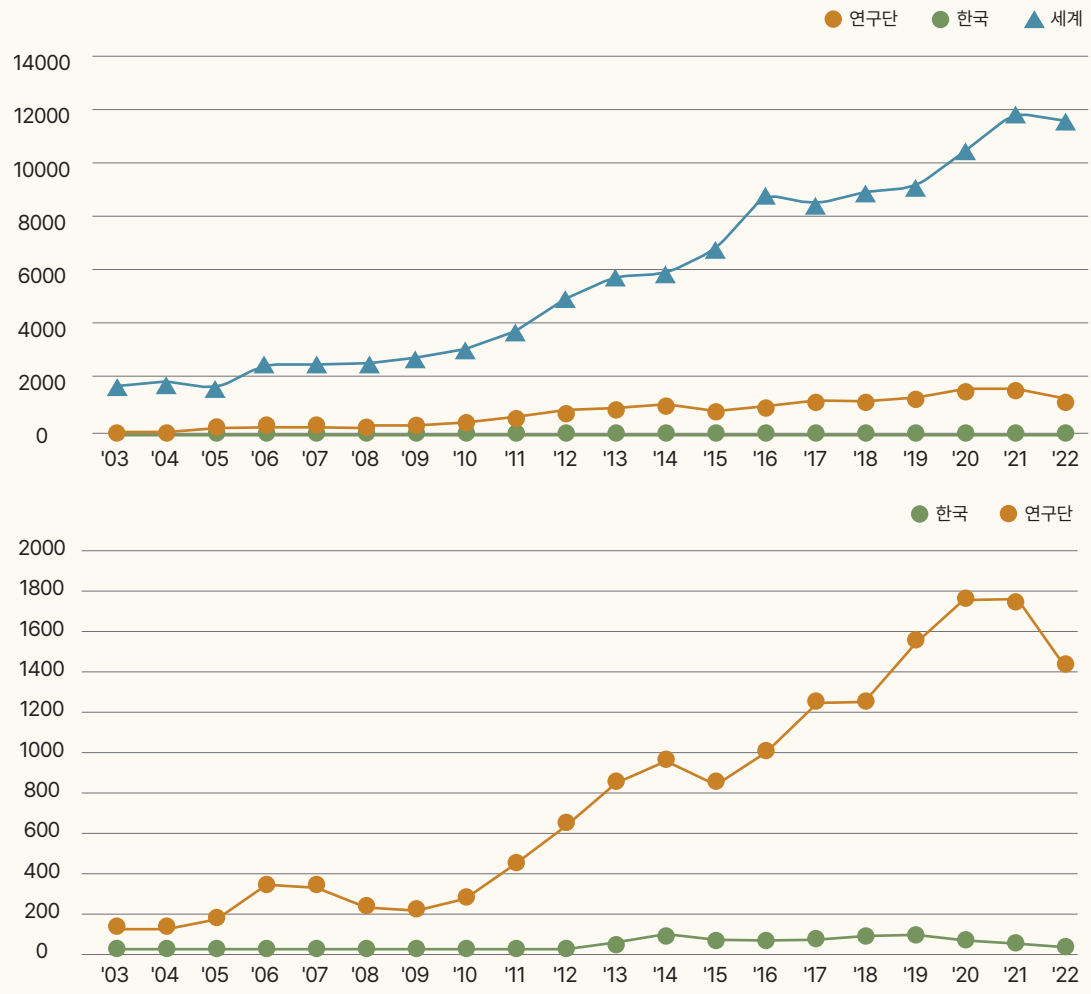
연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

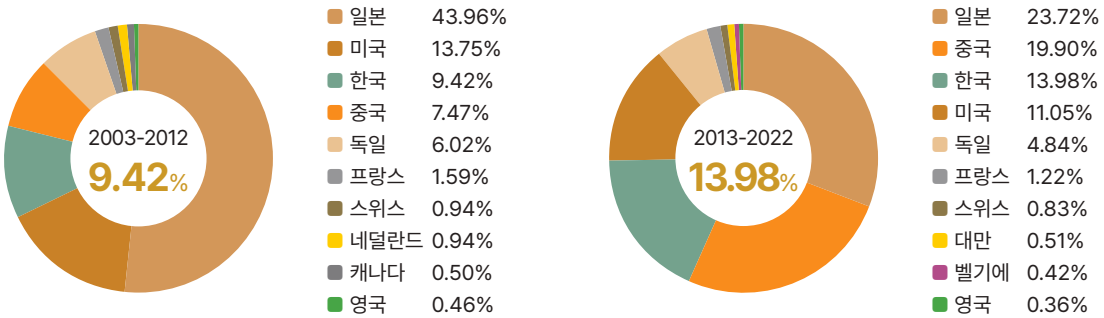
하이브리드 인터페이스기반 미래소재연구단 출범 이전(2003년~2012년)과 이후(2013년~2022년) 연구단 대표 연구분야[8]에 특허성과를 분석한 결과, 해당 분야 세계 특허 건수는 연구단 출범 이후 28,117건에서 89,038건으로 3.17배 증가하였으며 한국 특허 건수는 2,650건에서 12,444건으로 4.70배 증가하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야에 대하여 전 세계 특허 대비 연구단의 특허성과는 0.56%, 한국에서는 4.03%의 비중을 차지하는 것으로 나타났고, 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전 9.42%에 비교하여 사업수행기간 동안 13.98%로 증가하였으나 연구단 출범 이전과 이후 한국의 특허 성과는 3위로 순위 변동이 없는 것으로 나타났다. 이는 중국에서의 출원이 급격하게 증가한 결과인 것으로, 연구단 출범 이전과 이후 관련 분야에 대한 전 세계 특허 대비 한국의 비중이 약 1.5배 증가한 것으로 보아 연구단이 동 분야 연구개발에 기여한 것으로 분석된다.

7) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용
8) 연구분야 기술 관련 주요 IPC를 기반으로 각 기술에 적합한 키워드 필터링을 통해 특허 성과 산출
접착제(C09J), 반도체(H01L), 알루미늄 합금(C22C), MOF흡착제(B01D), 이차전지(C01D), 열전모듈(H01L)

연구단 사업수행 전후 연도별 특허 증감 추이

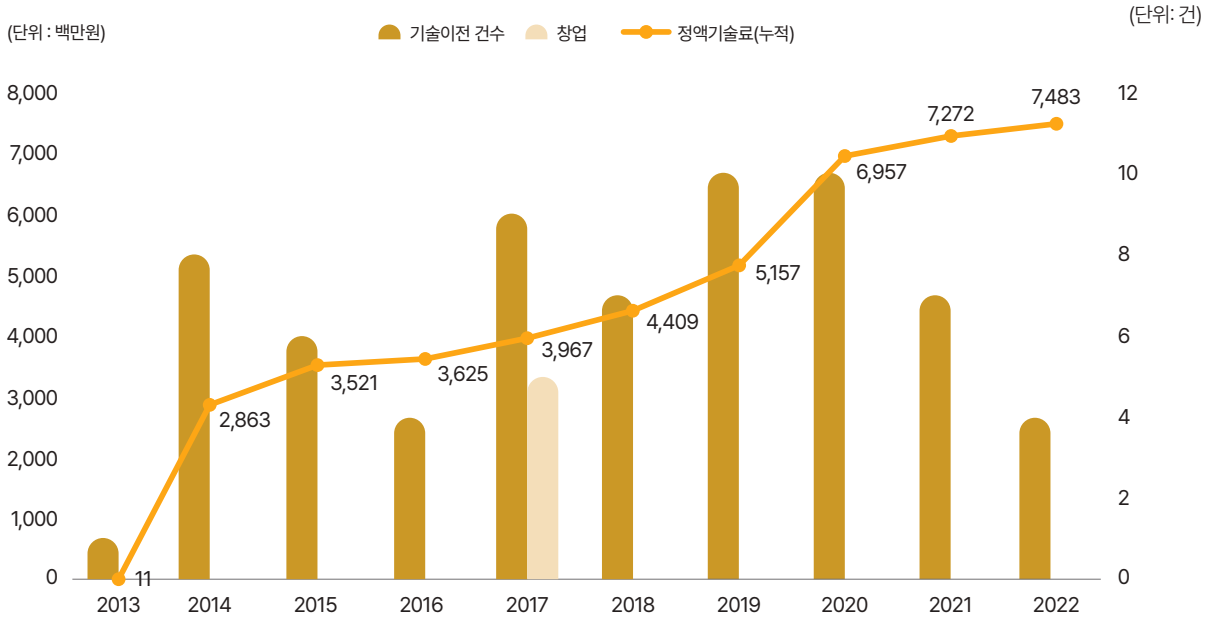




(3) 기술이전 및 창업 실적

연구단은 연구기간 동안 총 66건, 정액기술료 7,482.7백만 원의 기술이전 성과를 도출하였고, 특히 사업화를 위한 기술 개발에 중점을 둔 3단계(2018~2022년)에 기술이전이 활발히 이루어진 것으로 나타났다. 총 5건의 창업 성과를 통해 연구단의 연구 기술이 실제 사업화로 이루어졌으며, 5개 기업 총 매출 4.481억 원 발생, 투자유치 3.0324억 원 및 13명의 고용창출 등 사회경제적 성과 창출에 기여하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]



창업성과 상세 현황

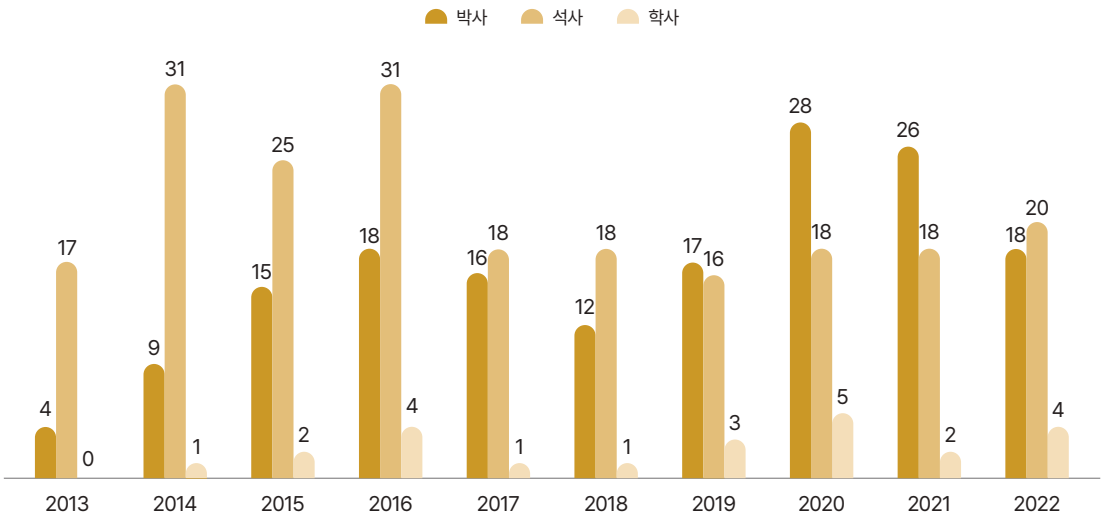
기업명	창업일자	주요 사업(제품)	주요 성과
알파그래핀㈜	2017.09	고품질CVDgraphene 전사기술실용화	매출액:0.751억 원 투자유치: 3억 원 고용창출: 0명
㈜시그마 포토닉스	2017.09	2D하이브리드소재적용 포토디텍터기술	매출액: 0억 원 투자유치:0.0324억 원 고용창출: 0명
㈜투디	2017.10	고품질2D수직/수평FET, 포토디텍터, PN접합기술	-
㈜파인툴스	2017.12	하이브리드이종소재초정밀 절단기술	매출액: 0.24억 원 투자유치: 0억 원 고용창출: 0명
㈜HIM TECH	2018.02	태양광 전지 및 OLED의 수명 및 출력향상용 산화물 코팅제	매출액: 3.49억 원 투자유치: 0억 원 고용창출: 13명
합계		5건	

(4) 인력양성

연구단은 전체 연구기간 동안 총 398명의 학위를 배출하였으며, 박사 163명, 석사 212명, 학사 23명이 지원을 받았다.

[연구단 인력양성 성과 현황]

(단위 : 명)



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
초고강도 접착소재 기술	구조용 접착제 시장	715.7
반도체소재 기술	그래핀 시장	98.1
고강도 알루미늄 합금소재 기술	고강도 알루미늄 합금 시장	500.1
MOF 흡착제 기술	흡착제 시장	132.2
이차전지 소재 기술	이차전지 양극재 시장	1,245.6
열전 모듈 기술	열전모듈 시장	130.1
총액		**2,821.8**

연구단의 우수 연구성과 6건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, 산업통상자원부의 '기술가치평가 실무 가이드(2021년)'를 참조하였다. 하이브리드인터페이스기반 미래소재연구단의 6건의 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 2,821.8억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

가. 언론보도 및 기획기사

연구단은 연구기간 동안 169건의 언론보도, 기획기사, 방송 등을 통해 연구단 성과를 국민들에게 효과적으로 홍보하였다.

(단위 : 회)

구분	1단계		2단계			3단계					합계
	1차년도	2차년도	1차년도	2차년도	3차년도	1차년도	2차년도	3차년도	4차년도	5차년도	
횟수	13	12	29	12	22	12	9	37	19	4	169



동아일보 2020년 11월 20일 금요일 제30867호 과학 A25

서로 다른 물질이 만나는 곳에 '미래 신소재' 답 있다

'경계면' 연구하는 미래소재연구단
전기차 배터리 핵심소재 양극재 등
출범 7년만에 50억원대 기술이전

B6 과학 동아일보

"日 수출규제로 기업간 협력 강화… 신산업 발굴해 전문인력 키워야"

미래소재 육성을 위한 산학연 간담회

<기획기사 목록>

순서	기사내용	연구책임자	소속기관	보도일	비고
1	서로 다른 물질이 만나는 곳에 '미래 신소재' 답 있다	김광호 단장	미래소재연구단	2020년 11월 20일	지면, 온라인
2	[소재의 미래]친환경 냉방 소재 혁명 이끄는 하이브리드 인터페이스 기술	이우황 박사	KRICT	2020년 11월 25일	온라인
3	[소재의 미래] 용접도 대신할 절대 안떨어지는 궁극의 접착제 나온다	최영선 교수	부산대학교	2020년 12월 03일	온라인
4	[소재의 미래](4) 韓, 1등으로 만든 그래핀 산화물 원천기술	김상욱 교수	KAIST	2020년 12월 09일	온라인
5	[소재의 미래](5)전 세계 전기 자동차가 선택한 궁극의 배터리	선양국 교수	한양대학교	2020년 12월 16일	온라인
6	[소재의 미래]강도와 연성 두마리 토끼 잡은 합금소재 시대가 온다	한승전 박사	KIMS	2020년 12월 24일	온라인
7	[소재의 미래](7)그래핀과 실리콘반도체의 경계에서 돌파구 찾는다	이병훈 교수	POSTECH	2020년 12월 30일	온라인
8	[소재의 미래](8)이산화탄소는 에틸렌으로, 산소는 전기로… '꿈의 전기차' 향해 달린다	강정구 교수	KAIST	2021년 01월 06일	온라인
9	[소재의 미래](9) 고압 송전선 감시, 소재에서 돌파구 찾는다	류정호 교수	영남대학교	2021년 01월 13일	온라인
10	"日 수출규제로 기업간 협력 강화… 신산업 발굴해 전문인력 키워야"	김광호 단장	미래소재연구단	2021년 01월 18일	지면, 온라인
11	[소재의 미래](10) 정수기에 쓰이는 열전 반도체, 스마트 워치에도 쓴다	임재홍 교수	가천대학교	2021년 01월 20일	온라인
12	[소재의 미래](11)최고 전문가들이 쌓은 고품질 데이터, 소재개발 플랫폼으로 이어졌다	한병찬 교수	연세대학교	2021년 01월 27일	온라인
13	[소재의 미래](12) 눈에 보이지 않는 원자 세계에서 연금술 같은 소재혁명이 시작된다	최시영 교수	POSTECH	2021년 02월 03일	온라인
14	[소재의 미래_마지막 이야기]소재 혁명은 학문의 경계서 시작한다	박성흠 교수	부경대학교	2021년 02월 17일	온라인

나. 국내외 협력 네트워크 구축

❶ 하이브리드 소재분야 최대 규모의 "하이브리드 소재 및 공정 국제학회(HyMaP)"을 주관하고 개최하였다.

- 총 6회 HyMaP 국제학술대회 주관 및 개최로 글로벌 연구 거점화(총 35개국 2,500여명 참가)



제3회 HyMaP 국제학회 (2014.11.10.~14.)



제4회 HyMaP 국제학회 (2017.11.05.~08.)



< 하이브리드 소재 및 공정 국제학회(HyMaP) 참가국 >

❷ 국제학회에서 하이브리드 인터페이스 소재 관련 별도 세션을 운영하고 주도하였다.



ICACC 2016 (2016.01.24.~26.)



E-MRS 2019 (2019.05.27.~31.)

❸ 지역 지원사업과 연계하여 연구단 성과 사업화 및 기술이전을 적극 추진하였다.
- 지역 보조금 지원사업(8년간, 총 22억 원)과 연계하여 기술이전 12건, 기술료 8억 원, 기술자문 28건, 기술교류회 개최 17회 등



< 지역(부산광역시) 보조금 지원사업 개념도 >

❹ 공동연구, 인력교류, 연구시설/장비활용 등 실질적인 기술사업화를 위한 협력체계를 구축하였다.
- 국내외 소재 및 부품 분야 기업들과의 사업화 공동추진 MOU 체결(유럽/아시아/미국 등 14개 연구기관)



< 국외 연구기관 협력(MOU) 현황 >

- MOU를 바탕으로 향후 KICET(경남 진주), UNIST(울산), POSTECH(경북 포항) 등으로 확장
  · 동남권이 국내 소재부품연구벨트로 조성될 수 있도록 주도적 역할 수행
- (기업) 총 7개의 국내 소재/부품 기업과의 기술협력 체결

04 기술사업화 성공스토리

1. 선양국 교수 인터뷰

- 기술이전 책임자 : 선양국 교수
- 기술이전 기업 : LG화학
- 도입기술명 : FCG 양극활물질
- 도입시기 : 2014.11

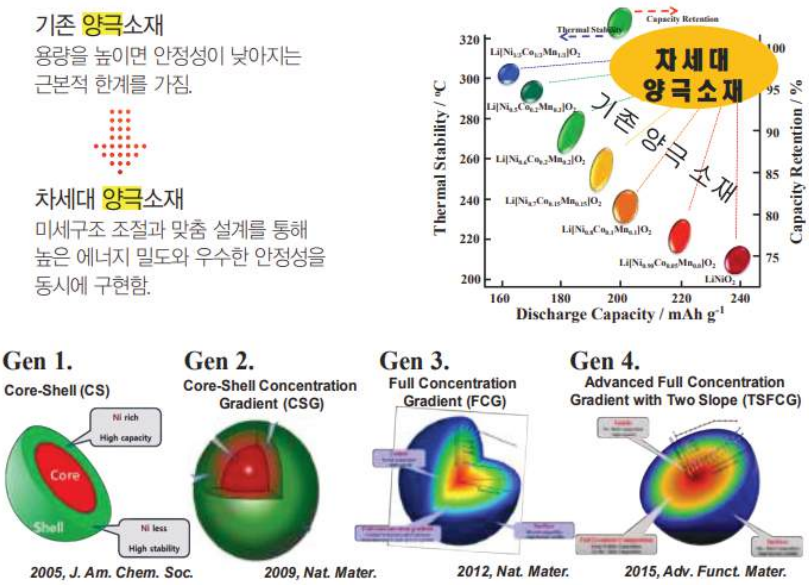


2022년 대한민국 최고과학기술인상 수상자로 미래소재연구단의 이차전지소재 연구책임자인 선양국 교수가 선정됐다.
선양국 교수는 배터리 시장이 활성화되기 훨씬 전부터 이차전지 소재를 연구한 리튬이차전지 양극소재 연구 분야의 선구자로 현재 한양대학교 에너지저장 및 변환소재 연구실장이자 에너지공학과 교수를 겸임하고 있다. 쌍용정유, 삼성중공업 중앙연구소, 삼성종합기술원을 거쳐 2000년 한양대학교에 부임한 이래 전기차 핵심소재인 농도 구배형 양극재 연구에만 20년 이상 몰두하며, 다수 기업에 총 25건의 기술이전(총 317.6억 원)을 성공시켰다.
LG화학에 기술이전(20억 원)을 성사시킨 선양국 교수를 만나 기술이전 성공스토리를 들어보았다.

Q1 안녕하세요 교수님, 대한민국 최고과학기술인상 수상을 하셨다고 들었는데 축하드립니다. 먼저 간단하게 연구 중인 분야에 대한 소개를 부탁드리겠습니다.

A1

안녕하세요 반갑습니다. 저는 전기자동차의 에너지 저장원으로 사용되는 리튬이온 이차전지 소재에 대한 연구를 20년째 수행하고 있으며, 차세대 이차전지 개발을 위한 차세대 양극 소재에 대한 연구를 메인으로 수행하고 있습니다.
특히, 하나의 양극 입자에서 위치에 따라 구성 물질의 농도를 달리하는 '농도 구배형' 양극 소재에 대한 연구를 집중적으로 수행하고 있습니다.
농도 구배형 양극소재는 높은 용량을 발현하는 원료를 내부에 밀집시키고 안정성이 우수한 원료가 그 외부를 감싸는 형태로 높은 에너지 밀도를 가지면서도 내구성이 높아 안전성이 높은 소재입니다. 수년간의 시행착오 끝에 '농도 구배형 양극소재' 개발에 성공하였고, 현재까지 4세대를 거쳐 진화를 거듭해왔으며, 5세대 농도 구배형 양극소재를 연구 중에 있습니다.
기존 양극소재는 용량과 안정성이 상충하여 배터리 용량이 높아지면 소재의 열화가 가속화 되어 안정성과 수명이 떨어지는 치명적인 문제가 있었습니다. 개발된 농도 구배형 양극소재는 이러한 기존 양극소재의 한계를 극복하여 양산화하였고 현재 상용화되고 있습니다.



<농도 구배형 양극 소재 기술 개요도>

Q2 LG화학에 이전된 기술도 농도 구배형 양극소재 기술로 알고 있습니다. 이전된 기술에 대해 간단하게 설명 부탁드리겠습니다.

A2

농도 구배형 양극소재에 대해 이해하려면 먼저 이차전지에 대한 기본적인 이해가 필요합니다.
이차전지란, 양극과 음극에서 일어나는 원자의 산화·환원 반응 통해 충전과 방전을 할 수 있는 전지를 뜻합니다. 이차전지는 양극재, 음극재, 분리막, 전해액 등의 핵심 소재로 구성되는데, 이 중 리튬금속산화물로 구성된 양극재는 배터리의 에너지 밀도와 수명에 가장 큰 영향을 미치는 요소입니다.
통상 배터리의 에너지밀도는 양극재 내부의 니켈 함량과 비례하므로, 전기차의 배터리 성능을 높이려면 양극재 내부에 니켈 함량을 높여야 합니다. LG화학에 이전된 3세대 FCG(Full Concentration Gradient) 양극 활물질은 양극활물질 입자의 중심부에 높은 에너지 밀도를 발현하는 니켈의 함량이 높아지도록 하고, 표면부로 갈수록 안정성을 향상시키는 망간의 함량이 높아지도록 설계한 농도 구배형 양극소재 기술입니다. 이러한 FCG 양극활물질은, 입자의 중앙에서 표면으로 갈수록 니켈 함량은 줄어들고, 안정성을 높이는 망간의 함량이 높아지도록 설계되어 FCG 양극소재로 제조된 배터리는 높은 에너지밀도와 우수한 안정성을 가지게 됩니다.

Q3 LG화학과의 기술이전이 어떻게 이루어지게 되었는지 기술이전 추진 스토리가 궁금합니다.

A3

LG화학 측에서 먼저 산학협력단을 통해 기술이전을 받고 싶다고 연락을 해왔습니다.
그 당시 LG화학 측에서 배터리 기술 경쟁력을 위해 에너지밀도와 안정성을 향상시키는 기술을 찾고 있었다고 합니다. 2009년 국내 양극재 업체에 양극물질 기술을 이전했었는데, 해당 기술을 기반으로 하여 출시된 제품을 LG화학 관계자가 눈여겨봤다고 합니다. 이후 제가 학술지에 게재한 논문과 특허 출원한 연구성과를 살펴보고, FCG 양극활물질 기술이 전기자동차용 배터리에서 요구하는 필수 특성들을 만족시키는 기술이라는 것을 알게 되어 기술이전을 요청한 것으로 알고 있습니다.

Q4 연구를 수행함에 있어서 글로벌프런티어연구단 사업이 도움이 되셨는지 궁금합니다.

A4

소재분야의 특성상 소재기술이 개발되는 데까지 많은 시간과 연구비가 투자되어야 하지만 개발된 소재가 상용화되기까지도 아주 오랜 시간이 걸립니다. 이 과정에서 난관이 참 많습니다. 정부에서 지원하는 사업과 그에 부합하는 연구주제는 트렌드에 따라 변화되기 때문에 한 분야의 기술을 꾸준하게 오랫동안 집중하여 연구하는 것이 쉽지 않은 환경입니다.
글로벌프런티어사업을 통해 9년 동안 하이브리드인터페이스기반미래소재연구단에서 지속적으로 지원을 해주신 덕에 꾸준하게 연구에만 몰두할 수 있었습니다. 연구 기회를 주셔서 감사하게 생각하고 있습니다.

Q5 기술이전 과정 또는 기술이전 이후에 느끼신 보람, 자부심이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A5

제가 연구 개발한 기술을 기반으로 우리나라 기업들이 경쟁력을 가지고 글로벌 시장에서 선두주자로 활약하는 것을 보면 큰 보람을 느낍니다. 또한, 배터리가 상업화되고 전기자동차가 대중화되는 것을 보면 인류의 편의성에 작은 기여를 했다는 생각에 굉장히 만족스럽습니다.

Q6 기술이전이 완료된 이후, 기업에서 발생하는 애로요인에 대한 사후관리로는 어떤 것들이 있는지 궁금합니다.

A6

기술이전이 완료된 이후, 기업에서 소재기술을 사업화 및 양산하기 위해 추가적인 기술개발을 요구하거나 기술에 대한 보완을 요구하는 경우 기업 내 연구소와 협업하는 등의 과정을 거쳐 이전된 기술이 성공적으로 상업화될 수 있도록 지속적인 개발을 지원하고 있습니다. 때로는 기업에서 요구한 기술들이 추후 연구방향을 설정하는데 큰 도움이 되기도 합니다.

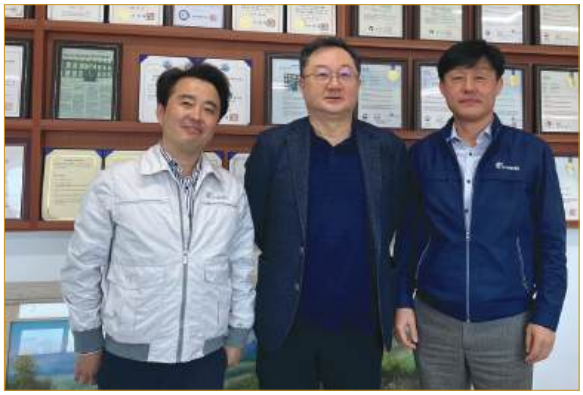
Q7 기술이전을 고려하는 연구자들에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A7

우리나라 기업들이 세계시장을 선도하기 위해서는 독창적인 소재기술이 필요합니다.
소재기술의 특성상 오랜 기간 연구가 지속되어야 하므로 많은 연구비가 투자되어야 합니다. 하지만 정부가 지원하는 R&D 사업과 그에 부합하는 연구주제는 트렌드에 따라 변화되기 마련입니다. 제가 이차전지 소재를 처음 연구할 때만 해도 이차전지는 인기있는 연구주제는 아니었습니다. 그 당시 우리나라는 이차전지 불모지였고, 연구개발 환경조차 제대로 갖추어지지 않았습니다. 하지만 저는 이차전지 기술이 앞으로 세계 산업을 주도할 것이라는 확신이 있었고, 열악한 상황에서 많은 어려움이 있었지만 이차전지 소재 기술을 지속적으로 연구했습니다. 현재 제가 개발한 소재는 양산화에 성공하여 여러 전기자동차에 탑재되고 있으며, 우리나라는 이차전지 분야에서 세계적인 경쟁력을 가지게 되었습니다.
좋은 성과는 단기간에 얻어지지 않습니다. 탄탄하게 다져진 기초 전공지식에 독창적인 아이디어가 더해진다면 언젠가 좋은 연구 결과를 얻을 수 있을거라 생각합니다. 도전적인 목표를 가지고 초심을 잃지 않고 지속적으로 연구에 매진하여 우리나라가 미래산업의 글로벌 리더가 되도록 이끌어주었으면 좋겠습니다.

2. 새론테크 인터뷰

- 기업명 : (주)새론테크
- 기술이전 책임자 : 부산대학교 최영선 교수
- 도입기술명 : 고접착성 및 속경화성을 갖는 방식 코팅용 조성물 및 이의 제조방법
- 도입시기 : 2015.12



왼쪽부터 (주)새론테크 이동원 연구소장, 부산대학교 최영선 교수, (주)새론테크 김동수 부사장 사진

(주)새론테크는 2015년 12월 부산대학교 최영선 교수 연구팀으로부터 고접착성 및 속경화성을 갖는 방식 코팅 소재기술에 대한 1건의 기술이전(정액기술료 2.5억 원)을 시작으로, 해당 연구팀과 지속적인 연구개발을 진행하고 있으며, 2022년 현재까지 총 5건의 기술이전을 체결하였다. 2015년 63억 원이던 (주)새론테크의 매출액은 최영선 교수 연구팀과 지속적인 R&D를 통해 2020년 130억 원 규모로 성장하였다. 이처럼 성공적으로 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 (주)새론테크 김동수 부사장을 만나 그 비결을 들어보았다.

Q1 안녕하세요 부사장님, 기업에 대해 간략하게 소개 부탁드리겠습니다.

A1

안녕하세요, 반갑습니다. (주)새론테크는 2009년 설립되어 접착/코팅 소재 기술을 바탕으로 미끄럼방지포장재, 도막형 바닥재, 탄성포장재, 중성화 방지재, 방수·방식 도막재, 강관용 내부코팅제, 선박용 페인트, 중방식 페인트 및 산업용 코팅제 등 다양한 분야의 특수도료를 개발하고 제조하며 시공까지 수행하는 기업입니다.

Q2 어떻게 기술이전을 받게 되었는지 그 추진 스토리가 궁금합니다.

A2

앞서 설명드렸듯이 본 기업은 코팅제를 개발하고 제조할 뿐만 아니라 시공과 보수까지 함께 수행하고 있습니다. 수도강관을 보수하는 작업현장에서 수도강관 내부가 많이 부식된 것을 보고 수도강관의 내부 부식을 억제하기 위해 기존 코팅제에 비해 물성이 뛰어난 코팅제의 도입이 필요하다고 생각하고 있었습니다. 그러던 와중 건조 속도가 느리고, 작업 시 특수 장비가 사용되어야 하는 등 작업효율성이 낮음에도 불구하고, 환경 규제 강화로 인해 Steel Pipe 내부 코팅제로 에폭시, 우레탄 타입 등의 도료를 사용하면서, 이를 대체하기 위해 친환경적이면서 물성은 향상된 코팅제에 대한 연구개발을 진행하고 있었어요. 또한, 당사에서는 기존 중국 수출을 진행했던 선박용 페인트에 대한 경쟁력 향상과 영업 활성화를 위해 경쟁제품에 비해 작업속도가 빠르고 부착력과 친환경성이 우수한 제품 개발에도 집중을 하고 있었습니다.
그러던 중 우연한 기회로 접착제를 연구 개발하는 최영선 교수님을 뵙게 되었습니다. 본 기업에서 개발 중인 코팅제에 대해 이런저런 얘기를 나누던 중 코팅제에 교수님이 연구 중인 접착제 기술을 적용해보자고 의견을 주셨습니다.
이에 우선적으로 영업 활성화에 집중하고 있는 선박용 페인트 제품 개발을 위해 코팅물 조성물에 대한 기술이전을 진행하게 되었습니다.

개발된 코팅제에는 에틸렌글리콜 기반의 고접착 강도 플렉시블 에폭시 중간체를 적용함으로써 소재가 유연하여 내충격성이 있으면서 높은 접착강도 구현이 가능합니다.
또한, 속경화형의 접착코팅제로 설계가 가능하여 공사기간을 단축할 수 있고, 공사기간이 단축됨에 따라 경제성이 확보되고 신속한 보수작업이 요구되는 공정에 적용이 가능하여 작업의 효율성을 확보하였습니다.
이렇게 개발된 제품은 현재 Steel Pipe 내부 코팅제로 사용하기 위해 RS인증을 받았고 KC인증 심사를 진행 중에 있으며, 기존의 코팅제 대비 건조가 빠르면서 고접착성, 고방식성을 가지며 접착강도가 높아 다른 제품들에도 응용되어 적용되고 있습니다.
일례로서, 얼마 전 도입기술을 응용하여 개발된 '강상판 교량용 초박층 포장재'가 특허출원과 제품검증을 마치고 부산 영도대교에 적용될 예정입니다. 부산 영도대교같은 경우 도개교이기 때문에 10 mm 정도의 얇은 두께로 도로가 포장되어야 합니다. 그러기 위해서는 일반적인 대교에 적용되는 80 mm 정도의 기존 포장재에 비해 물성이 아주 뛰어나야 되는데 이 물성을 향상시키는데 이전받은 접착제 기술이 한 몫을 했습니다.



<도개되고 있는 영도대교 사진>

Q3 그렇군요. (주)새론테크에서는 R&D개발을 거듭할수록 점점 고부가가치의 제품들이 개발되고 있는거 같은데 현재 진행 중이신 사업현황과 향후계획에 대해 한 말씀 부탁드립니다.

A3

현재 고접착 강도 중간체를 활용하여 별도의 프라이머 처리 없이 접착 강도를 높이는 기술을 개발하고 있습니다. 이 기술을 활용하여 방식성, 내화학성 등 다양한 내구성능을 가지고 경화건조 6시간의 조건을 만족하는 방식코팅제 등의 기능성 접착코팅 소재를 개발할 계획이며, 이러한 기능성 접착코팅 소재는 향후 선박용 코팅제 또는 도료로 사업화를 진행할 수 있을 것으로 예상합니다.
또한, 최근 선박에 적용 가능한 Non-Skid Coating Material 제품을 개발하였으며, 이탈리아 선사인 Grimaldi Group에서 발주한 자동차 운반선에 적용하기 위해 개발된 제품으로 현대미포조선과 계약을 완료하였습니다. 해외 선사의 경우 제품에 대한 인증이 까다롭기 때문에 국내 미끄럼 방지제를 사용하는 경우가 거의 없습니다. 이번에 개발된 Non-Skid Coating Material의 경우 기존에 주로 사용되던 해외 제품의 물성치를 뛰어넘는 시험결과를 보여주었고, 해외 선박에 적용될 수 있었습니다. 이번 계약을 시작으로 다양한 적용처를 찾아 사업을 확장시킬 계획입니다.

Q4 기술이전이 완료된 이후 기업에서 애로요인이 발생했을 때 연구팀으로부터 해당기술에 대한 사후관리로 어떠한 도움을 받으셨는지 궁금합니다.

A4

저희 (주)새론테크는 2015년 첫 번째 기술이전 이후 최영선 교수 연구팀과 함께 현재까지 지속적으로 기술개발을 진행하면서, 6년째 그 인연을 이어오고 있습니다. 이전받은 기술을 저희 제품에 접목하고, 신제품이 상업화되기까지 어려움이 많았습니다. 그 과정에서, 기술자문을 구하고 보완점에 대해 논의하는 등 연구팀과 지속적인 협업을 통해 제품의 연구 개발을 진행했습니다.

너무 감사하게도 최영선 교수님께서 기술이전이 완료된 이후에도 지속적으로 협업하여 기술 개발을 수행하는 것이 사업화에 꼭 필요하다고 하시면서 이전된 기술이 제품에 적용되어 양산화되기까지 많은 도움을 주셨습니다. 교수님과 연구팀의 도움이 아니었다면 사업화까지 더 오랜시간을 투자해야 했을 겁니다. 연구팀에서는 이전된 기술이 성공적으로 상업화될 수 있도록 조언 해주시고, 후속 기술에 대한 개발 방향에 대해서도 도움을 주시면서 기술이 성공적으로 상업화될 수 있도록 지속적으로 연구개발을 지원해주셨습니다. 저희 기업은 현재까지도 교수님과의 관계를 지속하면서 꾸준하게 기술개발을 수행하고 있으며, 그 결과물로서 첫 번째 기술이전 이후 4건의 기술이전을 추가로 진행하였습니다.

Q5 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A5

본 기업에서는 기술이전을 통해 도입된 접착제용 에폭시 중간체 합성 기술을 적용 및 응용하여 빠른 건조시간, 고내구성 유지, 고강도 접착력을 구현하였으며, 용제를 사용하지 않는 무용제 타입의 도료로 유해물질을 저감시켜 친환경성을 나타내는 코팅제를 개발할 수 있었습니다.



<도입기술이 적용된 제품 사진, 제품 카탈로그 등의 자료>

Q6 마지막 질문입니다. 기술이전 경험자로서, 기술이전을 고려하는 기업들에게 한마디 부탁드리겠습니다.

A6

아마 기술이전을 고려하는 기업들 중에선 이전 받은 기술이 매출액으로 바로 직결된다고 생각하시는 분들이 꽤 있을 것으로 예상됩니다. 그러나 이전 받은 기술이 상업화로 이어지기까지는 오랜 기간이 소요되며 지속적인 연구개발이 필요합니다. 특히, 중소기업 같은 경우 연구비가 제한적이기 때문에 누군가의 도움 없이 제품개발을 진행하는 것이 쉽지 않습니다. 그렇기 때문에 기술을 이전받고 사업화시키는 과정에서 난황을 많이 겪게 됩니다. 이때 기술을 이전해주신 연구자분과 지속적으로 교류하면서 개발과정에서의 발생하는 의문점을 여쭤보고 확인받는 과정을 거쳐 꾸준하게 기술개발을 수행하시면 원하는 결과물을 얻으실 수 있을거라 생각합니다. 기술이전을 받았다고 해서 단기간에 좋은 성과를 얻기는 힘듭니다. 기술이전을 받은 기술 그 자체보다는, 기술이전을 통해 맺게 된 서로의 관계를 바탕으로 연구자와 지속적으로 연구개발을 수행하셔서 좋은 결과를 얻으시길 바랍니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

원천소재 기술은 21세기 6T 분야에서의 제조업 선진국이 되기 위한 필수적이고 절대적인 요구사항이다. [혁신소재↔최고성능의 부품↔1등 경쟁력 산업제품]으로 연결되는 가치사슬에서 독일, 일본, 미국이 독보적 경쟁력을 가지는 이유와 어떤 기업이 세계를 주름잡는 히든챔피언이 되는 까닭은 남들이 베낄 수 없는 그들만의 고유하고 우수한 소재기술을 갖고 있기 때문이다. 형상이 보이는 제품 및 부품들은 비슷하게 따라갈 수 있지만, 소재기술은 눈에 보이지 않으며 수많은 원자들의 배열, 새로운 기능의 물질합성 등은 남들이 엿볼 수 없는 여러 공정들을 통하여 개발되기 때문에 시간이 걸리고 많은 시행착오 끝에 얻을 수 있는 쉽지 않은 것이다. 과거에는 우리나라가 Fast Follower 입장의 산업국이었다면, 제조업 강국이 되기 위해서는 시간이 좀 걸리더라도 원천소재 기술을 확보해야 한다.

하이브리드 인터페이스 기반 미래소재연구단은 그런 의미에서 국가적으로 주도된 대형 연구사업이었다. **연구단은 하이브리드 인터페이스란 영역에서 소재혁신을 찾고자 노력하였고 시스템적인 집단 연구를 통하여 걸출한 성과들을 창출**해냈다. 혁신기능과 최고의 물성을 지니는 소재기술이 가까운 미래 산업으로 펼쳐질 수 있는 연구개발들로 이루어졌으며, 현재 First Mover로서의 역할을 하고 있는 배터리소재 기술 등이 있다. 조금 더 시간이 필요할 수는 있으나 조만간 신산업을 탄생시킬 수 있는 소재기술도 개발되었다.

혁신소재 기술의 탄생은 적지 않은 긴 시간이 필요하다. 연구자들의 초기연구가 집중연구개발로 이루어지며, 융복합 기술로서 더욱 발전하게 된다. 연구자들의 장인정신과 같은 고집스러운 한 우물 파기도 꼭 필요하지만, 정부에서는 그들의 연구가 지속적으로 유지될 수 있도록 단계적으로 지원하는 시스템을 갖추는 것도 필요하다. 또한, 소재 원천연구, 소재 응용연구, 산학연 협동연구 등과 같이 연구자의 연구여건에 따른 분류를 통하여 다양하고 지속적인 지원이 있다면, 더욱 빠른 시간 내에 우리나라가 독일, 일본을 능가하는 제조업 선진국이 될 것이라고 믿어 의심치 않는다.

정부의 예산은 과학기술에 투자하는 것이 가장 효율적 미래 투자이다. 왜냐하면, 그에 따른 과학기술의 발전은 번영된 국가를 만들어가는 지름길이며, 특히 우리의 후속 젊은 세대들이 지식과 경험을 쌓아 선순환 구조로 대를 이어나갈 것이기 때문이다.

하이브리드인터페이스기반미래소재연구단
연구단장 **김광호**



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

연구단은 2013년 출범하여 여러 산업분야에 혁신적인 성장을 이룰 수 있고 가까운 미래에 신산업으로 탄생할 수 있는 원천 혁신소재를 개발하였다. 그 결과 연구 집중 주제로 채택한 '하이브리드 인터페이스'라는 개념과 키워드에 부합하는 많은 탁월한 성과를 이루어냈다. 좀 더 지속적인 연구지원이 된다면 더 다양한 혁신 결과들이 만들어질 수 있겠다고 생각된다.

그동안 쌓여진 지식, 노하우, 특허, 기술이전 등 다양한 성과들은 재단법인으로 자립화 존속함으로써 당분간 유지될 것이다. 21세기프런티어 사업이 일몰 사업으로서 정부지원이 끝나자마자 연구단이 해체되어 소중한 지적재산들도 거의 무용지물로 된 것과는 다른 글로벌프런티어 사업의 특징이다.

연구단은 재단법인으로서 이런 지적재산들을 산업계에 접목시키기 위해 부단한 노력을 할 것이다. **국가적으로 요구되는 혁신기술 및 신제품 창출의 기반이 될 수 있도록 하며, 필요한 경우 이어달리기 사업을 유치하여 신산업 창출, 주력기반산업 강화, 하이테크 중소기업 지원의 역할**을 해 나갈 것이다.

나. 앞으로의 계획

하이브리드 인터페이스 기반 소재/부품 연구의 확산

연구단은 이종 물질 또는 이종 스케일간의 하이브리드화 및 하이브리드 인터페이스 개념을 도입한 연구개발에 초점을 맞추어, 이 분야에 대한 연구의 확산을 통해 **미개척 영역의 새로운 소재원천기술 및 이에 따른 파급력을 발휘하는데 역할**을 할 계획이다.
연구단이 당분간 존속함으로써 이 분야 연구에 활력을 불어넣을 것이며, 각종 학회에도 관련 지원을 통하여 이 분야에 대한 관심과 활성화를 유도하여 원천소재기술이 개발될 수 있도록 노력할 것이다.

기술사업화를 위한 산·학·연 연계

연구단이 기 구축한 산·학·연 협업 온라인 플랫폼 운영을 통해서 **산학연 네트워킹을 활성화하는 데 노력**할 것이다. 그 한 사례로 연구단이 공동 주관하는 「2022 지산학 EXPO」개최를 부산에서 성공적으로 수행한 바 있다. 또한, 확보하고 있는 지식재산권들과 경험, 노하우를 바탕으로 산업계와의 협업을 통한 상생 발전을 추진하고 더 나아가 국가 경쟁력 강화에 힘을 쏟을 계획이다.



김광호 연구단장, 과학기술최고훈장 "창조장(1등급)" 수훈 (2021.4.21.)

RESEARCH
GROUP

09
바이오나노헬스가드연구단

BioNano Health Guard Research Center

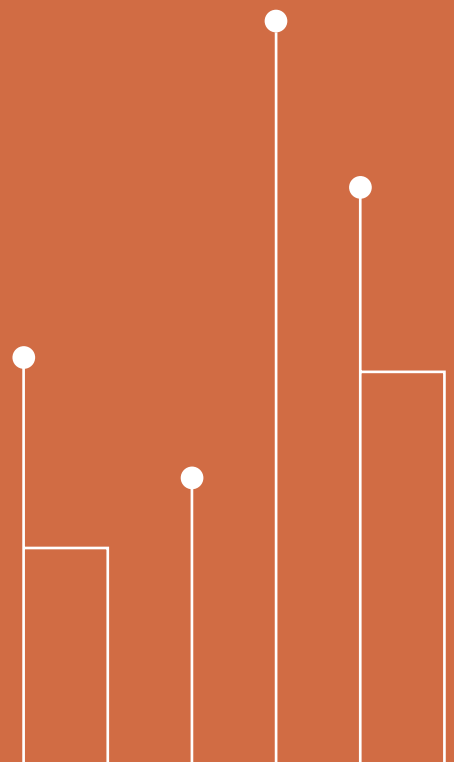
01 연구단 9년사 389

02 사업목표 395

03 연구성과 400

04 기술사업화 성공스토리 420

05 미래제언 425



대표 연구성과별 파이프라인

2013 — 2014 — 2015 — 2016 — 2017 — 2018

헬스가드 01 (감염병 무인감시)

헬스가드 02 (유해물질 검출 리셉터)

(2015.10) Simple, rapid detection of influenza A (H1N1) viruses using a highly sensitive peptide-based molecular beacon

(2016.03) 바이러스 항체 특허 1건

(2017.09) Biosensors & Bioelectronics 논문발표 1건

(2018.08) SCIENTIFIC REPORTS 논문발표 1건

헬스가드 03 (시료 전처리 카트리지)

(2016.03) 핵산 추출방법 특허 1건

헬스가드 04 (나노구조체 대량 합성)

(2014.12) 세포 분리칩 특허 1건

(2016.07) PIM 고분자 기술이전 1건

(2017.12) 유전자 검출 장치 등 특허 1건

헬스가드 05 (디지털 PCR 분석)

(2014.09) JACS Thiolated DNA-Based Chemistry and Control in the Structure and Optical Properties of Plasmonic Nanoparticles with Ultrasmall Interior Nanogap

(2017.02) 표적물질 검출 특허 1건

(2018.01) ACS central science 등 논문발표 2건

헬스가드 06 (등온핵산 증폭)

(2017.12) 표적 RNA 검출 특허 1건

헬스가드 07 (나노-마이크로 패턴)

(2015.09) Biosensors & Bioelectronics Human alpha-fetal protein immunoassay using fluorescence suppression with fluorescent-bead/antibody conjugate and enzymaticreaction

(2018.08) 금속선 패터닝 기술이전 1건

헬스가드 08 (병원체 농축 및 핵산 정제)

(2018.06) 핵산 추출 등 특허 2건 KINGO Bio

헬스가드 09 (유전자 가위 기반 진단)

헬스가드 10 (병원체 검출 플랫폼)

(2014.09) 바이오 센서 특허 2건

1 인플루엔자 신규 인터페이싱 화합물

(2018.02) On-chip fluorescence switching system for constructing a rewritable random access data storage device SCIENTIFIC REPORTS

바이오나노헬스가드연구단

2019 — 2020 — 2021 — 2022 — ~ 2023

(2019.10)
전기 집진장치 특허 1건

(2021.08)
유해물질 포집 특허 1건

(2022)
유해물질 검출 특허 2건

(2023)
자체 사업화 계획

(2020.10)
COVID-19 항체 기술이전 1건

(2022)
모방 펩타이드 비콘 특허 1건

(2019.09)
Analyst

(2020.03)
COVID-19 바이러스 검출실험 완료

연구자 창업기업을 통한 사업화 추진 중

Semi-automatic instrumentation for nucleic acid extraction and purification to quantify pathogens on surfaces

(2021.01)
식약처 의료기기 인증

3D Hierarchical Nanotopography for On-Site Rapid Capture and Sensitive Detection of Infectious Microbial Pathogens
ACS NANO

(2019.01)
금속 나노튜브 특허 2건

(2021.01)
플라즈모닉 기술이전 2건

(2019.04)
표적 RNA 검출 기술이전 2건

(2021.05)
Nanoscale
Ultrasensitive version of nucleic acid sequence-based amplification (NASBA) utilizing a nicking and extension chain reactionsystem

(2019.03)
sensors 등 논문발표 3건

(2020.08)
ACS SENSORS 등 논문발표 3건

(2020.02)
ACS SENSORS 논문발표 2건

(2021)
투자유치 2억 원

(2022.09)
Journal of Nanobiotechnology 논문발표 1건

(2023)
ExTron 출시

(2020.11)
ACS NANO
Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats-Mediated SurfaceEnhanced Raman Scattering Assay for Multidrug-Resistant Bacteria

(2021.08)
biosensors
논문발표 1건

(2022.07)
핵산 검출 등 특허 3건

(2023.06)
기술이전 1건

(2020.02)
SCIENTIFIC REPORTS 등 논문발표 3건

(2021.04)
sensors 등 논문발표 2건

한눈으로 보는
바이오나노헬스가드 연구단 9년

비전

바이오 유해물질로부터 안전한 미래사회 구현
원천기술로부터 사업화까지의 연구개발 모델제시

Platform Technology to Business Development

5-5-5 전략

- 실용화 연계 세계적 원천기술
- World-Top Class 연구팀
- 젊은 스타 과학자

바이오나노 헬스가드 구축을 위한 원천기술 개발 및 실용화

3D 나노-마이크로 구조체 제작 및 응용기술
유해물질 바이오 컨텐츠 예측/가공 및 유효성 평가
3D 구조체 기반 실시간 연동형 전처리 및 고속검출기술

정량적 연구성과

논문건수			특허					
SCI	비SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
762	26	788	300	95	395	168	24	192

학위배출				국제협력		기술사업화		
박사	석사	학사	계	MOU 체결	공동연구 논문	기술이전		창업
						건수	기술료(백만원)	
53	22	0	75	9	127	30	2,461	5

01 연구단 9년사

1. 설립배경

건강하고 안전한 미래사회 구현을 위하여 바이오 유해물질의 조기 검출 및 모니터링이 새로운 이슈로 등장

- OECD(Organization for Economic Operation and Development), 세계 미래학회(WFS: World Future Society), 국제연합(UN: United Nations) 밀레니엄 프로젝트, 미국 국가정보위원회(NIC: National Intelligence Council), 삼성경제연구원, 과학기술정책연구원 등 국내외 기관의 미래예측 결과에서 이 이슈를 공통적으로 제시하고 있다.
- 인구의 도시 집중화, 국가 간 교역 및 인적 이동의 증가로 인해 국민건강 및 안전성 확보를 위한 유해물질의 신뢰성있는 검출 시스템의 구축이 시급하며, 선진국은 이에 대한 연구 개발 투자를 크게 확대하고 있다.

BINT 융복합 헬스가드 원천기술 개발

국가 재난형 바이오 유해물질에 의한
사회 경제적·손실 최소화

바이오 유해물질을 유입 초기단계에서
검출 및 모니터링하여 확산 방지





가. 기술적 측면

[조기검출 시스템]

나노/마이크로 갭 바이오센서는 나노 및 마이크로 구조를 활용한 극미량 실시간 검출기술을 제공하여 유해 바이오물질의 검출기술 분야뿐만 아니라 정밀분석, 맞춤의학 및 생명과학 분야 등에 널리 활용될 수 있을 것으로 기대되고 있다.

[분자진단]

유전자 증폭기술을 기반으로, 시료전처리-시료 증폭-신호 측정 등의 일련의 기술들을 이용하여 고감도 핵산분석을 통한 유해 병원체 오염 및 감염 여부를 확진할 수 있는 시스템 개발로 등온 핵산 증폭 및 전기화학적 핵산 검출과 관련된 원천 특허를 확보할 것으로 기대되며, 궁극적으로 급속하게 성장하고 있는 체외진단 시장에서 기술 경쟁력을 확보할 수 있을 것으로 기대되고 있다.

[나노 IVD 시스템]

생체 물질의 고감도 검지는 유행성 감기(influenza) 진단에 있어서 대단히 중요한 의미를 지니며, 본 연구를 통하여 이러한 목적을 달성한다면, 질병 진단 분야에 이바지할 수 있을 것이고 국민 보건에 크게 기여할 것이다.



나. 경제적·산업적 측면

[조기검출 시스템]

- 공기 중 병원균 포집 및 실시간 경보 기술 개발 등을 통해 공기 중 병원균 조기 검출에 도움을 주어 공기 질 향상에 따른 국민건강 증대 및 의료지출비용 절감이 가능하다.
- 현재 해외 기술에 의존하고 있는 유해물질 검지 방법에서 국내화를 통한 외화 절감뿐 아니라 새로운 원천기술을 바탕으로 하는 와해성 기술의 개발로 새로이 시장진입이 가능할 것이며, 항체를 대체하는 리셉터의 개발은 연구 분야와 센서 시장 등 다양한 분야에서 이용될 바이오 컨텐츠를 제공하며, 새로운 시장의 개척이 가능하다.

[분자진단]

- 현장 진단 시스템 구축을 통한 현장응답형 실시간 유전자 분석 기술의 개발로, 그 동안 검진을 위해 대형 병원만을 이용하여 발생했던 시간적, 물질적 비용을 획기적으로 절감할 수 있어, 실용화 효율을 극대화할 수 있을 것으로 기대 되며, 나아가 글로벌 시대의 사회적 안전망 구축을 가능하게 하여 국민 건강과 행복에 기여할 수 있다.
- 현장에서 실시간으로 분석이 가능하여 신속한 대처가 요구되는 각종 유해물질의 조기 검출로 사회적 부담을 경감시킬 수 있으며, 미래수요에 대비한 제품 창출 기반을 마련하여 앞으로의 진단 시장을 주도할 수 있는 위치를 선점할 수 있을 것으로 예상된다.

[나노 IVD 시스템]

- 높은 수익성이 가능한 분야로 다양한 나노바이오 소자, 소재 기술 및 모듈/시스템 사업과 융합 시 핵심기술 진입장벽이 높지 않고 기술 매입, 기업 인수 등을 바탕으로 빠른 성장이 가능하다.
- 고전염성, 고위험성 질병군에 대해 조기 진단이 가능하므로 질병으로 인한 국가 재난 발생 예방 가능과 이에 발생하는 경제적 피해 손실을 줄일 수 있다.

다. 사회적 측면

연구단은 바이오나노 헬스가드 구축을 위한 원천기술 개발 및 실용화에 대한 사업목적의 공공성을 강조하여 주무부처 및 관련 산업체들과 다각도로 협의, 선제적으로 현장 대응 및 적용이 가능한 연구 추진체계를 구축하였다.

또한 국가 재난형 바이오 유해물질의 검출 모니터링 및 조기진단이 가능한 세계적 원천기술의 상용화를 통한 글로벌 시장 선점을 이룰 계획이다

2. 사업추진체계

가. 사업추진체계

바이오나노헬스가드연구단은 1단계에서 설정한 연구개발 목표를 2단계를 거쳐 구체화하고, 기술사업화 기반 확보를 위하여 선택과 집중의 연구개발 추진 체계를 구축하였으며, 3단계 연구기간 동안 성과창출을 위한 연구개발을 수행하였다.

1단계	2단계	3단계
인프라 구축 및 요소기술 개발(요소기술 30개)	융합연구 및 핵심 개발 기술 검증(핵심기술 15개)	시스템 개발 및 실용화(시스템 4개)

목적지향적 진단/모니터링 시스템 기획 및 개발

1단계	2단계
비대칭 및 3D 하이브리드 구조체 패터닝 기술	3차원 나노·마이크로 하이브리드 구조체 리소그래피 기술
Localized spatial 리소그래피 시스템 기술	3D 유무기 하이브리드 소재기반 나노구조체 제작 기술
3D 나노구조체 기반 바이러스 검지시스템 기술	3D조합 플라즈모닉 나노다면체 프로브 제작 기술
전도성 고분자 나노구조체 합성 기술	헬스가드용 3D 복합구조체 기반 센싱 플랫폼 기술 및 응용 기술
초고감도 플라즈모닉 나노다면체 프로브 기술	생체분자 검출신호 제어를 위한 신개념 3D 나노구조체 설계 및 활용기술
나노다면체 프로브 기반 생체 단분자 검출 기술	바이오컨텐츠 확보/가공/활용 및 분석 원천기술
신개념 바이오 유해물질 센싱 플랫폼 기술	메타지놈 기반 난배양성 슈퍼박테리아 분석기술
바이오 유해물질 다중 분석용 구조물 형성 기술	Bioinformatics 기반 바이러스 변종 예측 및 검증기술 개발
헬스가드용 나노구조체의 생물학적 성능 활용기술	약물 저항성 바이오 컨텐츠 설계 및 활용기술 개발
나노구조체 기반 생체분자 검출 신호제어 원천기술	감염질환 진단검사 평가를 위한 기반 시스템
바이오컨텐츠/나노구조체 라이브러리 기술	Nano-space 조절 및 다중결합을 이용한 고특이성/결합력 super 리셉터 기술
바이오컨텐츠/나노구조체 인터페이싱 기술	공기 중 병원균의 포집 및 전처리 기술
나노구조체 기반 슈퍼박테리아 고감도 검출 기술	신호증폭을 위한 3D 나노어레이 바이오 센서 기술
슈퍼박테리아 감염 바이오마커 기술	신개념 현장응답형 실시간 유전자 분석 기술
바이오인포메틱스 기반 신변종 바이러스 예측기술	단일처리 초고속 바이러스 항원검지 기술
다재내성 유전자 발굴 및 고감도 검출 기술	
약물 저항성 유해물질 검출을 위한 바이오 컨텐츠 개발	
약물 저항성 바이오 유해물질의 고효율 검출 기술	
신속세균동정 및 감수성 시험 시스템	
항산성 세균 신속진단, 내성 검출 및 평가 시스템	
생체분자 다중결합 및 나노공간 조절 기술	
유해물질 고특이적/고안정성 super 리셉터 기술	
공기 중 병원균의 선별적 실시간 포집 및 분류 기술	
액화된 병원균 농축 및 용해 기술	
고속/고감도 3D 나노구조 기반 통합센서 기술	
병원체 검지 특성 최적화 및 병원체 선택적 검지 기술	
전기적/전기화학적 생체 분자 검출 기술	
초소형 실시간 중합효소 연쇄반응 및 분석 기술	
바이러스 항원 단일 검지 바이오 센서	
Bottle type 고감도 신개념 센서 기술	

I. 조기검출

H-GUARD 무인감시 시스템 개발



H-GUARD 면역POCT 시스템 개발



II. 확진용

H-GUARD 분자진단 시스템 개발



H-GUARD 나노 IVD 시스템 개발



바이오유해물질로부터 안전한 미래사회 구현



공항, 지하철역 등 공공장소에서의 바이오 유해물질 모니터링



신변종 감염병 예측 및 조기 진단



병원 내 감염 차단

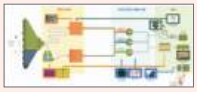


항공기 등에서의 바이오 유해물질 검출

나. 사업추진 전략

- 과제구성 체계 : 연구단 연구개발 분야의 기술/정책 동향, 연구단 기술사업화로드맵(TBRM), 자체평가 결과, 연구단의 목표지향적 핵심 시스템 최종목표 등을 종합적으로 분석하여 중점 추진 3개 핵심과제 - 11개 세부과제로 구성하였다. 연구개발 계획을 지속적으로 추진하면서 우수 원천기술 실용화를 위한 연세대학교병원, 한국원자력병원, 중앙대학교병원 등의 MD와의 협력연구를 추진하였다.
- 과제 연계전략 : 글로벌프런티어사업의 4G 철학에 따라 연구단 핵심 연구분야의 세계적 수준의 연구 역량을 지닌 전문가를 세부과제 연구책임자로 선정하여 세부과제별 유기적으로 연계·융합하는 협력연구체계를 구축하여 운영하였다.

I 핵심 [조기검출]	II 핵심 [분자진단]	III 핵심 [나노IVD]
[I-1] 신용범(H-GUARD 연구단) [I-2] 홍승훈(서울대학교) [I-3] 황정호(연세대학교) [I-4] 정주연(KRIBB)	[II-1] 민준홍(중앙대학교) [II-2] 이석재(나노종합기술원) [II-3] 박현규(KAIST) [II-4] 정대균(KRIBB)	[III-1] 이재종(KIMM) [III-2] 남좌민(서울대학교) [III-3] 박성수(성균관대학교)


무인감시시스템


면역PoCT


Briefcase
(현장형 분자진단기기)

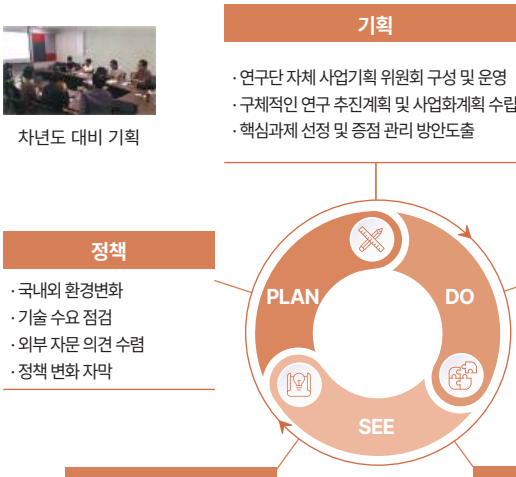

Digital PCR


신규분자진단
기술


바이오메디컬 진단시스템

다. 운영관리 체계

PLAN-DO-SEE에 의한 연구단 사업기획 추진 및 성과관리 운영



3. 사업 추진 현황

가. 연구개발비 투입 현황

총 연구비 약 876.2억 원으로 과학기술정보통신부와 민간으로부터 지원되어 연구를 수행하였다.

[단위 : 백만원]

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2013	3,500	1,000	-	4,500
2014	10,000	-	-	10,000
2015	8,330	1,000	-	9,330
2016	8,330	1,000	-	9,330
2017	8,190	1,000	-	9,190
2018	7,530	1,000	-	8,530
2019	7,890	800	-	8,690
2020	9,060	800	-	9,860
2021	9,780	800	-	10,580
2022	6,810	800	-	7,610
합계	**79,420**	**8,200**	**-**	**87,620**

나. 참여기관 현황

1단계 41개 기관 2단계 94개, 3단계 130개 기관이 연구에 참여하여, 단계별 연구과제 증가를 통한 연구개발 및 실용화에 노력을 기울였으며, 참여기관은 학계의 참여가 가장 높았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	12	12	24
	위탁	-	13	4	17
	합계	**-**	**25**	**16**	**41**
2단계	세부	-	24	21	45
	위탁	1	37	11	49
	합계	**1**	**61**	**32**	**94**
3단계	세부	-	32	25	57
	위탁	8	37	28	73
	합계	**8**	**69**	**53**	**130**

4. 사업 및 성과 관리

가. 과제기획 및 시너지 제고

성과창출 전략

(성과목표 구체화) 사업 초기부터 구체적인 성과목표와 기술완성도, 기술사업화로드맵을 제시하고 체계적으로 성과목표를 관리
(평가체계 개선) 기술이전 및 사업화 가능성을 제고할 수 있도록 질적 성과 중심의 평가관리 및 평가결과의 엄정한 처리
(연구성과 관리) 중간 성과의 발굴 및 조기 사업화, 지식재산권 및 기술료 관리체계 확립으로 연구 성과의 활용·확산을 촉진
(사업화체제 구축) 연구성과의 이전 및 기술사업화를 효율적으로 수행할 수 있도록 기술사업화 추진체제 구축

성과확산 전략

- **과학기술사업화진흥원(구 연구성과실용화진흥원)의 R&D 컨설팅 지원사업을 통한 R&D 전략 보완 추진**
  - 연구단의 보유기술 상세분석과 관련 기술동향(기술, 시장 등) 분석을 통해 IP 포트폴리오를 구축하여 연구의 방향성을 제시하고 기술사업화 전략 도출
  - 중간성과의 사업화 전략을 포함한 핵심기술별 기술사업화 로드맵(TBRM) 수립을 지원하여 연구 성과의 기술 사업화 촉진
  - TRL단계와 TBRM을 명확히 하고, 사업화 관점에서 TRL 목표 관리를 통해 성과창출 극대화
- **H-GUARD 원천기술 유효성 평가를 위한 TEST-BED 구축 및 운영**
  - 개발된 원천기술들의 엄격한 기술평가를 통하여 실용화가 가능한 기술들을 선별하고, 이러한 기술들이 기업체로 원활히 기술이전이 될 수 있도록 개발기술의 유효성, 기술의 재현성을 평가 및 현장 테스트 베드 구축·운영
  - 평가결과를 토대로 연구자들에게 피드백(feedback)을 제공하고 기술의 유효성 및 사업화 가능성을 심의하여 실용화 연계 지원 여부를 결정
- **글로벌프런티어사업의 전략적 기획홍보 추진**
  - 글로벌프런티어사업 수행 연구단별로 화제가 될 만한 주요 연구과제 및 연구성과 등을 중심으로 영향력 있는 언론매체를 타겟으로 하여 집중적으로 소개
  - 기초·원천 대형 R&D사업 추진의 중요성에 대한 인식 및 공감대 확산과 글로벌프런티어사업에 참여하고 있는 연구단에 대한 인지도 제고에 기여
  - 연구단, 과학기술사업화진흥원 및 홍보대행사 역할분담을 통해 원활한 커뮤니케이션 및 홍보 시너지 효과 제고

나. 과제관리/평가 전략

엄정한 연구결과 평가

- 공정하고 객관적인 평가를 위해 관련 분야 전문가로 구성된 평가위원이 연차평가, 최종평가, 우수과제 선정, 탈락, 계속지원까지 책임지는 책임평가 제도를 운영
- 연구결과의 중간 및 연차 발표 평가를 통해 우수 연구 성과와 연구자를 객관적으로 결정하여 도출
- 우수 연구자에 대하여는 지속적인 연구수행을 위해 차기 단계 진입을 보장하고, 연구비 차등지급, 인센티브 제공 등 실질적 보상 강화

수행과제 개발기술에 대한 유효성 평가 강화	
평가목적	연구단 최종목표와의 부합성, 개발 기술의 재현성 평가 및 실용화 가능성 타진
평가방법	과제 협약 시 당해연도 유효성 평가대상 선정 및 계획서 근거 평가기준에 따라 연 1회 이상 현장점검 실시 (필요시 외부 인증기관 활용)
조치방안	자체 평가 시, 평가를 점수화하여 반영하고, 그 결과에 따라 연구비 차등지원 또는 과제조정에 활용

02 사업목표

1. 최종목표 및 단계별 목표

신·변종 바이러스, 슈퍼박테리아 등과 같은 국가 재난형 바이오 유해물질의 모니터링, 검출 및 조기진단을 위한 세계적 원천기술 개발과 이를 통합한 H-GUARD 시스템 구축을 목표로 한다.

헬스가드(H-GUARD)란? (Health - Global Ubiquitous Autonomous Rapid Detection)

- 바이오 유해물질의 포집-전처리-검출-신호전송이 가능한 실시간 연동형 통합 시스템 및 네트워크
- 중요성과 시급성에 따라 언제든지 새로운 표적물질에 확대 적용이 가능하며 대중교통, 공공장소, 가정, 휴대용 등 모든 장소에서 설치 및 가동 가능

BINT 융복합 헬스가드 원천기술 개발

국가 재난형 바이오 유해물질에 의한
사회 경제적·손실 최소화

바이오 유해물질을 유입 초기단계에서
검출 및 모니터링하여 확산 방지





연구단은 3단계의 연구기간 동안 바이오나노 융합 기술을 인프라 구축 및 원천기술 설계/개발, 핵심 개발기술 검증 및 융합연구, 바이오나노 헬스가드 시스템 개발 및 실용화로 나누어 각 단계에서 연구개발을 수행하였다.

1단계('13~'14)

인프라 구축 및 원천기술 설계/개발

- 바이오컨텐츠 / 나노구조체 인프라 구축 및 운영
- 3D 나노-마이크로 하이브리드 구조체 설계 / 사전 검증
- 전처리 / 나노센서 요소기술 설계 및 검증

2단계('15~'17)

핵심 개발기술 검증 및 융합연구

- 바이오컨텐츠 검출 / 예측 / 인터페이싱 기술 개발
- 3D 나노-마이크로 하이브리드 구조체 제작 및 성능 검증
- 연동형 전처리 / 나노센싱 요소기술 성능 심층 검증

3단계('18~'22)

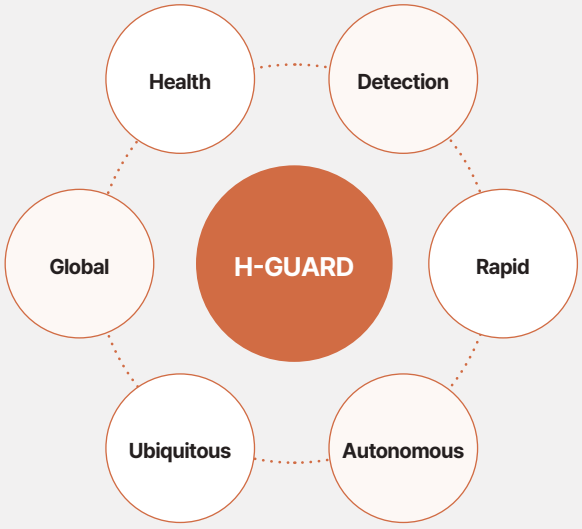
바이오나노 헬스가드 시스템 개발 및 실용화

- H-GUARD 시스템 통합
- 3D 나노-마이크로 하이브리드 구조체 (대면적) 제작 양산화
- 4대 H-GUARD 시스템 실용화 /사업화

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

신·변종 바이러스, 슈퍼박테리아 등과 같은 국가 재난형 바이오 유해물질의 모니터링, 검출 및 조기진단을 위한 세계적 원천기술 개발과 이를 통합한 H-GUARD 시스템 구축을 진행하였다.



Health - Global Ubiquitous Autonomous Rapid Detection

바이오 유해물질 포집-전처리-검출신호전송이 가능한 실시간 연동형 통합 시스템 및 네트워크



H-GUARD Diagnosis	H-GUARD Public	H-GUARD Hospital	H-GUARD Portable	H-GUARD Transportation
신·변종 감염병 예측 및 조기 진단	공항, 지하철역 등 공공장소에서의 바이오 유해물질 모니터링	병원내 감염차단	휴대용 시스템을 통한 바이오 유해물질 현장 모니터링	항공기 등에서의 바이오 유해물질 검출

나. 핵심기술별 연구목표

연구단은 연구기간동안 선택과 집중을 통해 기술사업화가 가능할 것으로 기대되는 핵심기술 4개를 선정하여, 세계 최고 수준의 원천성을 확보하고 기술사업화의 기반이 되는 기술로써 발전시키고자 하였다

핵심성과 : 무인감시 시스템

공공장소에서 바이오 유해물질을 상시 모니터링하여 감염병 발생 및 확산 탐지장비

공기모니터링用

→ 기존 유사 시스템의 한계를 극복하여 실용성과 사업성 제고

ADD (대한민국)
생물학 무기 조기경보 시스템



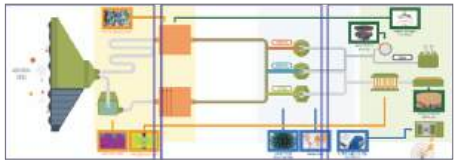
Postive ID (미국)
M-BAND 시스템



VS

H-GUARD 무인 감시 시스템 (schematic)

바이오 유해물질 포집부 | 시료 전처리부 | 유해물질 검출부



- 일정 간격으로 지속적 검출/분석 ▶ 30일간 지속 구동
- 감염 농도 ~1/10 수준 검출 (ex. ~100개 병원체/m3)
- 주요 병원성 virus 및 bacteria 검지



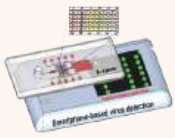
- 탐지 선택성/특이도 개선
- 보건적 측면으로 정부-민간 차원 상시 운용
- 활용도/사업성 제고

핵심성과 : 면역/POCT 시스템

확진 수준의 정확도로 현장에서 신속하게 조기진단할 수 있는 면역진단기기

신속진단用

기술 사업화



감도 : 10^3-10^4 $TCID_{50}$/mL
민감도 : 90%
특이도 : 95%



감도 : $<10^3$ $TCID_{50}$/mL
민감도 : > 95%
특이도 : > 95%
다중검출 : 10종





- 고기능/다중 면역검출 플랫폼 개발/사업화
- 바이오-플랫폼간 인터페이싱 최적화
- 검출용 항원/항체 인프라 구축
- 감염병 진단 항체 라이브러리 구축/활용
- 고성능 리셉터 개발

- 감도 : < 10^3 $TCID_{50}$/mL
- 민감도 : 95%
- 특이도 : 95%
- 다중검출 : 10종
- 타겟 병원체
  - 호흡기 감염 : Influenza, Corona Virus, RSV
  - 모기매개 감염 : Dengue, Zika, Chikungunya, Mayaro, Yellow Fever

낮은 민감도 및 정확도 한계! → 검출한계/재현성/선택성 향상을 통한 민감도/정확도 개선

핵심성과 : 분자진단 시스템

현장에서 신속하게 시료를 채취하고 검출하기 위한 휴대용 검출장비

현장오염 분석用



- 크기 : 휴대용 Briefcase 수준
- 검출 시간 : 1시간 이내 (샘플 전처리 포함)
- 정확도 : 99%
- 검출 타겟
  신·변종 바이러스 및 항생제 내성 박테리아
- 검체 수집 형태
  공기 포집, wiper, (분변, 혈액) 등

감염병 발생





치료/격리



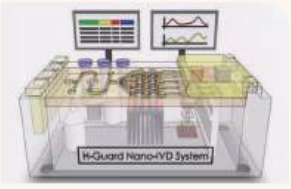
1시간 이내
바이오 유해물질 검출 가능
조기/신속 검출에 의한
감염병 확산 방지

시료형태의 제한 및 낮은 현장성 한계 → 복잡시료 처리 기능 및 현장성 극대화

핵심성과 : 나노IVD 시스템

미량의 시료에서 고감도/고정확도로 진단 가능한 나노광학기반의 의료진단 장비

정밀 체외진단用



- 측정시간 : 분리, 농축 0.5시간/검지 1~2시간
- 검출 감도 : 0.1~1 fM
- 검출 타겟 : 패혈증 원인균 무배양 신속 검출
- 패턴 균일도 및 Throughput : 95% 이상, 100 unit/h

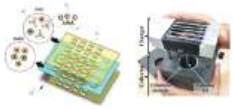


- 나노광학 기반 고민감도/고성능 의료 진단 시스템
- 검체 내 병원체의 유전자 신속검출 및 정량분석
- 혈액 및 객담, 검체의 전처리 기능 탑재
- 한번에 6~8종의 병원체를 동시에 검출/분석 가능

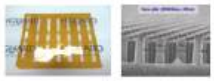
현재 패혈증 원인균 진단 한계점: 3~5일 이상 배양 후 진단가능 → 4시간 이내의 신속 진단 구현 목표

1단계

4대 핵심시스템 구성요소기술 개발/발굴



공기 중 유해물질포집 원천기술



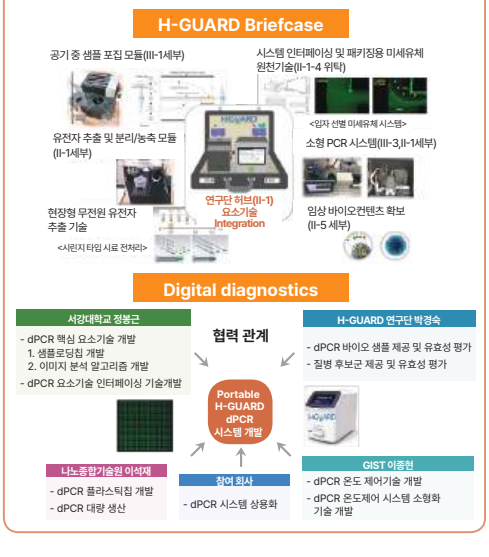
생체분자 검출 미세유체칩



Super receptor 원천기술

2단계

4대 핵심시스템 구성요소기술 성능검증/개선



3단계

핵심시스템 실용화를 위한 구성요소기술 최적화 집적화/시스템 구현

무인감시시스템



면역/POCT 기기



분자진단 시스템



의료용체외진단시스템



실용화 추진

연구단 허브 주도의 세부/위탁과제간 브리징 프로그램을 통한 융합연구 개발 추진

03 연구성과

1. 총론

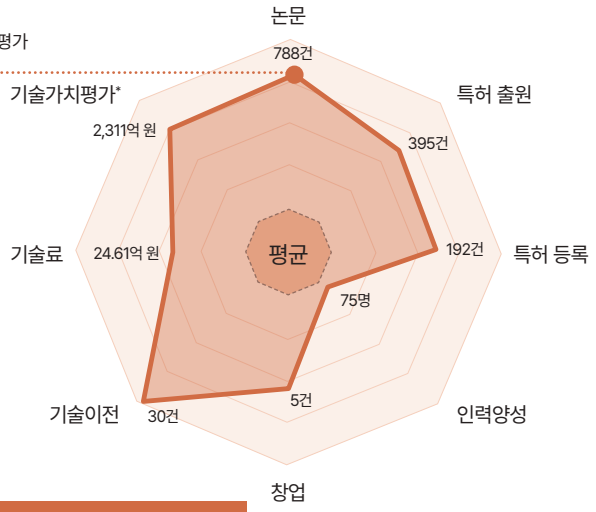
재난급의 감염병이나 신변종 바이러스의 파괴력은 코로나19로 인해 전 세계가 생생하게 경험했다. 우리나라가 팬데믹 상황에서 시급하게 필요한 기술을 빠르게 확보하고 감염병에 모범적으로 대처하는 데는 바이오나노헬스가드연구단의 역할이 컸다. 연구단은 코로나19 바이러스 단백질 항원을 원가 수준에 공급해 진단키트 기업들이 신속하게 상용화할 수 있도록 지원했다. 이를 토대로 기업들은 글로벌 수출시장도 뚫어 팬데믹 특수를 누렸다.

연구단은 감염병 상시 모니터링과 조기 검출, 진단이 가능한 플랫폼을 통해 공기 중 바이오 유해 물질의 액상 포집 및 농축 기술, 현장 진단이 가능한 PCR 기술, 펩타이드 기반 신속 간편 진단 기술 등을 개발했다.

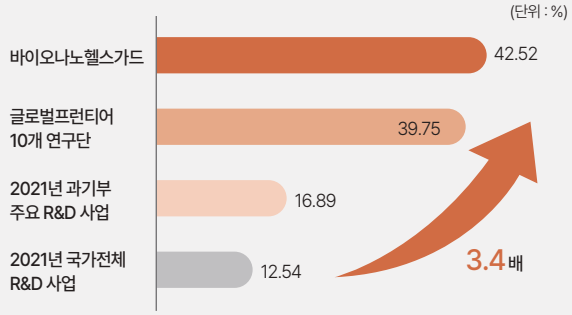
총 788편의 논문(SCI 논문 762편)을 발표하고 총 395건의 특허를 출원했으며 그 중 192건을 등록했다. 학위인력 배출은 75명이었다. 보유 특허의 기술가치평가를 한 결과 총 2,311억 4,000만 원으로 평가됐다. 개발한 기술을 통해 총 30건의 기술이전 계약이 이뤄져 24억 6,100만 원의 정액기술료 수익을 거뒀으며 5개 창업기업이 탄생했다. 연구단은 공기 중 바이오 유해물질을 무인감시할 수 있는 시스템을 개발해 2025년 이후 자체 사업화를 추진할 계획이다. KRIBB 연구진은 타미플루 내성 바이러스를 소량의 콧물을 이용해 10분 내에 검출할 수 있는 기술을 개발해 ㈜에프에이에 1억 원에 이전하기도 했다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 4건에 대한 가치평가



상위 10% 학술지 비율[1]



- 바이오나노헬스가드연구단의 논문, 특허, 창업 및 기술이전 성과가 타 성과 대비 두드러지는 것으로 나타남
- 연구단의 논문건수는 글로벌프런티어 10개 연구단의 평균 보다는 낮지만, 질적인 수준이 매우 높은 것으로 분석되었음
- 상위 10% 학술지에 개제된 논문의 비율이 바이오나노헬스가드연구단은 42.52%로 분석되었으며, 이는 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 2.5배, 2021년 국가전체 R&D 사업 대비 3.4배 수준으로 연구단의 논문성과가 질적으로 매우 우수한 것으로 분석

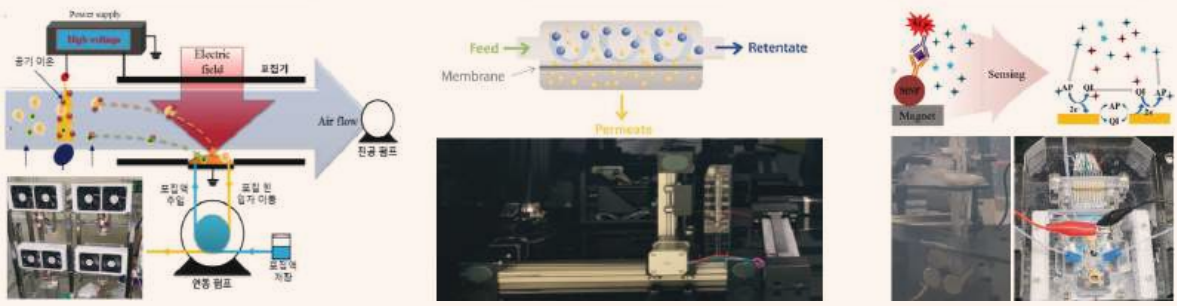
1) 기술이전 건수 대비 기술료 금액이 낮아 그 다음으로 우수한 논문 성과 중 상위 10% 학술지 비율을 중심으로 비교

2. 대표 연구성과

헬스가드 01

감염병 무인감시 시스템 플랫폼 ((재)바이오나노헬스가드연구단 신용범)

유해물질 포집부 | 시료 전처리부 | 유해 물질 검출부

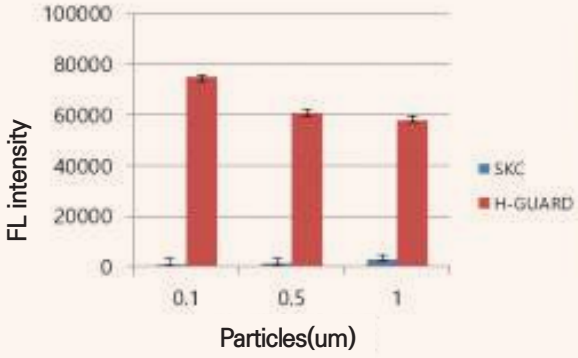


[무인 감시 시스템 플랫폼 구성 및 처리 프로세스]

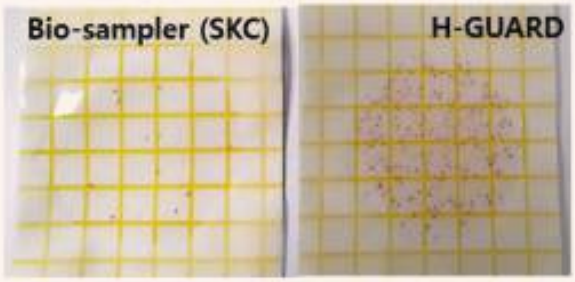
- 연구단은 감염병바이러스 등 공기 중 바이오 유해물질의 상시 모니터링을 통해 유입 초기 단계에서 유해물질의 검출 및 확산을 방지할 수 있는 무인감시 시스템을 개발
- 현재 특수목적용이 아닌 일반 공공보건을 목적으로 공기 중 유해물질을 모니터링하는 시스템은 상용화 사례가 없으며, 연구단에서 개발한 시스템은 소형 및 저가형으로 대중 보건용으로 사용하기에 매우 적합한 수준
- 해당 기술의 개발으로 감염병 발생 시 초기에 유해물질(바이러스 등)을 모니터링하고 확산을 방지함으로써 감염병 확산으로 인한 사회적, 경제적 손실을 최소화함과 동시에 일반 대중보건의 수준을 향상시킬 수 있을 것으로 기대
- 해당기술은 연구단에서 2025년 이후 자체 사업화를 추진할 계획

특허

· 전기 집진장치 및 이를 이용한 바이오 에어로졸 포집 중 발생할 수 있는 미생물 손상방지 시스템(KR 10-2019-0125362, CC등급)
· 공기 중 유해물질을 포집하기 위한 장치(KR 10-2021-0115511)
· 공기 중 유해물질 검출 시스템(KR 10-2022-0336964)
· 자율이동형 공기 중 유해물질 검출 시스템(KR 10-2022-0336964)



[형광 나노입자 포집성능]

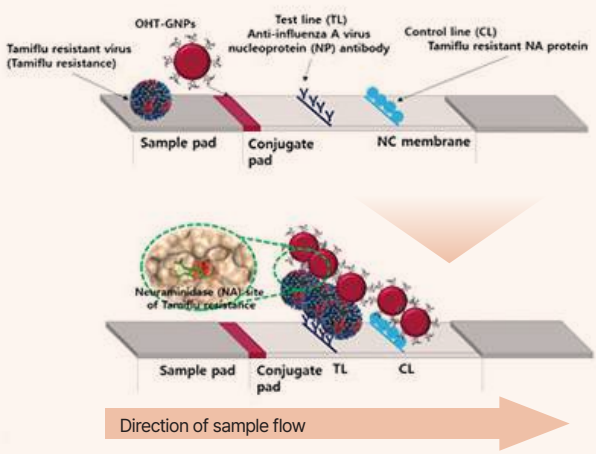


[대장균 포집성능]

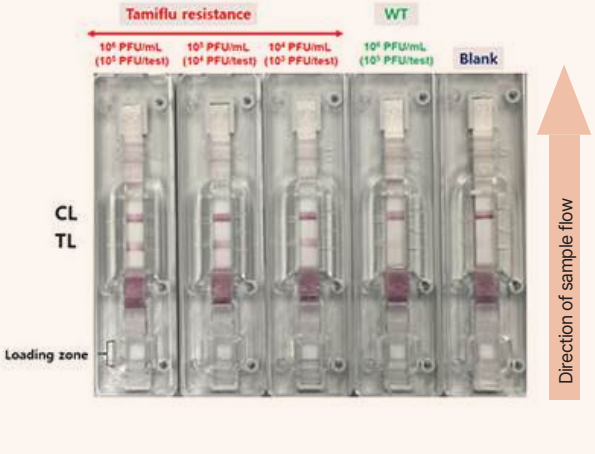
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	-	-

헬스가드 02

바이오유해물질 검출용 리셉터 및 POCT 활용기술 개발 (KRIBB 정주연)



[타미플루 내성 바이러스 검출용 래피드 키트 개념도]



[래피드 키트를 활용한 타미플루 내성(바이러스 검출 결과)]

- 최근 항바이러스제(타미플루)의 광범위한 사용으로 인하여 타미플루에 내성을 보이는 바이러스들이 출현하고 있음
- 이에, 연구단은 타미플루 내성 바이러스 표면에 선택적으로 결합하는 유기 분자를 발굴하고 이를 종이 기반 바이오 검출장치(Lateral flow immunochromatography)에 적용한 리셉터를 개발
- 해당 리셉터는 소량의 콧물을 이용하여 10분 이내 전문인력 및 장비 없이 현장검사가 가능
- 해당기술은 ㈜에프에이에 정액기술료 1억 원으로 기술이전이 완료

논문 'Nature Communications' 등 10건

- Development of A4 antibody for detection of neuraminidase I223R/H275Y-associated antiviral multidrug-resistant influenza virus(Nature Communications, 2020)
- Rapid and simple detection of Tamiflu-resistant influenza virus: Development of oseltamivir derivative-based lateral flow biosensor for point-of-care (POC) diagnostics(Scientific Reports, 2018)
- Diagnosis of Tamiflu-Resistant Influenza Virus in Human Nasal Fluid and Saliva Using Surface-Enhanced Raman Scattering(ACS Sensors, 2019)
- Development of 6E3 antibody-mediated SERS immunoassay for drug-resistant influenza virus(Biosensors and Bioelectronics, 2021)
- A facile, rapid and sensitive detection of MRSA using a CRISPR-mediated DNA FISH method, antibody-like dCas9/sgRNA complex(Biosensors and Bioelectronics, 2017)
- Simple, rapid detection of influenza A (H1N1) viruses using a highly sensitive peptide-based molecular beacon(Chemical communications, 2015)
- Colorimetric detection of influenza A (H1N1) virus by a peptide-functionalized polydiacetylene (PEP-PDA) nanosensor(RSC Advances, 2016)
- FRET-based hACE2 receptor mimic peptide conjugated nanoprobe for simple detection of SARS-CoV-2(Chemical Engineering Journal, 2022)

특허 국내외 출원 및 등록16건

- 약물 저항성 인플루엔자 바이러스에 대한 항체(KR 10-2016-0032979, B등급)
- 인간 안지오텐신 전환 효소 2 수용체 모방 펩타이드 비콘 및 이의 용도(KR 10-2022-0076999)
- 인플루엔자 A 바이러스 아형 H1N1 검출용 바이오프로브(KR 10-2015-0012824, BBB등급)

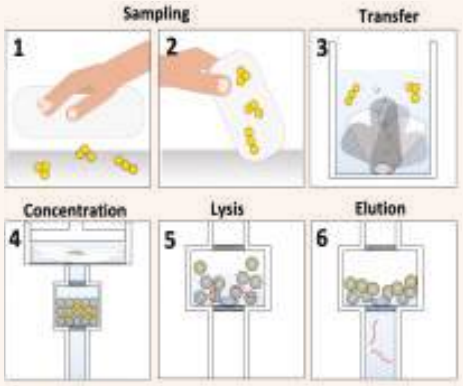
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Communications)	-	○	1억 원	-

헬스가드 03

대면적 표면에 존재하는 감염균 검출용 시료 전처리 카트리지/자동화 시스템 개발 (중앙대학교 민준홍)



[시료 전처리 카트리지 디자인]



[카트리지를 이용한 시료 전처리 공정]

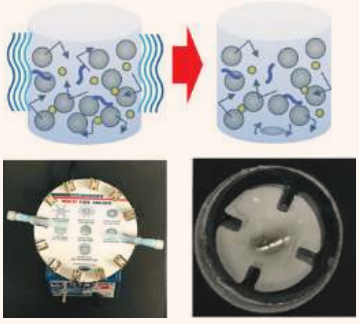
- 연구단은 대면적 표면에 존재하는 바이러스 및 박테리아를 포집/파괴하기 위한 현장 적합용 시료 전처리 모듈과 이를 통해 추출된 핵산의 검출을 위한 소형 PCR 모듈을 개발
- 일반적으로 표면의 박테리아 및 바이러스를 포집하기 위해서는 포집된 샘플에서 다시 핵산을 추출하기 위해 키트를 추가로 사용하는 등 공정의 복잡성이 존재하나, 연구단의 개발기술은 하나의 기기에서 핵산 추출 및 정제까지 모두 수행할 수 있는 것이 장점
- 또한, 해당 기술은 A4 용지 반 크기의 청소포 형태의 부직포를 이용하기 때문에 넓은 면적에서 대량의 시료를 처리하는 것이 가능하며, 기존 기술 대비 검출한계를 약 1,000배 향상된 수준으로 개선
- 해당기술은 코로나19 바이러스 대상 검출실험 완료(2020.03.27., KRIBB 오창 ABSL3 실험실)
- 연구자가 창업한 기업인 (주)씨티바이오를 통해 기술의 제품화를 추진하고 있음

논문

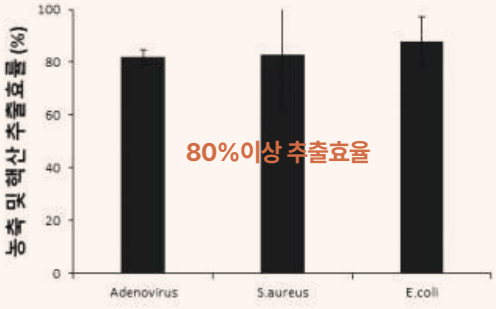
· Semi-automatic instrumentation for nucleic acid extraction and purification to quantify pathogens on surfaces(Analyst, 2019)

특허

· 핵산 추출키트 및 이를 이용한 핵산 추출방법(KR 10-2016-0033283, BBB등급)
· 핵산 추출 방법 및 카트리지(KR 10-2018-0117225, BBB등급)
· 시료 농축용 카트리지(KR 10-2020-0100901, B등급)



[자기장을 이용한 반자동 핵산 추출 플랫폼]

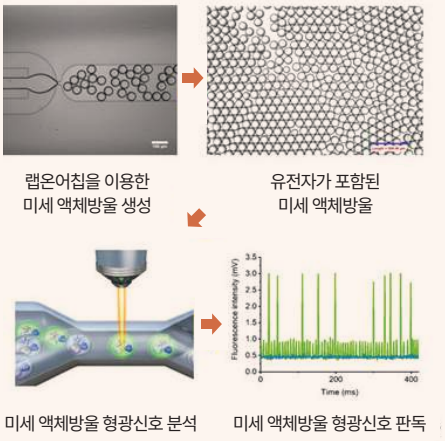


[감염균별 농축 및 핵산 추출효율]

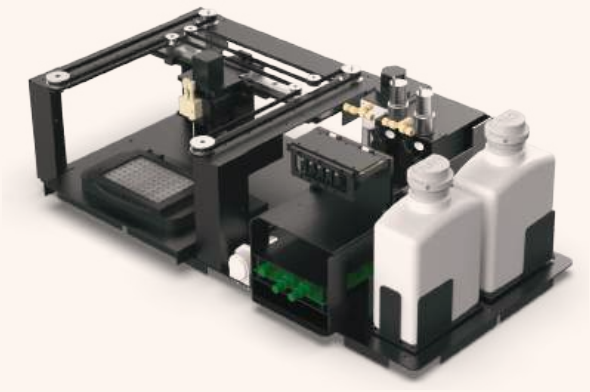
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)씨티바이오 창업

헬스가드 04

초고속 디지털 PCR 분석 기술 및 시스템 (나노종합기술원 이석재)



[미세유체 기반 분자진단 프로세스]



[시제품 이미지]

- 연구단은 바이오 유해물질을 초고속, 고민감, 고정밀 분석 및 진단이 가능한 미세유체 기반의 분자진단 플랫폼 기술을 개발
- 미세액적(micro-droplet) 생성이 가능한 미세 유체 채널을 이용하여 유전자를 포획 및 증폭하고, 미세액적의 형광 신호를 분석하여 질병의 디지털 분석이 가능한 기술
- 다중 채널을 이용하여 동시에 8종을 분석할 수 있으며, 민감도는 시판 중인 해외 제품과 동등 이상의 성능을 확보
- 해당기술을 통해 단일 수준의 유전자 포획 및 진단이 가능하여 정밀 분자진단분야에 다양하게 적용될 수 있을 것으로 기대
- 해당기술은 티엔에스(주)에게 정액기술료 1.1억 원에 기술이전되었으며, 기술이전 받은 기업은 관련 기술의 제품화 및 식약처 의료기기 등록(체외제신 21-635호)을 완료

논문

· An efficient isolation of foodborne pathogen using surface-modified porous sponge(FOOD CHEMISTRY, 2019)
· Naked eye detection of an amplified gene using metal particle-based DNA transport within functionalized porous interfaces(TALANTA, 2019)
· Smartphone operable centrifugal system (SOCS) for on-site DNA extraction from foodborne bacterial pathogen(BIOMICROFLUIDICS, 2019)
· 3D Hierarchical Nanotopography for On-Site Rapid Capture and Sensitive Detection of Infectious Microbial Pathogens(ACS NANO, 2021)
· Multifunctional Printable Micropattern Array for Digital Nucleic Acid Assay for Microbial Pathogen Detection(ACS APPLIED MATERIALS &INTERFACES, 2021)

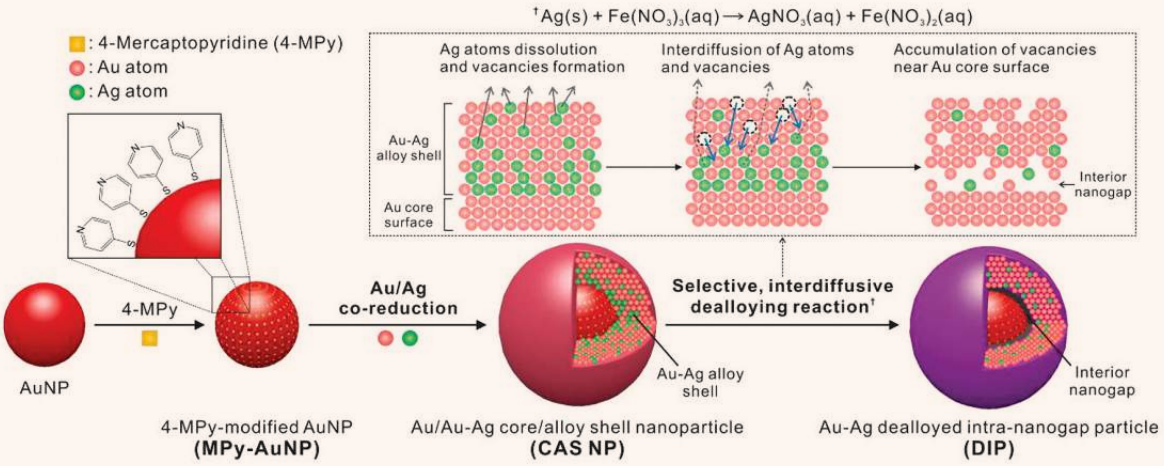
특허 국내외 출원 및 등록16건

· 세포 분리칩 및 이를 이용한 세포 분리방법(KR 10-2014-0172015, BB등급)
· 미세액적 내 유전자 검출을 위한 광학장치(KR 10-2017-0171644, B등급)
· 복합 구조체를 이용한 진단 시스템 및 방법(KR 10-2017-0053661, B등급)
· 마이크로웰 어레이를 이용한 dPCR 분석방법 및 분석장치(KR 10-2018-0025808, BB등급)
· 전자동 유전자 분석장치 및 이의 작동방법(KR 10-2019-0006174, BBB등급)
· 미세액적 기반의 NESBA 테크닉을 이용하여 표적 RNA를 진단하는 방법(KR 10-2019-0047057, CCC등급)
· 탄성 누름버튼을 이용한 측방유동분석 용액 주입장치(KR 10-2021-0133779)
· 휴대용 디지털 PCR 진단 시스템 및 이를 이용한 디지털 PCR 방법(KR 10-2021-0051844)
· 열제어 기판 및 그 제조방법(KR 10-2022-0072678)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	○	○	1.1억 원	-

헬스가드 05

나노구조체 고수율/초정밀/대량 합성 시스템 구축 (서울대학교 남좌민)



[합금화된 나노갭 입자의 합성 개요]

- 연구단은 금/은 합금 구조체에서 선택적으로 은 원자를 제거하는 탈합금화 반응을 통해, 중간층(DNA, polymer 등)이 없더라도 입자 내부에 강한 라만신호를 낼 수 있는 약 2 nm 수준의 나노갭을 합성할 수 있는 방법을 제시
- 해당 합성방법은 기존의 중간층(DNA, polymer 등)을 매개로 한 나노갭 입자 합성법 대비 저비용/고수율로 더 쉽고 간편하게 나노갭 입자 합성이 가능
- 개발된 나노갭 입자는 라만기반 세계 최고 수준의 타겟 DNA 검지능을 가지고 있으며, 라만 센서로는 이례적으로 높은 특이도와 정량성을 보임
- 현재, 2건의 관련특허가 3억 원에 (주)두에이아이로 기술이전 완료

논문

· One-Pot Heterointerfacial Metamorphosis for Synthesis and Control of Widely Varying Heterostructured Nanoparticles(JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 2021)
· Precisely Shaped, Uniformly Formed Gold Nanocubes with Ultrahigh Reproducibility in Single-Particle Scattering and Surface-Enhanced Raman Scattering(Nano Letters, 2018)
· Dealloyed Intra-Nanogap Particles with Highly Robust, Quantifiable Surface-Enhanced Raman Scattering Signals for Biosensing and Bioimaging Applications(ACS Central Science, 2018)
· Thiolated DNA-Based Chemistry and Control in the Structure and Optical Properties of Plasmonic Nanoparticles with Ultrasmall Interior Nanogap(JOURNAL OF THE AMERICAN CHEMICAL SOCIETY, 2014)

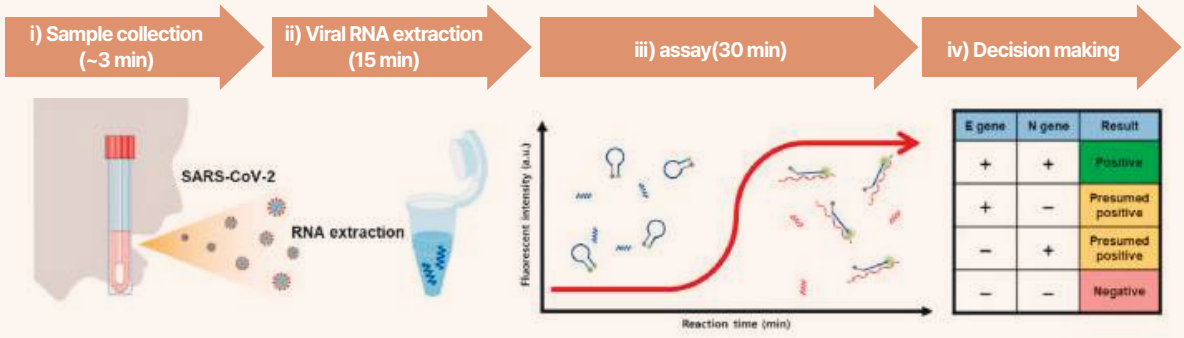
특허

· 큐브-인-큐브 형태의 금속 나노구조물, 이의 제조방법 및 이의 용도(KR 10-2016-0170462, BBB등급)
· 구리 결정 과성장에 의한, 금 나노프로브를 이용한 표적 분석물질의 검출 방법(KR 10-2017-0021136, BBB등급)
· 탈합금화 기반의 플라즈모닉 내부 나노갭 나노입자, 이의 제조방법 및 이의 용도(KR 10-2019-0003408, BB등급)
· 모서리 첨예도 지수가 조절된 금속 나노큐브의 제조방법(KR 10-2019-0010525, BB등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	3억 원	-

헬스가드 06

신개념 등온 핵산 증폭 원천 기술 (KAIST 박현규)



[등온 핵산 증폭 원천기술을 활용한 코로나19 바이러스 검출 프로세스]

- RNA 검출의 표준 기술로 RT-PCR 사용하나, 정교한 온도조절 및 소형화가 어렵다는 단점이 있음. 이에, 연구단은 등온 조건(41 °C)에서 표적 RNA의 증폭 반응이 구현되는 등온 핵산 증폭 기술 개발하였으며, 기기의 소형화를 실현
- 해당 기술은 절단효소 및 DNA 중합효소의 연쇄 반응과 T7 RNA 중합효소 반응을 융합하고, RNA 증폭 반응이 오직 T7 RNA 중합효소의 전사 반응에만 의존하도록 설계하여 기존 기술 대비 높은 증폭 효율을 가짐
- 연구단은 COVID-19을 일으키는 병원체인 SARS-CoV-2를 목표 병원체로 선정하고 개발기술을 통해 병원체를 빠르고 민감하게 검출하였으며, 검체 검출을 바탕으로 임상 적용 가능성을 확보
- 해당 기술은 (주)바이오메디쿠스에 정액기술료 5천만 원으로 기술이전이 진행됨

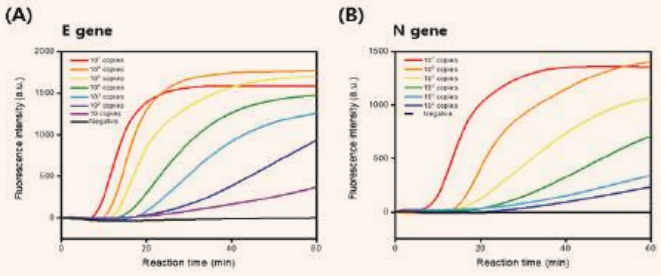
논문

· Ultrasensitive version of nucleic acid sequence-based amplification (NASBA) utilizing a nicking and extension chain reactionsystem(Nanoscale, 2021)

· Rapid and accurate clinical testing for COVID-19 by nicking and extension chain reaction system-based amplification (NESBA) (Biosensors and Bioelectronics, 2022)

특허

· 핵산의 절단 및 중합연쇄반응 시스템 기반 등온핵산증폭 기술을 이용한 표적 RNA 검출 방법(KR 10-2017-0183675, CCC등급)



[SARS-CoV-2 검출 한계 실험]

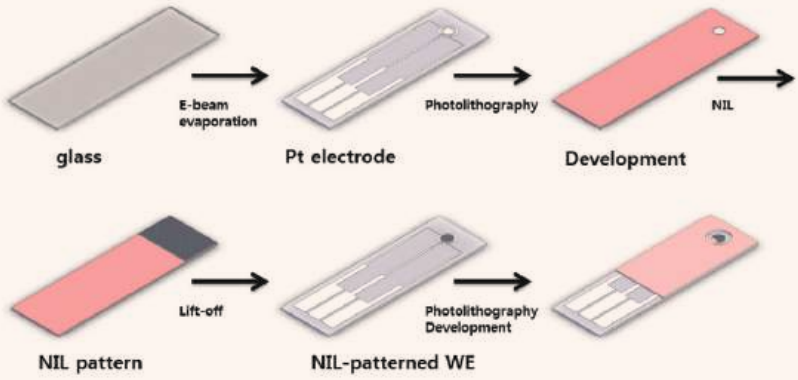


[현장진단용 분자진단 플랫폼 시제품]

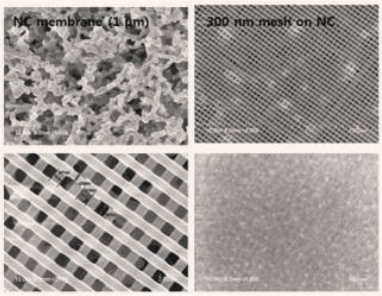
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	5,000만 원	-

헬스가드 07

고감도 3D 나노-마이크로 복합 구조체 제작 플랫폼 및 패터닝 공정 기술 (KIMM 이재종)



[나노임프린트 전극 제작 프로세스]



[다층 나노임프린트 공정을 이용한 나노메쉬 구조체]

- 연구단은 용액전사 기반 나노임프린트 공정을 이용한 2차원/3차원 나노-마이크로 하이브리드 패턴 제작기술을 개발
- 해당기술은 기존의 나노임프린트 공정 기술과 달리 무잔류층 나노패턴 제조가 가능한 공정 기술이며, 기존 공정의 경우 잔류층 두께가 나노패턴 높이의 약 30% 수준에 이르나, 개발된 기술은 잔류층 없는 나노패턴의 제작이 가능
- 개발된 3D 나노-마이크로 복합 구조체는 전기화학 기반의 나노 바이오 센싱 전극으로의 활용이 가능할 뿐만 아니라, H-Guard 시스템을 비롯한 에너지, 광학필름 등 다양한 분야에서 고기능성 제품군 제조를 위한 기반기술로 활용될 수 있음
- 해당기술은 (주)아이테드에 정액기술료 1억 원으로 기술이전 됨

논문

· Formation of Interstitial Hot-Spots Using the Reduced Gap-Size between Plasmonic Microbeads Pattern for Surface-Enhanced Raman Scattering Analysis(SENSORS, 2019)
· Macroscopic Ag nanostructure array patterns with high-density hot-spots for reliable and ultra-sensitivie SERS substrates(Nano Research, 2019)
· Large area patterning of residue-free metal oxide nanostructures by liquid transfer imprint lithography(Nanotechnology, 2019)
· Surfactant-free galvanic replacement for synthesis of raspberry-like silver nanostructure pattern with multiple hot-spots as sensitive and
· reproducible SERS substrates(Applied Surface Science, 2020)
· System for Fabrication of Large-Area Roll Molds by Step-and-Repeat Liquid Transfer Imprint Lithography(Materials, 2020)
· Peptidoglycan-Binding Protein Metamaterials Mediated Enhanced and Selective Capturing of Gram-Positive Bacteria and Their Specific, Ultra-Sensitive, and Reproducible Detection via Surface-Enhanced Raman Scattering(ACS Sensors, 2020)
· Human alpha-fetal protein immunoassay using fluorescence suppression with fluorescent-bead/antibody conjugate and enzymaticreaction(Biosensors & bioelectronics, 2015)
· Differential pH-sensitive sensor with DC electrode-offset compensation(Electronics Letters, 2016)
· Fabrication of Pyrrole&Based Electrochemical Biosensor Platform Using Nanoimprint Lithography(Advanced Materials Interfaces,2018)

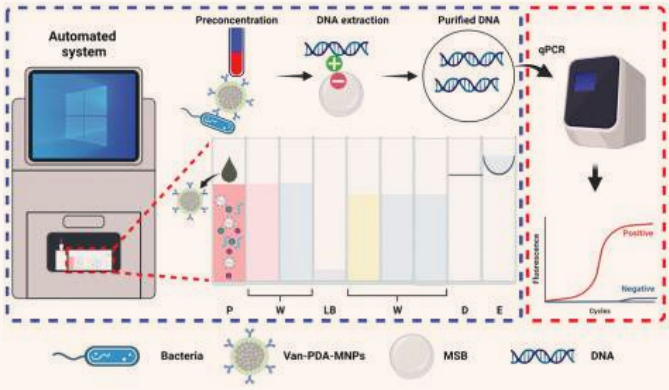
특허

· 나프티네이트계 광경화성 무기물 전구체 조성물 및 이를 이용한 패턴 전사 방법(KR 10-2016-0026978)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	1억 원	-

헬스가드 08

임상시료 병원체 농축, 핵산 정제 및 미세유체 전처리 자동화 시스템 개발 (성균관대학교 박성수)



[임상시료 병원체 농축 및 핵산 정제 프로세스]

- 일반적인 환자의 검체 내에는 분자진단 저해 인자들이 많아 저농도의 병원체 검출이 매우 어려우며, 검출도 개선을 위한 시료 전처리 및 농축과정이 필수적임. 이에, 연구단은 병원체 농축 및 핵산 정제가 동시에 가능한 칩과 칩자동화 시스템을 개발
- 자성 나노입자에 PDA를 코팅하여 혈청 세포와의 상호작용을 억제하고, 응집현상을 최소화시킴으로써 핵산추출의 효율성 및 민감도를 향상
- 연구단이 개발한 기술은 상용 핵산추출 키트 대비 PCR 기준 100배의 검출 민감도를 가지고 있으며, 전혈 속 박테리아 검출 LOD를 10 CFU/mL로 낮추었으며 전처리 소요시간도 30-50분으로 단축함
- 해당기술은 ㈜킹고바이오에 정액기술료 3천만 원으로 이전되었으며, 킹고바이오는 이전받은 기술이 적용된 '병원균 농축 및 핵산 추출 자동화 시스템(ExTron)'을 출시

논문

· A 3D-Printed Millifluidic Platform Enabling Bacterial Preconcentration and DNA Purification for Molecular Detection of Pathogens in Blood(Micromachines, 2018)
· Vancomycin-conjugated polydopamine-coated magnetic nanoparticles for molecular diagnostics of Gram-positive bacteria in whole blood(Journal of Nanobiotechnology, 2022)
· 3D-Printed Modular Microfluidic Device Enabling Preconcentrating Bacteria and Purifying Bacterial DNA in Blood for Improving the Sensitivity of Molecular Diagnostics(Sensors, 2020)
· Integrated Microfluidic Preconcentration and Nucleic Amplification System for Detection of Influenza A Virus H1N1 in Saliva(Micromachines, 2020)

특허

· 시료의 농축 및 정제를 위한 전처리 시스템(KR 10-2018-0001511, B등급)
· 핵산 추출장치 및 핵산 추출방법(KR 10-2018-0171911, BBB등급)
· 생물학적 표적의 분리를 위한 고분자 물질로 코팅된 나노 입자 복합체 및 이의 제조 방법(KR 10-2021-0021476)
· 생물학적 표적의 분리를 위한 나노 입자 복합체 및 이의 제조 방법(KR 10-2021-0021477, BB등급)

KINGO Bio

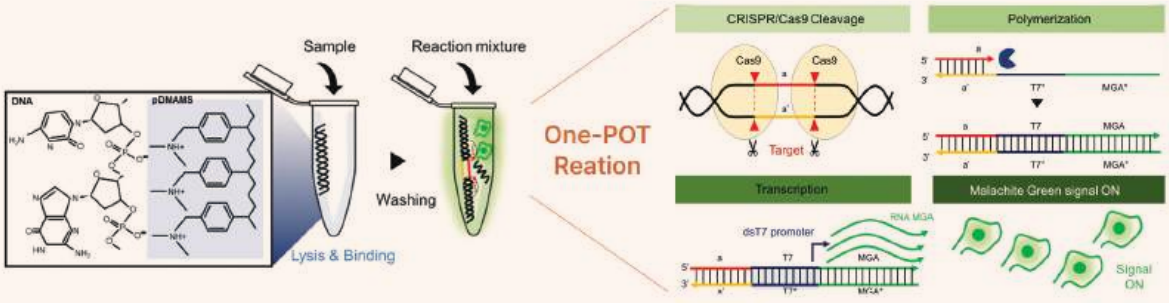
창업일 : 2018.06
대표자 : 이진엽
주요 아이템 : 감염병 분자진단용 전처리 키트

- 창업 후, 중소벤처기업부 세대융합 IR pitchers day 우수상을 수상하며 기술력을 인정받았으며, 이후 꾸준한 연구개발을 통해 기술을 고도화하고 있음
- 2021년 자본금 증자를 통한 Seed 투자 유치(2억 원) 및 TIP 선정을 통한 투자유치에 성공하였으며, 최근 ㈜바이오메트로 등과 NDA 협업 체결 등 사업화를 위한 노력 중

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	-	3,000만 원	㈜킹고바이오 창업

헬스가드 09

유전자가위 기반 진단기술 (KRIBB 강태준)



[유전자가위 기반 타겟 유전자 검출 프로세스]

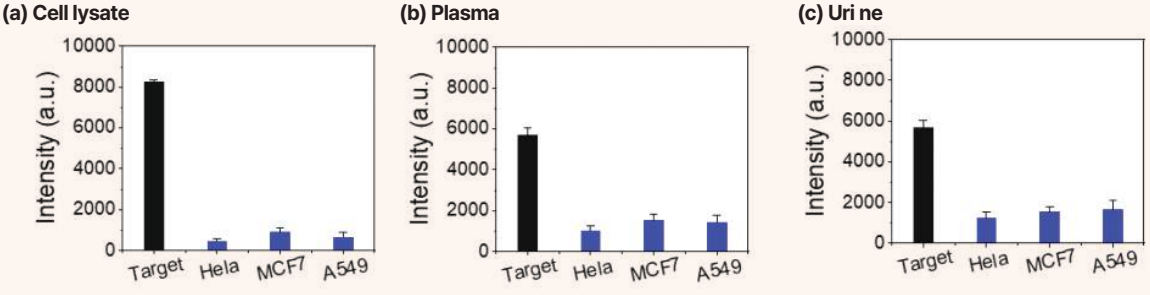
- dCas9/gRNA 시스템은 박테리아에 대한 면역 체계로써 외부에서 유입된 DNA/RNA를 감지하며, 표적 유전자를 검출하는 기술로 주목받고 있음
- 연구단은 표적 유전자 부분을 2개의 Cas9/gRNA를 이용하여 절단하고 절단된 타겟 DNA fragment의 증폭반응으로 인해 강한 형광신호를 보이는 것을 발견하였으며, 이를 통해 PCR 과정을 수행하지 않고도 높은 감도로 표적유전자의 검출이 가능한 기술을 개발
- 해당 기술은 1 Am 수준의 높은 민감도로 표적 핵산을 검출할 수 있으며, 1시간 이내 비색 검출이 가능하다는 점에서 현장진단이 매우 용이
- 특히 연구단은 코로나19를 일으키는 병원체인 SARS-CoV-2를 타겟으로 하여 기술 개발을 진행하였으며, 실제 코로나19 감염자를 대상으로 한 테스트에서 100%의 민감도·특이도를 보이는 것을 확인
- 해당 기술은 ㈜레보스케치에 정액기술료 1억 원으로 기술이전 완료

논문

· Smartphone-Based SARS-CoV-2 and Variatns Detection System using Colorimetric DNAzyme Reaction triggered by Loop-Mediated Isothermal Amplification (LAMP) with Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats (CRISPR)(ACS nano, 2022)
· Ligation-free isothermal nucleic acid amplification(Biosensors and Bioelectronics, 2022)
· Detection of Infectious Viruses Using CRISPR-Cas12-Based Assay(Biosensors, 2021)
· Colorimetric Detection of SARS-CoV2 and Drug-Resistant pH1N1 Using CRISPR/dCas9(ACS Sensors, 2020)
· Clustered Regularly Interspaced Short Palindromic Repeats-Mediated SurfaceEnhanced Raman Scattering Assay for Multidrug-Resistant Bacteria(ACS nano, 2020)

특허

· dCas9/gRNA 복합체 기반의 표적 RNA 검출 방법(KR 10-2021-0102751)
· 새로운 등온 증폭 기술 기반 표적 유전자 검출 시스템(KR 10-2022-0001806)
· 라이게이션 없이 표적 핵산을 검출하기 위한 등온 핵산 증폭법(KR 10-2022-0052588)
· CRISPR/Cas9 기반의 핵산 검출용 키트 및 이에 기초한 핵산 검출 방법 (10-2022-0082014)

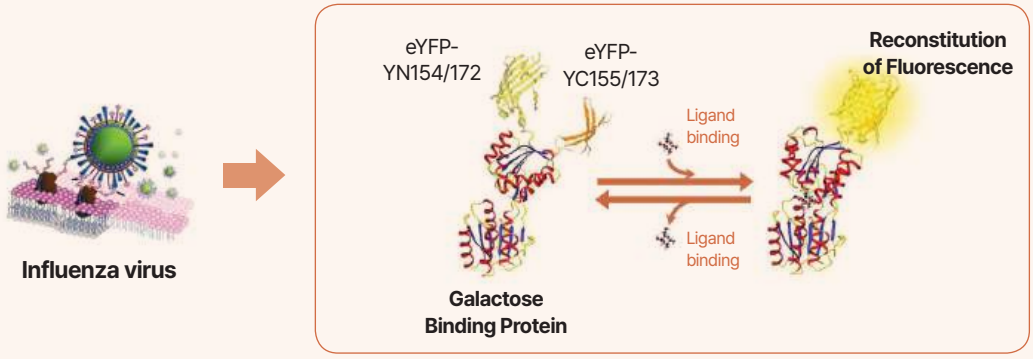


[Cas/gRNA 복합체를 이용한 신규 유전자 검출 기술 특이도 테스트]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	-	1억 원	-

헬스가드 10

감염성 병원체 현장 검출을 위한 플랫폼 원천기술 (KRIBB 김문일)



[이분자 형광 상보 기법 기반 인플루엔자 신속 검출 시스템]

- 연구단은 단백질 구조 변화 기반 이분자 형광 상보법을 이용한 최초의 바이러스 검출 기술을 개발
- 인플루엔자 바이러스의 뉴라미니데이즈 작용 기작 검출을 위해 새로운 이분자 형광 프로브를 제작하고, 바이러스의 농도가 증가함에 따라 형광 값이 증가하는 것을 확인. 이를 통해 인플루엔자 바이러스를 신속(30분 이내) 및 고감도로 측정할 수 있음
- 연구단이 개발한 이분자 형광 프로브는 바이오 수용체 결합 효율성 극대화 및 비특이적 결합을 최소화시킨 신규 인터페이싱 화합물
- 해당 기술은 독감 바이러스뿐만 아니라 NA 활성을 가진 다양한 바이러스의 검출에 활용 가능하며, 신약 스크리닝을 위한 초고속 대량 스크리닝 시스템에도 적용될 수 있을 것으로 기대

논문

· On-chip fluorescence switching system for constructing a rewritable random access data storage device(Scientific Reports ,2018)
· Long-term stability and integrity of plasmid-based DNA data storage(Polymers, 2018)
· Fabrication of silver nanoparticles in titanium dioxide/poly(vinyl alcohol) alternate thin films: A nonenzymatic hydrogen peroxide sensor application(Electrochimica Acta, 2018)
· PAS1-modified optical SIS sensor for highly sensitive and specific detection of toluene(Biosensors and Bioelectronics, 2019)
· Moisture effect on particulate matter filtration performance using electro-spun nanofibers including density functional theory analysis(Scientific Reports, 2019)
· Conducting nanomaterial sensor using natural receptors(Chemical Reviews, 2018)
· Single-photon-driven up-/down-conversion nanohybrids for in vivo mercury detection and realtime tracking(Journal of Materials Chemistry A, 2020)
· Single photomask lithography for shape modulation of micropatterns(Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020)
· High-performance conducting polymer nanotube-based liquid-ion gated field-effect transistor aptasensor for dopamine exocytosis(Scientific Reports, 2020)
· An elaborate sensor system based on conducting polymer-oligosaccharides in hydrogel and the formation of inclusion complexes(Journal of Industrial and Engineering Chemistry, 2020)
· Olfactory detection of toluene by detection rats for potential screening of lung cancer(Sensors, 2021)
· Multi-odor discrimination by rat sniffing for potential monitoring of lung cancer and diabetes(Sensors, 2021)

특허

· 에틸렌 검출용 바이오 센서 및 그 용도(KR 10-2014-0061153, BBB등급)
· 이분자 형광 상보법을 이용한 인플루엔자 바이러스 신속 검출용 프로브 시스템 및 이를 이용한 인플루엔자 바이러스 신속검출 방법(KR 10-2018-0117792, BB등급)

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	-	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건)

구분연도			2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	총합계
특허	국내	출원	-	28	46	46	43	49	22	24	22	20	**300**
		등록	-	-	15	16	36	26	28	22	16	9	**168**
	국외	출원	-	4	23	19	10	8	14	7	8	2	**95**
		등록	-	-	-	-	4	6	10	3	1	-	**24**
	소계		**-**	**32**	**84**	**81**	**93**	**89**	**74**	**56**	**47**	**31**	**587**
논문	SCI		-	69	114	120	102	96	79	84	67	31	**762**
	비SCI		-	4	4	5	8	1	1	2	1	-	**26**
	소계		**-**	**73**	**118**	**125**	**110**	**97**	**80**	**86**	**68**	**31**	**788**
기술 이전/ 사업화	기술이전		-	2	6	6	3	5	5	1	2	-	**30**
	기술이전료(정액기술료)		-	70	230	635	200	350	208	100	668	-	**2,461**
	창업		-	-	-	2	1	1	-	1	-	-	**5**
학위 배출	박사		-	4	2	9	5	5	1	4	12	11	**53**
	석사		-	2	3	1	-	4	3	5	4	-	**22**
	학사		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	**-**
	소계		**-**	**6**	**5**	**10**	**5**	**9**	**4**	**9**	**16**	**11**	**75**
학술 발표	국내		-	47	29	49	41	41	-	29	18	28	**282**
	국외		-	18	14	17	13	12	-	3	3	1	**81**
	소계		**-**	**65**	**43**	**66**	**54**	**53**	**-**	**32**	**21**	**29**	**363**
국제 협력	MOU		-	1	2	1	1	2	3	-	2	2	**9**
	공동연구 논문		-	9	18	20	20	14	14	20	8	4	**127**

나. 논문 및 특허 현황 분석

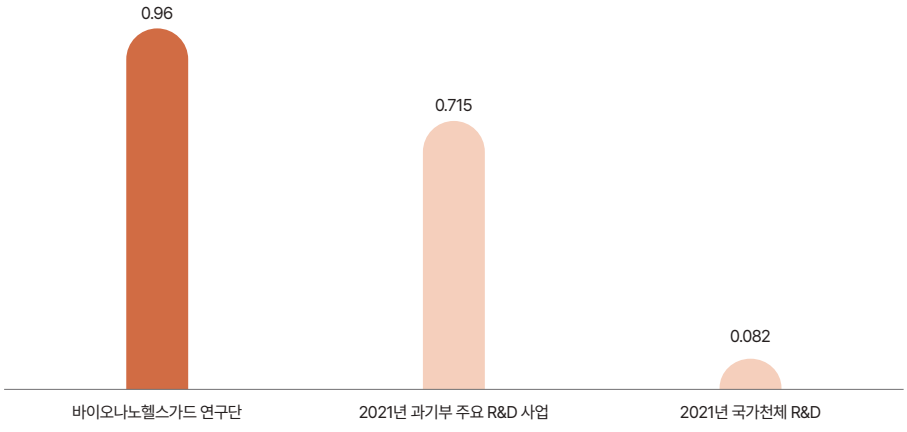
(1) 논문 현황 분석

연구단이 연구기간 동안 게재한 총 788건의 논문 성과 중 SCI 논문은 762건, 약 97%였으며, 전체 연구비(정부출연금 기준) 1억 원당 약 0.96건의 성과를 창출하였다.

특히 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 6.61이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력 지수(mrnIF)는 72.3(최하위 0, 최상위 100)로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

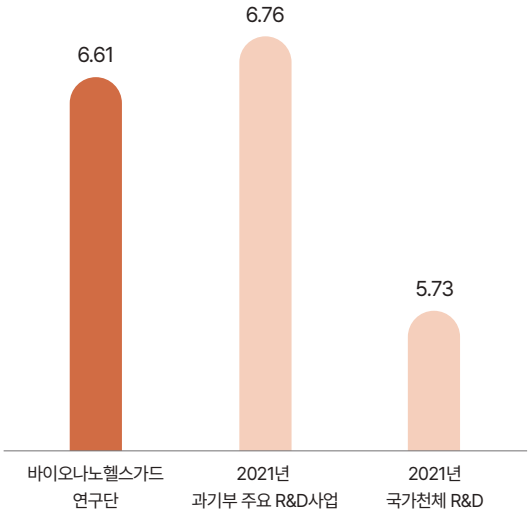
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위: 건)

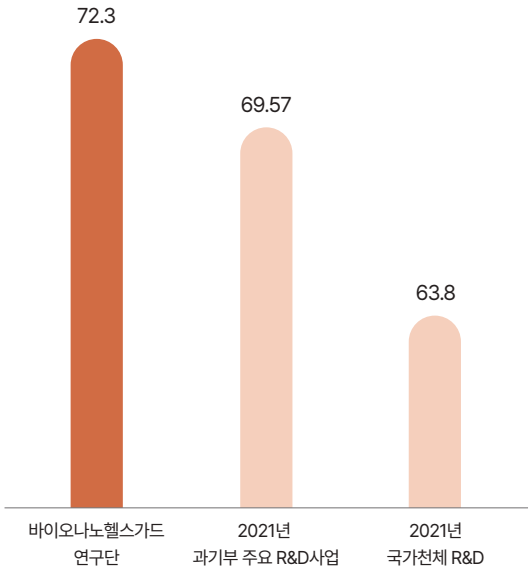


연구단의 SCI 논문 게재 성과는 전체 762건이며, 연구비(정부출연금 794.11억 원) 1억 원당 0.96건으로 국가 전체 연구비 1억 원당 성과 0.082건[2]에 비해 약 11.7배가 넘는 매우 높은 성과를 창출한 것으로 나타났다.

[평균 IF 지수 비교]



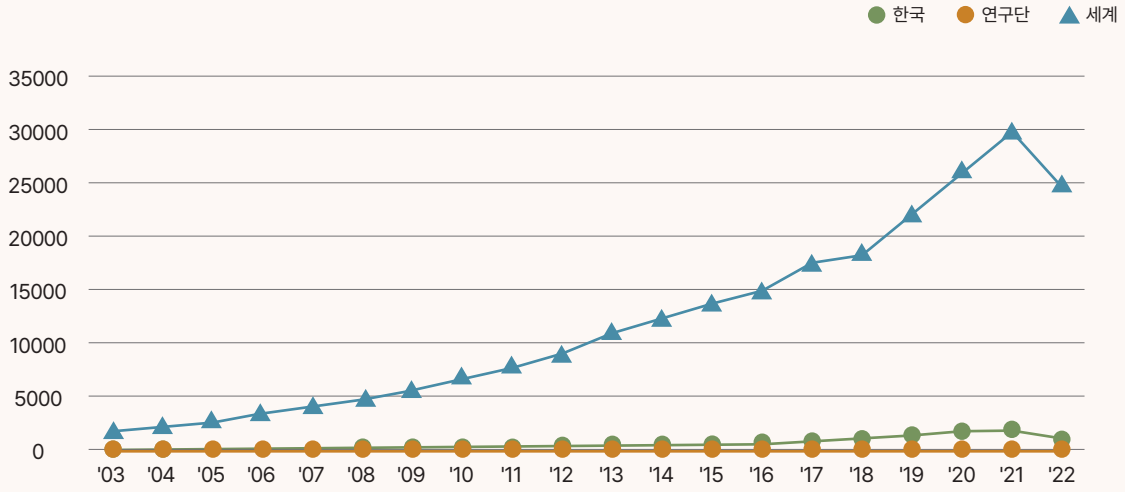
[평균 mrnIF 지수 비교]



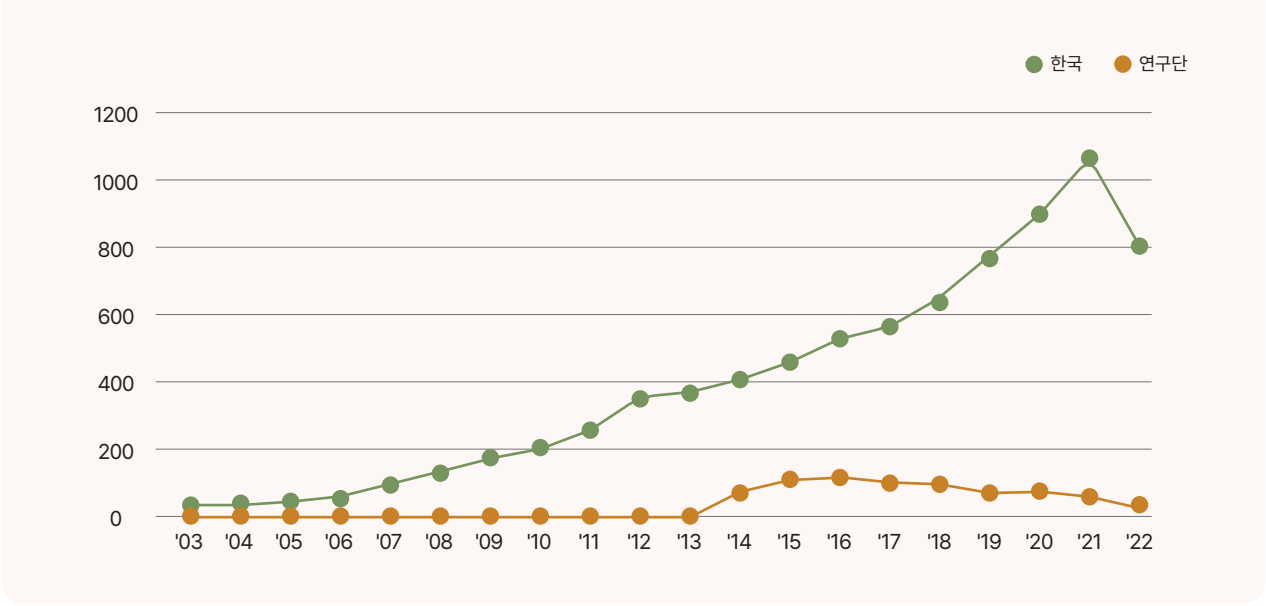
연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

바이오나노헬스가드연구단 출범 이전(2003년~2012년)과 이후(2013년~2022년)의 논문 성과를 비교해본 결과, 연구단의 게재 SCI 논문 건수는 762건이었으며, 연구 수행 기간 동안 연구단 출범 이전보다 한국 논문 게재 건수가 1,369건에서 6,562건으로 약 4.79배 증가한 것으로 나타나, 동일 기간에 세계 전체 논문 건수가 47,546건에서 190,155건으로 약 4배 증가한 것에 비해 높은 증가율을 보였다. 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전의 2.88%에 비교하여 사업수행기간 동안 3.45%로 증가하였으며, 사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 0.40%, 한국 대비 11.61%를 차지하여 관련 기술에 대한 한국의 연구개발 활동이 활성화되었음을 알 수 있다.

연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교



2) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건

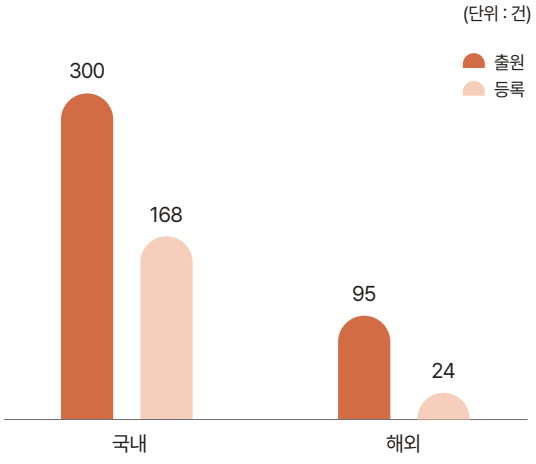


(2) 특허 현황 분석

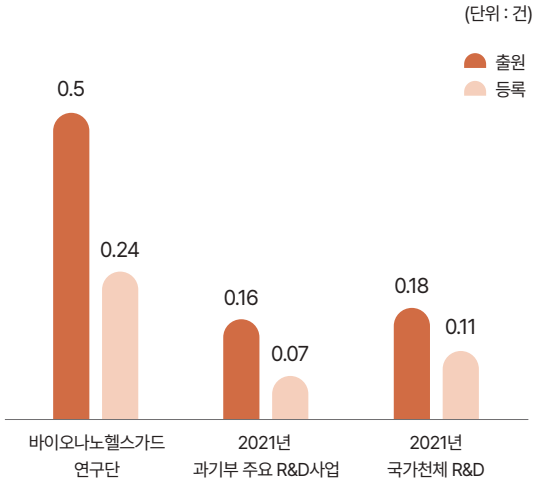
연구단은 전체 연구기간 동안 국내 특허 300건 출원 및 168건 등록하였으며, 국외 특허 95건 출원 및 24건 등록하였다. 특히 단계별 국내외 특허 등록 건수가 점진적으로 상승하는 것을 볼 수 있다.

1단계에는 국내 특허 실적 28건(출원 28건) 및 해외 특허 실적 4건(출원 4건)을 기록하였고, 2단계에는 국내 특허 실적 202건(출원 135건, 등록 67건) 및 해외 특허 실적 56건(출원 52건, 등록 4건)을 기록하였으며, 3단계에는 국내 특허 실적 238건(출원 137건, 등록 101건) 및 해외 특허 실적 59건(출원 39건, 등록 20건)을 기록하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]

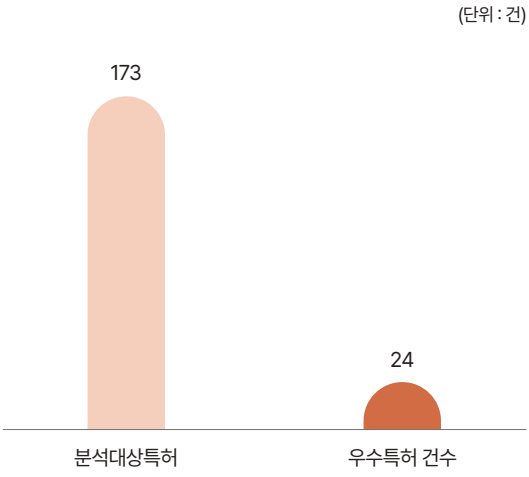


연구단의 특허출원 성과는 395건, 특허등록 성과는 192건으로 연구비(정부출연금 794.11억 원) 1억 원당 0.50건의 특허출원 성과를, 0.24건의 특허등록 성과를 창출하였다.
이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[3]에 비해 약 2.74배 높으며, 과기부 주요 R&D사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건에 비해 약 3.1배 높은 수치이다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 2.2배, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건에 비해 약 3.4배 높은 수치로 나타났다.

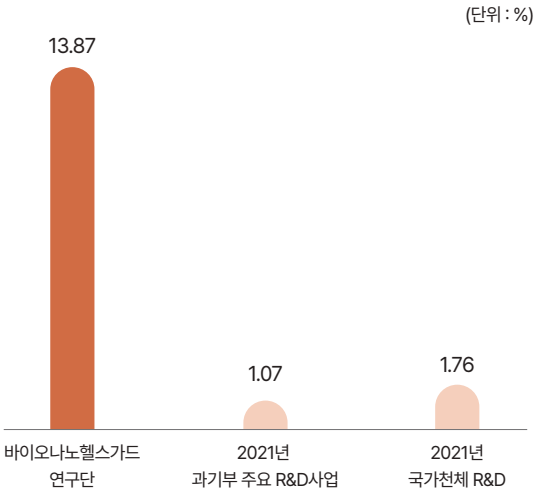
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[4]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 173건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 24건으로 약 13.87% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 7.88배, 12.96배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]

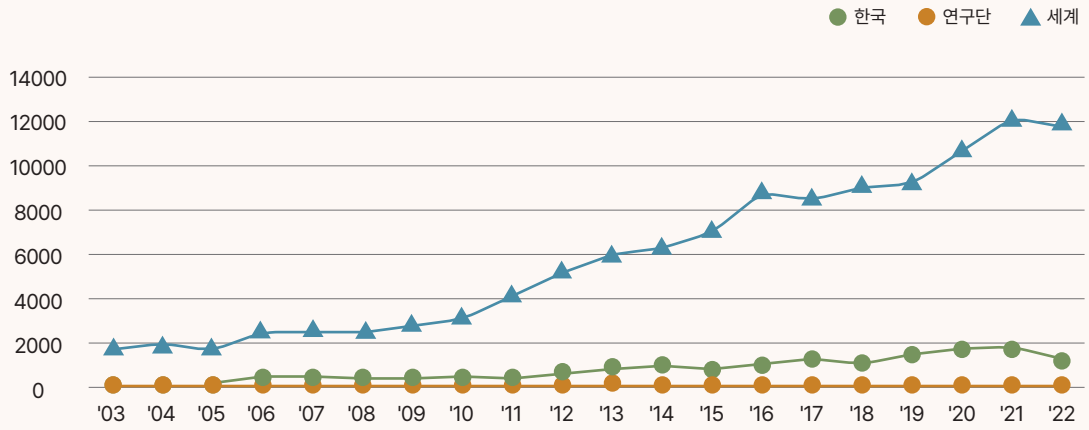


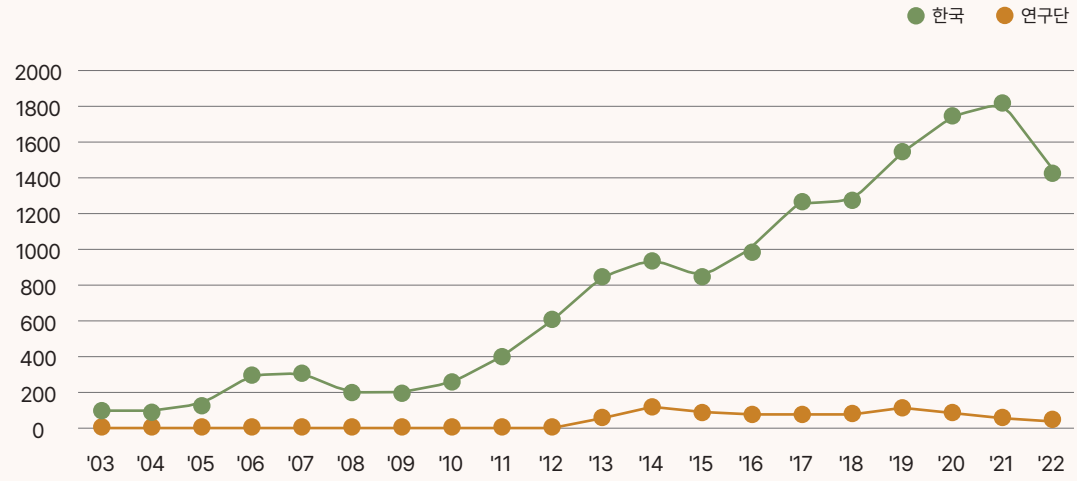
연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

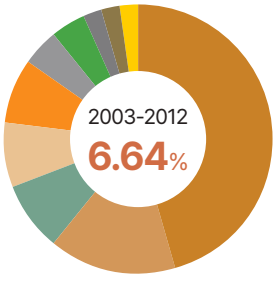
바이오나노헬스가드연구단 출범 이전(2003년~2012년)과 이후(2013년~2022년)의 연구단 대표 연구분야[5]에 대한 특허를 중심으로 전 세계 특허 출원 건수를 검색한 결과, 해당 분야 세계 특허는 연구단 출범 이후 60,385건의 특허가 출원되었으며, 연구단 출범 이전 24,037건에 비해 약 2.51배 증가하였으며, 한국 특허는 1,596건에서 4,893건으로 3.08배 증가하였다.
사업수행기간 동안 연구단의 비중은 세계 대비 0.97%, 한국 대비 12.00%였고, 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전 6.64%에 비교하여 사업수행기간 동안 8.10%로 증가하였으나 연구단 출범 이전과 이후 한국의 특허 성과는 3위로 순위 변동이 없는 것으로 나타났다. 이는 중국에서의 출원이 급격하게 증가한 결과인 것으로, 연구단 출범 이전과 이후 관련 분야에 대한 전 세계 특허 대비 한국의 비중이 약 1.3배 증가한 것으로 보아 연구단이 동 분야 연구개발에 기여한 것으로 분석된다.

3) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건
4) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용
5) 연구분야 기술 관련 주요 IPC를 기반으로 각 기술에 적합한 키워드 필터링을 통해 특허 성과 산출
무인감시시스템 및 유해물질 포집장치(B03C), 바이오센서 및 바이러스 검출용 나 노 시스템(C12Q), 체외진단 및 면역화학진단기기(A61*), 등온핵산증폭기술(B82*)

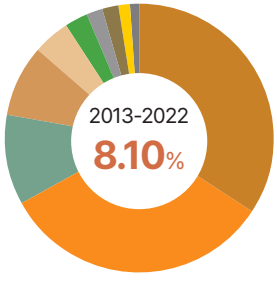
연구단 사업수행 전후 연도별 특허 증감 추이







미국	37.40%
일본	12.76%
한국	6.64%
독일	6.51%
중국	6.41%
프랑스	3.54%
영국	3.37%
캐나다	1.93%
스위스	1.92%
네덜란드	1.61%

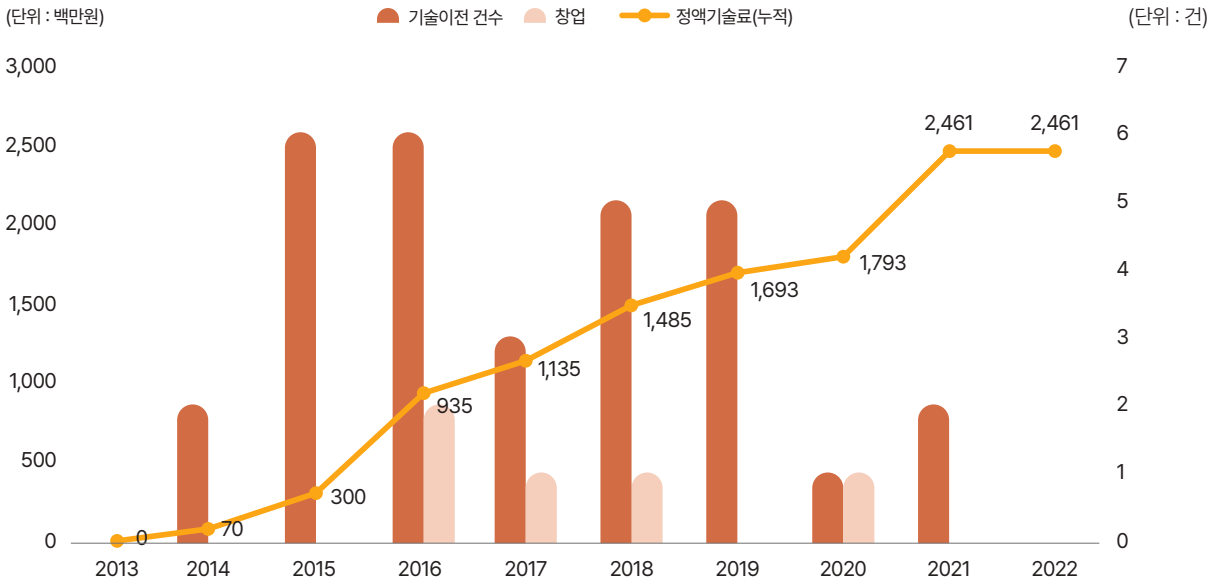


미국	26.09%
중국	24.88%
한국	8.10%
일본	6.44%
독일	3.41%
영국	2.10%
프랑스	1.50%
스위스	1.49%
네덜란드	1.00%
캐나다	0.82%

(3) 기술사업화 현황 분석

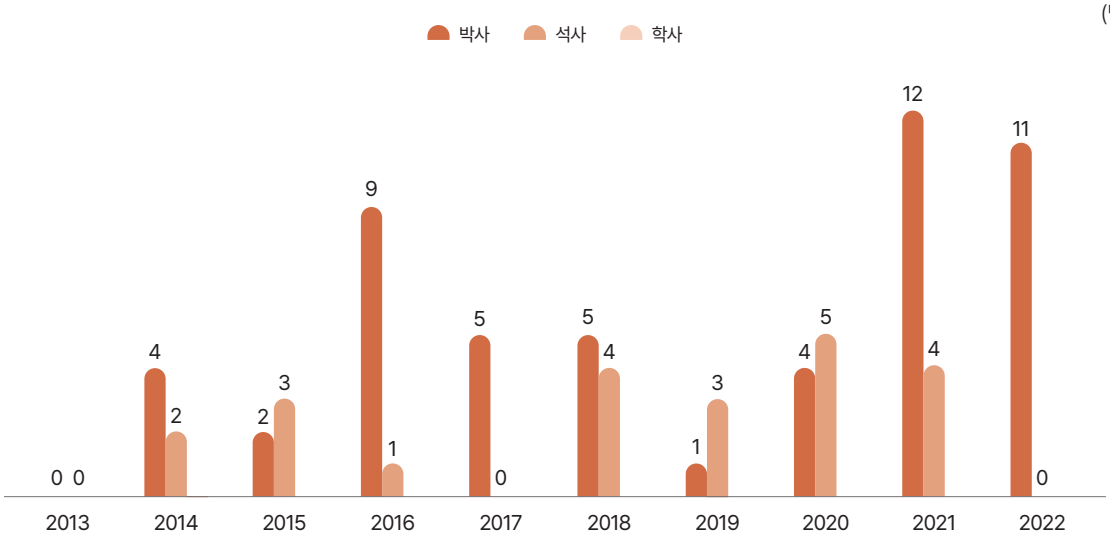
연구단은 연구기간 동안 총 30건, 2,461백만 원의 기술이전 성과를 창출하였으며, 2021년 668백만 원의 가장 많은 정액기술료 수입이 발생하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]



(4) 인력양성

연구단은 연구기간 동안 총 75명의 학위를 배출하였으며, 박사 53명, 석사 22명을 지원하였다.



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단의 우수 연구성과 4건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과 또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, 산업통상자원부의 '기술가치평가 실무가이드(2021년)'를 참조하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
H-GUARD 무인감시시스템	무인감시시스템	598.1
바이오유해물질 검출용 리셉터 등 바이오센서 개발	바이오센서	299.2
선형 업컨버젼 형광 기반 Rapid Kit 시스템 등 면역화학진단기기 개발	면역화학진단	702.5
신개념 등온핵산증폭 등 분자진단기기 원천 기술 개발	PCR기반 분자진단	711.6
총액		**2,311.4**

바이오나노헬스가드 연구단의 4건의 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 2,311.4억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

바이오나노헬스가드연구단은 약 150건의 언론보도, 기획기사 등을 통해 연구단 성과를 국민들에게 효과적으로 홍보하였으며 전시홍보 및 심포지엄 개최 등을 통하여 연구거점으로서 네트워크를 구축하였다.
또한 테크페어 등 연구성과 발표회를 개최함으로써 사업화 유망기술을 소개하고, 수요기업의 요구사항을 청취하여 공동기술개발, 기술이전 등을 통한 실용화 연계 가능성을 제고함으로써 기술 성과확산 및 사업화를 도모하는 데에 이바지할 수 있도록 하였다.

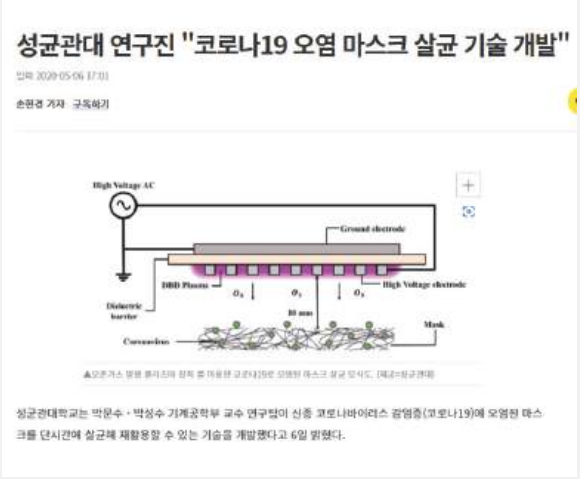
가. 언론보도 및 기획기사

최기영 장관, 신종 코로나바이러스감염증 대응 연구현장 방문	연합뉴스, 2020.02.05
코로나19 항원 이용한 면역혈청 검사키트 임상테스트 중	뉴시스, 2020.03.27
성균관대 연구진, 코로나바이러스 오염 마스크 살균기술 개발	연합뉴스, 2020.05.06
사람 손으로 터치하듯...실감나는 `로봇피부` 만든다	매일경제, 2020.08.20
다제 내성 인플루엔자 바이러스 신속 진단 키트 개발	머니투데이, 2020.09.15
햄버거병' 유발 독성세균 현장에서 5분만에 검출해 내는 기술 개발	YTN사이언스, 2021.03.09
KAIST, 유전자 가위 이용한 새로운 유전자 돌연변이 검출 기술 개발	아이뉴스, 2021.05.11
KAIST, RNA 바이러스 초고감도 검출 기술 개발	서울경제, 2021.07.15


글로벌프런티어사업 마무리 단계…코로나 진단키스 임상 테스트 진행

NEWSIS

코로나19 항원 이용한 면역혈청 검사키트 임상테스트 중



성균관대 연구진, 코로나바이러스 오염 마스크 살균기술 개발

나. 연구성과 전시 홍보

- 2014 미래창조과학부 성과확산 대전 전시 홍보 (2014.11)
- 2015 한국생물공학회 전시 홍보 (2015.04)
- 2015 한국미생물생명공학회 전시 홍보 (2015.06)
- 2017 나노코리아 전시 홍보 (2017.07)
- 2018 한국바이오칩학회 전시 홍보 (2018.05)
- 나노 임프린트·몰딩·프린트 학술대회(nano-IMP2019) 전시 홍보 (2019.02)
- 2019 한국생물공학회 전시 홍보 (2019.04)
- 2019 한국바이오칩학회 전시 홍보 (2019.05)
- 나노코리아 2020 및 한국바이오칩학회 연구성과 전시 홍보 (2020.07)
- 2021 대한민국 과학기술 대전 전시 홍보 (2021.10)

다. 바이오나노 융합 기술개발 성과 활용 및 확산 심포지엄 개최(2022.06.28.)

대형 연구개발사업 수행을 통해 확보된 바이오나노 융합 진단기술 분야의 주요 연구성과를 공유하고, 지속적인 융합연구사업을 통한 후속 연구계획, 연구자간 협력방안, 상용화 추진방안을 모색하였다.



라. H-GUARD Tech-Fair 2018 및 연구성과 발표회 개최(2018.01.18.)







04 기술사업화 성공스토리

1. 이진엽 대표 인터뷰

- 기업명: (주)킹고바이오
- 창업시기: 2018.06
- 도입기술명: 미세유체 진단장치 및 그 제조방법
- 도입시기: 2018.09 / 2020.04



(주)킹고바이오는 "미세유체 진단장치 및 그 제조방법"기술에 대한 기술이전(정액기술료 2억 원 경상기술료 10%)과 2018년 4월 기술이전(정액기술료 30백만 원)을 체결하여 총 2건의 기술이전을 진행하였으며, 이후 지속적인 R&D를 통해 미세유체기반 진단기기 개발에 성공했다. 2018년 설립되어 성균관대 박성수 교수의 기술이전을 통하여 시작된 (주)킹고바이오는, 2019년 중소벤처기업부 세대융합 창업캠퍼스 우수기업 표창과 벤처기업인증을 시작으로 기술력을 확보하고, 2021년 기업부설연구소 설립 및 자본금 증자를 통하여 Seed 투자 유치(2억 원), TIPS 선정 등 꾸준하게 발전해 나가는 기업으로 2022년 2억 원의 매출을 올렸다. 이처럼 성공적으로 기술이전 및 사업화를 이끌어낸 (주)킹고바이오 이진엽 대표를 만나 그 비결을 들어보았다.

Q1 안녕하세요 대표님, 기업에 대해 간략하게 소개 부탁드리겠습니다.

A1

안녕하세요, 반갑습니다. (주)킹고바이오는 2018년 설립되어 우리의 가족을 질병으로부터 지키기 위한 감염병 분자진단용 전처리 키트를 개발하는 기업으로, 현재 직원 8명 정도의 중소기업입니다.

Q2 학생창업이라고 이야기를 들었는데 창업하게 된 대표님의 이야기가 궁금합니다.

A2

제가 어렸을 때는 농구를 즐겨했고, 21살 때는 택배 상하차 등 아르바이트를 하였습니다. 그러다 허리 디스크가 파열되어 수술을 하게 되었고, 재활을 하다보니 의료기기와 의료공학에 많은 관심이 생겼습니다. 국내에는 의료기기 관련 큰 회사가 없다보니 '내가 한 번 만들면 어떨까'라는 생각을 했고, 창업을 위해 관련 분야 대학원에 먼저 진학을 해야겠다고 생각했습니다. 2017년 당시 박사과정이 시작될 때쯤, 과기부에서 I-corps 사업을 시작했고, 운이 좋게 선정이 되면서 미국 워싱턴 D.C.에 방문해서 1달간 스타트업 교육을 듣게 되었습니다.

여기서 제가 현재 개발하는 기술에 대한 사업적 성공 가능성을 확인하였고, 지도교수이신 박성수 교수님께서도 많은 지원을 해주셔서 학생창업으로 (주)킹고바이오를 2018년도에 설립하게 되었습니다.

Q3 창업 후 바이오나노헬스가드연구단에서 어떤 도움을 받았는지와 기술을 이전 받게 된 스토리가 궁금합니다.

A3

창업 후, 핵심기술이 대부분 연구단과 성균관대에 권리가 있는 상태였기 때문에, 많은 특허 중에서도 핵심이 되는 특허를 이전하는 것이 향후에 사업과 투자유치를 고려할 때 유리할 것이라 판단했습니다. 마침 2018년도에 세대융합창업캠퍼스라는 초기창업패키지 사업에 선정되면서, 관련 비용으로 기술이전을 진행할 수 있었습니다.

Q4 기술을 이전 받는 과정에서 어려운 점은 없었나요?

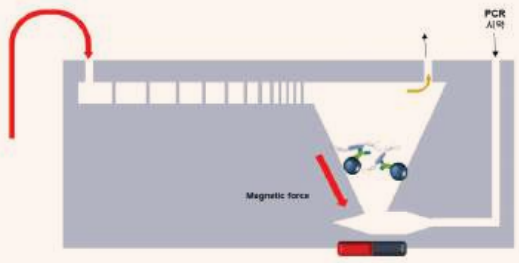
A4

기술이전 과정에서는 각 기관 담당자들께서 잘 처리해 주시고 처리시간도 많이 걸리지 않은 거 같습니다. 기술이전을 통해 제품에 적용하려면 추가적인 뒷받침이 필요한데, 다양한 지역사업들과 함께 연구단을 통한 과학기술사업화진흥원의 지원사업들이 이 과정에서 많은 도움이 되었습니다.

Q5 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

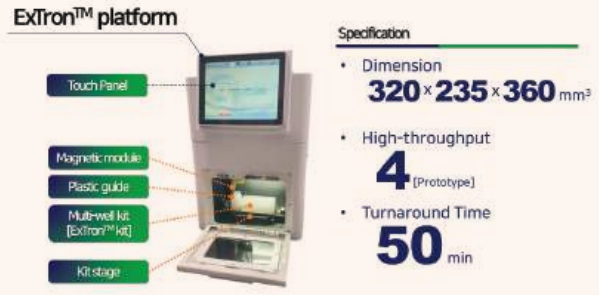
A5

현재 도입된 기술은 시제품인 ExTron(병원균 농축 및 핵산 추출 자동화 시스템)을 만들어 내는데 큰 활용이 되었습니다. 더 자세히 말씀드리면, 당시 이전된 기술의 핵심은 미세유체 칩 내부에서 혈액 내 세균을 먼저 분리 및 농축시킨 후 연속적으로 핵산을 추출 및 PCR 까지 진행하는 부분입니다. 특히, 이 과정에서의 핵심 물질은 바로 병원균과 특이적으로 결합 가능한 자성을 가진 나노입자입니다. 혈액 내 많은 진단방해인자들은 자력을 가지지 않기 때문에 제거하면서 저희가 얻고자 하는 병원균만을 분리시켜 낼 수 있습니다. 다만 문제점은, 기존 하나의 챔버 공간에서 이 과정을 진행할 때, 자성입자 표면에 혈액 성분들이 비특이적으로 결합되는 부분이 있어 핵산 정제 과정에서의 순도가 낮아지는 문제들이 발생했습니다. 이러한 문제를 상용화 과정에서 여러 개의 챔버로 나누어 해결하였습니다. 특히 이 농축 기술은 병원체의 농도를 높임과 동시에 진단저해인자를 제거함으로써 추출된 핵산의 yield와 purity를 높여 검사 민감도를 기존보다 100배 가량 높일 수 있습니다. 이를 통해 위음성의 확률을 획기적으로 낮출 수 있다는 것이 핵심입니다.



<도입기술 개념도>

아울러, 본 기업에서는 자성나노입자를 활용한 타겟 분리 기술들을 개발하고 있어, 분자진단뿐 아니라 면역진단에 활용 가능한 파이프라인으로 확대해 나가고 있습니다. 현재 국내 면역진단기업들과의 MOU를 추진 중에 있습니다.



<킹고바이오 ExTron 시스템>

질병의 정확한 진단은 치료와 예방의 핵심입니다. (주)킹고바이오는 자성입자를 활용하여 혈액 내 병원균을 농축하고 핵산을 추출하여 정확한 진단을 가능하게 하는 전처리 기술에 집중하는 진단기업입니다. 킹고바이오의 시작은 전처리 기술이지만 향후에 질병으로부터 우리의 가족을 지키는 글로벌 생명공학 기업으로 도약하고자 합니다.

Q6 킹고바이오는 바이러스 대신에 분자진단과 관련한 진단키트를 개발하는 전문기업으로 알고 있습니다. 바이러스 분야뿐만 아니라 다른 분야로도 사업영역이 확장되고 있는 것 같은데 또 어떤 새로운 계획을 가지고 계신지 궁금합니다.

A6

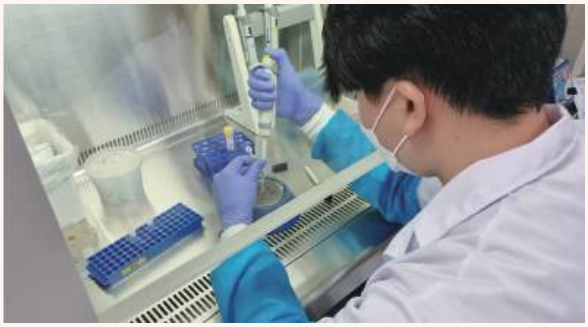
현재는 분자진단 분야에 집중하고 있지만, 앞서 말씀드린 대로 저희 자성입자 기술이 적용되면 신속항원키트의 민감도를 획기적으로 개선할 수 있다고 판단하고 있습니다. 이에 대해 현재 국내 2곳의 면역진단기업과 관련 기술 개발 및 상용화를 위해 MOU 체결을 준비하고 있습니다.

Q7 마지막으로 기술이전을 고려하는 기업에게 조언하고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A7

무엇보다도 기업은 그 기업이 추구하고자 하는 사업, 즉 타겟 고객들에게 가치를 주는 것을 매우 중요하게 생각해야 합니다. 따라서 기술이전을 고려할 때는 우리의 고객들이 원하는 가치를 제공해 줄 수 있는 기술들을 잘 분석하여 선택하는 것이 매우 중요하다고 말씀드리고 싶습니다.





2. 배판기 대표 인터뷰

- 기업명: (주)에이치가드
- 창업시기: 2020.04
- 도입기술명 : 체외진단용 바이오센서 개발 제작 및 체외진단 기기 성능평가



<H-GUARD 사업 분야>

㈜에이치가드는 바이오나노 소재분야 및 진단기기 성능평가지원 서비스를 주요 사업 아이템으로 연구단 조기 자립화를 위하여 (재)바이오나노헬스가드 연구단에서 출자하여 설립된 자회사이다.
2020년 4월 설립되어 연구단 자체 홍보 및 한국생명공학연구원(KRIBB) 주관 '감염병 의료기기 연구 협의체' 등을 통해 40여개 기업을 지원하여 2021년 누적 매출 4.8억 원을 달성하였다.
이처럼 연구단의 성공적인 자립화를 위하여 애쓰고 있는 ㈜에이치가드 배판기 대표를 만나 그 비결을 들어보았다.

Q1 안녕하세요 대표님, (주)에이치가드 기업에 대해 간략하게 소개 부탁드리겠습니다.

A1

안녕하세요, 반갑습니다. (주)에이치가드는 2020년 바이오나노헬스가드연구단의 자립화를 위해 연구단 지분 100%의 출자회사로 설립되어 진단검출용 바이오나노 소재(항원/항체) 제작과 성능시험평가 서비스를 수요기관(산학연)에 제공하는 중소기업입니다.

Q2 과거 한국생명공학연구원에서 진단기기 개발과 관련한 연구하는 일을 하셨다고 들었어요. 연구원을 그만두고 창업하게 된 대표님의 이야기가 궁금합니다.

A2

한국생명공학연구원에서 진단기기 개발 분야의 R&D를 수행하다 2013년 정봉현 박사님이 연구원 안에 바이오나노헬스가드 연구단을 유치하면서 2014년 7월에 연구단으로 이직하여 진단기기 개발을 수행하고 있던 중에, 코로나19가 발생하였습니다. 그래서 코로나19 진단기기 개발에 대한 필요성이 대두되면서 창업에 대한 고민을 하게 되었습니다. 연구단 내 연구진들이 개발한 기술들에 대한 실용화를 고민하던 끝에 연구단 자립화 추진에 따라 창업에 동참하게 되었습니다.

Q3 창업 후 어떻게 (재)바이오나노헬스가드연구단의 기술을 수익사업화 추진하고 있는지 그 추진 스토리가 궁금합니다.

A3

현재 연구단은 감염병 진단용 항원(55종)/항체(30종)를 보유하고 있습니다. 연구단 자체 홍보 및 KRIBB 주관 '감염병 의료기기 연구 협의체'를 통하여 ㈜에이치가드의 사업 분야를 홍보하고 있으며 이를 통하여 40여개 기업을 지원하여, 매출 4.8억 원을 달성하였습니다. 또한 체외진단기기 개발에 따른 진단검출용 바이오나노 소재(항원/항체) 제작과 성능시험평가에 대한 니즈 및 인체감염질환 중심에서 동물(반려동물)/식물 감염 등 확장성이 큰 급·만성 질병진단용 컨텐츠로 사업영역을 점진적으로 확대해 나갈 예정입니다.

Q4 연구단의 기술을 수익사업화하는 과정에서 어려운 점은 없었나요?

A4

바이오나노헬스가드연구단이 보유한 기술을 사업화하는데 있어 신속한 의사결정과 기업의 기술 보유를 위한 인력 채용에 대한 어려움이 있는데 이공계 출신의 연구원의 많은 관심이 필요합니다. 아울러 기업의 사업영역인 체외진단기기 개발 성능시험평가 서비스, 바이오컨텐츠(항원/항체), 진단센서 개발·제작에 대한 홍보를 위해 홈페이지를 제작하여 본격적인 마케팅을 추진할 예정입니다.

Q5 수익사업 모델에 대한 홍보 부탁드립니다.

A5

먼저 바이오컨텐츠 분야에서 코로나19, 지카를 포함한 64종의 항원과 40종의 항체 단백질을 보유 및 제공하고 있으며 자체개발 항원에 대한 내·외부기관의 유효성 평가 서비스를 대행하고 있습니다. 다음으로 면역진단 및 분자진단 분야의 진단시약키트 제작 및 체외진단의료기기의 식품의약품안전처 인허가(제조/수출/수입허가)를 위한 임상적 성능시험을 수행하고 있습니다. 마지막으로 국내외 대학병원과 함께 전립선 관련 질병(전립선비대증, 전립선염, 전립선암 등)의 각 단계 구분가능한 PSA 대체 신규 바이오마커 활용 진단 스트립 및 전기화학센서 제작 서비스를 지원하고 있습니다.



(주)에이치가드 서비스 분야

Q5 (주)에이치가드 사업를 위한 어떤 새로운 계획을 가지고 계신지 궁금합니다.

A5

기업을 설립하여 2021년까지 연구단 자체 개발/보유 감염병 진단용 항원(55종)/항체(30종) 등을 판매하여 약 5억 원의 매출을 달성하였습니다. 이를 바탕으로하여 인체감염질환 중심에서 동물(반려동물)/식물 감염 등 확장성이 큰 급·만성 질병진단용 컨텐츠로 사업영역을 점진적으로 확대하고 연구단이 주도로 개발하는 통합 핵심플랫폼(현장형 분자진단기기, 무인감시 시스템 등)에 대한 사업화('23년 이후)를 추진할 예정입니다. 최종 기술구현 완료 이후, 구체적인 기술수준 및 시장상황에 맞는 비즈니스 모델을 보완하고 기술의 고도화를 통하여 전문적인 연구개발 및 제품화 서비스 기업 나아갈것입니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

2003년 SARS, 2009년 신종플루, 2015년 메르스, 2016년 지카(소두증 바이러스), 그리고 잊을 만하면 창궐하는 조류독감과 구제역, 아프리카돼지열병과 같은 가축 전염병 등 인간은 물론 가축의 감염병이 국민건강과 국가경제에 지대한 악영향을 끼치고 있다. 급기야 2019년 말 중국에서 발생하여 아직도 끝나지 않은 코로나19 팬데믹 사태로 전 세계가 공포와 혼돈 속으로 빠지면서 엄청난 인명과 경제피해를 입히고 있다.

앞으로 기후변화와 국가 간의 인구이동이 더욱 활발해지면 백신과 치료제의 신속한 개발이 어려운 상황에서 **이러한 전염성 감염병 문제가 앞으로 더욱 심각해질 것은 명확하기 때문에 이에 대한 범국가적인 대책 마련이 시급**하다. 이와 같은 감염병의 대유행에 대한 근본적인 대책으로서, 예방을 위한 신속한 백신 개발 및 수급과 감염 여부를 확인하는 진단기기 그리고 치료제의 확보 등은 **감염병에 대한 신속한 대응과 조치를 통해 피해를 최소화하는데 있어서 필수적인 수단**이다.

연구단은 세계적으로 막대한 피해를 일으키고 있는 **국가 재난형 감염병 진단과 미확인 병원체 신속탐지 등이 가능한 H-GUARD(Health-Global Ubiquitous Autonomous Rapid Detection) 시스템을 구축하여 사회적 피해를 최소화하고 국민건강 증진과 그로 인한 행복한 삶의 영위에 실질적으로 기여**하고자 한다. BT, IT, NT의 융·복합 연구 개발을 통해 H-GUARD 구축을 위한 핵심 원천기술 및 지식재산권을 확보하고, 이를 사업화와 연계하는 "Platform Technology to Business Development"에 중점을 두어 국제적으로 경쟁력이 있는 기술 및 시스템의 확보와 실용화를 위해 노력해왔다.

이번 코로나19 팬데믹 상황을 복기해보면, 식약처에서 승인되어 현장에서 이용되었던 진단기술은 결국 전통적인 PCR 기술과 수십년간 사용해왔던 LFIA(lateral flow immunoassay)을 기반으로 하는 신속 항원진단키트 밖에는 없었다. 이는 진단플랫폼 기술을 개발하는 연구자 입장에서 매우 중요한 시사점이라고 판단되어 제언하고자 한다.

바이오나노헬스가드연구단
연구단장 **신용범**



평소에 진단 플랫폼의 실용화와 인허가에 대한 연구자의 노력이 더욱 활성화돼서 미리 기존의 전통적 진단플랫폼 외에도 다양한 현장에 적용 가능한 진단플랫폼이 이미 사용되고 있어야 한다. 이를 위해서 **연구자들이 개발한 새로운 진단 플랫폼의 과감한 적용을 위해서 인허가 관련 규제가 완화되어야 한다**고 생각한다. 이것이 언젠가 다시 발생할 수 있는 감염병 펜데믹 사태에 신속하고 효과적으로 대응하여 인명과 경제적 피해를 최소화하는데 있어서 첫 단추가 아닐까 생각한다.

H-GUARD 시스템



2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

인류를 위협하는 팬데믹 사태는 앞으로 더욱 심각해질 것으로 보는 시각이 지배적이다. 예방을 위한 백신을 제외하고는 기존의 감염병에 대응하는 방식은 발병과 확산 이후 진단, 역학조사와 격리, 치료 등의 사후처리에 국한되어 있어서 그 피해가 커지는 것을 근본적으로 막기는 현실적으로 어렵다. 따라서 감염병 발생초기에 적극적이고 선제적인 탐지와 신속한 진단이 필수적이다.

연구단은 신·변종 바이러스, 슈퍼박테리아와 같은 국가재난형 감염병을 일으키는 바이오유해물질을 신속·정확한 현장 검출, 모니터링 및 조기진단을 위한 원천기술을 개발하고 이를 기반으로 H-GUARD 시스템을 구현하여 실용화하고 있다.

앞으로도 국가와 국민이 필요로 하는 국가 바이오재난 대비체계 중 하나로서 감염성 위해물질 진단/감시 플랫폼 및 시스템(H-GUARD) 제공과 이를 위한 구현 기술인 다양한 BT-NT-IT 융복합기술을 개발하여 산업화를 위한 노력을 계속 이어갈 것이다. 연구관리 측면에 있어서도 효율적 연구 환경을 구축하고, 그동안 개발한 진단검출 분야의 핵심 기술에 대해서 가장 적은 비용으로 최대의 효과를 낼 수 있는 효율적인 제품화에 더욱 매진할 것이다. 연구결과에 대한 국내외 기술설명회 및 특허신탁 등의 기술마케팅을 통하여 개발된 기술의 실용화 및 사업화에 전념할 계획이다. 이를 통해 바이오유해물질로부터 안전한 미래사회를 구현하고자 한다.

나. 앞으로의 계획

연구단에서 목표로 하고 있는 핵심 시스템 중 하나인 H-GUARD 시스템은 공기 중의 바이오 유해물질을 포집하고 전처리한 후 검출 분석 및 신호 전송이 가능한 실시간 연동형 통합시스템으로, 중요성과 시급성에 따라 언제든지 새로운 표적물질에 확대 적용 가능하여 공항, 터미널과 같은 공공장소뿐만 아니라 음식점, 카페 등 다양한 장소에 설치하여 운용할 목적으로 개발되고 있다.

연구단에서는 감염 및 전파 환경을 고려하여 개념적인 H-GUARD 시스템에서 좀 더 발전한 **'스마트 바이오환경 안전감시 시스템'**이라는 보다 구체적인 실체와 이를 이용한 시나리오를 설정하고 이에 필요한 구성요소 기술을 개발하고 있다. 스마트 바이오환경 안전감시 시스템의 개념은 다음과 같다.

감염된 환자가 기침 또는 대화로써 공기 중에 내뿜는 비말형태의 병원체를 이동형 상시탐지 시스템에서 검지/분석하여 공기 중의 전염성 병원체의 존재여부를 관제센터로 무선통신을 통해 알리면, 병원체에 오염되었다고 의심되는 현장에 전문요원이 신속현장 정밀분석기기를 휴대하고 즉시 파견되어 오염의심 현장의 광범위한 표면과 공기를 정밀 조사 분석해서 그 결과에 따라 소거, 통행제한 및 소독 등과 같은 후속 조치를 할 수 있게 하는 시스템이다.

스마트 바이오환경 안전감시 시스템의 기능인 실내의 공기 내 고위험성 병원체 감시의 경우, 1차적으로 고위험 병원체 유입에 대한 알람기능이 매우 중요하기 때문에 다양하게 발생할 수 있는 변이체까지 탐지하는 게 필수적이다. 개발 중인 시스템이 정부 관리와 통제 하에 운용되거나 또는 민간 차원에서 활용되기 위해서 시스템의 사업성에 대한 면밀한 조사와 검토 또한 계획하고 있다.

연구단은 스마트 바이오환경 안전감시 시스템을 가까운 미래에 개발 완료하여 다양한 현장에서 활용될 수 있도록 노력할 것이며, 이러한 결실로써 현재 코로나19와 같은 상황에서 경제적 피해와 사회심리적 피로가 따르는 장기간의 사회적 거리두기 대신 정상적인 일상을 누릴 수 있게 하는 안전한 사회를 희망해 본다.

RESEARCH
GROUP

10
파동에너지극한제어연구단

Center for Advanced Meta-Materials

01 연구단 9년사 433

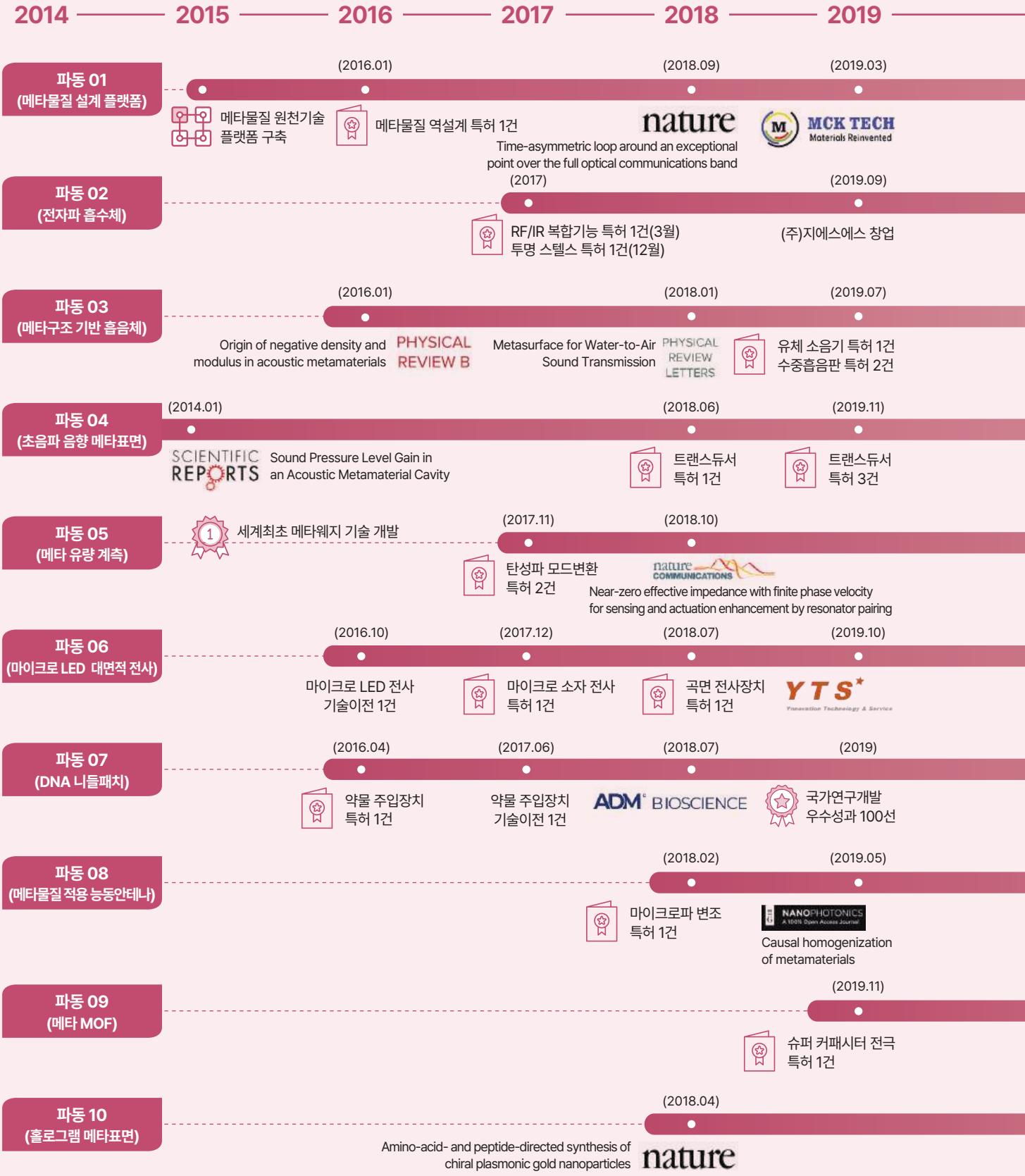
02 사업목표 441

03 연구성과 447

04 기술사업화 성공스토리 467

05 미래제언 473

대표 연구성과별 파이프라인



파동에너지극한제어연구단

2020

(2020.11)

AIT

(2020.09)

메타물질 흡수체
특허 4건

(2020.10)

JJNS

(2020.04)

초음파 투과장치 등
특허 2건

(2020)

국가연구개발
우수성과 100선

(2020.03)

Topology optimization design for total sound absorption in porous media

(2020.09)

에너지 저장 소자 등
특허 3건

(2020.08)

홀로그램 구현
특허 1건

2021

(2021.06)

nature REVIEWS MATERIALS
Engineered disorder in photonics

(2021.06)

전자기파 흡수체
특허 6건

(2021.01)

차음 구조체 등
특허 4건

(2021.02)

EXTREME MECHANICS LETTERS 논문발표 1건

(2021.07)

논문발표 1건

(2020.07)

신축기판
특허 3건

(2021.05)

ADM BIOSCIENCE
제품 출시

(2021.12)

가변구조 안테나
특허 1건

(2021.06)

NANO · MICRO small
Graphitic Carbon with MnO/Mn7C3 Prepared by Laser-Scribing of MOF for Versatile Supercapacitor Electrodes

(2021)

CHEMICAL REVIEWS
Metasurface-Driven Optically Variable Devices

2022

(2022.02)

국방응용
R&D 1건

(2022)

초음파 전달 구조체
기술이전 1건

(2022.09)

(주)메타투피플 창업

(2022.02)

Exp ikx

2023

(2023.02)

nature physics
Unidirectional scattering with spatial homogeneity using correlated photonic time disorder

(2023.02)

materials 논문발표 1건

(2023.08)

초음파 전달 구조체
기술이전 2건

(2023.03)

Anomalous mode-converting reflection of elastic waves using strip-type metagratings

(2023.03)

Fullcolor microLED display with photopatternable and highly ambientstable perovskite quantum dot/siloxane composite as color conversion layers

SCIENTIFIC REPORTS

(2023)

ADM BIOSCIENCE
누적 투자유치 45억

(2023.03)

NANOPHOTONICS A 100% Open Access Journal
논문발표 1건

(2023.03)

삼성전자, LG 디스플레이
등과 렌즈 상용화 논의

(2023.03)

nature materials
논문발표 1건

2023 ~

(2023)

LIG넥스원
공동연구센터 설립
(6월)
국방응용 R&D 3건

(2023)

투자유치 1억
TIPS 선정

지속적인
연구개발 중

한눈으로 보는 파동에너지극한제어연구단의 9년

비전

파동에너지 극한제어 기반 신산업 창출

전략 목표

전자기/역학 파동에너지 극한제어 **원천기술 개발 및 플랫폼 구축**
파동에너지 극한제어기반 **극한물성시스템 융합기술 실용화**

→ 초연결 정보사회, 안심·건강사회, 친환경 미래에너지, 차세대 국방 응용 기술

성과 목표

플랫폼 구축

· 메타물질 공학설계 통합 플랫폼 구축
(연간 DB ≧ 5천건)

· 극한물성 제조플랫폼 구축
- 제조 크기 별 : Å~cm 급 단위체 구현
- 대면적 저가 제조 플랫폼

융합·실용화기술개발

[초연결 정보사회]
- 신축성 micro-LED 패널
(10 인치, 신축성 30%, 50 PPI)
- 자율수행 자동차용 거리센서 개발(8m 급)

[안심·건강사회]
- 초음파 가진 DNA 니들 패치
(약물 전달율 기존 대비 ≧ 300%)

[친환경미래에너지]
- 스마트 윈도우(Tlum x △TIR 3,600)

[차세대 국방]
- 유연 메타표면 마이크로파 다중 공진 흡수체 개발
(C-band & X-band & Ku-band)
- 수중음향 스텔스 기술 개발
(유체소음기 : 체적 50%↓, 삽입손실 20 dB @유속 2 m/s)

세부연구 목표

목표1	목표2	목표3	목표4	목표5	목표6
통합 메타물질 공학설계 플랫폼	극한물성 제조 플랫폼 기술	초연결 정보사회 응용기술	안심·건강사회 응용기술	친환경 미래에너지 응용기술	차세대 국방 응용기술

정량적 연구성과

(단위: 건)

논문건수			특허					
SCI	비 SCI	합계	출원			등록		
			국내	국외	계	국내	국외	계
937	25	962	521	266	787	326	70	396

학위배출				국제 협력		기술사업화		
박사	석사	학사	계	MOU	공동연구 논문	기술이전		창업
						건수	기술료(백만원)	
76	59	1	136	6	221	36	3,203	8

01 연구단 9년사

1. 설립배경

우리는 전자기 파동과 역학 파동이 형상화된 세상에 살고 있다. 영상, 통신, X-Ray, 우주선 관측 등의 전자기 파동과 지진, 파도, 층간소음, 충격 흡수, 단열/방열 등의 역학 파동에서 파생된 고도의 과학기술의 산물들은 파동과 매질의 상호작용에 대한 이해와 제어로부터 탄생하였다.

그러나 파동기술의 눈부신 발전은 최근 기술적 임계점에 다다랐다. 끝없이 가파르게 증가하는 사회적/기술적 요구에 비해 주어진 매질로 개선할 수 있는 성능의 최고치는 이론적인 한계에 부딪혔다. 따라서 매질 고유의 한계를 극복하여 비약적인 성능 향상을 실현 할 수 있는 극한물성시스템이 필요하다. 극한물성시스템의 놀라운 가능성을 예측한 선진국은 이미 발빠르게 움직이고 있다. 미국과 EU는 2000년대 초부터 대형 연구단들을 구성하여 장기 프로젝트를 진행중이고, 중국은 정부의 전폭적인 지원 아래 최근 광치연구소를 설립하여 연구를 수행중이다. 파동에너지극한제어연구단은 극한물성시스템의 구현을 위한 전자기/역학 파동에너지 제어 원천기술을 개발하고 소재/소자/시스템 플랫폼을 구축하며, 미래융합기술 개발에 혁신적 돌파구를 제공하기 위하여 설립되었다.

가. 기술적 측면

전 세계적으로 파동에너지 제어기술의 원천연구 및 파동에너지 제어 기반 극한물성시스템의 설계/제조/측정 평가가 일원화된 통합연구가 부재한 상황에서 본 연구단의 다학제간 융합연구 및 산·학·연의 융합연구를 통해 파동에너지 제어 원천기술을 개발하고 이를 이용한 극한물성시스템을 구현함으로써 핵심원천기술 플랫폼 구축 및 복합 극한물성 분야 글로벌 리더로 부상하고자 한다. 전자기파에 국한된 파동에너지 제어기술뿐만 아니라 역학 메타물질까지 범위를 확장하여 연구를 수행함으로써 복합 극한물성에 대한 창의적인 원천기술 및 이를 응용한 극한물성시스템을 실용화할 수 있는 기반인 EDPM 시스템(정립된 결과를 데이터베이스로 축적하고 활용하여 지속적으로 메타기술과 관련된 기술 재창출)을 마련하여 새로운 지식기반 시장의 한 축을 이루어 국제적인 연구흐름을 주도할 것으로 예상된다.

나. 경제적·산업적 측면

메타물질을 이용한 기술은 과학기술의 신혁명을 불러일으키고 있으며, 타 분야의 기반기술로서 획기적이고 창의적인 신성장 동력을 창출하는 기술이다. 극한물성시스템은 미래기술의 새로운 패러다임으로서 다양한 분야에 응용될 수 있는 원천기술로, 반도체, 무선, 이미징, 디스플레이, 센서, 의료, 우주산업, 국방산업 등 다양한 산업분야에 적용되어 획기적인 혁신 제품 및 서비스를 창출할 수 있다. 또한 전자기시스템, 기계시스템, 의료기기 성능을 획기적으로 제고할 수 있으며, 클로킹(cloaking), 스텔스와 같은 인간의 상상력을 뛰어넘는 기술개발로 운송, 주거, 국방, 재해방지 시스템 혁신을 이끌어 낼 수 있는 등 연구개발과 산업 응용과정에서 다양한 부가 산업이 창출될 것이며, 공정 및 계측 장비산업과 같은 인접 산업에 미치는 영향 또한 클 것으로 기대된다.

다. 사회적 측면

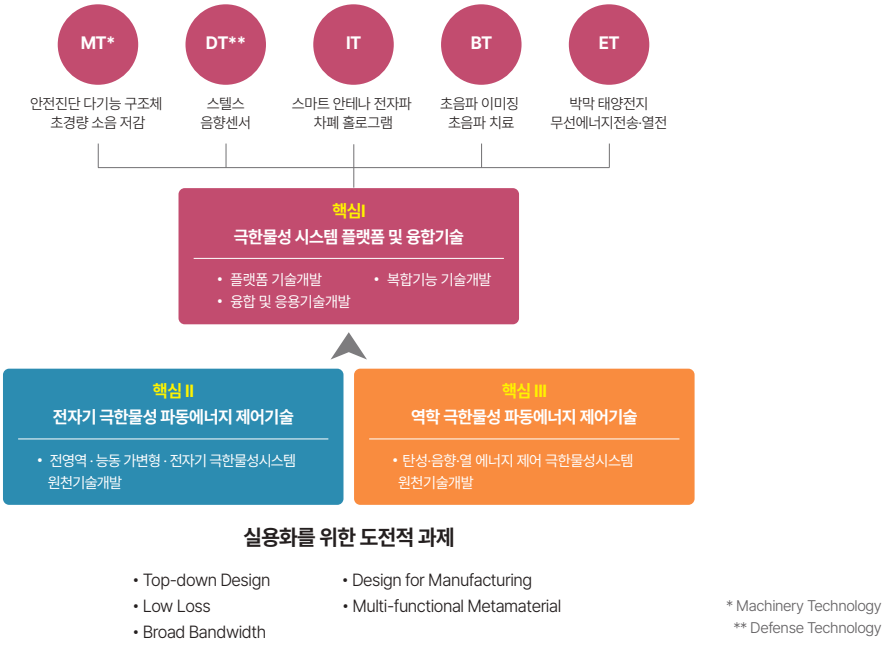
파동에너지 제어기반 극한물성시스템은 현재는 물론 미래사회에서의 이슈에 대응할 수 있는 제품을 생산하여 국민행복을 실현할 수 있다. 고령화 사회에서의 퇴행성 질환 진단·치료 및 항노화 욕구를 충족시키기 위해 초고해상도 이미징, 홀로그램 디스플레이, 다기능 센싱 등이 가능한 의료기기를 개발·보급하여 건강한 사회를 실현하고, 세계 의료시장의 선도국가로 부상할 수 있다. 또한 고성능 단열재를 비롯한 각종 환경친화형 에너지 소재 개발을 통해 국가 전반에 걸친 에너지 효율성을 높이고 낭비를 절감함으로써 저소비 친환경 국가를 실현하여 지속가능한 사회를 구현할 수 있다.

2. 사업추진체계

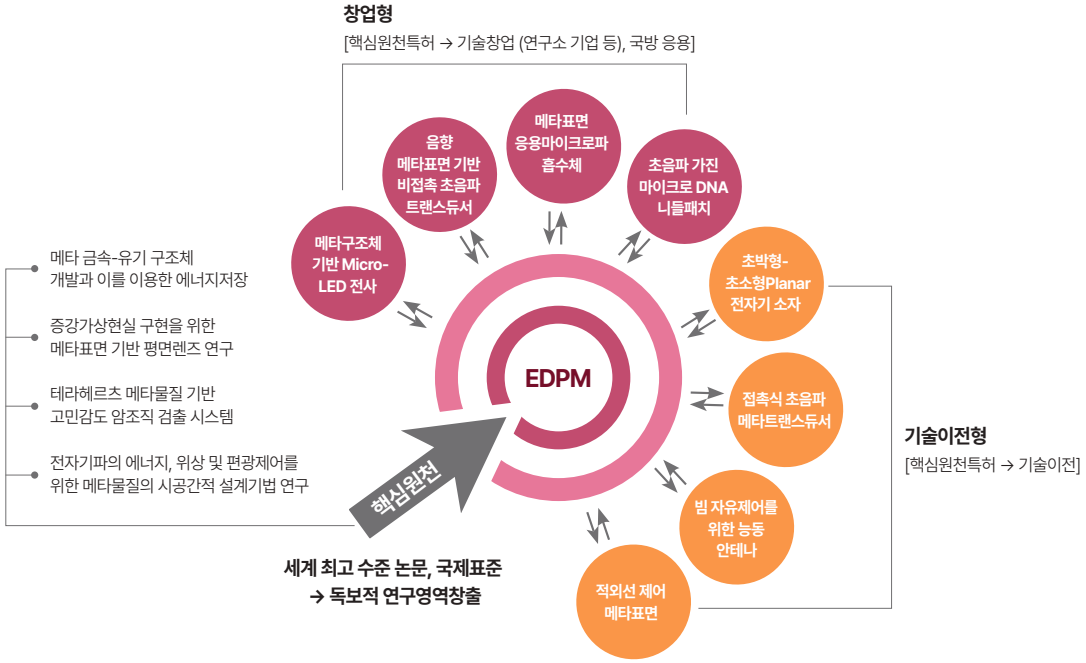
가. 사업추진체계 및 전략

파동에너지극한제어연구단은 전자기/역학 파동에너지 극한제어 원천기술 개발 및 플랫폼 구축과 파동에너지 극한제어기반 극한물성 시스템 융합기술 실용화를 목표로, 3단계에서는 1,2단계를 통해 확보된 핵심 원천기술이 융합·실용화하는 기능을 강화하고자 하였다.

1·2단계 사업추진 체계



3단계 사업추진 체계



핵심과제1(메타물질 DB, 공학설계 플랫폼 구축 및 응용)은 원천기술, 핵심과제2(창업형 극한물성 시스템 개발) 및 핵심과제3(기술이전형 극한물성 핵심기술 개발)은 응용연구와 관련한 시제품 제작 및 성능평가 데이터를 EDPM에 공급함으로써 EDPM을 중심으로 해석, 설계, 평가 등이 상호 지원하는 시스템을 구축하여 과제 연계전략을 수립하였다.

3. 사업추진현황

가. 연구개발비 투입 현황

총 연구비 약 817.46억 원을 과학기술정보통신부와 민간으로부터 지원되어 연구를 수행하였다.

(단위: 백만 원)

연도	연구개발비			총계
	정부	민간		
		현금	현물	
2014	5,000	-	-	5,000
2015	8,330	-	-	8,330
2016	8,330	-	-	8,330
2017	8,197	-	-	8,197
2018	7,727	-	-	7,727
2019	8,090	-	-	8,090
2020	9,270	-	-	9,270
2021	10,000	-	-	10,000
2022	10,000	6	49	10,055
2023	6,666	8	72	6,746
합계	**81,611**	**14**	**121**	**81,746**

나. 참여기관 현황

1단계 22개, 2단계 23개, 3단계 25개 기관이 연구에 참여하여, 단계별 연구과제 증가를 통한 연구개발 및 실용화에 노력을 기울였으며, 참여기관은 학계의 참여가 가장 높았다.

구분		산	학	연	합계
1단계	세부	-	5	6	11
	위탁	-	8	3	11
	합계	**-**	**13**	**9**	**22**
2단계	세부	-	5	6	11
	위탁	-	7	5	12
	합계	**-**	**12**	**11**	**23**
3단계	세부	-	5	4	9
	위탁	-	10	2	12
	공동	4	-	-	4
	합계	**4**	**15**	**6**	**25**

다. 참여 연구인력 현황

연구단 참여연구원은 총 928명이었으며, 산학연별로는 학계의 참여도가 총 635명으로 가장 높았고, 학위별로는 학사 참여도가 가장 높았다.

산학연 구분

구분	1단계	2단계	3단계	합계
산업계	-	-	14	14
학계	218	252	165	635
연구계	85	109	85	279
계	**303**	**361**	**264**	**928**

학위별 구분

구분	1단계	2단계	3단계	합계
박사	116	125	97	338
석사	60	68	54	182
학사	127	168	113	408
계	**303**	**361**	**264**	**928**

4. 사업 및 성과 관리

글로벌프런티어사업 4G 철학과 연구단 추진전략에 기반하여 사업추진 전략 수립

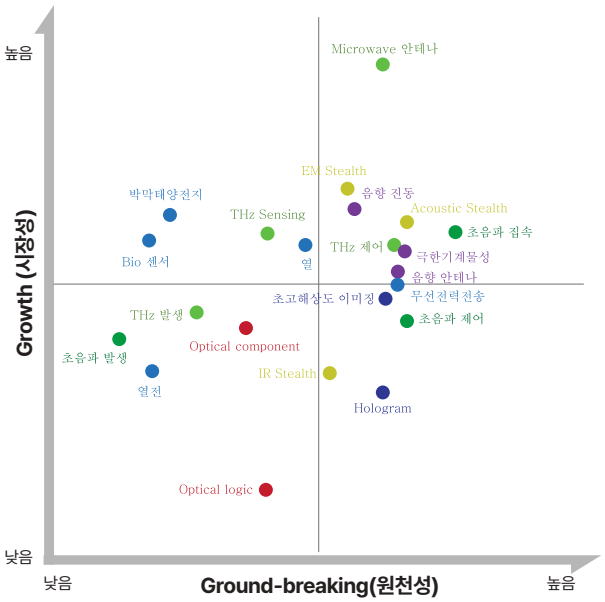
4G 철학 / 추진전략	Ground Breaking 기존기술 한계돌파 혁신적 기술 개발	Growth & Sustainability 원천기술 확보미래 성장동력 확보	Group Approach 집단 융합연구 및 네트워크 구축	Global 세계적 수준의 과학기술 톱브랜드
수요기반 목표설정	· 수요기반 단계 기획 · 세부기술목표별 성과목표 설정 · 핵심원천기술 플랫폼 · 무빙타겟	· 기술사업화로드맵		· 시장,정책,기술 동향 분석 · 기술개발 추이도
실용화난제극복 · 융합연구	· 메타물질 실용화 난제 극복 · 분기별 성과목표 모니터링	· 수요기반 원천기술 개발 전주기 관리	· 융합 연구(과제간, 연구단간) · 워크숍(전체/총괄/세부과제) 연구책임자 회의	
인프라 및 거점 구축	· 메타물질 공학설계 플랫폼 (EDPM)	· 수요기업(기관) 교류 · 공동연구센터 설립	· 플랫폼 구축 (해석·설계/ 제조/ 측정·평가)	· 국제협력 네트워크
응용 및 성과확산		· 수요기업(기관)협의회 · 기술사업화 (IP전략, BM설계, 마케팅, 창업) · 메타물질 고도화 및 응용개발 · 기타성과 및 홍보 · 지속가능 전략	· 실용화 시범 과제 (Killer Application, 기업 컨소시엄)	

가. 과제기획

2단계 기획

세부과제별 1단계 연구성과 및 기술제안서를 바탕으로 2단계 주요 응용분야 도출

< 응용 분야별 원천성과 시장성 검토 >



Stealth
- IR Stealth
- EM Stealth
- Acoustic Stealth

THz/ Microwave
- THz/ Microwave
- THz 제어
- THz Sensing
- Microwave 안테나

Mechanical
- 극한 기계물성 경량구조체
- 음향 진동제어
- 음향 안테나

Optical Component
- Optical Components

초음파 응용
- 초음파 집속 및 이미징
- 초음파 제어

Imaging/Display
- 초고해상도 이미징
- Hologram

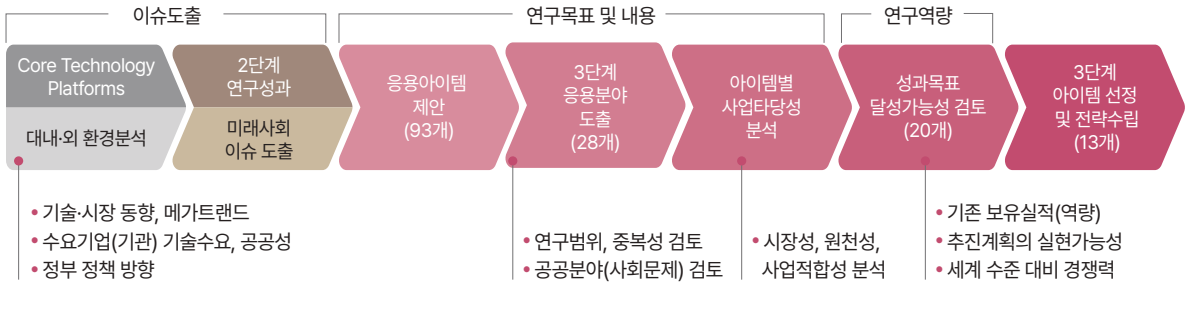
Energy
- 박막 태양전지
- 열전 소재
- 단열, 냉각, 열교환
- 무선 전력 전송

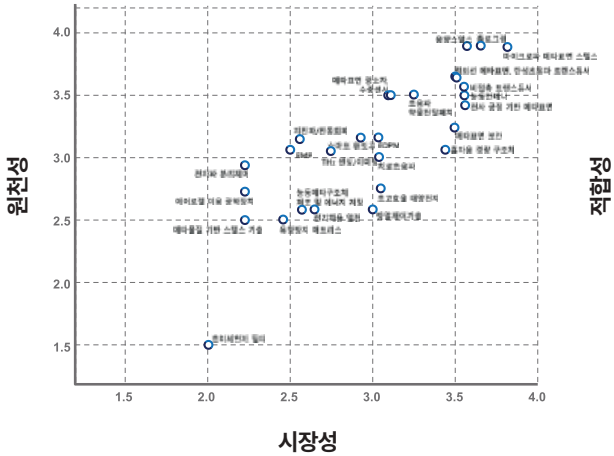
< 2단계 기획 추진체계 >

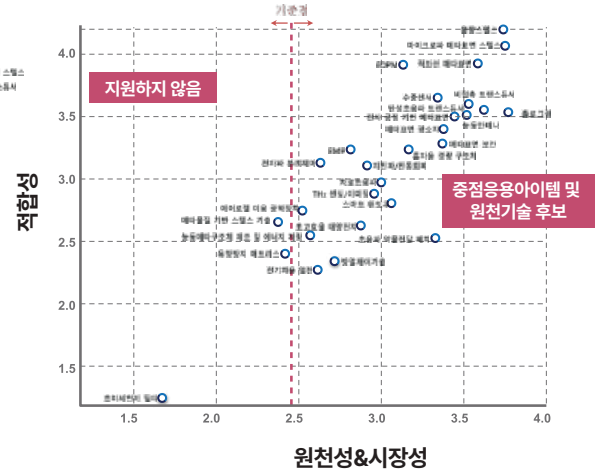


3단계 기획

이슈도출, 연구목표 및 내용, 연구역량 분석 등 3단계 기획을 추진하여 3단계 응용아이템 도출





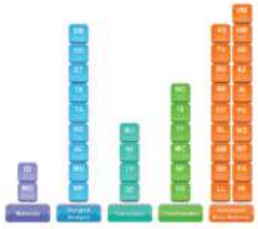


연구단 지속가능 전략 기획

자문위원회 및 3개 분과(IP 분석 및 활용, 보유기술 사업화, 국방응용)를 구성하여 기획을 추진한 결과, 연구데이터 플랫폼과 특허분석 플랫폼을 통해 보유기술을 응용으로 연계하거나 사업화하는 체계를 마련

지속가능전략 자문위원회 (22회)

특허 전략 전문위원회 (36회)	국방전략 전문위원회 (23회)	보유기술 사업화 분과 (6회)
보유특허 분석 및 전략 수립 특허 빅데이터 분석	**국방 R&D 참여방안 소요제기 및 과제 제안**	**우수 창업아이템 발굴 기획형 창업 및 육성**
· 특허분석 플랫폼(IPMS) 구축 (빅데이터 기반 후보기업 발굴) · 특허현황 분석 기반 응용제품 프레임 및 메타 초음파 아이템 성능 비교 · 중점기술(마이크로 LED) 전략 설계 등 - NED(Near-eye Display) 특허 전략 및 연구개발 방향 - AR/VR용 핵심특허 확보 및 경쟁제품 특허 분석	· 국방 획득 체계와 국방 연구개발 혁신 참여 전략 수립 - 국방전략기술 연계 등 · 국방 적용 가능 기술 기획 등 · 국방 특화센터/연구실 추진전략 검토	· IP 기반 사업화 전략 검토(신기술 창업 전문사 설립, IP 홀딩스 운영) · 기획형 창업 전략 수립 등 <기획> - 주제 : 메타물질 원천기술 실용화 - 기간 : 2023.05~08 - 주요내용 · 메타물질 관련 대내·외 환경분석 · 중장기 전략 세부 추진방안



메타구조체 핵심원천기술

- 무통증 패치
- Micro LED
- 유연 RF Stealth
- Acoustic Stealth
- 초음파 거리센서
- Flat Optics
- 초음파 안전진단
- 빔 자유제어 메타 안테나
- THz 암 조직 검출
- AR/VR 용 메타렌즈
- MOF 응용 에너지 저장

응용

EDPM
(메타구조체 공학설계 플랫폼)

연구데이터 축적 및 활용

CAMM-IPMS
(연구단 특허분석 플랫폼)

핵심특허 분석 및 활용

CAMM 홀딩스
(IP Business)

원천기술의
산업응용/개발 과제

원천기술의
국방응용/체계개발 과제

창업·기술이전전략수립 및 실행

시장수요
(산업·국방)

LIG 넥스원 · HYUNDAI · 삼영이엔씨 · 현대중공업 · 국방과학연구소 Agency for Defense Development · EOST · SENSORTEC · (주)토핀스-TOPINS · NSV · (주)경인테크 · 엔스코(주)

나. 과제관리/평가 전략

과제간 공동 목표 설정 및 융합연구 추진

과제간 연계/융합기능 강화하기 위해 과제별 세부연구목표에 공동연구 추진사항을 기재하도록 하고, 이를 달성하는 경우, 평가 시 가중치 부여하여 관리

전자기파, 역학파 이종학제가 융합하여 복합기능을 가진 극한물성시스템을 설계·제작하는 것은 세계적으로도 우리 연구단의 강점인 바, 복합기능에 대한 수요 조사 및 연구팀 간 융합연구 방안을 지속적으로 강구

현장방문점검 실시

과제별 현장방문 점검으로 연구개발 현황을 점검하고, 추진 상의 애로사항을 점검하여 해결 방안을 모색

현장방문 점검 시 지적된 사항에 대한 조치결과를 자체평가 시 재검토

중점응용아이템에 대한 마일스톤 관리

매 단계별 달성해야 하는 목표를 설정하고, 개발 과제별로 별도 관리할 수 있도록 점검계획 수립

응용 예상 분야의 개발요구 사항을 확인하여 이를 달성하였는지에 중점을 두고 목표 관리

엄격한 연차/단계평가 실시

세부과제별 사업화 전략 및 목표 달성도를 면밀하게 분석하고, 그 결과에 따라 과제 유형을 변경(핵심원천기술↔중점응용)하여 지원 예정

다. 성과관리

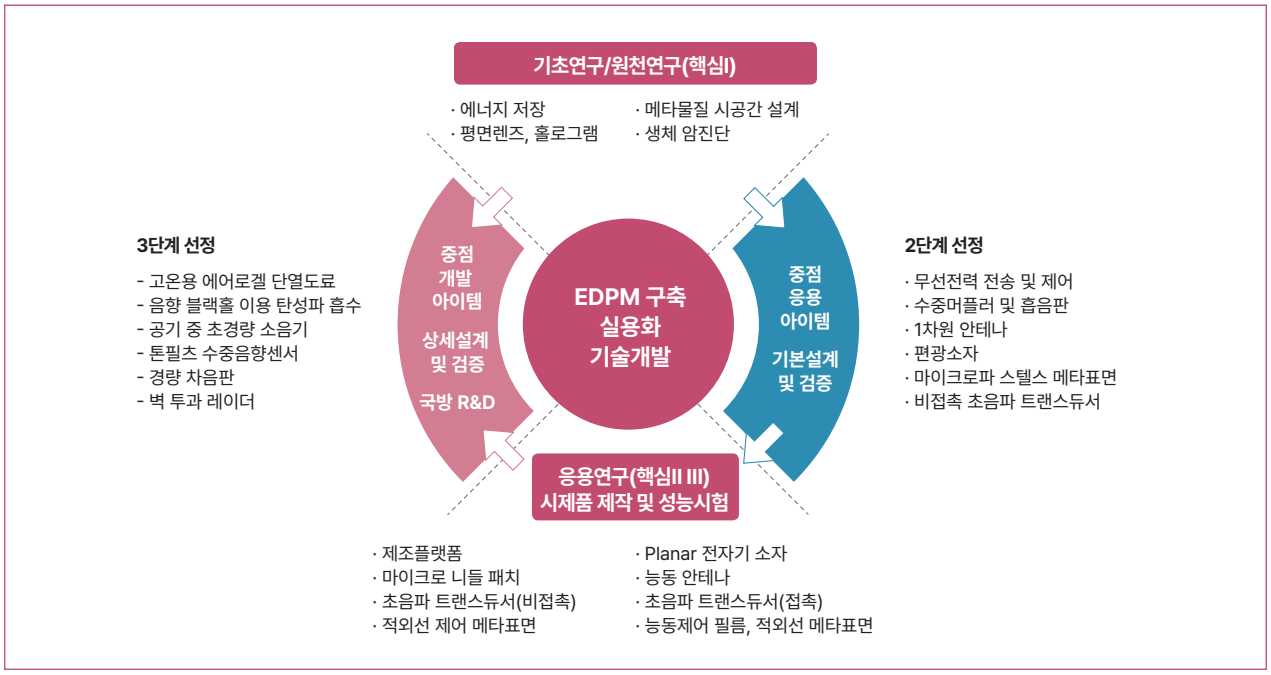
수요기반 성과목표 설정

응용 예상분야 전문가 중심으로 수요기업(기관)협의회를 구성하여, 잠재 수요기업(기관)의 요구를 파악하여 기술이전-사업화 성공률 제고(총 7회 개최, 참석인원 누적 576명, 참여기업 185개사, 소개기술 186건)

국방과학연구소, 국방고등기술원 등 방위사업 관련 전문가 그룹과 정기적으로 교류하여 개발기술의 국방응용 가능성을 지속적으로 검토(국방응용 협의: 110회(기업 82회, 국방관련기관 28회))

중점 개발(Killer Application) 과제 선정·지원

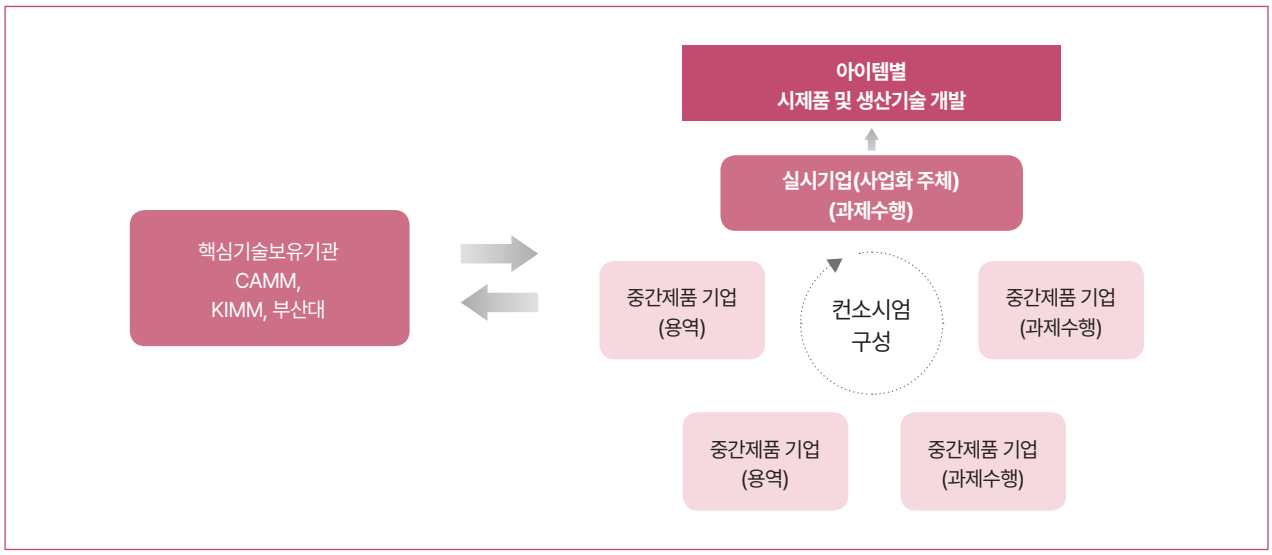
연구단 각 핵심과제에서 진행 중인 기초/원천, 응용 연구 중 개발연구로 집중하여 조기 사업화 가능한 아이템을 '중점 개발(Killer Application) 과제'로 선정하여, 연구단 주도로 추진



메타구조체 사업화 컨소시엄 과제 수행

글로벌프런티어사업으로 확보한 메타물질 핵심원천기술을 기업과 협력하여 시제품을 개발함으로써 메타물질 분야 신시장 창출 및 시장 생태계 조성을 목적

메타구조체 분야 제품 생산(양산)에 필요한 핵심원천기술 Scale-up 및 시제품 개발 지원



특허전담관

한국특허전략원으로부터 특허전담관을 지정(기간 1년, 이후 지속 연장 요청)받아 유망기술 발굴, IP 포트폴리오 설계, 특허 고도화, 사업화 전략 수립 등 전략을 수립하여 보유성과의 효과적 사업화 기반 마련



02 사업목표

1. 최종목표

가. 최종목표

파동에너지극한제어연구단은 '파동에너지 극한제어 기반 신산업 창출'이라는 비전을 달성하기 위해 극한물성시스템 구현을 위한 파동제어 원천기술을 개발하고 실용화하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 확보한 세계 최고수준의 전자기·역학분야 파동에너지 제어 원천기술과 극한물성시스템 플랫폼 기술의 실용화를 위하여 연구단은 '메타구조체 분야 강소형 전문 연구조직'으로 발돋움하고자 한다.

비전

파동에너지 극한제어 기반 신산업 창출

전략 목표

전자기/역학 파동에너지 극한제어 **원천기술 개발 및 플랫폼 구축**
파동에너지 극한제어기반 **극한물성시스템 융합기술 실용화**

→ 초연결 정보사회, 안심·건강사회, 친환경 미래에너지, 차세대 국방 응용 기술

추진 전략

실용화를 위한 도전적 과제 해결

Top-down Design	Low Loss	Broad Bandwidth	Design for Manufacturing	Multi-functional Metamaterials

나. 단계별 목표

연구단은 3단계의 연구기간 동안 원천기술 기반 구축, 플랫폼 체계화, 플랫폼 고도화 및 융합실용화까지 단계별 연구개발을 수행하였다. 세계 최고수준의 전자기·역학분야 파동에너지 극한제어 원천기술 개발 및 플랫폼 구축과 파동에너지 극한제어기반 극한물성시스템 융합기술 실용화를 목표로 1단계에서 확보한 핵심 원천기술을 2단계에서 융합 연구개발을 수행하여, 3단계에서 성과 활용 및 확산을 통한 실용화를 하고자 하였다.

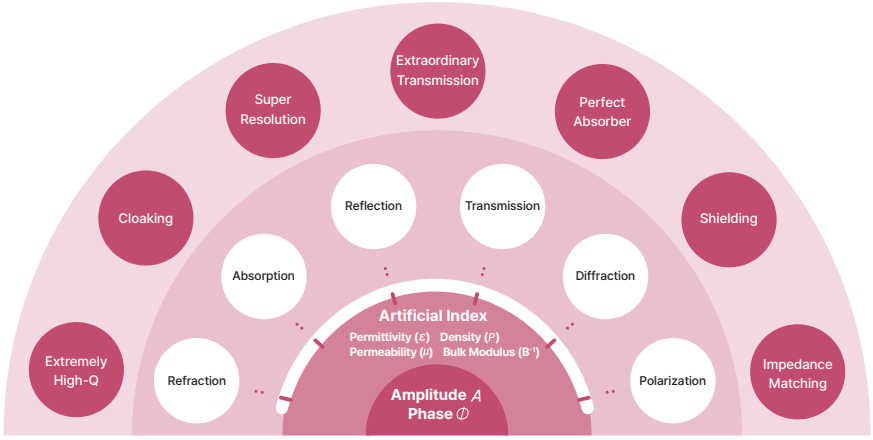
1단계. 원천기술 개발 ('14.09~'16.06)	2단계. 융합연구 ('16.07~'18.12)	3단계. 실용화 ('19~'23)
창의적 인공구조물 해석 및 설계	**전자기+역학 융합 복합 극한물성시스템**	**융합기술 실용화**
• 핵심원천기술플랫폼 구축 (설계·제조·측정평가) • 지재권 포트폴리오 구성(TBRM 기반)	• 핵심원천기술플랫폼 체계화 • 융합실용화 핵심기술개발 • 중점 응용과제 발굴 및 실용화	• 핵심원천기술플랫폼 고도화 • 융합실용화 핵심기술 고도화 • 중점 응용과제 실용화

2. 연구분야 및 개발내용

가. 연구범위

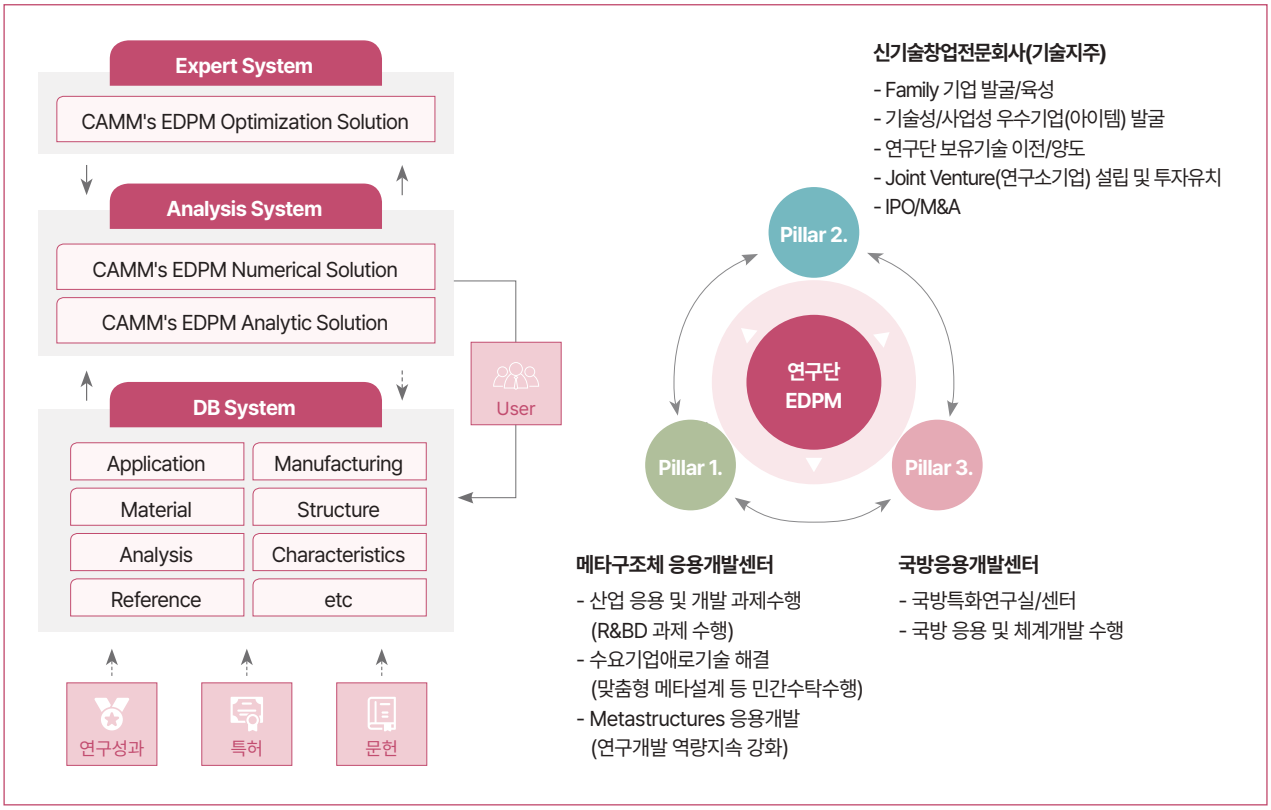
전파, 광파 등의 전자기파와 음파, 진동파, 역학파까지 다양한 스펙트럼의 파동에너지는 현대인의 생활에 많은 영향을 미치고 있으며 여러 기술이 혼재되어 발생하는 문제를 통제하기 위해서는 다양한 파동에너지를 제어하는 기술이 필수적이다.
파동에너지 제어는 매질과 상호작용의 결과인 물성과 기능을 이용하며, 수동적인 방법뿐 아니라 창의적이며 능동적으로 제어하는 연구의 필요성이 대두되고 있다.

[극한물성시스템을 이용한 파동 제어]



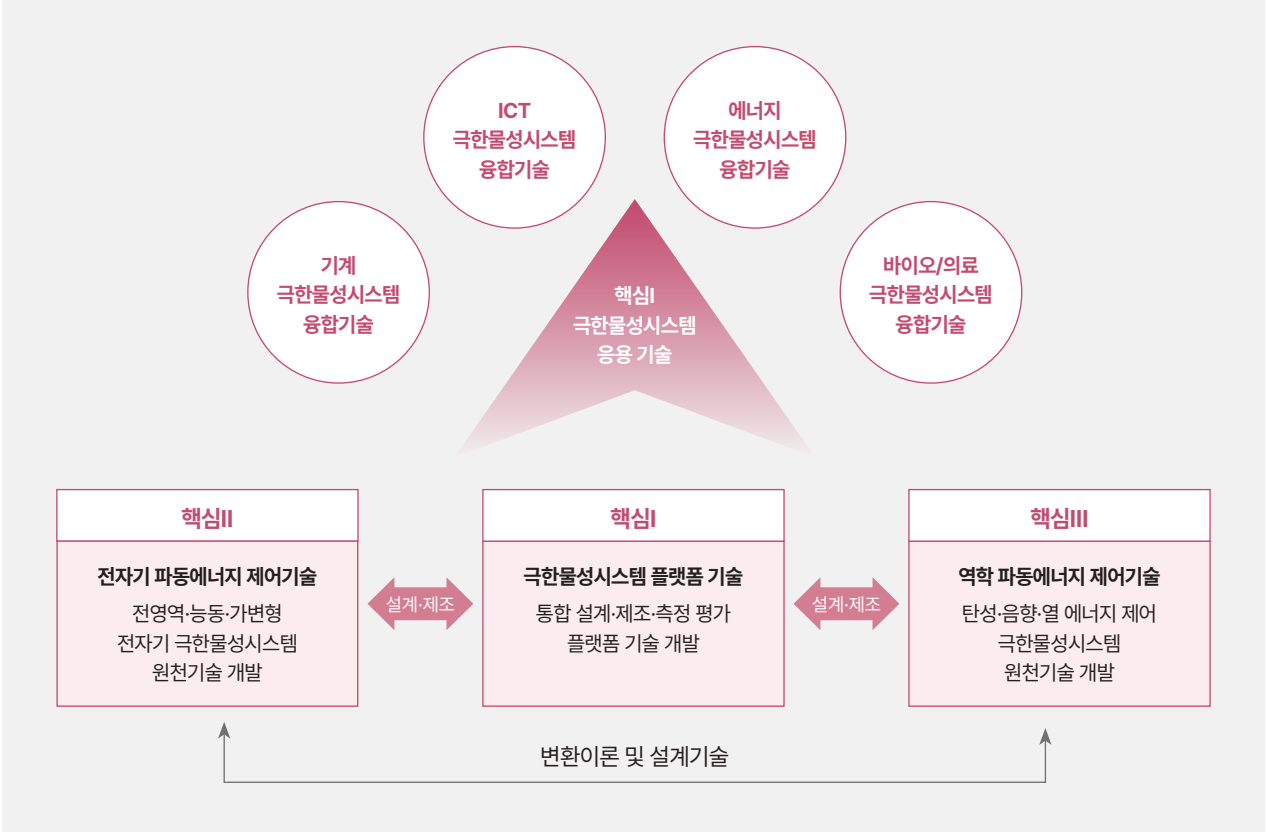
이에 연구단은 파동에너지 전 영역대를 목적 지향적으로 제어하는 원천 연구와 실용화 기술을 개발하고 연구데이터 축적·공유·활용 플랫폼인 EDPM을 구축하여 연구단 지속 가능 모델을 확립하고자 한다.

연구데이터 축적 · 공유 · 활용 EDPM 플랫폼 개념도 / 플랫폼 활용 지속 가능 전략 개발



나. 핵심 과제별 연구분야 및 내용

1~2단계



핵심과제 1 : 극한물성시스템 플랫폼 및 융합기술

핵심과제 1은 극한물성시스템을 구현하기 위한 대량/대면적 제조, 해석설계/측정평가 플랫폼 기술을 개발하고 이를 이용하여 기계· ICT· 에너지· 바이오/의료 분야와 핵심 과제 2, 3에서 개발될 극한물성시스템을 융합하는 핵심기술을 개발하고 실용적인 응용 제품을 구현했다.

· 세부 1-1: 복합기능 극한물성시스템 융합기술 (연구단/이학주)
· 세부 1-2: 극한물성시스템 기계 융합기술 (KIMM/김재현)
· 세부 1-3: 파동에너지 제어 ICT 극한 물성시스템 융합기술 (ETRI/홍성훈)
· 세부 1-4: 극한물성 이용 웨어러블 소자 에너지 플랫폼 원천기술 개발 (KIER/윤재호)
· 세부 1-5: 극한물성 이용 열전소자기술 개발 (KIMS/김경태)
· 세부 1-6: 극한물성 기반 의료 융합 측정 기술 개발 (KRISS/김세화)
· 세부 1-7: 극한물성 수송 및 전달 특성 제어 (이화여대/우정원)
· 세부 1-8: 극한물성시스템 제조 플랫폼기술 (KIMM/정준호)

핵심과제 2 : 전자기 극한물성 구조체 기술

핵심과제 2은 전자기 파동에너지 제어기술에 대한 신개념 이론과 단위 시스템 원천기술을 연구하였다. 응용 범위 확대를 위한 6T 융합기술을 개발하여 극한물성을 전영역(물성값 영역, 적용파장 대역, 비등방 영역, 저차원 영역 등)으로 확장하고 전자기파 극한 제어용 인공구조물 설계 기술, 능동 제어 기술, 신시장 창출용 혁신적 응용기술 탐색 연구를 수행하였다.

· 세부 2-1: 전자기 극한물성 구조체 기술 (서울대/박남규)
· 세부 2-2: 전자기 극한물성 능동제어 기술 (KAIST/민범기)
· 세부 2-3: 전자기 파동에너지 극한제어 기술 (고려대/박규환)

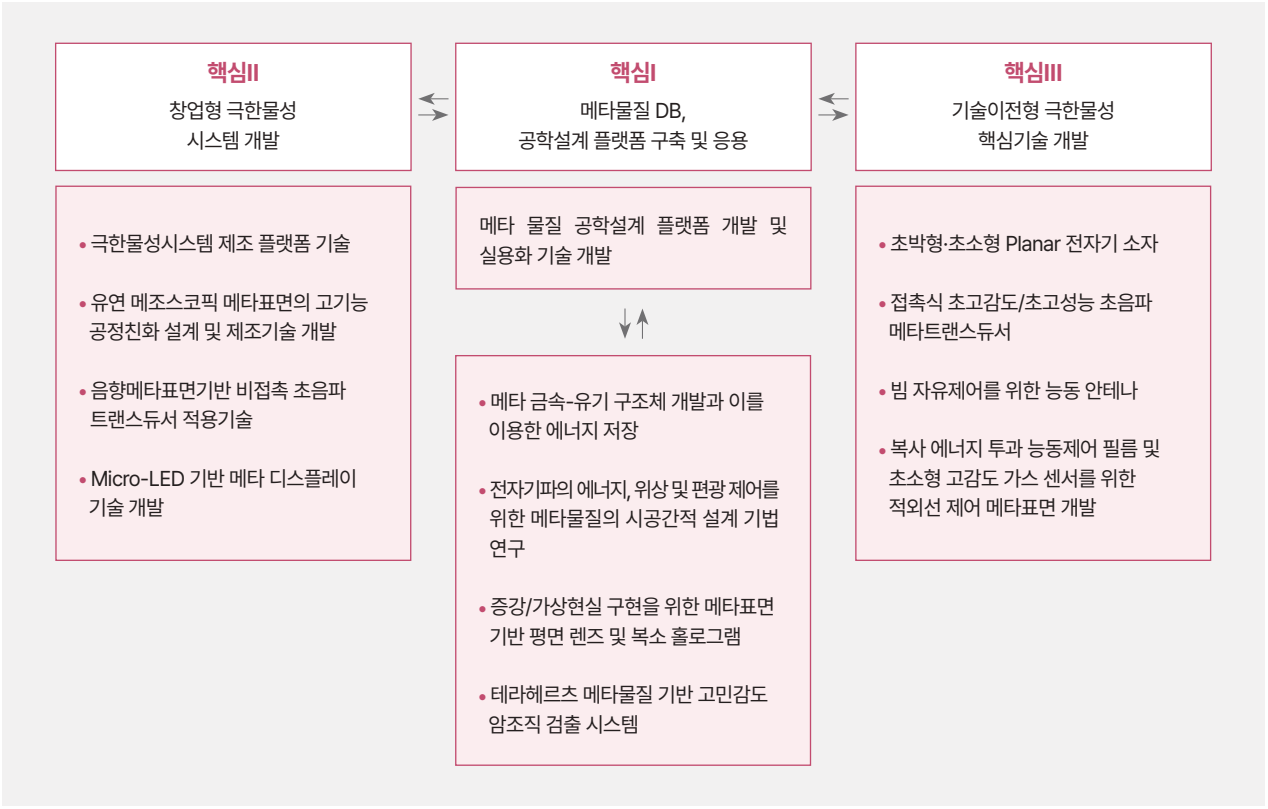
핵심과제 3 : 역학 극한물성 파동에너지 제어 기술

핵심과제 3은 역학 파동에너지 제어기술에 대한 신개념 이론과 단위 시스템 원천기술을 연구하고, 응용 범위 확대를 위한 능동형 극한물성 소재 및 6T 융합기술을 개발하였다. 역학파(탄성, 음향, 열, 준정적 역학) 극한 제어용 인공구조물 설계 기술, 신기술 개발 및 혁신적 응용기술 탐색 연구를 수행하고 역학 파동에너지의 능동제어를 통해 음향 스텔스, 단열재, 초박막 층간소음 차단재, 초음파 진단장비 등 응용기술을 구현하였다.

· 세부 3-1: 탄성 극한물성 시스템 연구 (서울대/김윤영)
· 세부 3-2: 음향 극한물성 시스템 연구 (연세대/이삼현)
· 세부 3-3: 열 극한물성 시스템 연구 (연세대/조형희)



3단계



핵심과제 1 : 메타물질 DB, 공학설계 플랫폼 구축 및 응용

· 세부 1-1: 메타물질 공학설계 플랫폼 개발 및 실용화 기술 개발 (연구단/이학주)
· 세부 1-2: 메타 금속-유기 구조체 개발과 이를 이용한 에너지 저장 (KIER/김현욱)
· 세부 1-3: 전자기파의 에너지, 위상 및 편광 제어를 위한 메타물질의 시공간적 설계 기법 연구 (KAIST/민범기)
· 세부 1-4: 증강/가상현실 구현을 위한 메타표면 기반 평면 렌즈 및 복소 홀로그램 (POSTECH/노준석)
· 세부 1-5: 테라헤르츠 메타물질 기반 고민감도 암조직 검출 시스템 (KIST/서민아)

핵심과제 2 : 창업형 극한물성 시스템 개발

· 세부 2-1: 극한물성시스템 제조 플랫폼 기술 (KIMM/정준호)
· 세부 2-2: 유연 메조스코픽 메타표면의 고기능 공정친화 설계 및 제조기술 개발 (KAIST/신종화)
· 세부 2-3: 음향메타표면기반 비접촉 초음파 트랜스듀서 적용 기술 (부산대/송경준)
· 세부 2-4: Micro-LED 기반 메타 디스플레이 기술 개발 (KIMM/김재현)

핵심과제 3 : 기술이전형 극한물성 시스템 개발

· 세부 3-1: 초박형-초소형 Planar 전자기 소자 (서울대/박남규)
· 세부 3-2: 접촉식 초고감도·초고성능 초음파 메타트랜스듀서 (서울대/김윤영)
· 세부 3-3: 빔 자유제어를 위한 능동 안테나 (고려대/박규환)
· 세부 3-4: 복사 에너지 투과 능동제어 필름 및 초소형 고감도 가스 센서를 위한 적외선 제어 메타표면 개발 (KIMM/정주연)

다. 단계별 연구내용

1단계 ('14.09~'16.06)	2단계 ('16.07~'18.12)	3단계 ('19.01~'23.08)
원천기술 기반 구축 • 전자기/역학 파동에너지 극한제어 원천기술 기반확보	**핵심원천기술 플랫폼 체계화** • 수치해석 플랫폼 구축 (해석 속도 50배 향상) • 극한물성시스템 제조스케일 확장 (파장대비 제조스케일 200,000배, 3D 나노구조물 최소선폭 ≤ 30 nm) • 광방출/광산란 먼장 측정 (광 측정 정밀도 < 10 pW) • 전자기파 (흡수율 90% ≥, 대역폭 2 GHz) • 역학파(음향감도 20 dB 증폭(공기), 모드 변환율 80%) • 복합 극한물성 구현 기술 (4종 계층화 구조체 응용)	**플랫폼 구축 고도화** • 메타물질 공학설계 통합 플랫폼 구축 (연간 DB ≧ 5천건) • 극한 물성 제조 플랫폼 구축 - 제조 크기 별 :Å ~ cm 급 단위체 구현 - 대면적· 저가 제조 플랫폼
제조 플랫폼 기반 구축 • 파장대비 제조스케일 1,000배 (3D 나노구조물 최소선폭 ≤ 50 nm)		
융합 기반 기술 개발 • 기계 융합 기반 기술(음향방진 3배 향상, 스텔스 2배 향상) • ICT 융합 기반 기술(스마트 안테나 소비전력 및 사이즈 10배 감소) • 에너지 융합 기반 기술 (열전소자 ZT > 1.8) • 바이오·의료 융합 기반 기술 (치료 이미징 성능지수 5배 향상)	**융합·실용화 핵심기술 개발** • 기계 융합 핵심기술(흡음률 ≥ 0.8, 차음성능 ≥ 20 dB) • 스텔스 방사 신호세기 1/5로 감소) • ICT 융합 핵심기술(안테나 소비전력 및 사이즈 50배 감소 (6 dBi), 무선전력전송 전달 거리 5 m) • 에너지 융합 핵심기술(광변환효율 7%, 흡수율 95%, ZT ≥ 2.2) • 바이오·의료 융합 핵심기술(이미징 성능지수 40배 향상, λ/5급 근접장 집속 및 실시간 CASS 이미징)	**융합·실용화 기술 고도화** • 초연결 정보사회 - 차세대 디스플레이용 신축성 micro-LED 패널 (10 인치급, 신축성 30%, 50 PPI급) - 자율수행 자동차용 거리센서 개발 (8 m급) • 안심·건강사회 - 초음파 가진 DNA 니들 패치 개발 (약물 전달률 기존 대비 ≧ 300%) • 차세대 국방응용 기술 개발 - 유연 메타표면 마이크로파 다중 공진 흡수체 개발 (C-band & X-band & Ku-band) - 수중 음향 스텔스 기술 개발 (초소형 메타구조 유체소음기: 체적 50% 감소, 유속 2 m/s에서 삽입손실 20 dB) (초박형 대면적 수중흡음판: 규격 300 * 300 * 10 mm, 반향음 감소 12 dB)

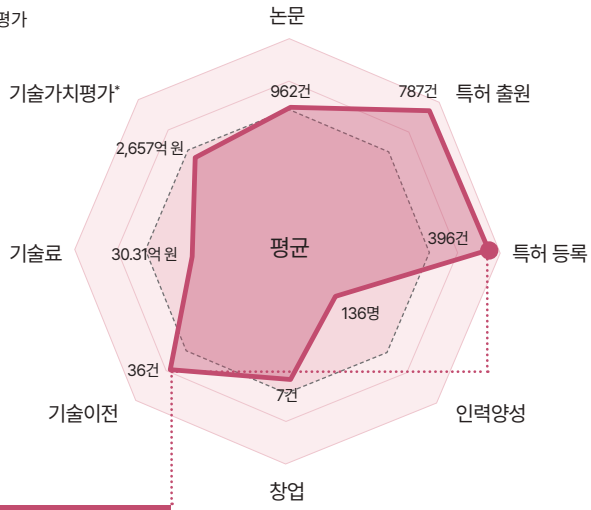
03 연구성과

1. 총론

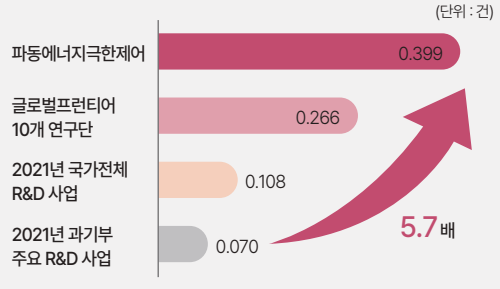
'해리포터의 투명망토'로 잘 알려진 메타물질은 자연계에 없는 물질로, 빛, 전자파, 음파 등의 파동보다 작은 인공구조를 주기적으로 배치해 빛과 물질의 상호작용을 제어할 수 있다. 이를 통해 상상 속에서 가능했던 현상이나 특성을 얻을 수 있다. 투명망토부터 스텔스기, 고해상도 홀로그램, 고성능 렌즈 등의 개발로 이어질 수 있다. 통신, 로봇, 양자, 모빌리티, 에너지, 반도체 등 광범위한 활용이 기대된다.
메타물질 연구에 집중한 파동에너지극한제어연구단은 총 962편(SCI 논문 937편)의 논문을 발표하고 총 787건의 특허를 출원했으며 396건의 특허를 등록했다. 학위인력 136명이 이 사업을 통해 배출됐다. 특허의 기술가치평가 결과 총 2,656억 6,400만 원으로 평가됐으며 총 36건의 기술이전을 통해 32억 300만 원의 정액기술료 성과를 얻었다.
원천기술 연구는 8건의 창업으로 연결됐다. 인공지능을 활용해 역설계한 메타물질을 바탕으로 국방 분야에 쓸 수 있는 광대역 전자파 흡수체를 개발해 연구소기업 (주)지에스에스를 설립했다. 방산기업 및 국방부와 공동연구를 하고 있다. 연구단이 개발한 메타구조 기반 공기 중 흡음기술도 (주)제이제이엔에스라는 스타트업 창업으로 연결됐다.
KIMM 연구팀은 마이크로 LED 디스플레이 생산기술을 개발해 (주)루멘스, (주)와이티에스마이크로테크 등과 9건, 총 11억 원 규모의 기술이전 계약을 맺었다. 다른 연구팀은 나노마이크로 DNA 니들 패치기술을 개발해 에이디엠바이오사이언스(주)과 (주)메타투피플이 창업했다. (주)씨알에스큐브 등과 5건, 총 15억 4,000만 원의 기술이전 계약도 맺었다.

연구단 성과 특성 분석

※10개 연구단 성과 평균대비 비율
* 기술가치평가: 우수연구성과 6건에 대한 가치평가



연구비 1억 원당 특허등록 성과

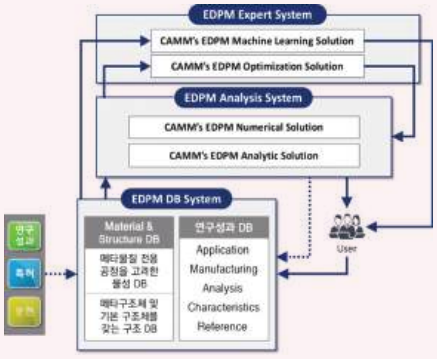


- 파동에너지극한제어 연구단은 특허 및 기술이전부분에서 우수한 성과를 보이는 것으로 분석
- 특히, 연구비 1억 원당 특허등록 건수는 약 0.399건으로 글로벌프런티어 10개 연구단의 종합 성과보다 약 1.5배, 2021년 국가 전체 R&D 사업 대비 약 3.7배, 2021년 과기부 주요 R&D 사업 대비 약 5.7배 높은 것으로 나타남
- 연구단의 등록특허 중 우수특허의 비율은 약 20%로 등록된 특허의 질적 성과도 우수한 것으로 분석

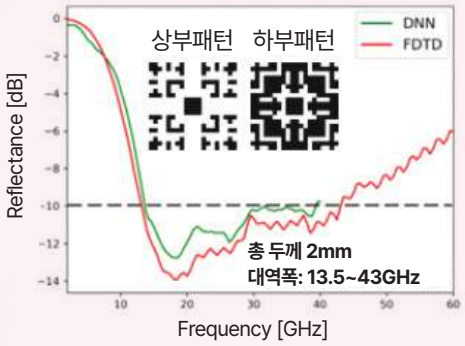
2. 대표 연구성과

파동 01

메타물질 공학설계 플랫폼 구축 ((재)파동에너지극한제어연구단 이학주)



[EDPM 구성도]



[EDPM 기반 메타표면 흡수체 설계안 도출]

- 메타 구조체 분야 DB, 해석·설계, 최적화를 통합한 메타물질 공학설계 플랫폼(Engineering Design Platform for Meta-structures, EDPM) 세계 최초 구축
- 클라우드 컴퓨팅 기반 HPC(High Performance Computing) 웹 플랫폼(다양한 OS/모바일/태블릿 이용 가능)을 통해 쉽고 빠르고 정확한 메타 구조체 설계 및 해석 가능
- 물성·형상·제작·성능이 연계된 메타물질 DB 150,000건 구축 및 DB-해석 연계 프로그램 개발
- 전문지식 없이도 플랫폼이 원천기술 DB를 분석하여 사용자의 응용을 위해 최적화된 메타구조체를 인공지능으로 설계 및 제작법 제시
- 해당기술을 기반으로 하여 '메타물질 그래핀' 기술로 (주)엠씨케이테크(2019.03)가 창업함
- 해당기술을 기반으로 하여 '세라믹 기반 고온용 에어로겔 단열도료 관련 기술'로 (주)에이피아이티(2021.11)가 창업함

논문

· Engineered disorder in photonics(NATURE REVIEWS MATERIALS, 2021)
· Unidirectional scattering with spatial homogeneity using correlated photonic time disorder(Nature Physics, 2023)

특허

· DEVICE AND METHOD FOR DESIGNING MATERIAL USING DEEP LEARNING(US 17644445)
· Maxim -3차원 전자기파 시뮬레이션 소프트웨어(C-2020-023974)

MCK TECH
Materials Reinvented

창업일 : 2019.03 / **대표자 :** 조승민
추진현황 : Joint Venture 설립 및 연구소 기업 등록
주요 아이템 : 그래핀 나트륨 센서, 나노소재 기반 필름 설계 및 제조
사업수행현황 : 과학기술사업화진흥원 및 연구개발특구 사업 수행

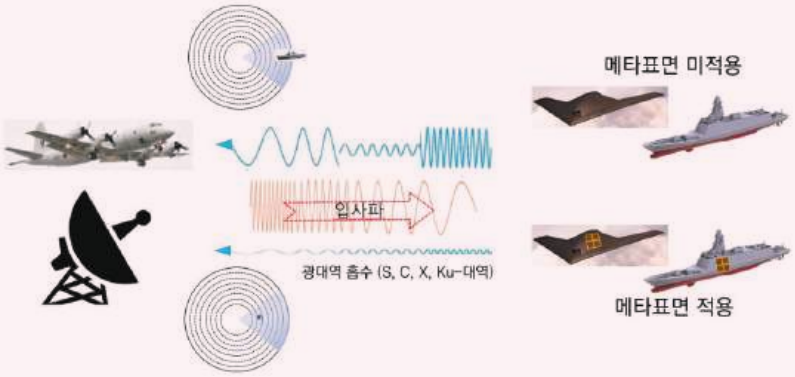
A+IT

창업일 : 2020.11 / **대표자 :** 박형호
추진현황 : 교원창업
주요 아이템 : 에어로겔 기반 단열 도료 및 패드

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
NSC (Nature Reviews Materials/ Nature Physics)	-	○	7,200만 원	(주)엠씨케이테크 창업 (주)에이피아이티 창업

파동 02

광대역 전자파 흡수체 기술 개발 ((재)파동에너지극한제어연구단 이학주)



[스텔스 기능의 메타물질 적용]

- 기존 기술로는 X대역(8~12 GHz)에 제한된 주파수 영역에서 성능 구현이 가능하였으나, 인공지능이 결합된 역설계로 구현된 메타물질을 적용하여 S-C-X-Ku 광대역(2~18 GHz)에서 성능 구현 가능한 원천기술 확보
- 해군함정 실제 환경 적용 시험 1건(진행 중), 공동연구센터 1건, 연구소기업 1건, 전자파 스텔스 관련 국방 R&D(수행 8건, 소요제안 6건)
- CAMM-LIG넥스원 간 국방 메타구조 공동연구센터 설립('23~'26, 3년, 5.4억 원)
- 연구소기업 설립((주)지에스에스, 전자파 스텔스 기술 및 음향스텔스 기술)
- 최신 탐지위협 대응 무인기용 메타스텔스융합 기술('23~'28, 24억 원, 국방기술진흥연구소 패키지 과제) 등 국방관련 연구개발과제 수행(8건, 213억 원) 및 소요제안(6건, 832억 원)
- 해당기술을 기반으로 하여 '메타물질 기반 전자파 스텔스 기술' 로 (주)지에스에스(2021.09)가 창업함

논문

· Ultra-Wideband Electromagnetic Composite Absorber Based on Pixelated Metasurface with Optimization Algorithm(Materials, 2023)
· Ultrawideband electromagnetic metamaterial absorber utilizing coherent absorptions and surface plasmon polaritons based on double layer carbon metapatterns(Scientific Reports, 2021)
· Optimal design of microwave absorber using novel variational autoencoder from a latent space search strategy(Materials & Design, 2021)

특허

· 메타표면을 포함하는 이중대역 전자기파 흡수체(KR 10-2021-0148338, CC등급)
· 메타표면을 포함하는 전자기파 흡수체(KR 10-2021-0148328, CC등급)
· 광대역 메타물질 흡수체(KR 10-2020-0125092, CCC등급)



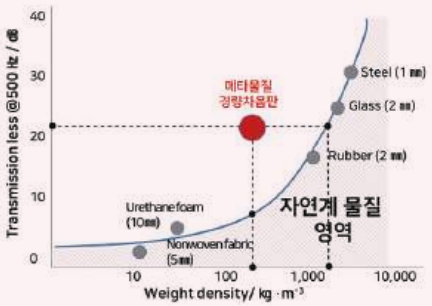
제작된 메타물질 흡수체 | 인쇄된 메타패턴 | 전자파 반사성능 측정 | 이중 층 적층 전자파 흡수체

[이중 층 기반 광대역 전자파 흡수체 및 흡수성능 측정 결과]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)지에스에스 창업

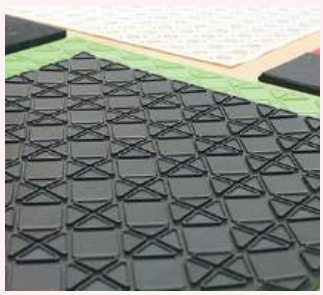
파동 03

메타구조 기반 공기중 흡음 기술 개발 ((재)파동에너지극한제어연구단 이학주)



[자연계 물질 대비 메타물질 경량 차음판 성능비교]





[메타 구조체 경량 차음판(JJNS 제품)]

- 광대역(300 ~ 1,700 Hz) 소음 차단, 질량법칙을 극복하여 기존 상용화 제품 대비 특히 저주파수 대역에서 3배 이상의 차음 성능을 가지면서도 밀도가 1/4 수준의 초경량 광대역 저주파 차음판 개발
- 경량차음판 응용제품 개발 협력 주요 산업계 협력 실적: 냉각기 등 현대자동차, 엔에스브이와 개발협력
- 해당기술을 기반으로 하여 '음향메타구조 경량 차음판 기술 개발 및 응용" 기술로 (주)제이제이엔에스(2020.10)가 창업함

논문

· Metasurface for Water-to-Air Sound Transmission(Physical Review Letters, 2018)
· Origin of negative density and modulus in acoustic metamaterials(Physical Review B, 2016)

특허

· 음향 메타 구조체(KR 10-2021-0031978)
· 메타 구조체 기반 소음기(KR 10-2020-0128613, CCC등급)
· 저주파수용 차음 구조체(KR 10-2020-0107682, BB등급)
· 머플러(KR 10-2020-0128612, CCC등급)
· 차음판 및 이를 이용하는 차음 구조체(KR 10-2021-0007947, BB등급)
· 유체 소음기(KR 10-2019-0092892, B등급)

항목		메타물질	자연계물질
삽입손실(dB)	저주파수 대역 (@300~500Hz)	22.2	7.5
	저주파수 대역 (@500~1,700Hz)	22.4	17.1
차음판 밀도(kg/m)		418.6	1865.0

JJNS
Jeil Joheun Noise Solution

창업일 : 2020.10 / **대표자 :** 박종진
추진현황 : 연구원 창업 및 연구소기업 등록
주요 아이템 : 음향 메타물질을 바탕으로 건축음향, 자동차 NVH 등의 제품

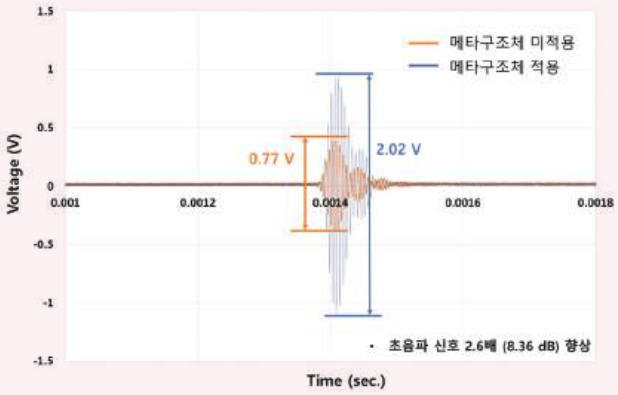
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	(주)제이제이엔에스 창업

파동 04

비접촉 초음파 음향 메타표면 기술 개발 (부산대학교 송경준)



[메타 초음파 트랜스듀서]



[메타 초음파 트랜스듀서 성능]

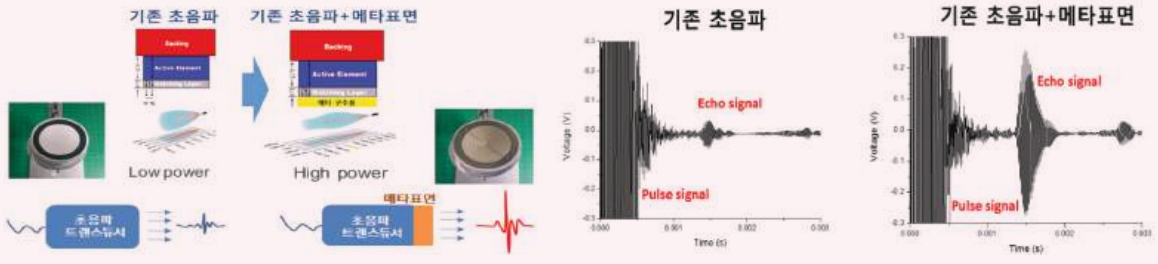
- 초음파 트랜스듀서와 매질 간의 임피던스 매칭 설계 및 최적화 기술
- 공기와의 임피던스를 매칭하여 초음파의 손실을 저감함으로써 별도의 전원 없이 신호의 세기(Echo signal)를 증폭, 블랙아이싱 식별 및 반도체 세정유닛의 음압 평탄화 등 응용 가능
- 50 kHz 트랜스듀서 최적화로 통한 음향에너지 36배(10 dB 이상) 성능
- 자동차용 초음파 거리센서, 비파괴 검사용 초음파 센서, 의료용 초음파 센서 등 다양한 분야에 응용 가능
- ㈜모바휠, ㈜듀라소닉, ㈜피레타 등 기업과 기술이전을 체결(5건)함

논문

· Lightweight soundproofing membrane acoustic metamaterial for broadband sound insulation(Mechanical Systems and Signal Processing, 2022)
· Ultraslow medium with an acoustic membrane-like undamped dynamic vibration absorber for low-frequency isolation(Extreme Mechanics Letters, 2021)
· Sound Pressure Level Gain in an Acoustic Metamaterial Cavity(Scientific Reports, 2014)

특허

· 초음파 트랜스듀서의 음향 초투과형 커버 유닛(KR 10-2019-0143829, CC등급)
· 능동형 초음파 전달 구조체(KR 10-2019-0143827, B등급)
· 초음파 트랜스듀서의 커버 유닛(KR 10-2019-0143828, CCC등급)
· 비접촉 초음파 트랜스듀서(KR 10-2018-0075904, B등급)

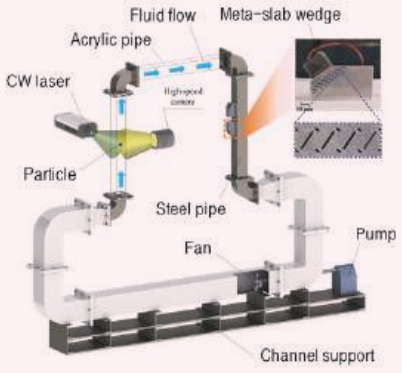


[음향 메타표면이 부착된 초음파 소자의 펄스 및 에코 실험 결과]

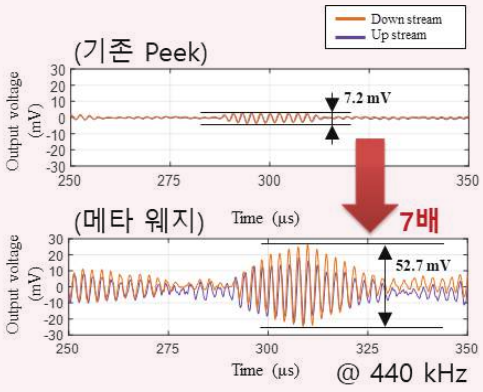
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	6,000만 원	-

파동 05

메타 트랜스듀서 활용 초음파 유량계측 기술 개발 (서울대학교 김윤영)



[메타 유량계 개념도]



[메타 웨지 성능 비교]

- 탄성파 모드변환 공진현상 활용, 탄성초음파의 종파/횡파(전단)모드를 효율적으로 변환하는 메타웨지 기술 개발(세계 최초)
- 금속 웨지 기반 메타웨지 초음파 유속 센서를 설계하여 투과 신호 획기적으로 증폭
- 종파-횡파 모드변환(100%) 구현(기존 기술로는 100% 모드변환 불가능)
- 기존 상용 초음파 유속 센서 대비 신호크기 700% 증가
- 유속 측정 및 이물질 높이 측정 겸용 초음파 트랜스듀서로 기능 확대(반도체 공정 등 고정밀을 요구하는 배관 검사로 활용 가능)

논문

· Anomalous mode-converting reflection of elastic waves using strip-type metagratings(Mechanical Systems and Signal Processing, 2023)
· Broadband sound absorption using multiple hybrid resonances of acoustic metasurfaces(International Journal of Mechanical Sciences, 2022)
· Longitudinal wave steering using beam-type elastic metagratings(Mechanical Systems and Signal Processing, 2021)
· Topology optimization design for total sound absorption in porous media(Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2020)
· Near-zero effective impedance with finite phase velocity for sensing and actuation enhancement by resonator pairing(Nature Communications, 2018)

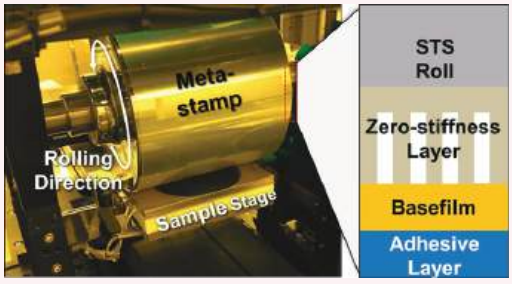
특허

· 편광 탄성파 발생장치(KR 10-2020-0144565, CC등급)
· 초음파 투과 장치 및 파동 제어 방법(KR 10-2020-0065393, BBB등급)
· 메타원자(KR 10-2020-0139746, CC등급)
· 경사입사 탄성파 완전투과용 이방성 매질(KR 10-2020-0014525, CCC등급)
· 유도초음파용 트랜스듀서의 출력/감도를 향상하는 공진기 장치 및 출력 향상 조절 방법(KR 10-2018-0119311, BBB등급)
· META SLAB을 적용한 유속 측정용 초음파 트랜스듀서(KR 10-2018-0090054, A등급)
· 탄성파의 모드변환용 필터, 이를 이용한 초음파 트랜스듀서, 및 이를 이용한 파동에너지 소산기(KR 10-2017-0093842, BBB등급)

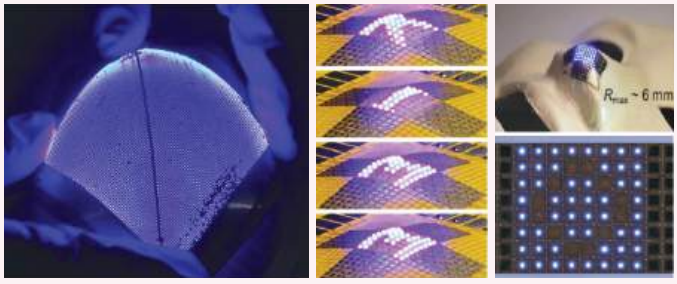
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	○	○	-	-

파동 06

마이크로 LED 디스플레이 생산기술 개발 (KIMM 김재현)



[메타물질 적용 롤 전사장비 구조]



[3차원 곡면에 부착된 메타 디스플레이]

- 롤 전사기법을 이용한 최대 최고수준(마이크로 LED 전사 개수 40,000개/분 이상)의 대면적 전사기술 개발
- 포아송비 –1(Poisson's ratio of –1) 메타물질을 이용하여, 한 방향으로 신장할 때 신장 방향과 수직하는 방향으로도 신장함으로써 디스플레이 영상 왜곡이 발생하지 않도록 하는 기술 개발
- 2020년 국가연구개발 우수성과 100선 선정, 국제표준 제정 3건
- 해당기술을 기반으로 하여 '마이크로 LED 공정 및 장비 기술 '로 와이티에스마이크로테크(2019.10)가 창업함.
- ㈜루멘스, ㈜와이티에스마이크로테크 등 기업과 기술이전을 체결(9건, 11억 원)함.

논문

- Fullcolor microLED display with photopatternable and highly ambientstable perovskite quantum dot/siloxane composite as color conversion layers(Scientific Report, 2023)
- Auxetic Meta-Display: Stretchable Display without Image Distortion(Advanced Functional Materials, 2022)
- Damage-free transfer mechanics of 2-dimensional materials: competition between adhesion instability and tensile strain(NPG Asia Materials, 2021)
- Embedded Reverse-Offset Printing of Silver Nanowires and Its Application to Double-Stacked Transparent Electrodes with Microscale Patterns(ACS Applied Materials & Interfaces,, 2021)
- Damage mitigation in roll-to-roll transfer of CVD-graphene to flexible substrates(2D Materials , 2017)

특허

- 신축 디스플레이 패널 장치 및 이의 영상 보정 방법(KR 10-2020-0164941, B등급)
- 신축성 패널(KR 10-2020-0108139, B등급)
- 소자 전사방법 및 이를 이용한 전자패널 제조방법(KR 10-2019-0151032, CCC등급)
- 마이크로 소자의 곡면 전사방법 및 마이크로 소자의 곡면 전사장치(KR 10-2018-0080375, BBB등급)
- 마이크로 소자 전사방법 및 마이크로 소자 전사장치(KR 10-2017-0177206, BB등급)
- 소자 전사방법 및 소자 전사방법을 이용한 전자제품 제조방법(KR 10-2016-0135330, CC등급)
- 마이크로 소자 전사방법 및 마이크로 소자 전사방법으로 제조된 마이크로 소자 기판(KR 10-2016-0107759, BBB등급)

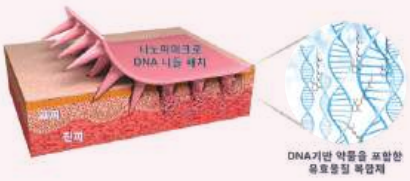
YTS
Ynnovation Technology & Service

창업일 : 2019.10 / **대표자 :** 남성국
추진현황 : Joint Venture 설립 및 연구소기업 등록
주요 아이템 : 디스플레이 장비 및 2차 전지 장비 제작

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	○	○	11억 원	㈜와이티에스마이크로테크 창업

파동 07

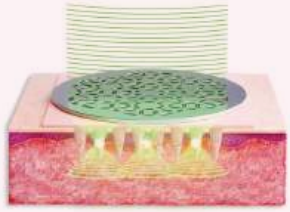
경피약물 전달을 위한 극한물성 나노마이크로 DNA 니들 패치 기술 개발 (KIMM 정준호)



[나노마이크로 DNA 니들 패치의 경피약물전달 개요도]



[나노마이크로 DNA 니들 패치 제조공정도]



[다초점 초음파 메타렌즈]

- 3차원 나노패터닝 기술로 형성된 미세 크기의 DNA 니들을 피부에 부착하여 통증 없이 유효물질 흡수시키는 기술
- DNA 니들 선단에 약물 주입 Pico-liter 급 약물주입장비 개발
- 초음파 집중영역 형성 가능한 메타렌즈 탑재 초음파 기기 개발
- 나노마이크로 니들 패치는 안전성이 입증된 DNA 만을 사용하여 체내 부작용을 최소화하면서도 DNA 특성에 따라 조직재생에도 도움이 되는 복합적인 장점을 보유
- 2021년 대한기계학회 기술상, 2020년 올해의 기계기술선정, 2019년 대통령 표창 수상, 2019 국가연구개발 우수성과 100선 선정
- 해당기술을 기반으로 하여 '나노마이크로 DNA 니들 패치를 이용한 화장품 및 의약품 생산' 으로 에이디엠바이오사이언스㈜(2018.07)가 창업함
- 해당기술을 기반으로 하여 'CF-nTP(Chemical Free Nanotransfer Printing) 기술'로 ㈜메타투피플(2022.09)가 창업함
- ㈜씨알에스큐브, 에이디엠바이오사이언스㈜, ㈜메타투피플 등 기업과 기술이전을 체결(5건, 15.4억 원)함

논문

· Anomalous mode-converting reflection of elastic waves using strip-type metagratings(Mechanical Systems and Signal Processing, 2023)
· Broadband sound absorption using multiple hybrid resonances of acoustic metasurfaces(International Journal of Mechanical Sciences, 2022)
· Longitudinal wave steering using beam-type elastic metagratings(Mechanical Systems and Signal Processing, 2021)
· Topology optimization design for total sound absorption in porous media(Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, 2020)
· Near-zero effective impedance with finite phase velocity for sensing and actuation enhancement by resonator pairing(Nature Communications, 2018)

특허

· 연어핵산필름의 제조방법과, 연어핵산필름을 이용한 약물주입장치(KR 10-2016-0046275, A등급)
· 고세장비 미세니들 마스터 제작방법(KR 10-2018-0171113, CCC등급)
· 비접촉 초음파 트랜스듀서(KR 10-2018-0075904, B등급)

ADM® BIOSCIENCE

창업일 : 2018.07 / **대표자 :** 정병철
추진현황 : Joint Venture 설립 및 연구소기업 등록
주요 아이템 : 의약품 및 기능성 화장품 관련 마이크로 니들 전문 제품 개발 제조

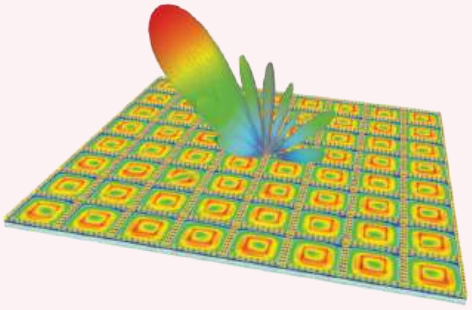
메타투피플㈜

창업일 : 2022.09 / **대표자 :** 안준원
추진현황 : Joint Venture 설립 및 연구소기업 등록중
주요 아이템 : 나노메타구조체기반 투명스크린

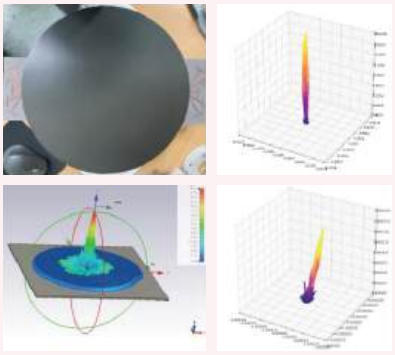
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	-	○	14.5억 원	에이디엠바이오사이언스㈜ 창업 ㈜메타투피플 창업

파동 08

메타물질 적용 빔 자유제어 능동안테나 기술 개발 (고려대학교 박규환)



[다수의 유닛 배열로 구성된 메타안테나 및 발생시키는 RF 빔조향 모식도]



[메타안테나 시뮬레이션 및 실험 결과]

- 빔 자유조향이 가능한 능동 메타표면 안테나 개발
- 빔조향을 위한 기계식 구동부 혹은 위상천이기 없이 RF 빔 조향을 구현하는 기술로 기계학습을 통한 다양한 모양의 빔 구성 가능
- 홀로그래픽 안테나의 Liquid Crystal을 반도체로 대체하여 빠른 빔 조향속도, 작은 소비전력, 작은 부피, 낮은 생산 단가를 갖는 빔 자유제어 능동안테나 상용화
- 해당기술을 기반으로 하여 '가변 구조형 메타표면 안테나' 기술로 ㈜엑스픽(2022.02)이 창업함

논문

· Deep-learning-assisted reconfigurable metasurface antenna for real-time holographic beam steering(Nanophotonics, 2023)
· Performance analysis of parallelized PSTD-FDTD method for large-scale electromagnetic simulation(Computer Physics Communications 2020)
· Causal homogenization of metamaterials(Nanophotonics, 2019)
· Anomalous Wavelength Scaling of Tightly Coupled Terahertz Metasurfaces(ACS Applied Materials & Interfaces, 2018)

특허

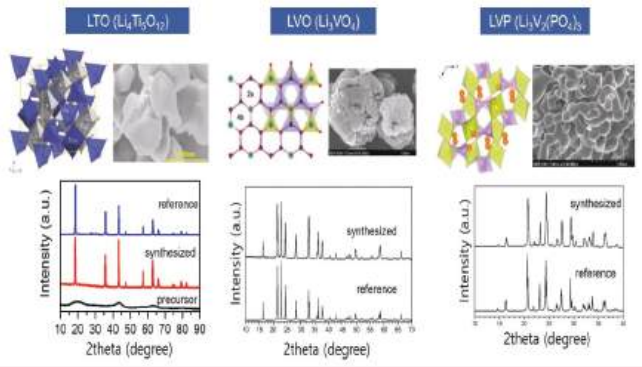
· 마이크로파 변조 송수신 모듈 및 이를 포함하는 다채널 마이크로파 변조 시스템(KR 10-2018-0019930, CCC등급)
· 메타표면을 이용한 마이크로파 공간변조장치(KR 10-2018-0046334, CCC등급)
· Optical device including slot and apparatus employing the optical device(US 10288479)

창업일 : 2022.02 / **대표자 :** 박규환
추진현황 : 교원창업 및 연구소기업 등록
주요 아이템 : 방향성 결합기

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
-	-	○	-	㈜엑스픽 창업

파동 09

메타 MOF 에너지 저장기술 개발 (KIER 김현욱)



[고결정성 리튬산화물(LTO, LVO, LVP]



[D-LTO 전극 재료가 적용된 하이브리드 커패시터 시작품]

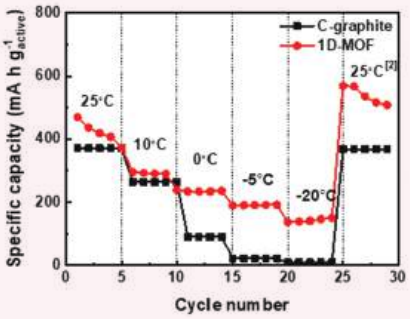
- Fluorothianthrene 기반의 슈퍼레독스 MOF(SKIER-5)의 개발, 영하의 온도에서 우수한 작동 성능 구현(-20 ℃에서 기존 흑연 대비 5배 높은 용량)
- 다공성P-LTO($Li_4Ti_5O_{12}$)의 고온 열처리를 통한 표면결함을 가지고 있는 D-LTO 전극 개발. 작동전압 향상으로 기존 LTO 재료 대비 1.5배 이상 용량 향상

논문

· Graphitic Carbon with MnO/Mn7C3 Prepared by Laser-Scribing of MOF for Versatile Supercapacitor Electrodes(SMALL, 2021)
· Porous carbon textile decorated with VC/V2O3-X hybrid nanoparticles: Dual-functional host for flexible Li-S full batteries(Energy Storage Materials, 2022)
· Laser-induced sulfurization of nickel-based metal-organic frameworks for highly stable phase-engineered energy materials(Chemical Engineering Journal, 2022)
· Defective lithium titanate oxide with stable cycling over a wide voltage window(Applied Surface Science, 2023)
· Ni/Co/Co3O4@C nanorods derived from a MOF@MOF hybrid for efficient overall water splitting(Nanoscale, 2023)

특허

· 1차원 전기전도성 Ni-유기구조체 및 이를 포함하는 슈퍼 커패시터 전극(KR 10-2019-0140586, BB등급)
· 전극 소자용 화합물 및 이를 포함하는 전극, 에너지 저장 소자(KR 10-2020-0113932, CCC등급)
· 고결정성 리튬-금속 산화물 입자 및 이의 제조방법(KR 10-2020-0113922, BB등급)
· 나노다공성 리튬-금속 산화물 입자 및 이의 제조방법(KR 10-2020-0143702, BBB등급)



[SKIER-5 성능]

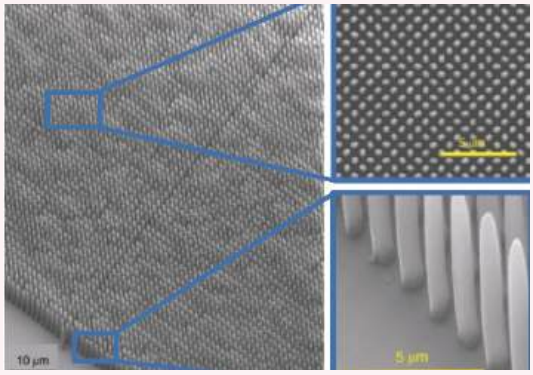


[D-LTO 전극 용량]

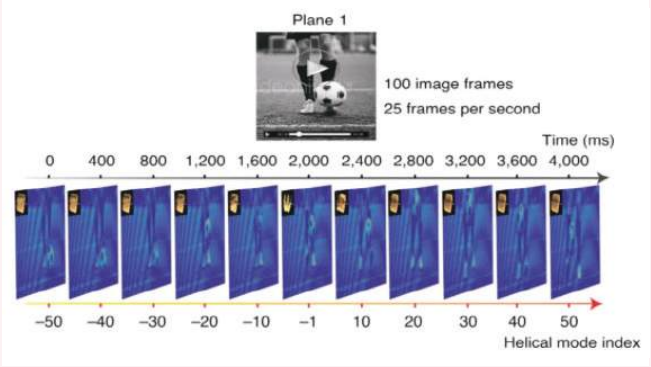
기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	○	○	-	-

파동 10

메타표면 기반 평면렌즈 복소 홀로그램 기술 개발 (POSTECH 노준석)



[동영상 재생이 가능한 메타표면]



[초당 25프레임 재생 가능]

- 기존 회절광학계에서 구현하지 못했던 고해상도/고효율 이미지를 보여주는 메타표면 개발. 파장보다 작은 크기에 위상 및 진폭 정보 저장 기술 개발 (복소광변조)
- 열·압력·전기 등 다양한 환경에서 편광 상태를 전환시켜주는 액정을 통해 여러 이미지를 저장할 수 있는 홀로그램 메타표면 개발
- 이산화타이타늄 및 실리콘 복합재를 통한 나노임프리소그래피 공정 개발과 이를 통한 메타렌즈 대량생산 프로세스 확보
- 화학기상증착방식을 통한 가시광 저손실 고굴절 실리콘 개발(굴절율>2.8, 광손실 ≈ 0)
- 고비용의 고굴절 광소재(TiO_2, GaN)를 대체할 수 있는 저손실 실리콘 개발 및 플라즈마 화학기상 증착방식을 활용하여 고굴절 박막 대량생산

논문

· Metasurface-Driven Optically Variable Devices (Chemical Reviews 2021)
· Nanophotonics for light detection and ranging technology(Nature Nanotechnology, 2021)
· Scalable manufacturing of high-index atomic layerpolymer hybrid metasurfaces for metaphotonics in the visible(Nature Materials, 2023)
· Multicolor and 3D Holography Generated by Inverse-Designed Single-Cell Metasurfaces(Advanced Materials, 2023) 등 145건

특허

· Dielectric based metasurface hologram device and manufacturing method of same and display device having same(US 11042119)
· Dielectric based reflective color filter and manufacturing method thereof and display device having the same(US 11048027)
· 다방향 홀로그램 디바이스 및 이를 포함하는 다방향 홀로그램 구현 시스템(KR 10-2020-0098328, CCC등급)



[메타표면 기반 평면렌즈]

기초연구성과 우수	특허창출성과 우수	연구단 주요 미션 부합도	기술이전 성과 우수	창업 성과 우수
○	○	○	-	-

3. 정량적 연구성과

가. 정량적 연구성과 현황

(단위: 건, 명, 백만원)

구분			2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	총합계
특허	국내	출원	7	44	79	87	75	50	70	61	28	20	521
		등록	-	3	12	38	58	64	47	44	38	22	326
	해외	출원	4	20	18	29	34	46	37	29	36	13	266
		등록	-	1	4	8	5	10	15	9	14	4	70
	소계		**11**	**68**	**113**	**162**	**172**	**170**	**169**	**143**	**116**	**59**	**1183**
논문	sci		7	102	135	128	139	86	96	99	97	48	937
	비 sci		-	4	7	4	2	2	3	1	2	-	25
	소계		**7**	**106**	**142**	**132**	**141**	**88**	**99**	**100**	**99**	**48**	**962**
기술사업화	기술이전		1	2	3	5	5	5	4	3	5	3	36
	기술료		20.0	21.5	136.6	183.8	181.5	936.5	200.2	249.5	1198.3	75.0	3,203
	창업		-	-	-	-	1	2	1	2	2	-	8
학위배출	박사		6	7	8	14	8	9	4	11	9	-	76
	석사		6	7	11	15	4	4	6	2	4	-	59
	학사		-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	1
	계		**12**	**15**	**19**	**29**	**12**	**13**	**10**	**13**	**13**	**-**	**136**
학술발표	국내		132	97	123	142	83	55	48	71	32	-	783
	해외		55	39	52	54	34	38	22	31	7	-	332
	소계		**187**	**136**	**175**	**196**	**117**	**93**	**70**	**102**	**39**	**-**	**1115**
국제협력	MOU		-	2	2	-	1	-	1	-	-	-	6
	공동연구 논문		1	20	37	35	42	18	23	21	18	6	211

나. 논문 및 특허 현황 분석

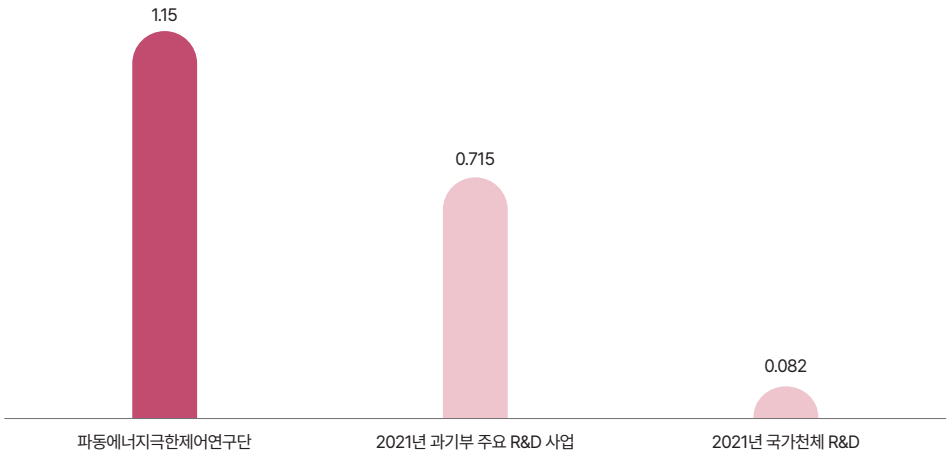
(1) 논문 현황 분석

연구단이 연구기간 동안 게재한 총 962건의 논문 성과 중 SCI 논문은 937건, 약 97%였으며, 전체 연구비(정부출연금 기준) 1억 원당 약 1.15건의 성과를 창출하였다.

특히, 논문 게재 학술지의 평균 인용지수(Impact Factor)는 평균 6.94이었으며, 게재 학술지 해당분야 내 상대적인 위치를 결정하는 표준화된 순위보정 영향력지수(mrnIF)는 83.3(최하위 0, 최상위 100)로 IF 지표에서 높은 질적 수준을 증명하였다.

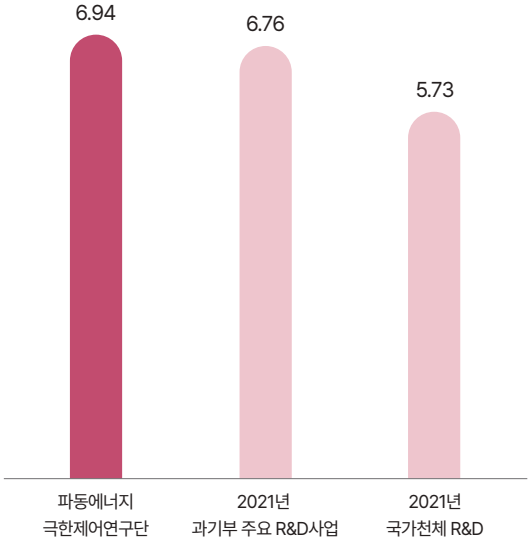
[연구비 1억 원당 SCI 논문 건수 비교]

(단위: 건)

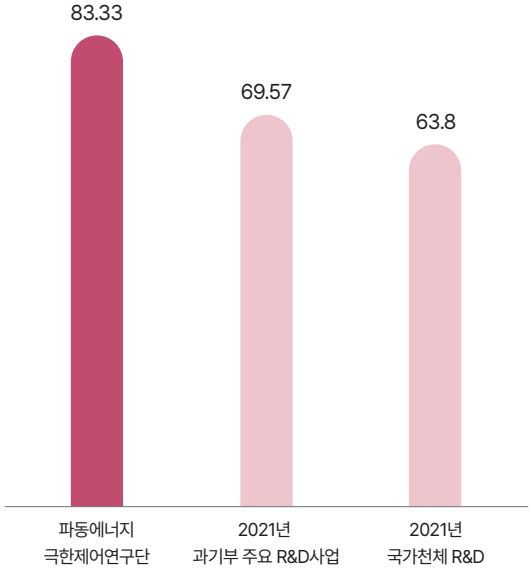


파동에너지극한제어연구단의 SCI 논문 성과는 연구비(정부출연금 816.11억 원, 937건) 1억 원당 약 1.15건으로, 국가 전체 연구비 1억 원당 SCI 논문 창출 성과 0.082건[1]에 비해 약 14배가 넘는 수준으로 나타났다.

[평균 IF 지수 비교]



[평균 mrnIF 지수 비교]

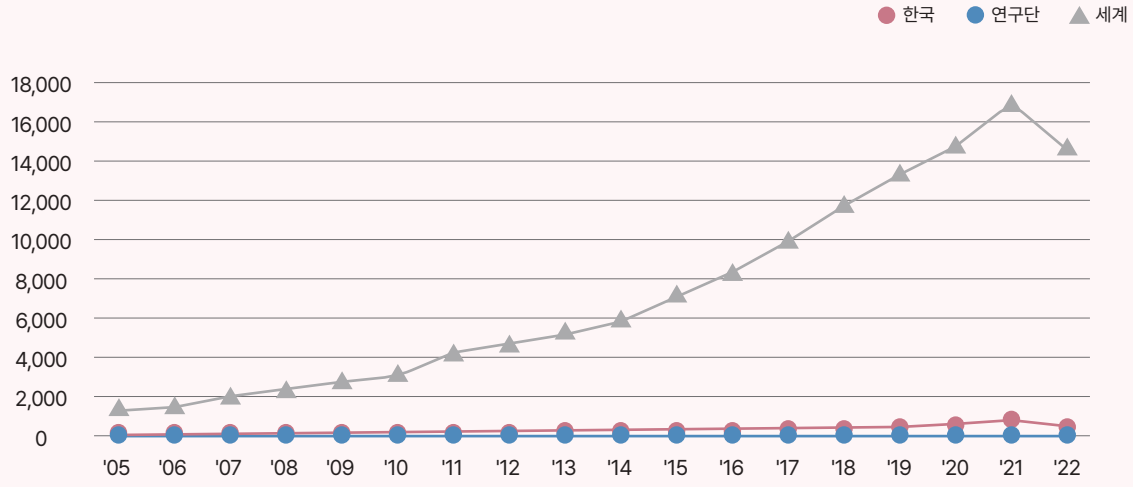


연구단 사업수행 전후 논문 건수 및 비중 비교

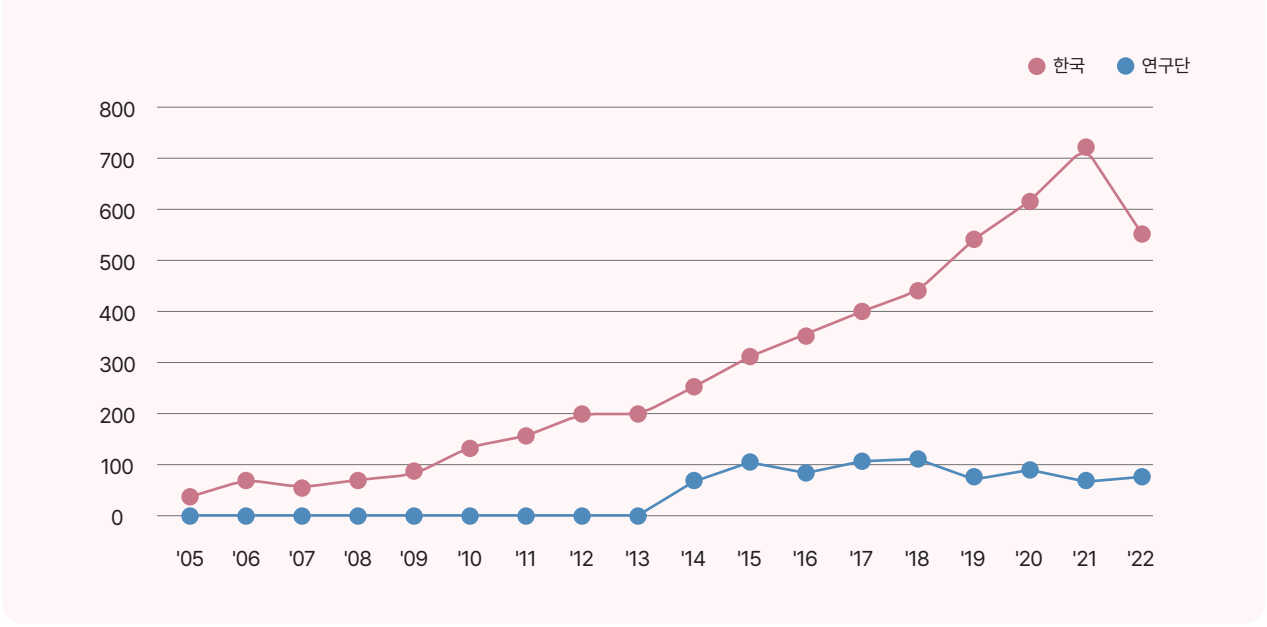
파동에너지극한제어연구단 출범 이전(2005년~2013년)과 이후(2014년~2022년)로 나누어 국내외 및 연구단의 SCI 논문 게재 성과를 분석한 결과[2], 사업수행기간 동안 관련 분야에 대한 한국의 논문 건수가 사업수행 전 1,051건에 비교하여 사업수행기간 동안 4,195건으로 증가하였으며, 세계 논문 건수는 사업수행 전 27,352건에 비교하여 102,286건으로 급증하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야 전 세계 논문 대비 연구단의 논문성과는 0.87%, 한국논문에서는 21.19%의 비중을 차지하는 것으로 나타나, 연구단이 국내 관련 기술 분야 연구를 이끌어가고 있음을 알 수 있다.

연구단 사업수행 전후 연도별 SCI 논문 증감 추이



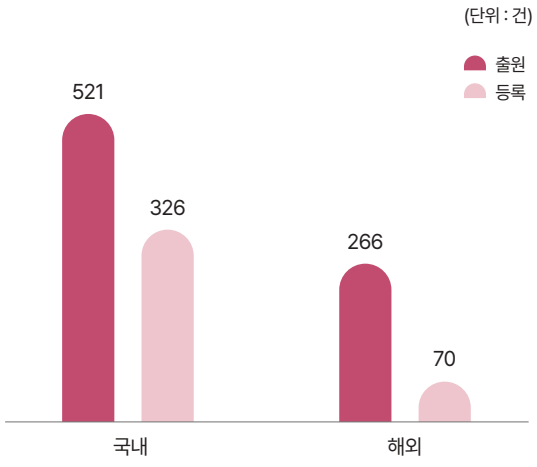
1) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 SCI 논문 산출 실적 0.82건
2) Web of Science Data Base에서 검색



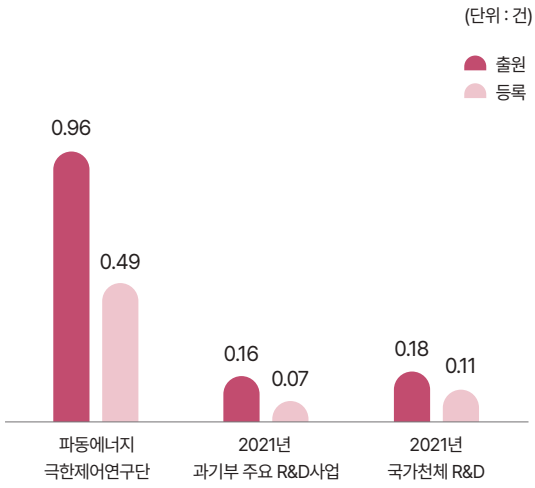
(2) 특허 현황 분석

연구단이 보유한 국내외 출원 및 등록 특허는 총 1,183건[3]으로, 전체 특허 중 396건, 약 33.5% 비중의 등록 기술을 보유하고 있다. 또한 연구비(816.11억 원, 정부출연금) 1억 원당 출원 건수는 0.96건, 등록 건수는 0.49건의 성과를 창출하였다.

[연구단 특허 출원 및 등록 건수]



[1억 원당 출원 및 등록 건수 비교]



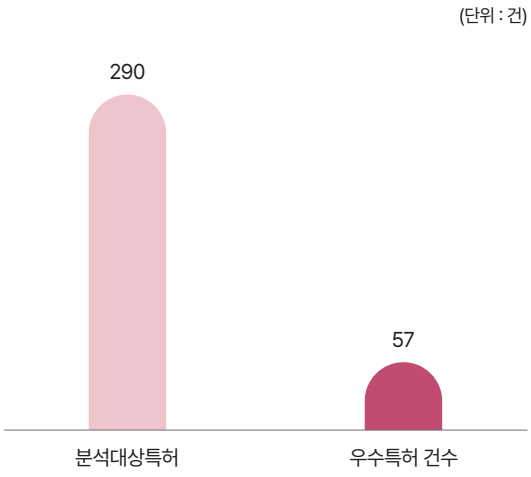
3) 특허출원 및 특허등록 실적 간에 중복되는 특허 건수가 존재하며, 특허출원 및 특허등록이 진행된 시점에 따라 해당년도 특허출원 또는 특허등록 실적으로 포함.

이는 국가 전체 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.182건[4]에 비해 약 3.5배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허출원 성과 0.159건의 약 4.0배 수준으로 나타났다. 또한, 국가 전체 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.108건에 비해 약 3.7배의 수준을, 과기부 주요 R&D 사업 연구비 1억 원당 특허등록 성과 0.07건의 5.7배 수준으로 성과를 창출한 것으로 분석된다.

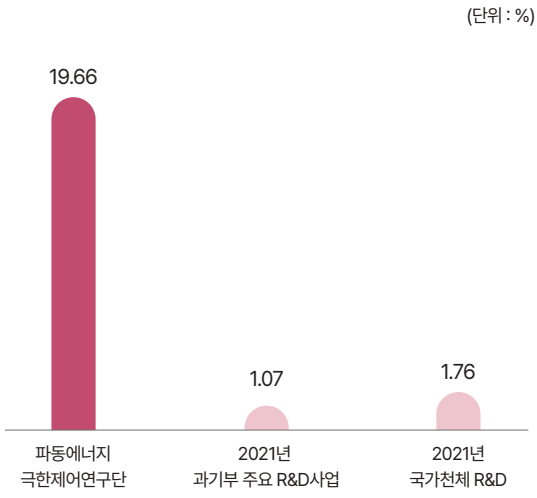
연구단 특허 등록 우수건수 및 비율[5]

특허 평가 시스템(SMART 또는 K-PEG) 분석 결과, 분석 대상 특허 290건 중, 우수특허로 간주한 A등급 이상의 건수는 57건으로 약 19.66% 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 이는 국가 전체 정부 R&D 사업 및 과기부 주요 R&D 사업과 비교했을 때, 각각 약 11.17배, 18.37배 높은 것으로 질적으로 상당히 우수한 특허들을 다수 창출해 냈다고 평가할 수 있다.

[우수 특허 건수]



[우수특허 비율 비교]



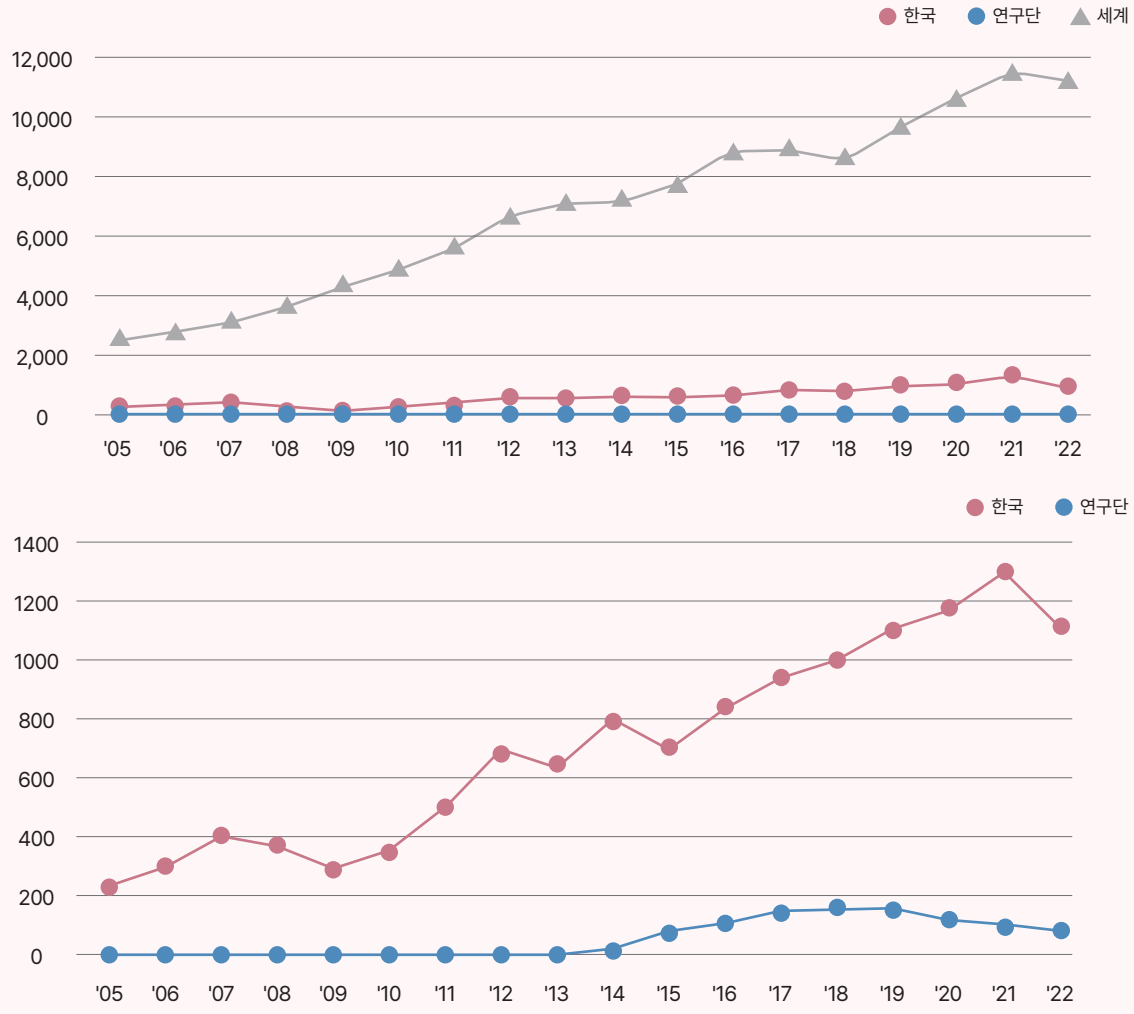
연구단 사업수행 전후 특허 건수 및 비중 비교

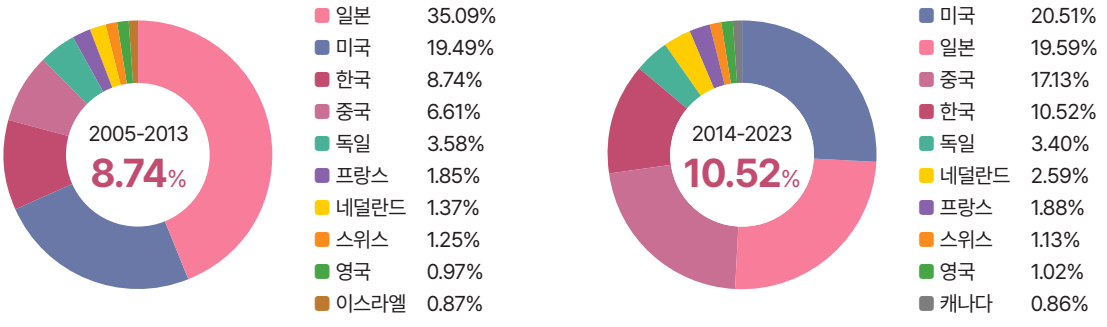
파동에너지극한제어연구단 출범 이전(2005년~2013년)과 이후(2014년~2022년) 관련 연구분야[6]에 대한 특허 성과를 분석한 결과, 해당 분야 세계 특허 건수는 연구단 출범 이후 41,205건에서 84,415건으로 2.05배 증가하였으며 한국 특허 건수는 3,600건에서 8,877건으로 2.47배 증가하였다.

사업수행기간 동안 관련 분야 전 세계 특허 대비 연구단의 특허성과는 1.33%, 한국에서는 12.66%의 비중을 차지하는 것으로 나타났고, 관련 분야에 대한 한국 비중은 사업수행 전 8.74%에 비교하여 사업수행기간 동안 10.52%로 증가하여 연구단이 동 분야 연구개발에 기여한 것으로 분석된다. 연구단 출범 이전과 이후 한국의 특허 성과가 3위에서 4위로 다소 순위가 내려간 것은 중국에서의 특허 성과가 급격하게 증가한 결과로 분석된다.

4) 「2021년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」 기준, 2021년 국가 전체 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.82건, 특허등록 실적 1.08건/과학기술정보통신부 주요R&D사업 연구비 10억 원당 특허출원 실적 1.59건, 특허등록 실적 0.70건
5) 특허 평가 시점은 연구단 종료 시점(자산실사 보고서 발행 기준)이며, 특허 평가 플랫폼은 자산실사 보고서에서 사용한 플랫폼을 활용
6) 연구분야 기술 관련 주요 IPC를 기반으로 필터링을 통해 특허 성과 산출
음향 메타물질(G10K), 전자기 메타물질(H01S), 초음파 트랜스듀서(A61B), 마이크로 LED(G02B), 마이크로 니들(G02B), 유기-금속 구조체(H01M)

연구단 사업수행 전후 특허 출원 증감 추이

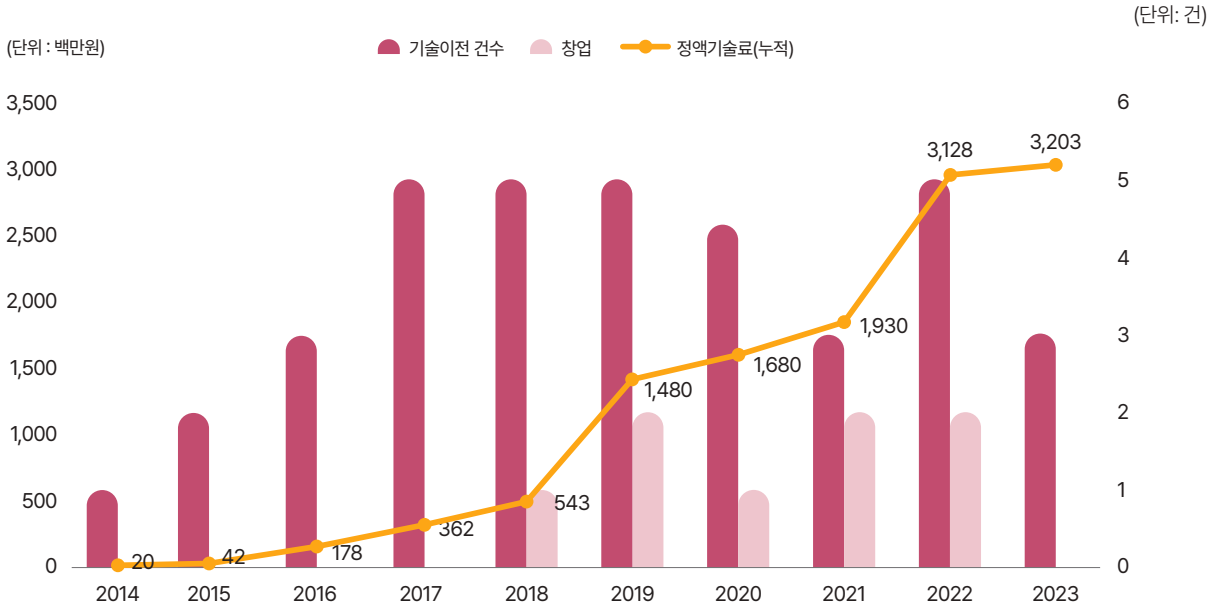




(3) 기술사업화 현황 분석

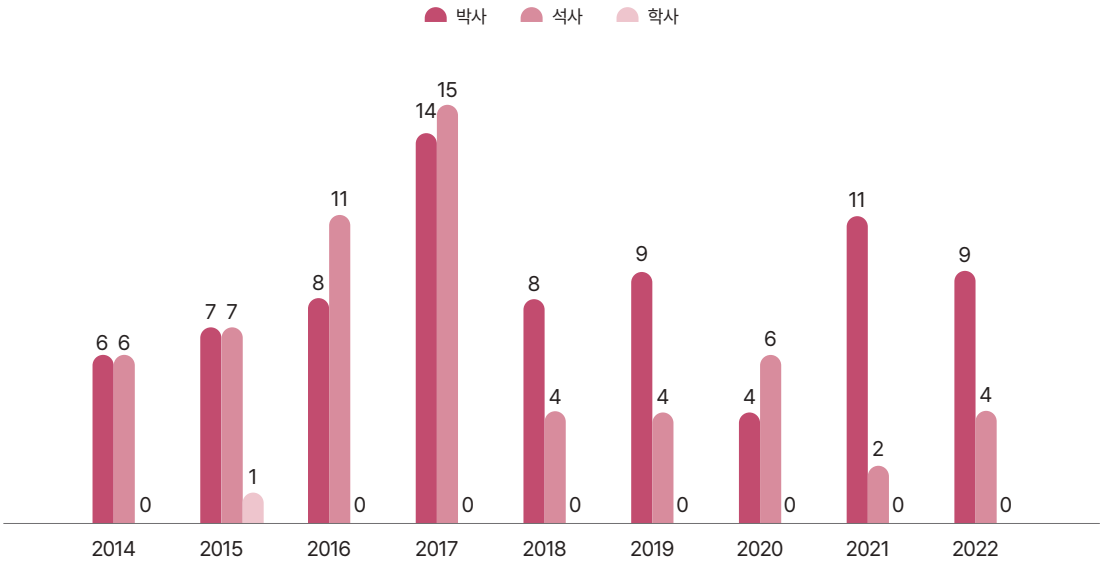
연구단은 연구기간 동안 총 36건, 3,203백만 원의 기술이전 성과를 창출하였으며, 2022년 1,198백만 원의 가장 많은 정액기술료 수입이 발생하였다.

[연구단 기술이전/창업 성과 현황]



(4) 인력양성 현황 분석

연구단은 연구기간 동안 총 136명의 학위를 배출하였으며, 박사 76명, 석사 59명, 학사 1명을 지원하였다.



(5) 경제적 성과

글로벌프런티어사업의 경제적 성과분석은 연구단의 연구성과 중 과학적·기술적으로 우수하고, 특히 경제적 가치와 시장니즈에 부합되어 사업화 가능성이 높은 기술을 대상으로 컨설팅 전문기관의 기술가치평가를 통하여 글로벌 시장 진입을 전제로 기술의 가치를 평가하였다.

연구단 우수기술명	목표시장	평가가치(억원)
음향 스텔스 기술	음향 메타물질 시장	338.47
전자기 스텔스 기술	전자기 메타물질 시장	386.13
초음파 트랜스듀서 기술	비파괴검사장비 시장	608.90
메타 디스플레이 기술	마이크로 LED 시장	353.11
마이크로 니들패치 기술	마이크로니들 약물전달시스템 시장	721.09
에너지 저장 기술	유기-금속 구조체(MOF) 시장	248.94
총액		**2,656.64**

연구단의 우수 연구성과 6건에 대해 해당 기술의 사업화 시 기술의 가치를 산출함으로써 직접적인 경제효과에 대해 확인하고자 하였다. 기술가치평가는 각 기술 타겟 제품별 글로벌 시장을 대상으로, 기회비용 관점에서 특허권의 가치를 추정하는 접근법인 로열티 공제법을 활용하였으며, 로열티 공제법은 절대 가치가 아닌 사업화 주체에 따라 변동될 수 있는 상대 가치를 산정하는 방법이다.

※ 사업가치는 평가대상기술이 보유기업 혹은 유사 선도기업에 의해 성공적으로 사업화된다는 것을 전제로 추정하였으며, 동 기술이 사업화되었을 경우 창출할 수 있는 수익을 중심으로 평가한 것으로, 기술뿐만 아니라 사업화 주체의 인적 능력, 마케팅 능력, 긍정적 시장 상황 등이 종합된 결과

또한, 기술가치평가는 2023년 08월을 평가기준일로 하였으며, 산업통상자원부의 '기술가치평가 실무 가이드(2021년)'를 참조하였다. 파동에너지극한제어연구단의 6건 우수 연구성과에 대한 기술가치평가 결과, 총 2,656.64억 원으로 평가되었다.

4. 홍보 및 확산 성과

연구단은 약 1,118건의 언론보도를 통해 연구단 성과를 국민들에게 효과적으로 홍보하였으며 국제학회 및 워크숍 개최 등을 통하여 연구거점으로서 글로벌 네트워크를 구축하였다. 또한 성과발표회, 수요기업 및 기관 간담회를 개최함으로써 연구단의 사업화 유망기술을 소개하고, 수요기업의 요구사항을 청취하여 공동기술개발, 기술이전 등을 통한 실용화 연계 가능성을 제고함으로써 기술성과 확산 및 사업화를 도모하는 데에 이바지할 수 있도록 하였다.

가. 언론보도

<주요 기사 목록>

기사내용	보도일	비고
층간소음 원인'저주파 소음'... 'OOO'로 싹 잡는다.	2022.08.22	대덕넷 외 11회 보도
내시경 불쾌감 줄이는 얇은 렌즈 나왔다.	2022.08.11	매일경제 외 11회 보도
홀로그램이 '매의 눈'으로 빛 감시한다.	2022.07.21	위키트리 외 13회 보도
포스텍, '도장 찍듯이' 메타 홀로그램 원스텝 프린팅 공정개발	2022.07.05	경북일보 외 11회 보도
국내 연구진 '메타물질' 소재 실용화 실마리	2021.12.07	SBS 외 18회 보도
전기로 초고속 구동하는 0.001mm 두께 다중초점 메타렌즈 개발	2021.11.03	뉴스1 외 9회 보도
나노 광학 기반 초소형 라이다 기술 세계적 학술지에 소개	2021.05.10	시사뉴스 외 23회 보도
나노입자 복합재를 통해 머리카락보다 100배 얇은 초박막 렌즈 개발 성공	2021.01.02	기계신문 외 36회 보도
포스텍, 손가락 터치되는 초소형 홀로그램 장치 개발	2020.11.11	전자신문 외 26회 보도
POSTECH 노준석 교수팀, 다중 궤도 각운동량 이용 홀로 그래픽 저장 장치 개발	2020.09.23	뉴데일리 외 9회 보도


층간소음 원인 '저주파 소음'…'000'로 싹 잡는다

POSTECH, '카이랄' 구조로 저주파 진동 잡아내
진동·소음 저감 및 기계·건축 분야에도 활용 전망


내시경 불쾌감 줄이는 얇은 렌즈 나왔다

정희영 기자

메타렌즈 광섬유와 결합시켜
선명한 이미지·작은 크기 모두 만족

나. 국제학술대회 및 수요기업(기관) 협의회 등 행사 개최

<주요 행사 목록>

행사내용	일시	장소
2021 성과발표회 및 수요기업(기관) 간담회	2021.10.22	서울 코엑스 컨퍼런스룸
2019 나노포토닉스 국제워크샵 공동 주최	2019.12.17.~19	POSTECH
2019 CAMM 유망기술 매칭 DAY	2019.12.20	서울 더케이호텔 금강홀
제3회 수요기업(기관) 협의회	2017.12.14	연세대학교 백양누리
META 2017 공동 개최	2017.07.25.~28	인천 송도 컨벤시아



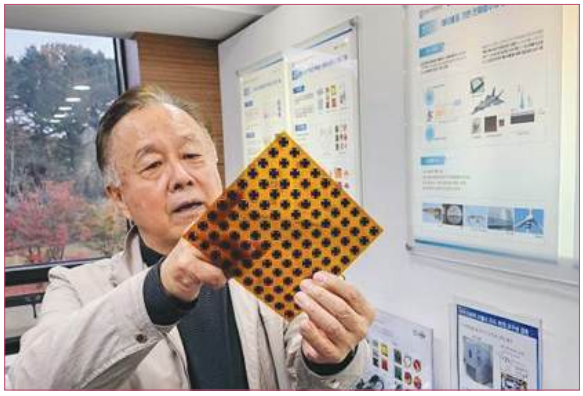






04 기술사업화 성공스토리

1. 최태인 연구위원, 김기출 연구부장 인터뷰



- 기술이전 책임자 : 이학주 박사(파동에너지극한제어연구단)
- 기업명: ㈜지에스에스
- 창업시기: 2021.09
- 도입기술명: (전자파 스텔스 기술: 3종)
  광대역 메타물질 흡수체, 이중대역 전자기 메타표면,
  광각 전자기 메타표면
  (음향 스텔스 기술: 2종)
  유체소음기, 흡음패치 및 이를 이용한 수중흡음판

적의 최첨단 탐지 또는 경보 체계를 무력화시킬 수 있는 스텔스 능력은 첨단 무기들이 갖추어야 할 기본 성능이며 전쟁 승리를 위한 필수 조건으로 인식되고 있다. 스텔스 기술 중 가장 많이 적용되고 있는 전자파 스텔스 기술은 미국, 영국, 프랑스, 중국, 인도 등에서 함정과 전투기에 적용할 수 있는 연구가 진행되고 있으나 메타표면을 이용한 광대역 전자파 흡수 기술은 현재까지 무기체계에 적용한 사례가 보도되지 않고 있다. 파동에너지극한제어연구단에서는 메타표면을 이용한 세계 수준의 광대역 전자파 흡수체를 개발하여 함정, 무인기 등에 적용하기 위한 추가연구를 수행하고 있다. 연구단에서 전자파 스텔스 연구를 주관하고 있는 최태인 박사와 김기출 박사에게 연구개발 성공스토리를 들어 보았다.

Q1 안녕하세요. 최태인 박사님, 먼저 어떻게 이 분야의 연구가 시작이 되었나요?

A1

함정, 전투기 등 최신 무기체계의 생존성을 높이기 위해서는 레이더 반사면적(Radar Cross Section, RCS)을 감소시켜야 하며, 효율적으로 RCS를 감소시키기 위해서는 1차적으로 형상제어 방법을 사용합니다. 입사된 레이더 전자파를 입사 방향과는 다른 방향으로 반사시키고 있으나 복잡한 플랫폼 구조에서는 형상제어 방법을 적용시키는 데에 한계가 있습니다. 따라서 입사된 레이더 전자파를 흡수하여 되돌아가지 못하게 하는 전자파 흡수체(Radar Absorbing Material, RAM)의 연구가 필수적으로 요구되고 있습니다.

우리나라에서도 형상제어 방법으로 RCS 저감 설계 후 전파 반사가 심한 구역에는 RAM을 적용하고 있으나, 기존의 RAM은 주로 외국으로부터의 도입에 의존해 왔습니다. 수입되는 RAM을 국내 개발하고 성능도 광대역화(2~18 GHz)하여 우리 군의 작전 능력을 향상시키기 위해 본 연구를 시작하게 되었습니다.

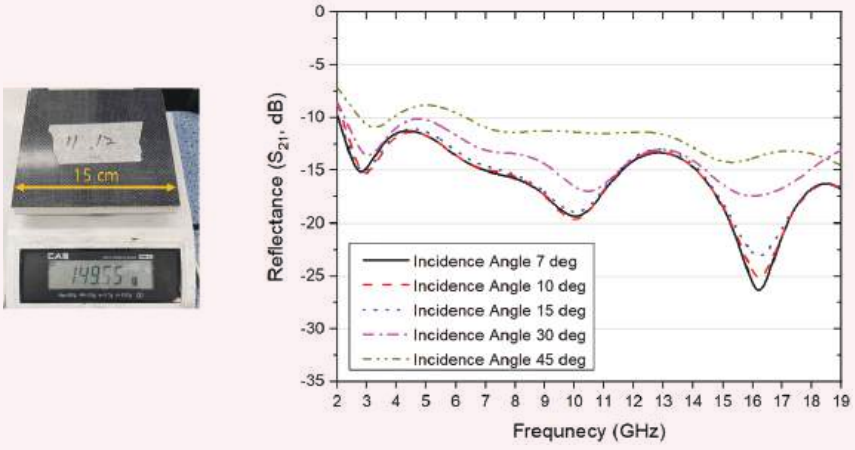
Q2 전자파 흡수체 연구가 어떻게 진행되어 세계 수준의 연구로 발전하게 되었나요?

A2

전자파 흡수체의 연구개발은 크게 두 단계로 진행되었습니다. 한국과학기술원(KAIST)의 신종화 교수팀과 한국기계연구원의 전은채 박사팀에서 연구된 기초원천 연구를 연구단에서 발전시켜 군에서 사용 가능한 전자파 흡수체 패널을 개발하였습니다. 좀 더 구체적으로 소개하면 신 교수팀에서는 등가회로 모델 기반의 스텔스 기능을 가진 메타표면 구조체를 설계하고 전 박사팀에서는 마이크로 엔드밀링 기술을 기반으로 전도체층 패터닝(Conductor Layer Patterning) 기법을 개발하여 X-대역(8~12 GHz)과 Ku-대역 일부 주파수까지 –10 dB 전파흡수 성능을 가지는 전자파 흡수체를 연구하였습니다.

그 후 연구단에서는 신 교수팀의 기초연구를 바탕으로 구조물의 형상과 재질을 고려하여 동작주파수를 광대역화하기 위해 유전알고리즘과 딥러닝(Deeping Learning) 기법을 이용하여 이중 패턴으로 최적 설계 형상을 도출하였습니다. 그리고 경량, 저비용, 제작의 용이성 등을 고려한 실크스크린 인쇄기법을 사용하여 메타표면을 구현하였으며 실제 사용 시 요구되는 내구성을 군사규격에 맞도록 전자파 흡수체 패널을 제작하였습니다.

현재 개발된 경량의 광대역 전자파 흡수 패널은 무게가 약 150 g(가로·세로 15 cm 기준)이며, 2~18 GHz의 주파수에서 전파흡수성능을 만족하고 MIL-STD-810H에 명시된 고온/저온, 염수분무 등의 운용환경 요구 규격을 만족하는 내구성을 갖추었습니다. 이를 바탕으로 국내 특허등록 9건과 SCI급 논문 2편을 발표하는 등 이는 세계적 수준의 전파흡수체로 판단됩니다.



<파동에너지극한제어연구단에서 개발한 전자파 흡수체 시편의 무게(좌)와 전파 흡수성능(우)>

Q3 연구단의 연구결과를 기술 창업에 어떻게 연결시켰나요?

A3

연구단에서는 전자파 흡수체를 국산화하고 군의 스텔스 성능요구에 대응한 기술 개발의 기반을 구축하기 위해 2021년 9월 15일에 '㈜지에스에스'를 설립하였습니다. 이를 위해 연구단에서는 이미 개발되어 출원된 스텔스 기술 중 전자파 스텔스 기술 3종(광대역 메타물질 흡수체, 이중대역 전자기 메타표면, 광각 전자기 메타표면)과 음향 스텔스 기술 2종(유체소음기, 흡음패치 및 이를 이용한 수중흡음판)을 총 2.11억 원의 기술가치로 현물 출자하였습니다.

설립된 ㈜지에스에스는 연구단의 기술지원을 받아 2021년에 과학기술사업화진흥원의 지원으로 "광대역 메타물질 전파흡수체 개발" 기획연구를 수행하였고, 2023년 11월 30일에는 국방기술진흥연구소 국방벤처센터의 벤처기업에 편입되어 기술개발 지원을 받을 수 있는 체제를 만들었습니다. 2023년 12월에는 국방과학연구소 민군협력진흥원에 민군적용과제를 지원 신청하는 등 적극적인 기술 발전계획을 수립하여 추진하고 있습니다.

Q4 개발된 전자파 스텔스 기술이 어떻게 응용되고 있나요?

A4

연구단에서 개발한 광대역 전파흡수체를 직접 사용할 수 있는 군에 알리기 위해 군사과학기술학회, 육군교육사령부, 육군기계화학교, 해군 함정기술학회, 국방과 기술, 해군지 등에 연구개발 결과를 적극적으로 홍보하였고, 국방 연구개발 관련기관 및 방산업체와 연구협력을 추진하고 있습니다. 매년 국방 핵심기술 과제 제안에 연구단 독자적으로, 혹은 타 기관과 협력하여 적극 참여하고 있으며, 함정과 무인기, 전차 등에 적용하기 위해 노력중입니다. 먼저, 해군 함정에 적용하기 위하여 2019년에는 L사와 "함정용 메타물질 전파흡수체 개발연구"를 수행하였고, 2021년에는 과학기술사업화진흥원과 "광대역 메타물질 전파흡수체 개발" 기획연구, H사와 "함정용 메타물질 적용가능성 연구"를 수행하였습니다. 최근에는 L사와 함정에 적용가능한 이중대역 스텔스 기술을 개발중입니다.

무인기에 적용하기 위한 활동으로 2022년부터 과학기술사업화진흥원의 지원으로 "연구재료용 그래핀 기반 투명스텔스 소재 연구"를 수행중이며, K사와 광대역 스텔스 기술 개발을 위한 국방 핵심기술 응용연구를 수행하고 있습니다. 또한, 2023년부터는 국방과학연구소와 무인기 개발을 위한 연구과제를 수행하고 있으며, 한국재료연구원과도 스텔스 기술 개발을 위한 공동연구를 착수하였습니다. 오는 2024년에는 L사와 스텔스 안테나 개발을 위한 연구를 수행할 예정입니다.

그 결과, 연구단에서 개발한 전자파 스텔스 기술을 전투함정에 적용하기 위한 선행연구로 2023년 6월부터 해군 함정에 전파흡수패널을 부착하여 4계절 내구성 시험을 진행한 결과가 최근 언론보도를 통해 공개되었습니다.



<파동에너지극한제어연구단에서 개발하여 해군 함정에 적용한 전파흡수체 관련 보도>

Q5 앞으로 연구단의 전자파 스텔스 분야의 연구발전 계획은 어떻게 수립되어 있나요?

A5

파동에너지극한제어연구단은 2023년 3월 LIG넥스원과 국방 메타구조 공동연구센터를 설립하여 차세대 국방 R&D 분야에서 메타물질 기술을 선도하는 협력체계를 구축하였습니다. 그리고 K사와는 국방 핵심기술 응용개발 사업을 2022년부터 5년간 수행하고 있으며, 국내 여러 중소기업들과 공동연구를 기획 또는 발굴하고 있습니다. 그뿐만 아니라, 국방과학연구소, 한국기계연구원, 한국재료연구원 등의 정부 출연 연구기관과 지속적인 협력 관계를 유지하며, 새로운 응용 혹은 융합 연구를 준비하고 있습니다.

10대 국방전략기술 분야 중의 하나인 첨단소재 분야에서 메타물질을 활용한 스텔스 기술을 중장기적으로 연구 개발하는 계획이 수립되어 있으며, 연구단에서는 국산 스텔스 기술 연구에서 꼭 필요한 역할을 수행할 수 있도록 지속적으로 노력할 것입니다.

2. 박종진 대표 인터뷰

- 기업명: ㈜제이제이엔에스
- 창업시기: 2020.10
- 도입기술명 : 음향메타구조 경량차음판 기술(2건)
  초음파 트랜스듀서 기술(2건)
- 도입시기 : 2020/2021/2022(총 4건)



박종진 대표, ㈜제이제이엔에스

㈜제이제이엔에스는 파동에너지극한제어연구단으로부터 2020년 음향메타구조 경량차음판 기술에 대한 2건의 기술이전(2천 3백만 원)과 2021년, 2022년 초음파 트랜스듀서 기술에 대한 2건의 기술이전(3천 5백만 원)을 체결하여 총 4건의 기술이전을 진행하였다. 이후 지속적인 R&D를 통해 건축용 경량 방음소재 제품과 전기자동차용 방음 소재 제품의 상품화에 박차를 가하고 있다. 2020년 10월 연구소기업으로 설립된 ㈜제이제이엔에스의 박종진 대표를 만나 성공적인 기술이전 및 사업화의 비결을 들어보았다.

Q1 안녕하세요 대표님, 파동에너지극한제어연구단의 기술사업화 우수 성공사례로 선정되셨습니다. 그만큼 사업화를 하기위해 많은 우여곡절이 있으셨을 것 같습니다. 먼저 기업에 대해 간략하게 소개 부탁드리겠습니다.

A1

안녕하세요 반갑습니다. '제이제이엔에스'는 2020년 10월 6일에 설립되어 파동을 제어하는 메타기술을 활용한 음향 파동 제어 기술을 바탕으로 건축용 또는 차량용 방음제품과 소재를 설계 및 제작, 판매하는 기업으로, 현재 직원 4명 정도의 중소기업입니다.

Q2 과거 파동에너지극한제어연구단에서 근무하셨다고 들었습니다. 연구단 기술을 바탕으로 창업하게 된 대표님의 이야기가 궁금합니다.

A2

네, 저의 이야기를 좀 들려드리자면 질문주신 것과 같이 창업하기 전에 파동에너지극한제어연구단에서 연구원으로 근무하면서 연구단의 지속가능한 전략을 많이 고심했었습니다. 그때 제가 연구단에서 창업 지원 프로그램을 개발하게 되었는데, 그 창업 지원 프로그램이 저를 창업으로 이끌었다고 할 수 있을 것 같습니다.

Q3 파동에너지극한제어연구단에서는 사업화 장려를 위해서 따로 창업프로그램을 구축하여 운영하고 있군요. 정말 그 창업 프로그램이 실질적으로 대표님께서 창업하는데 큰 도움이 되었을 것 같은데 그 과정이 어떠셨나요?

A3

네, 그 당시 파동에너지극한제어연구단에서는 원천기술을 확보하고 그에 대한 특허와 논문 등에 대한 성과가 창출이 되고 있었는데, 단장님께서는 연구단의 핵심을 단순히 원천기술 개발뿐만 아니라 사업화로 연결될 수 있는 브릿지 역할의 필요성을 강조하셨습니다. 그래서 연구단 내에서는 사업화를 장려 할 수 있도록 하기위해 창업하는 연구자들을 대상으로 R&D개발자금을 지원하는 창업 프로그램이 구축되었습니다.
그 때 저도 연구단의 일원 및 연구원으로서 구축된 창업 프로그램을 보고, 도전함으로서 연구단의 지속가능성에 기여 할 수 있을 것 같다는 생각이 들었습니다. 장려할 당시에 저는 연구개발에만 집중하고 있어서 사업화 쪽에 전혀 관심이 없던 사람이었는데, 창업을 생각하게 된 시점부터 제가 개발하던 기술들이 실질적으로 시장에서 상용화하여 차별점이 있을 수 있을까 혹은 스스로도 이 기술 아이템이 사업화 가능성이 있는지 조사하고 판단해봤습니다. 그리고 저의 아이템에 대한 확신이 들게 되었고, 연구단에 그 프로그램에 도전하겠다고 말씀드렸습니다.

Q4 창업 후 어떻게 파동에너지극한제어연구단의 기술을 이전 받게 되었는지 그 추진 스토리가 궁금합니다.

A4

연구원으로서 창업을 실시하다보니, 제가 직접 개발한 연구 아이템을 기반으로 사업화하는 것이 먼저 우선시 되어야겠다고 생각을 했습니다. 그래서 제가 연구원 시절 개발했던 유효 메타물질을 조절하는 메타 구조 기본 개념에 대한 기술을 특허로 출원하였고 그 기술을 기술이전 받았습니다. 다만 해당 특허기술이 원천기술이었기 때문에 실질적으로 그 특허기술을 개량하여 음향 메타물질을 이용한 방음 소재 및 제품을 추가적으로 기술 개발을 하여 사업화까지 진행하게 되었습니다.

Q5 기술을 이전받는 과정에서 어려운 점은 없었나요?

A5

기술이전 받는 과정에 있어서 어려움이 많이 있었습니다. 특히 기술이전 조건을 조율하는 부분에서 서로 원하는 부분에 차이가 있어, 대화가 많이 필요했습니다. 실질적으로 규정상 연구단의 기술을 전용실시권으로 기술이전 계약을 하기 어려워 통상실시권으로 기술이전 계약을 진행하게 되었는데, 그 부분이 조금 아쉬웠던 것 같습니다.
그래도 제가 연구자 창업으로 진행하다보니 타 기업의 기술이전의 경우보다 기술적 구현에 대해서는 큰 어려움이 없었습니다. 사실 연구단에서는 법규적으로 기술이전 사후관리 프로그램이 따로 존재하지 않아서 보통 기술이전 계약 이후에 연구자들이 기술 구현에 대한 조언이나 연구에 도움을 주지 않는 경우가 많이 있습니다. 그런 부분들을 보완하려면 꼭 기술이전 계약서에 해당 사항들을 구체적으로 명시해주어야 계약 이후에 기술을 적용하는데 어려움이 많이 줄어들 수 있을 것입니다.

Q6 기술이전을 통해 도입된 기술은 현재 기업에서 어떻게 적용되고 있나요?

A6

현재 기술이전을 통해 도입된 기술을 기반으로 가장 먼저 타겟팅하고 있는 제품은 층간소음 방지를 위한 방음 소재입니다. 이 방음 소재는 신규아파트 및 노후아파트에 공급을 하기위해 개발된 제품으로 2가지 제품을 준비하고 있는데, 하나는 슬라브 밑단에 붙일 수 있는 천장형 제품이고, 하나는 석고보드 일체형 제품입니다. 신규아파트에는 두 제품 모두 적용이 가능하며, 노후화된 아파트에는 석고보드 일체형 제품으로 적용이 가능해서 현재 방음 시장에서 바로 사용이 가능합니다.



<건축용 방음패널 제품>

그리고 차후 진행하고자 하는 제품은 자동차용 방음 소재입니다. 현재 저희가 정부에서 지원하는 창업 성장 기술 개발이라는 팁스 프로그램에 선정이 돼서 올해부터 2년 동안 5억을 지원을 받게 되었습니다. 그래서 전기자동차용 방음소재 기술개발을 통해 내년 말까지 R&D가 완료되어 총 3개의 제품을 출시할 예정입니다.



<전기자동차용 방음패널 제품>

Q7 그렇다면 앞으로 제이제이엔에스가 나아가고자하는 비전 또는 계획을 가지고 계신지 궁금합니다.

A7

지금 현재 저희 JJNS의 강점은 기술력을 바탕으로 한 차별성있는 제품이 가능하다는 것이고, 아파트 소음 등 건축에 대한 방음 기술에 대한 기술력을 어느 정도 확보를 하여 제품화까지 가능한 상황입니다. 차후에는 자동차용 방음 기술을 확보하여 제품화까지하여 핵심 고객층을 건설사에서 자동차 완성업체로까지 확장하고자 계획하고 있습니다. 특히 이 터닝포인트가 된 계기가 현대자동차에서 추진하고 있는 엑셀러레이팅 프로그램 중 하나인 제로원 프로그램에 작년 2월에 선정되면서 현대자동차 연구소와 함께 과제를 진행하게 되었습니다. 그래서 이후로 전기자동차용 방음 소재 제품을 개발하고자 합니다. 그리고 최종적으로는 메타 기술을 적용한 다양한 분야의 제품을 개발해서 확장하여 메타 구조 플랫폼 기업으로 거듭나는 것을 궁극적인 목표로 하고 있습니다.

Q8 마지막으로 기술이전을 고려하는 기업에게 조언하고 싶은 말과 파동에너지극한제어연구단에 남기고 싶은 말이 있다면 한마디 부탁드리겠습니다.

A8

기술이전을 받을 때 기업에서는 명확하게 기업 내부에서 어떤 기술이 필요한 것인지 알고, 기술이전 받으려는 기술이 그 필요한 기술이 맞는지 명확하게 기술내용을 파악하는 것이 중요한 것 같습니다. 그리고 특허의 경우, 하나의 기술을 쪼개서 분할 출원되는 경우도 많아서 특허 내의 권리 범위를 꼭 확인해야합니다. 해당 특허의 기술을 적용하여 제품 개발을 할 때 우리가 그 특허 하나만 계약을 하면 되는 것인지 혹여나 다른 특허로 쪼개어 권리범위가 나누어져 있는 것은 아닌지 확인을 꼭 하셔야 차후에 제품 출시 때, 침해 이슈에 휘말리지 않을 수 있을 것 같습니다. 마지막으로 파동에너지극한제어연구단이 10년이라는 기간 동안 여러 전문가 분들을 모아서 메타물질이라는 기술에 대해 연구 및 사업화를 한다는 게 쉬운 건 아닌데, 잘 마무리해서 저희처럼 제품화가 좀 더 되어 다른 분야에서도 현실적인 성과가 나올 수 있도록 남은 기간 동안 연구단에서 조금 더 노력을 하면 좋을 것 같습니다. 감사합니다.

05 미래제언

1. 남기고 싶은 말

메타물질은 Imperial College의 J. Pendry 교수가 1996년에 이론을 정립한 후 Duke Univ의 D. Smith 교수가 2000년에 실증을 하면서 본격적으로 연구가 되기 시작된 신생 학문 분야로 최근 혁신기술 분야의 새로운 돌파구로 여겨지고 있다. **메타물질은 자연계 물질이 갖고 있는 고유의 물성 한계를 뛰어넘는 인공 소재 및 시스템으로서, 어떠한 물성이든 만들어 낼 수 있는 뛰어난 설계 자유도를 갖고 있다.** 특히 국방분야의 활용성이 높아 외교·안보 측면에서 중요하고, 신산업 창출 등 미래 혁신의 기반이 되는 기술로 국가적인 육성과 보호가 필요하다.

이에 세계 각국에서는 메타물질 분야에 대한 지원이 이어지고 있다. 특히 그 중 유럽은 Horizon 2020 프로그램을 통해 나노구조·정보 분야에서 국가 간 협력하던 것을 진동·소음 저감용 역학 메타물질 분야로 확대하여 대규모 투자하고 있다. 미국은 MURI, DARPA, SBiR 등을 통해 기초원천 메타물질 기술을 국방 및 산업기술로 연계하는 대규모 지원을 아끼지 않고 있으며, 빌게이츠 재단 등에서도 2013년부터 메타물질 연구를 지원하고 있다. 이외에도 개발 기술을 공유하며 저변을 확대하던 **선진국에서는 산학연 주체간, 민-군간 네트워크를 공고히 하면서, 국방 등 전략기술 분야는 비공개로 전환하여 거대 프로젝트를 통해 종합적으로 지원**하고 있다.

세계가 전자기 메타물질 분야의 기초연구에 집중하는 동안, 우리나라는 글로벌프런티어 사업을 통해 전자기/역학 분야 전문가를 중심으로 전략적으로 연구 개발하여 높은 격차를 가진 핵심기술을 확보하였다. 또한 연구데이터를 공학설계 플랫폼(EDPM)에 수록하여 후속 사업에 활용할 수 있도록 준비하였다.

세계 여러 국가가 경쟁적으로 지원하고 있으나 아직 메타물질 제품이 본격 출시되고 있지는 않은데, 이는 메타물질 원천기술을 응용으로 연계하는 기술이 충분히 성숙되지 않은 것으로 예상하고 있다. 국내 연구 역량은 메타물질을 실제 응용하기에 필요한 하향 설계, 손실 최소화, 광대역 성능 구현, 복합기능, 대량 생산 기술을 이미 확보하였다. **응용 분야별 실시기업과 협력하여 제품을 생산하면 신시장을 창출하고 이를 주도할 수 있는 역량이 있어 이를 위한 체계적인 지원체계를 마련할 필요**가 있다.

파동에너지극한제어연구단
연구단장 **이학주**



우리나라가 정부 주도 중장기 대형 R&D 사업을 통해 가까스로 선점한 기술 주도권은 주저하는 사이 후발 주자들에게 자리를 내놔야 할 수 있고, 신시장 창출의 기회를 놓칠 수도 있다. 시장조사 전문기관인 Future Markets은 2031년 메타물질 시장을 $9.4B로 전망하였으며, 또 다른 조사기관인 IDTech Ex는 2042년 $19B 규모로 전망하고 있다. 공통적으로 통신, 항공우주, 국방, 보안 등 신시장 창출이 기대되는 분야에서의 성장을 예측하고 있다.

안보 및 미래산업에 파급효과가 큰 메타물질의 전략적 육성을 위한 종합계획이 필요하며, ADD를 포함한 정부출연 연구소와 대학, 산업체의 기술을 활발히 논의하는 융합 접점 마련이 시급한 시점이다. 이를 위하여 기 확보한 연구개발 역량의 민수 활용도를 검토하고, TRL 수준이 높은 기술에 대한 사업화 지원 및 기업의 연구개발을 지원·유도하여 메타물질 산업 육성을 꾀하여 우리의 우수한 연구개발 역량이 산업발전과 국민 삶의 질 증대에 연계되도록 하여야 할 것이다.

2. 미래상

가. 중장기 미래발전 목표

메타물질은 차세대 5G/6G 통신, 디스플레이, IoT·모빌리티 센서, 스텔스, 레이더 등 다양한 산업/국방 분야에 혁신을 가져올 미래기술로 국가적인 육성·보호가 필요한 전략기술이다.

미국, 유럽, 중국 등 주요국은 메타물질 연구센터 설립, 전담팀 신설, 국방응용 네트워크 구축 등 관련 연구를 경쟁적으로 지원하는 것을 보더라도 메타물질은 미래를 선도할 매우 중요한 기술이다.

연구단은 글로벌프런티어 사업으로 확보한 메타물질 분야의 세계적인 원천연구 성과를 활용·확산하여 보유기술의 가치를 제고할 수 있도록 **후속 연구 및 학제 간 구심점 역할을 수행할 계획**이다. 세계적으로 급증하고 있는 메타물질 분야 연구개발을 주도하여 다양한 산업분야 적용을 통한 혁신제품 및 서비스 창출, 선진 의료기술 및 기기 개발을 통한 건강한 사회 실현, 에너지 절감을 통한 지속가능한 사회 구현, 국가안보 강화를 통한 안전 국가 실현 등 미래소재 개발 주도권을 확보하고자 한다.

나. 앞으로의 계획

연구단은 글로벌프런티어 사업을 통해 확보한 세계적인 원천기술과 전문역량을 바탕으로 미래소재 핵심 분야인 메타물질의 글로벌 연구기관으로 도약할 계획이다.

메타물질 원천기술 응용·개발 연구 및 사업화 추진

세계적 원천기술 확보 및 고도화, 연구성과 활용·확산을 위한 연계 연구개발, 산학연 및 국제공동연구 구심점, 메타물질 핵심기술 사업화로 미래소재 개발 주도 등 역할을 하도록 연구개발 및 기술사업화를 추진하고자 한다. 연구개발로는 정부·공공·민간 수탁연구, 연구단-수요기업 공동연구센터 운영, 국방 특화연구실 운영, 기술사업화로는 메타물질 분야 핵심 IP 라이센싱, 핵심기술 기반 창업(연구소 기업) 및 육성을 계획하고 있다.

3개 중점 연구분야 집중 및 점진 확대

연구단 연구역량을 고려하여 메타 초음파, 메타 디스플레이, 메타 스텔스(RF/음향) 등 3개 분야에 집중하고, 향후 대내·외 여건 변화를 고려하여 분야를 단계적으로 확대 발전시키고자 한다. 메타물질 적용 효과를 고려하여 응용아이템을 지속적으로 발굴하고, 해당 시장 주도기업과 협력하여 응용·개발 공동연구 및 기획을 추진할 계획이다.

메타 초음파, 메타 디스플레이 분야는 부처 사업간 이어달리기 사업 수행으로 메타물질 핵심기술 고도화 및 응용 아이템에 대한 성능 검증 등을 추진하며, 메타 스텔스 분야는 국방분야 응용 기획, 개발연구 추진 및 방산업체와의 성능 검증을 위한 민군수탁 수행, 특화연구실 및 공동연구센터 운영 등을 세부 내용으로 로드맵을 구축할 계획이다.

집필진

정승환　의약바이오컨버젼스연구단
장칠현　실감교류인체감응솔루션연구단
이슬기　차세대바이오매스연구단
한정조　멀티스케일에너지시스템연구단
서은주　나노기반소프트일렉트로닉스연구단
전성혜　다차원스마트IT융합시스템연구단
신정환　지능형바이오시스템설계및합성연구단
진형호　하이브리드인터페이스기반미래소재연구단
이윤상　바이오나노헬스가드연구단
김용만　파동에너지극한제어연구단

편찬위원

김종원　前 21C프런티어사업단장
김성훈　의약바이오컨버젼스연구단장
유범재　실감교류인체감응솔루션연구단장
최만수　멀티스케일에너지시스템연구단장
조길원　나노기반소프트일렉트로닉스연구단장
경종민　다차원스마트IT융합시스템연구단장
김선창　지능형바이오시스템설계및합성연구단장
김광호　하이브리드인터페이스기반미래소재연구단장
신용범　바이오나노헬스가드연구단장
이학주　파동에너지극한제어연구단장

기획

과학기술정보통신부 연구개발정책과
한국연구재단 융합기술과
글로벌프론티어사업 본부장 협의회

발행인

과학기술사업화진흥원

디자인

㈜시공아이피씨
㈜디자인티엠



biocon

CHIC 실감교류인체감응솔루션연구단
Center of Human-centered Interaction for Coexistence

ABC Advanced Biomass R&D Center

멀티스케일 에너지 시스템 연구단
Global Frontier Center for Multiscale Energy Systems

CASE 나노기반 소프트일렉트로닉스 연구단
Center for Advanced Soft Electronics

CISS Center for Integrated Smart Sensors
(재)스마트IT융합시스템연구단

ISBC Intelligent Synthetic BioLogy Center

(재)하이브리드인터페이스기반
미래소재연구단

H-GUARD
(재)바이오나노헬스가드연구단

파동에너지극한제어연구단
Center for Advanced Meta-Materials