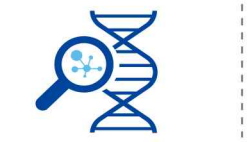
총서 307권





2022 바이오 미래유망기술

2022. 2.

한국생명공학연구원
Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology
국가생명공학정책연구센터
National Biotech Policy Research Center
KiSTi www.kisti.re.kr 한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information

목 차

1 연구 배경 및 목적 ····· 1

가. 연구 배경 및 필요성 ····· 1

나. 국내·외 현황 및 사례 ····· 6

다. 연구 목적 ····· 11

2 연구 범위 및 방법 ····· 12

가. 정의 및 추진방안 ····· 12

나. 단계별 연구 방법 ····· 14

3 연구 결과 ····· 30

가. 2021 10대 바이오 미래유망기술 선정 ····· 30

나. 향후계획 및 기대효과 ····· 33

4 참고문헌 ····· 36

[첨부1] 2021 바이오 미래유망기술 설명자료 ····· 36

[첨부2] 그간 발굴된 바이오 미래유망기술 리스트 ····· 56

표 목 차

표

[표 1] 바이오 미래유망기술 발굴 연구방법론 특징 비교 ····· 5
[표 2] 세계경제포럼 선정 10대 미래유망기술 ····· 6
[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술 ····· 7
[표 4] 주요 해외 미래유망기술 발표 현황 ····· 8
[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황 ····· 10
[표 6] 미래유망기술 파급효과 정의 ····· 12
[표 7] 미래유망기술 발굴을 위한 단계별 추진방안 ····· 13
[표 8] 대분류별 바이오 위크시그널(키워드) 탐색 건수 ····· 15
[표 9] 바이오 분야 위크시그널 리스트(일부) ····· 15
[표 10] 최신 바이오 관련 뉴스 및 연구 이슈 리스트(일부) ····· 16
[표 11] 위크시그널 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 16
[표 12] 최신 이슈 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 17
[표 13] 후보기술 재추천 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 18
[표 14] 바이오 미래유망 후보기술 도출 과정 ····· 19
[표 15] 후보기술 출처/소스별 도출 갯수 ····· 19
[표 16] 후보기술 1차, 2차 도출 리스트 ····· 20
[표 17] 후보기술 최종 선정을 위한 필터링 평가 결과 ····· 22
[표 18] 2022년 바이오 미래유망 후보기술 ····· 24
[표 19] 바이오 미래유망기술 설문조사 및 전문가 평가 결과 ····· 27

그 림 목 차

그림

[그림 1] 경로 파괴형(path-breaking)으로의 혁신 모델 전환 ····· 2

[그림 2] R&D 속도 향상을 통한 혁신 엔진으로서의 플랫폼바이오 ····· 3

[그림 3] 2021년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 ····· 4

[그림 4] 바이오 미래유망기술 발굴 추진방안 변화 ····· 5

[그림 5] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교 ····· 11

[그림 6] 데이터 기반 위크시그널 자동탐지 프로세스 ····· 14

[그림 7] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성 ····· 26

[그림 8] 2021 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상(상) 및 전문가 원고(하) ····· 28

[그림 9] 바이오 미래유망기술 연재소설 바이오인 게시 및 서적 출판(예정) ····· 29

[그림 10] 2021년 과학기술대전 내 전시된 바이오 미래유망기술 홍보관 ····· 29

[그림 11] 2022년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 ····· 32

[그림 12] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안 ····· 34

[그림 13] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안 ····· 30

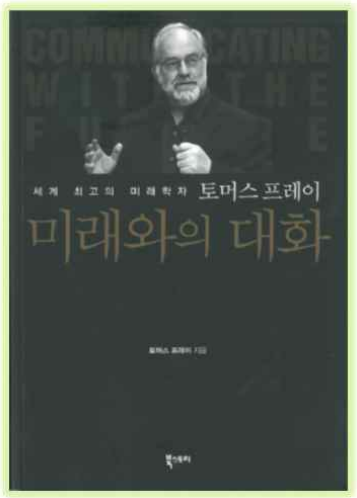
1 연구 배경 및 목적

가 연구 배경 및 필요성

[프롤로그(Prologue) - 시작에 앞서]

미래학자 토머스 프레이(Thomas Frey)는 그의 저서「미래와의 대화(Communicating with the Future)」에서 "비전은 미래와 소통할 수 있는 강력한 도구가 될 수 있다." 라고 주장하고 있으며,

또한 그는 "몇 년 후나 몇 십 년 후에 실현될 새로운 기술에 대한 비전이 많은 반면 그 중에 결코 실현되지 않을 기술도 존재한다. 그러나 대부분의 비전은 처음에는 작은 씨앗과 같다."라고 말하고 있다.



우리의 '바이오 미래유망기술'이 바이오 분야의 미래비전을 제시할 수 있는 작은 씨앗이 될 수 있기를 바란다.

□ 4차 산업 혁명, 디지털 전환 추세 속에서 연구개발 혁신의 모델이 과거 선형(linear) 방식에서 경로-파괴형(path-breaking) 모델로 변화

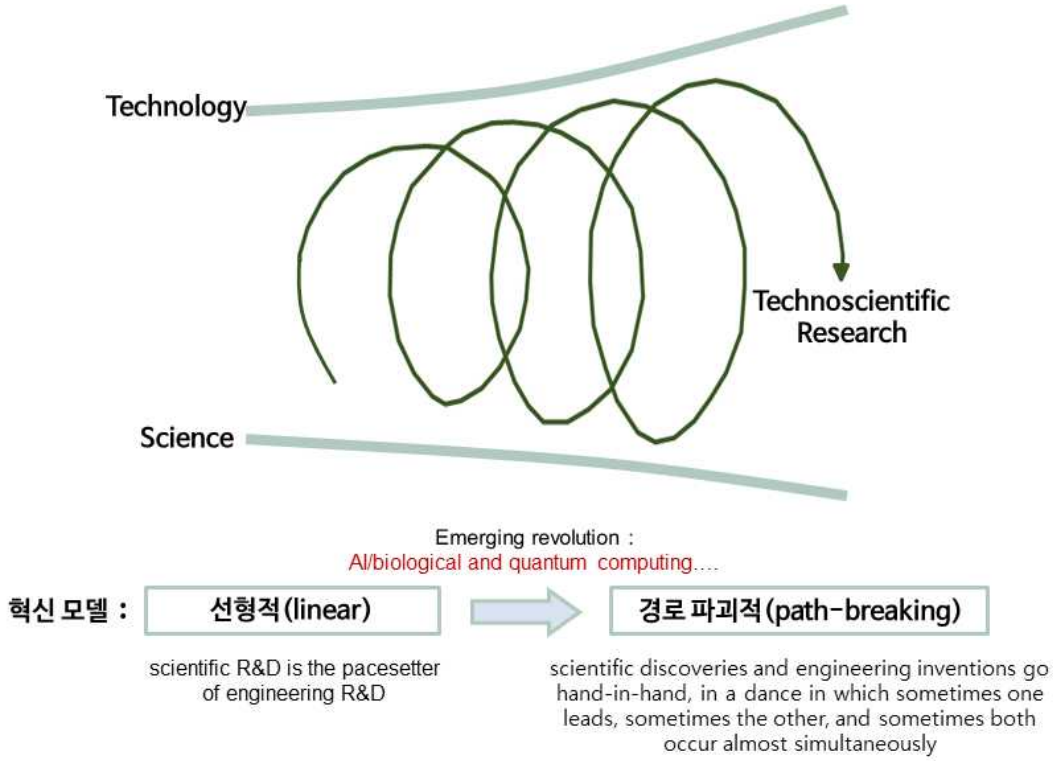
o 최근 미국 한림원에서 발표한 자료[1]에 의하면 2차 세계대전 이후 정립되어 온 선형 모델(과학 이후 기술개발 순)은 더 이상 연구개발의 혁신 모델로 적용하기에는 한계가 있으며,

- 대신에 과학과 기술이 상호협력하여 혁신을 창조하는 경로 파괴형 모델에 기반한 technoscientific research와 technoscientific development 추진이 필요하다고 설명

- 특히, 경로 파괴형 혁신 모델에 따라 과학과 기술을 구분할 필요가 없다고 주장하며, "Technoscientific"이라는 용어를 강조

1) National Academy of Sciences, Engineering, Medicine, NAE Perspectives, Technoscientific Research: A Missing Term in R&D Discourse, 2022.1.18

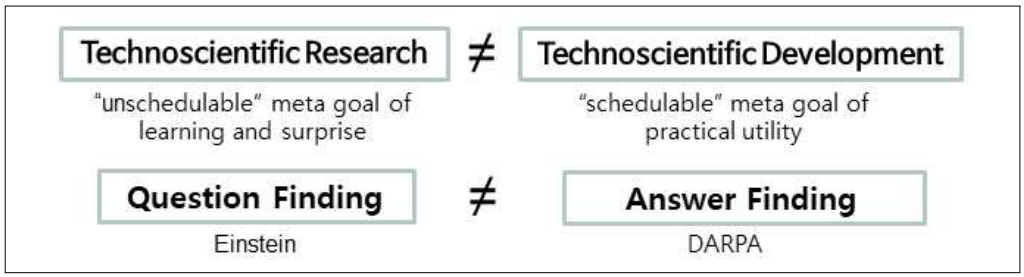
※ 최근 미국 의회에서도 과학과 기술의 상호 혁신을 위해 미국 NSF의 역할을 과학에서 기술로 넓히는 범위 조정에 대한 제도화 움직임이 있으며, 저자는 더 나아가 NSF(National Science Foundation) 명칭을 NRF(National Research Foundation)로 변경해야 한다고 주장



[그림 1] 경로 파괴형(path-breaking)으로의 혁신 모델 전환

□ 과학과 기술은 구분할 필요가 없으나, 특성이 서로 다른 Research와 Development는 구분해서 지원할 필요

○ Research는 질문 찾기(Question Finding) 성격이 강하여 목표를 예측할 수 없는 반면에, Development는 해답 찾기(Answer Finding) 성격이 강해 사전에 목표를 예상해서 관리가 가능



- Answer Finding의 대표적인 사례로 DARPA 프로젝트를 들었고, Question Finding의 사례로는 아인슈타인의 말*을 언급

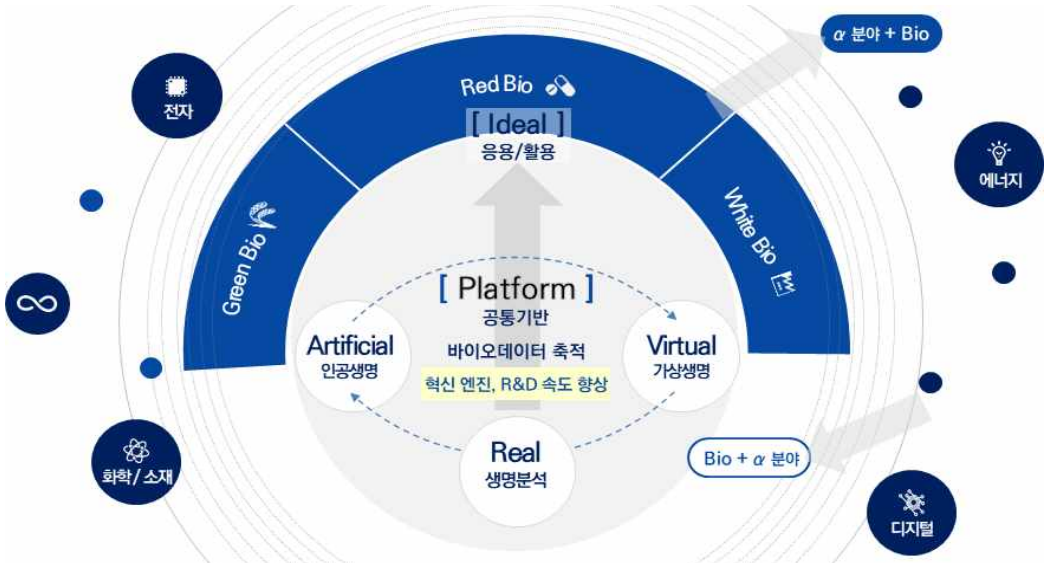
  * “The formulation of a problem is often more essential than its solution, which may be merely a matter of mathematical or experimental skill. To raise new questions, new possibilities, to regard old questions from a new angle, requires creative imagination.”

□ **Technoscientific 트렌드에 따라 경로파괴적 혁신을 추구하는 미래유망기술의 중요성과 역할이 강조될 것으로 전망**

o 특히, 바이오 분야의 경로파괴형 미래유망기술은 다양한 바이오 기술과 산업 전반(Red, Green, White Bio)에 걸쳐 파급력을 나타내는 플랫폼적인 특성을 보유

- 향후 플랫폼바이오는 생명현상을 해석, 이해(Real, 생명분석)하고, 이러한 현상을 실제 세포나 장기에 도입, 검증, 활용(Artificial, 인공생명)하고, 가상의 공간에서 유용한 기능을 설계, 예측(Virtual, 가상생명)하는 방향으로 발전할 것으로 예상

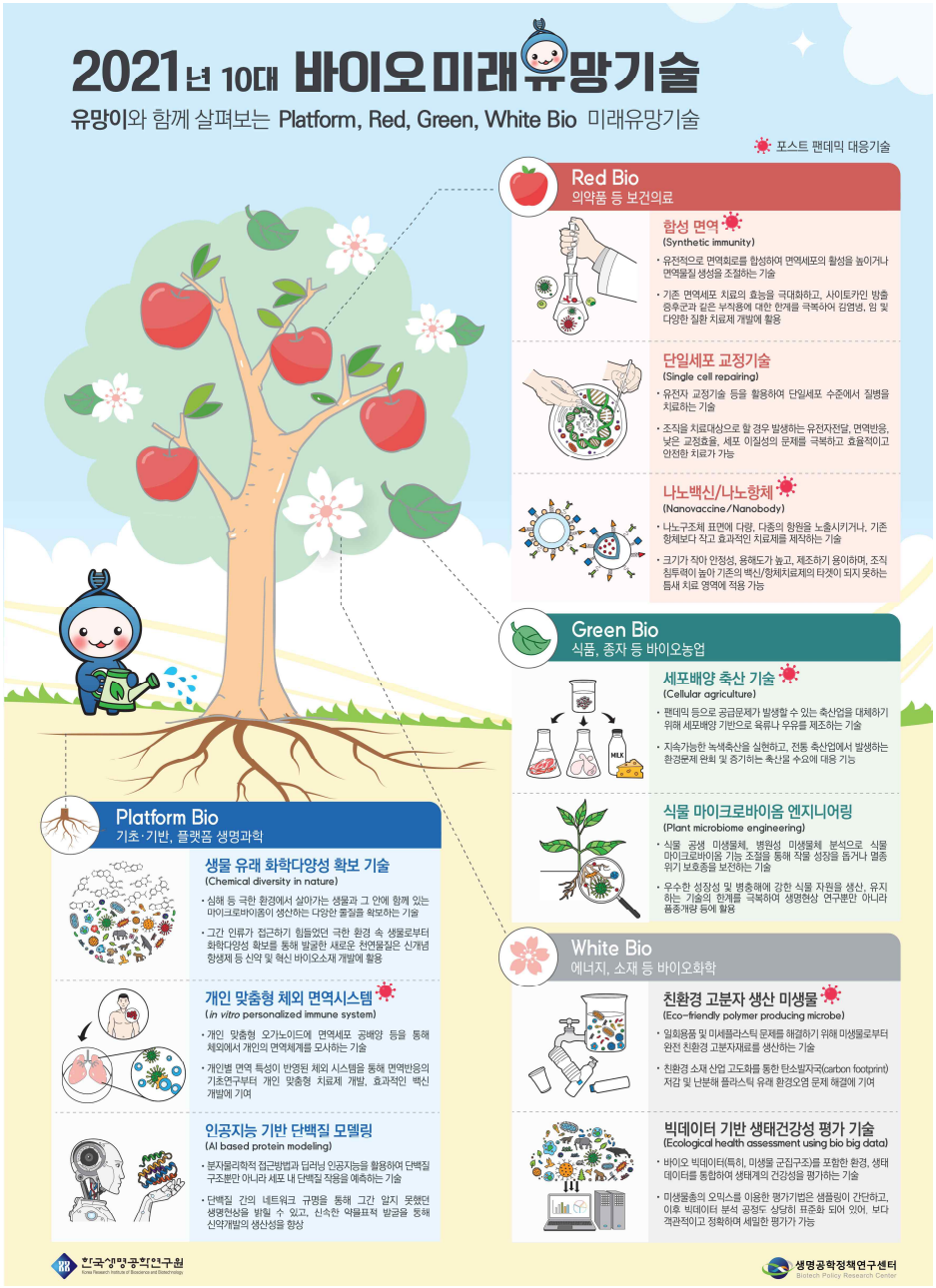
- Real, Artificial, Virtual 간의 선순환 혁신을 통해 방대한 바이오 데이터가 축적되고, 이를 기반으로 발전의 사이클이 가속화되어 플랫폼바이오는 레드, 그린, 화이트바이오 및 타분야까지 혁신의 속도를 향상시키는 엔진으로 작동할 것으로 예측



[그림 2] R&D 속도 향상을 통한 혁신 엔진으로서의 플랫폼바이오

□ 이에 국가생명공학정책연구센터에서는 플랫폼바이오를 포함하여 레드, 그린, 화이트 바이오 분야의 미래유망기술 발굴 연구를 추진 중

○ 지난해에는 코로나19라는 거대한 파고에 맞서 포스트 팬데믹 대응 기술을 각 분야에 포함하여 기초·기반(Platform Bio), 보건의료(Red Bio), 농림수축산·식품(Green Bio), 산업공정/환경·해양(White Bio) 분야별로 선별된 10대 미래유망기술을 발표



[그림 3] 2021년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술

출처 : 생명공학정책연구센터, 2021 바이오 미래유망기술 발굴, 2021.2

□ 국가생명공학정책연구센터는 지난 2015년부터 바이오 미래유망기술 발굴 연구를 추진해오고 있으며, 7번째 연구결과를 올해 발표

o 바이오 분야에 최적화된 미래유망기술 발굴방법과 절차를 구축하기 위해서 다양한 연구방법을 수립

- 2015년 미래유망기술 발굴방법은 기술융합형으로 추진하였으며, 2017년은 이슈대응형으로, 2018년은 혁신발견형으로, 2019년부터 그간의 노하우가 결집된 혁신공감형으로 지속 추진 중

o 특히, 올해는 KISTI 미래기술분석센터와의 협력을 통해 위크시그널* 데이터 등을 기반으로 전문가 논의를 통해 연구를 추진

* 논문 텍스트 데이터에서 추출한 기술 키워드를 대상으로 머신러닝 방법을 적용하여 최근 데이터 변화를 탐지하고, 단기간 내 급부상한 키워드를 발굴

- 데이터 분석 전문역량(KISTI)과 바이오 R&D 전문역량(KRIBB)을 융합하여 객관적이고, 정확한 결과를 도출하기 위해 노력



[그림 4] 바이오 미래유망기술 발굴 추진방안 변화

[표 1] 바이오 미래유망기술 발굴 연구방법론 특징 비교

기술융합형	이슈대응형
▪ BT-ICT 융합 관점의 기술 선정 ▪ 타 기관과의 협력으로 긍정적 홍보 효과 및 차별성 확보 가능	▪ 바이오 뉴스 빅데이터 기반의 이슈 발굴 프로세스 확보 ▪ 대내외적인 이슈 기반으로 타당성 제시 가능
혁신발견형	**혁신공감형**
▪ 미래비전을 제시할 수 있는 혁신형 seed 발굴을 위한 분석 프로세스 확보 ▪ 현 시점의 이슈 중심이 아닌 향후 파급력을 나타내는 기술 발굴 가능	▪ 혁신발견형의 보완된 형태로 진화 ▪ 선정된 기술을 보다 쉽게 대중에게 전달하여 공감대 형성 강화

나 국내·외 현황 및 사례

□ (국외) 세계경제포럼(WEF), MIT, 가트너(Gartner), 맥킨지(McKinsey), 테크캐스트(Techcast) 등에서 미래유망기술 또는 전략기술 발표

○ WEF[2] 선정 10대 미래유망기술 중 바이오 분야는 큰 비중을 차지하고 있는데 2021년 5개의 바이오 관련기술이 선정

※ (바이오기술 포함 추이) 2016년 3개, 2017년 4개, 2018년 6개, 2019년 5개, 2020년 5개

- 2021년 선정된 바이오 관련 기술(5개) : 스스로 비료를 공급하는 작물(Crops that make their own fertilizer), 질병진단 호흡센서(Breath sensors diagnose diseases), 주문형 의약품 제조(On-demand drug manufacturing), 건강한 고령화를 위한 공학(Engineering better ageing), 무선 바이오마커 장치(Biomarker devices go wireless)

[표 2] 세계경제포럼 선정 10대 미래유망기술

2019년	2020년	2021년
순환경제를 위한 바이오플라스틱	마이크로니들	탈탄소화 관련 기술
소셜 로봇	태양열 기반 화학	스스로 비료를 공급하는 작물
소형 장치를 위한 작은 렌즈	가상 환자	질병진단 호흡센서
신약타겟으로써의 구조결함 단백질	공간적 컴퓨팅	주문형 의약품 제조
환경오염을 줄이는 더 스마트한 비료	디지털 의료	무선신호로부터 에너지 획득
협업 텔레프레즌스	전기항공	건강한 고령화를 위한 공학
고급 식품 추적 및 포장	저탄소 시멘트	녹색 암모니아
보다 안전한 원자로	양자 센서	무선 바이오마커 장치
DNA 데이터 저장	그린 수소	현지 재료로 제작된 3D 프린트 주택
유틸리티 규모의 재생에너지 저장	게놈 합성	우주 사물인터넷

※ 바이오 관련 기술 밑줄 표시

출처 : 세계경제포럼, Top 10 Emerging Technologies

2) 유수의 기업인, 경제학자, Journal리스트, 정치인 등이 모여 세계 경제에 대해 토론하고 연구하는 국제 민간회의로, 스위스의 제네바에 위치하고 있지만, 매년 1~2월 그라우뷘덴 주에 위치하는 휴양 도시 다보스에서 열렸기 때문에 '다보스 포럼'으로 불림

ㅇ 미국 MIT에서는 테크놀로지 리뷰(Technology Review)를 통해 2021년 10대 혁신기술을 발표

- 2001년부터 매년 10대 혁신기술(10 Breakthrough Technologies)[3]을 선정하여 발표

※ 새로운 기술 출현의 마이크로 트렌드에 초점을 맞추어 전 세계적으로 연구가 진행되는 기술(IT, BT, ET 등) 중 향후 5년 안에 사회·경제적 파급효과가 큰 10대 기술을 선정

- 2021년 선정된 바이오 관련 기술(3개) : mRNA 백신(Messenger RNA vaccines), 디지털 접촉 추적(Digital contact tracing), 원격의료를 포함한 원격의 시대(Remote everything)

[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술

2019년	2020년	2021년
로봇의 능력/재능	해킹 불가능한 인터넷	mRNA 백신
원자력의 새로운 시도	초고도화 맞춤의약	GPT-3
조산아 예측	디지털 머니	틱톡 추천 알고리즘
캡슐(알약)에 든 장 진단/활용 기기	항노화 신약	리튬-메탈 배터리
맞춤형 암 백신	새로운 분자를 찾아내는 인공지능 기술	데이터 트러스트
소고기 없는 버거	위성 메가 별자리	녹색수소
이산화탄소 포질기	양자 우월	디지털 접촉 추적
손목에 차는 심전도측정기	작은 AI	초정밀 위치정보 기술
하수도 없는 위생시설	차등적 개인 정보	원격의 시대
자연스럽게 말하는 AI비서	기후변화 기여	다재다능한 인공지능

㎐ 바이오 관련 기술 밑줄 표시

출처 : MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies

3) MIT Technology Review는 2001년부터 매년 상반기에 10대 Breakthrough Technologies를 발표, 매년 바이오 관련 기술이 2~4개 포함

[표 4] 주요 해외 미래유망기술 발표 현황

기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
세계경제포럼 (WEF)	▪ [Top 10 Emerging Technologies] 인류에 긍정적이고 실제적 영향을 주는 그 해 주목받는 미래유망기술	2012년	1년
메사추세츠공대 (MIT)	▪ [10 Breakthrough Technologies] 경제적/사회적 파급효과를 가져올 향후 인류가 추구할만한 가치가 있는 10개 기술	2001년	1년
가트너 (Gartner)	▪ [Top 10 Strategic Technology Trends] 3-5년 내에 급부상 할 것으로 예상되는 IT 분야 10가지 기술	2004년	1년
아이디씨 (IDC)	▪ [Top 10 Tech Predictions] 3-5년 내에 급부상 할 것으로 예상되는 IT 분야 10가지 기술	2007년	1년
딜로이트 (Deloitte)	▪ [2018 Deloitte Global Technology, Media and Tele communication Predictions] 본격적인 기계학습 도입에 대한 대한 전망과 기술	2002년	1년
마셔블 (Mashable)	▪ [9 technologies to watch in 2017] 9대 기술 트렌드 예측	2012년	1년
테크스팟 (techspot)	▪ [7 Tech Predictions for 2018] 2018년 산업에서 중요한 발전을 가져올 것으로 기대되는 핵심 기술	2014년	1년
WT VOX	▪ [Top 6 New Technology Comebacks In 2016] 선택받지 못했지만 다시 우리생활 속으로 들어와 세상을 변화시키고 있는 기술	2015년	-
World Future Society	▪ [WORLD FUTURE 2018: HUMAN PURPOSE] 1966년 설립되어 매년 연례학회를 개최	1966년	1년
Forbes	▪ [Top 10 Most Transformative Technologies For Marketing In 2018] 인공지능과 기계학습을 바탕으로 '마케팅'의 미래를 결정할 수 있는 기술	2017년	-
McKinsey Global Institute	▪ [What the future of work will mean for jobs, skills, and wages] 자동화 및 인공 지능의 급속한 발전이 특징인 시대에 일자리에 대한 평가와 미래 전망	2017년	-
CBS	▪ [Tech trends to watch in 2017] 소비자 기술의 변화와 인공지능, 가상현실의 미래 예측	2017년	-
PwC	▪ [Top 10 AI technology trends for 2018] 여러 분야의 비즈니스에 대한 AI 최신 트렌드 기술	2013년	1년
Paste	▪ [the 10 best technology advances of 2016] 그동안 발표된 최고의 기술발전 소개	2013년	1년
The Washington Post	▪ [10 bold predictions for 2014] 최신 Mary Meeker Internet Trends 예측	2014년	-

기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
SwiftKey	▪ [Top 10 tech predictions for the future] 기술혁신을 통한 우리에게 다가올 미래예측 설문조사	2014년	-
TIME	▪ [Top 20 Green Tech Ideas] 환경에 관한 창조적이고 스마트한 일을 하고 있는 회사와 기술 소개	2010년	-
Verizon	▪ [7 trends driving enterprise IT transformation in 2019] IT 기반 글로벌브랜드, 정부기관이 더 나은 고객서비스를 제공하기 위한 기술 및 차별화 전략	2017년	1년
Matador network & Intel	▪ [13 future car technologies for your road trip in 2020] 2020년까지 변화될 자동차 관련 기술	2012년	-
gov-UK	▪ [Eight great technologies] 영국의 연구성과물 중 미래 성장동력이 될 수 있는 8대 기술	2013년	-
IBM	▪ [Next 5 in 5] IBM 연구소가 개발 중인 신기술을 토대로 향후 5년간 세상을 변화시킬 5가지의 기술혁신	2016년	1년

출처 : 국가생명공학정책연구센터, 2021 바이오 미래유망기술, 2021.2

□ (국내) 한국과학기술기획평가원(KISTEP), 한국과학기술정보연구원(KISTI) 등에서 기관에 따라 주제별 미래유망기술 발표

o 미래유망기술에 대해서 '미래'에 대한 관점은 발굴 목적에 따라 다양

- 발굴 연구를 주도하는 주체에 따라 목적에 차별성을 지니고 있음

※ (기업) 1~2년 내에 상용화할 수 있는 제품 모색, (국가연구개발사업) 향후 5~10년 안에 기술이 실현되기 위한 목적 설정 가능

o KISTEP에서는 매년 미래 한국사회의 핵심 트렌드를 선정하고, 이에 대응할 수 있는 10대 미래유망기술을 발표

- 2021년 핵심 트렌드는 설문조사 결과를 반영하여 '비대면'으로 선정하였으며, 주요 영역(소비, 교육, 교통 등)별 미래사회 니즈와 후보기술을 발굴

- 현황 분석, 빅데이터 분석, 전문가 의견 수렴 및 검토 과정을 거쳐 기술을 선정하였으며, 바이오 관련 기술로는 비침습 생체정보 처리 기술이 선정

- 비대면사회의 10대 미래유망기술이 우리 생활에 적극 활용되기 위해서는

기술혁신과 함께 기술실현 저해요인에 대한 정책적 지원방안 마련이 요구

ㅇ KISTI에서는 국내·외 유망기술에 대한 정보를 수집, 빅데이터 분석을 통해 주제에 걸맞는 우선순위 도출 및 유망기술 선정

- 2021년에는 데이터 기반 위크시그널 자동탐지 프로세스를 통해 7,291개의 키워드를 검토하여 10대 포커스 영역을 도출

- 바이오 관련 아이템으로는 RNA를 조절하는 기술, 모바일·디지털 헬스케어, 인공장기가 선정

[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황

기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
한국과학기술 기획평가원 (KISTEP)	▪ [10대 미래유망기술] 바람직한 미래국가상 관점에서 주요 사회적 이슈에 대한 대응 기술	2009년	1년
한국과학기술 정보연구원 (KISTI)	▪ [미래유망기술] 딥러닝을 이용한 기술클러스터의 미래 성장가능성 예측	2006년	1년
한국연구재단 (NRF)	▪ [12대 미래유망기술] 국가미래유망기술 상시 발굴 및 준비체제	2017년	미정
한국전자통신연구원 (ETRI)	▪ [주목해야 할 7대 미래기술] ICT 분야 중심의 유망기술	2014년	1년
한국정보화진흥원 (NIA)	▪ [전자정부 10대 기술트렌드] 차년도에 부각될 인터넷·정보보호 이슈를 도출	2010년	1년
한국생명공학연구원 (KRIBB)	▪ [바이오 미래유망기술] Platform, Red, Green, White 바이오로 살펴본 10대 미래유망기술	2015년	1년
한국전력공사 (KEPCO)	▪ [전력기술의 미래전망] 미래 유망전력 기술 후보 발표	2014년	1년
중소벤처기업부 (구 중소기업청)	▪ 중소·중견기업 기술로드맵 2018-2020	2014년	1년
한국산업기술 평가관리원 (KEIT)	▪ 기술이슈 발간(PD이슈리포트, 2017)	2009년	상시
국립전파연구원 (RRA)	▪ 2025년 미래전파 기술수요 예측조사	2013년	-
특허청 (KIPO)	▪ [5대 산업분야별 10대 미래유망기술] 핵심·원천특허 확보 가능 기술	2012년	1년
정보통신기술진흥원 (IITP)	▪ [ICT 10대 이슈] ICT 분야에서 미래에 전개될 주요 이슈	2008년	1년

출처 : 국가생명공학정책연구센터, 2021 바이오 미래유망기술, 2021.2

나 연구 목적

□ 4차 산업혁명 시대의 핵심요소로 인식되고 있는 바이오 분야 미래유망기술 발굴 프로세스 구축 및 이를 활용한 미래유망기술 발굴

o 국내외 주요 기관별 사례를 살펴보면 대상 기술은 과학기술 전분야 또는 ICT를 대상으로 하고 있으며 바이오 분야를 대상으로 하는 사례는 전무

구분	KISTI	KISTEP	MIT	Gartner
대상기술	과학기술 전분야	과학기술 전분야	과학기술 전분야	ICT
선정방법	복합 (빅데이터 + 전문가평가)	복합 (빅데이터 + 전문가평가)	미공개 (전문가 델파이로 추정)	전문가 리뷰
실현시기	단기 (3년)	중장기 (5~10년)	중기 (5년)	단기 (3년)
특징	주요이슈관점 (중소·중견기업이 주목해야할 기술)	메가트렌드관점 (사회 주요이슈 해결 기술)	신기술 관점 (한번 등장한 기술은 다시 언급되지 않음)	시장 관점 (Hype curve 이용 제품의 수명주기 고려)

바이오 관점의 미래유망기술 도출 프로세스 구축을 통한 미래유망기술 발굴 필요

[그림 5] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교

□ 이에 본 연구에서는 바이오 분야의 미래비전을 제시하여 선도적 바이오 기술개발 및 산업발전에 활용 가능한 미래유망기술 발굴 방법을 정립하고자 하며,

o 이를 통해 발굴된 바이오 기술이 우리의 삶에 어떤 영향을 미칠지, 더 나아가 바이오 연구개발 필요성과 중요성에 대한 공감대를 형성하는데 활용

o 또한 산·학·연 연구자들에게는 핵심기술 개발의 단초를 제공하고, 정책 입안자들에게는 정책 및 투자방향의 참고자료로 활용할 수 있을 것으로 기대

2 연구 범위 및 방법

가 정의 및 추진방안

□ 2022 바이오 미래유망기술 정의

○ 생명현상 연구(생명과학)를 기반으로 향후 5~10년 이내에 기술적 또는 산업적 실현이 가능하고, 향후 기술적 혁신성, 산업적 혁신성 및 사회문제 해결가능성에 대한 파급효과가 높게 전망되는 기술(과학, 현상, 개념 포함)

- (미래) 향후 5~10년 이내에 기술적 또는 산업적 실현이 가능하고,
- (바이오) 생명현상 연구(생명과학)를 기반으로 과학적 지식의 발견을 촉진, 문제해결 또는 유용제품 생산에 활용할 수 있는
- (유망) 기술적 혁신성, 산업적 혁신성 및 사회문제 해결 가능성에 대한 파급효과가 높게 예측되는 기술

[표 6] 미래유망기술 파급효과 정의

구분	정의
기술적 혁신성	▪ 관련분야의 기술발전을 혁신하거나 기술적 문제해결에 영향력 발휘
산업적 혁신성	▪ 관련분야의 산업발전을 혁신하거나 광범위한 경제적 영향력 발휘
사회문제 해결가능성	▪ 글로벌 난제, 사회적 문제를 해결하거나 미래이슈 대응에 영향력 발휘

□ 2022 바이오 미래유망기술 발굴을 위한 추진방안 수립

○ 혁신적 연구성과 분석을 통한 시드(seed) 아이템 도출 단계와 전문가 자문 등을 통한 미래유망 후보기술 도출 및 선정과 공감 형성 단계로 구성

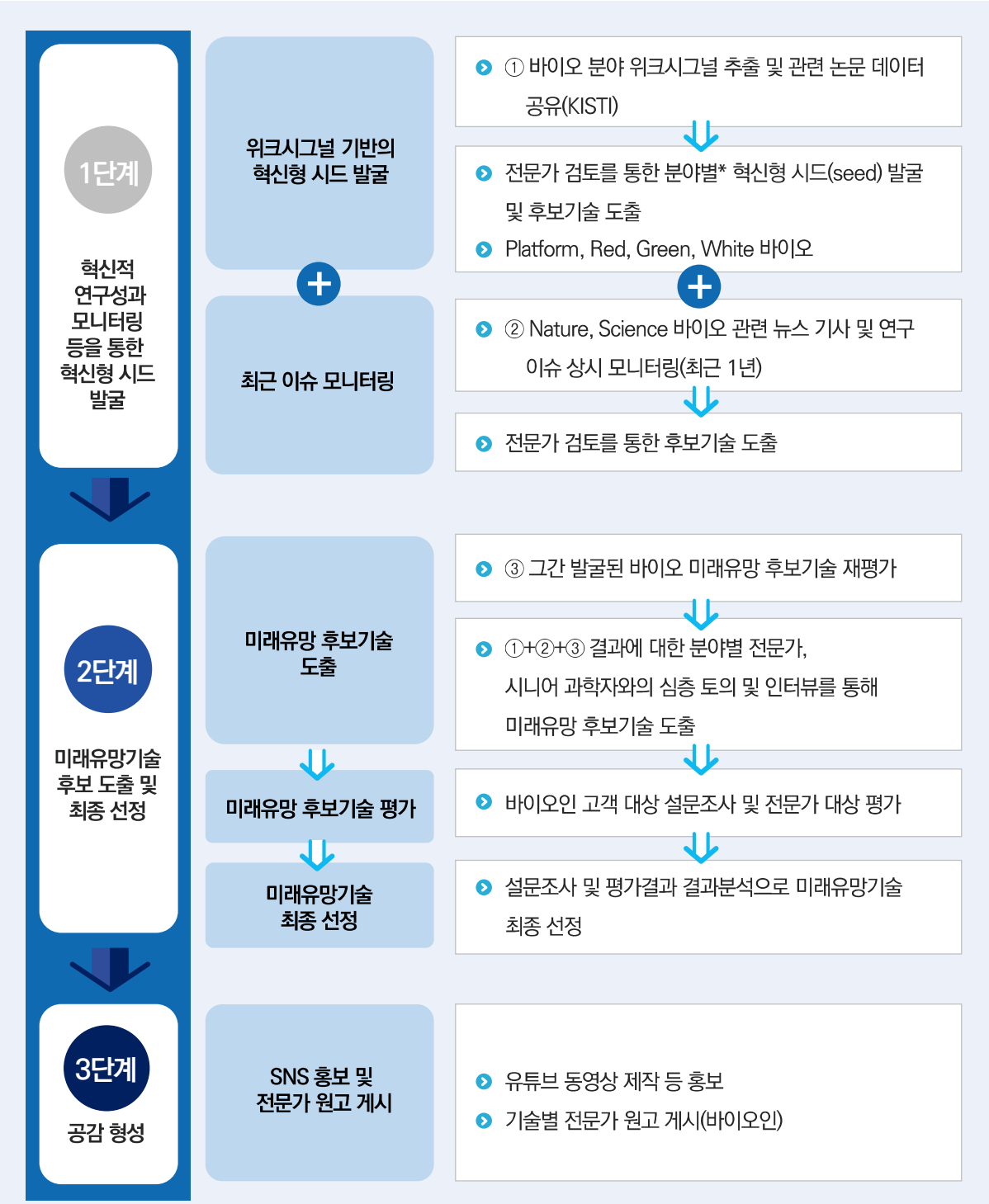
- 이번 연구는 KISTI 미래기술분석센터와의 협력을 통해 위크시그널* 데이터 분석[4] 결과 등을 기반으로 전문가 논의를 통해 연구 추진

* 머신러닝 방법을 적용하여 논문 텍스트데이터에서 추출한 기술키워드의 최근 변화를 탐지하고 단기간내 급부상한 키워드를 발굴

※ 데이터 분석 전문역량(KISTI)과 바이오 R&D 전문역량(KRIBB)을 융합하여 객관적이고, 정확한 결과를 도출하기 위한 목적으로 협력

4) KISTI, KISTI DATA INSIGHT 제15호 : 미래기술 위크시그널, 2022.2

[표 7] 미래유망기술 발굴을 위한 단계별 추진방안



- (플랫폼바이오, Platform Bio) 기초·생명과학, 공통기반기술, (레드바이오, Red Bio) 의약품 등 보건의료, (그린바이오, Green Bio) 농림수축산·식품 및 바이오농업, (화이트바이오, White Bio) 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재 등 바이오화학

나 단계별 연구 방법

1) 1단계 : 혁신적 연구성과 모니터링 등을 통한 혁신형 시드(seed) 발굴

□ 과학기술 위크시그널 탐색방법 및 바이오 분야 위크시그널 추출

- ㅇ (분석데이터) SCOPUS 논문 데이터(16,358,098건)
- ㅇ (대상년도 및 문서형태) 최근 5년(2016~2020), 5가지 문헌 종류(article, book, book chapter, conference paper, review 등)
- ㅇ (키워드 집합 추출) 논문의 제목과 초록 항목에서 N-gram 알고리즘을 이용하여 키워드/키워드구문(키워드)을 추출
  - 추출된 키워드와 저자 키워드를 통합하여 기초 키워드 집합을 구성
- ㅇ (키워드 활동성 측정) 각 키워드에 대하여 활동성*을 측정하여, 0.5 이상이고 최근 3년간 등장건수가 9 이상인 키워드 선별

  * 지난 23년간 키워드 출연빈도 대비 최근 3년간 출연빈도의 비율을 활동성 (activeness)으로 정의
- ㅇ (키워드그룹 생성) 키워드집합 추출에 사용한 5년간 논문데이터 집합에 대한 워드임베딩 모형을 구축
  - 모형 내에서 키워드 간 거리 측정을 통해 근거리 키워드묶음을 자동 그룹핑하여 과학기술 위크시그널 후보를 도출



[그림 6] 데이터 기반 위크시그널 자동탐지 프로세스[5)]

5) KISTI, KISTI DATA INSIGHT 제15호 : 미래기술 위크시그널, 2022.2

○ (분석결과) 2018~2020년 등장한 위크시그널 후보 총 391개 발견, 그 중 바이오 분야는 142개 발견

[표 8] 대분류별 바이오 위크시그널(키워드) 탐색 건수

저널 분류(대분류)	키워드 개수
Agricultural and Biological Sciences	9
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	22
Health Professions	2
Immunology and Microbiology	8
Medicine	90
Neuroscience	1
Nursing	2
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	2
Psychology	6
총합계	**142**

[표 9] 바이오 분야 위크시그널 리스트(일부)

번호	위크시그널	설명(1)	설명(2)	대분류
candi_002	zanubrutinib	표적치료제 중 저분자저해제(Small molecule inhibitor)	중국 브루킨사에서 개발한 림프종 치료 표적항암제. BTK(Bruton tyrosine kinase) 억제제	Medicine
candi_003	camrelizumab	생물학 치료 biologic THERApy 아토피치료제	중국 항서제약이 개발한 PD-1항체 면역항암제	Medicine
candi_008	levonadifloxacin	신규 항생제 antibiotics	개발중인 benzoquinolizine fluoroquinolone계 MRSA 내성균 항생제	Medicine
candi_010	oral semaglutide	SGLT-2(Sodium-glucose cotransporter 2) 억제제 계열 당뇨병 치료제	GLP-1 수용체 작용제인 경구용 당뇨치료제로 개발되었으나 최근 비만치료제로 임상시험 중. 게임체인지 기대	Medicine
candi_017	m6a modification	RNA modifications have just emerged as a promising field.	m6A RNA modification(RNA 메틸화). RNA 아데닌 염기에 메틸화가 형성되어 mRNA의 분해, 번역, 이동 등에 광범위한 영향력. m6A(N6-메틸 아데노신)은 mRNA 조절에 중요한 역할을 하며, 인간 질병 유전성 및 진화 연구에 결정적 역할	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology

□ 최신 바이오 관련 뉴스 기사 및 연구 이슈 모니터링

○ 최근 1년간 Nature, Science에서 발표한 바이오 관련 뉴스 및 주요 연구성과 상시 모니터링을 통한 핵심 이슈 120여개 도출

[표 10] 최신 바이오 관련 뉴스 및 연구 이슈 리스트(일부)

저널	분류(1)	분류(2)	제목	일자
Science	Platform	eDNA	DNA plucked from air identifies nearby animals	23-Jul-21
Science	Platform	Enzyme	The inner workings of an enzyme	23-Jul-21
Science	Gene drive	Malaria	Gene drive passes cage test	06-Aug-21
Nature	Platform	Imaging	A microscopy technique that images single reaction events in total darkness	11-Aug-21
Nature	Stem cell	Ageing	A stem-cell basis for skeletal ageing	11-Aug-21

2) 2단계 : 미래유망 후보기술 도출 및 미래유망기술 최종 선정

□ (미래유망 후보기술 도출) 전문가위원회 및 전문가 인터뷰를 통해 도출

○ (위크시그널 기반) 위크시그널 키워드 및 관련 논문을 검토하여 분야별 미래유망 후보기술 도출

[표 11] 위크시그널 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시)

구분	대분류	위크시그널	후보기술명(안)	기술 설명
Platform 바이오	Medicine	cerebral (brain) organoid	오가노이드 기반 뇌 신경회로 생체모사 기술	단순한 뇌 구성 세포의 집합을 넘어서 뇌 부위별 신경회로 전체를 모사하여 신경질환 예방과 치료 연구의 기반 마련
Red 바이오	Medicine	mesenchymal stem cell- derived extracellular vesicles (msc-evs, msc-exos, msc-exo)	줄기세포 엑소좀 기반 무세포 치료기술	간엽줄기세포 유래 엑소좀의 다양한 치료 활성을 기반으로 줄기세포 대체 치료기술
Green 바이오	Agricultural and Biological Sciences	rhizomicrobiome	뿌리 공생미생물 엔지니어링	식물 근권부 공생 미생물체, 병원성 미생물체 분석으로 식물근 마이크로바이옴 기능 조절을 통해 작물 성장을 돕거나 멸종위기 보호종을 보전하는 기술

Whtie 바이오	Agricultural and Biological Sciences	nanobiopesticides	친환경 소독제/농약 소재 발굴기술	천연물 유래 성분 등을 기반으로 내성을 보이지 않아 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약 소재를 발굴하는 기술

o (최신 이슈 기반) 최근 1년간 Nature, Science에서 발표된 바이오 관련 주요 이슈를 기반으로 미래유망 후보기술 도출

[표 12] 최신 이슈 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시)

구분	저널	키워드	후보기술명(안)	기술 설명
Platform 바이오	Nature	live cell imaging	세포 정밀 이미징/시퀀싱	역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 그 안에서 일어나는 특정 유전자의 서열을 분석하고, 그 발현량과위치를 파악하는 기술
	Science	airborne DNA	eDNA 모니터링	대기 내(airborne) DNA, RNA 등 핵산을 분석하여 환경과 생태계의 다양한 생물(다양성)을 파악하고, 감염원이 될 수 있는 바이러스, 박테리아 등을 신속하게 파악하는 기술
	Science	brain immunity	장기-특이적 면역 틈새 시스템	뇌와 같이 특정 장기·기관은 자체 면역세포로둘러싸여 면역학적으로 구별되는데 인체 내 장기·기관 특유의 면역 기능, 체계, 활성 등을 규명하는 기술
Green 바이오	Science	3D printed food	개인 맞춤형 3D 푸드프린팅	개인 DNA 분석을 통해 음식 선호도와 최적의 영양공급 다이어트를 예측하여 음식의 재료를 선정하고, 이를 3차원 프린팅 기술로 개인 맞춤형 음식과 식품을 제작하는 기술
Whtie 바이오	Science	bioaerosols	바이오에어로졸분석기술	산불에 의한 연기, 미세먼지, 매연 등으로 발생하는 바이오에어로졸내 다양한 미생물과 이의 대사물질들을 파악하고, 인체에 미치는 영향을 연구 및분석하는 기술

○ (재추천 기반) 그간 발굴된 미래유망 후보기술('15~)들의 재검토를 통하여 2022년 바이오 미래유망기술 후보기술로 제시

[표 13] 후보기술 재추천 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시)

구분	년도	후보기술명(안)	재검토 의견
Platform 바이오	2020년	키메라 바이오인공장기	앞으로 관련기술의 진보와 규제 완화를 통해 유망하게 성장할 것으로 판단
	2021년	생명발달 시퀀싱	유전자편집, 단일세포시퀀싱 등을 통해 세포분화, 조직발달, 질병발생 과정에 관여하는 주요 유전자와 네트워크를 규명하는 데 중요
Red 바이오	2019년	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징	앞으로 뇌영상 정보의 축적과 빅데이터 분석 기술의 발전을 통해 유망한 기술로 성장할 것으로 판단
	2021년	바이러스 칵테일 백신	이 기술은 기존의 자연계 항원을 이용한 기술을 넘어서 인공지능의 발달로 인공 단백질 기술로 한 차원 넘은 차세대 기술로 구현할 것으로 보임
Green 바이오	2017년	식물 세포운명 결정인자 제어기술	최근 유전자가위 기반 식물 개량 기술이 발전하면서 유전자가위가 전달된 식물을 제작하기 위해서 세포운명 제어기술이 필수일 것으로 판단
	2020년	엽록체 바이오공장	유용한 외래 단백질 등을 대량 생산할 수 있고, 앞으로 관련기술의 발전 통해 유망하게 성장할 것으로 판단
Whtie 바이오	2018년	환경오염물질 분해 마이크로바이옴	오믹스 기술의 비약적인 발전으로 미세플라스틱 등 환경오염물질을 분해할 수 있는 미생물의 다양한 대사 시스템이 밝혀지면서 합성생물학과 연계하여 유망하게 성장할 것으로 판단됨
	2019년	미세플라스틱 유해성 장기 평가기술	미세플라스틱에 의한 환경오염 및 생명체에게 미치는 영향에 대한 연구의 필요성 증대

□ (미래유망 후보기술 최종 도출) 후보기술 취합 후 2차에 걸친 검토 및 필터링 평가 과정을 거쳐 최종 도출

○ 후보기술 취합(26개) ⇨ 1차 검토 ⇨ 1차 도출(26개) ⇨ 2차 검토 ⇨ 2차 도출(25개) ⇨ 필터링 평가 ⇨ 최종 도출(20개)

- 1, 2차 검토는 전문가위원회 및 총괄위원회를 통해 기술 추가, 삭제, 통합, 분야 이동, 기술명 및 기술설명 수정 등 추진

※ 총괄위원회 : 전반적인 연구계획 및 연구내용 검토를 위해 구성, 전문가위원회 : 플랫폼, 레드, 그린, 화이트바이오 분야별 연구 전문가로 구성

- 필터링 평가는 전문가위원회를 통해 기술적 혁신성과 산업적 혁신성을 지표로 평가

[표 14] 바이오 미래유망 후보기술 도출 과정



[표 15] 후보기술 출처/소스별 도출 갯수

후보기술 2차 도출(25개)					후보기술 도출(20개)				
출처/소스*		위크	최신	재추천	출처/소스*		위크	최신	재추천
플랫폼	8개	1	6	1	플랫폼	6개	1	5	
레드	6개	3		3	레드	6개	3		3
그린	5개	2	2	1	그린	4개	1	2	1
화이트	6개	2	1	3	화이트	4개	2		2

* 후보기술 출처/소스 : 위크(위크시그널 기반), 최신(Nature, Science 최신 이슈 기반), 재추천(후보기술 재평가 기반)

[표 16] 후보기술 1차, 2차 도출 리스트

1차 도출(26개)		2차 도출(25개)		출처/유래
플랫폼 바이오	세포 내부의 정밀한 이미징과시퀀싱 (Live cell imaging and insitu sequencing)	플랫폼 바이오	세포 정밀 이미징/시퀀싱 (In situ live cell imaging/sequnencing)	최신
	바이러스 군집 데이터베이스 (Viromedatabase)		eDNA모니터링 (environmental DNA monitoring)	최신
	대기 중 핵산 분석 (Analysis of airborne nucleic acids)		바이러스 군집/다양성 분석 (Virome/Virus diversity)	최신
	차세대 유전체 합성 (Next-generation genome writing, NGW)		차세대 유전체 합성 (Next-generation genome writing, NGW)	최신
	후성유전체편집 (Epigenetic gene editing)		후성유전체편집 (Epigenome editing)	위크
	바이오나노전달시스템 (Nanoparticle-mediated delivery)		장기-특이적 면역 틈새 시스템(Organ-specific immunity niches)	최신
	생명발달시퀀싱 (Sequencing of in vivo development)		나노입자-매개 바이오물질전달기술 (Nanoparticle-mediated biomaterial delivery)	최신
레드 바이오	효소 노화 (Enzyme aging)		생명발달시퀀싱 (Sequencing of in vivo development)	재추천
	기관-특이 틈새 면역 (Organ-specific immunity niches)	레드 바이오	효소노화표적 발굴기술 (Targeting enzyme aging)	위크
	사이키델릭의약품 (Mind-altering medicine)		치료용 신경정신약물 (Mind-altering medicine)	위크
	줄기세포 유래 엑소좀치료제 (Stem cell-derived exosomes for cell-free therapy)		면역펩티도믹스 (Immunopeptidomics)	위크
	차세대 백신 (Next-generation vaccine)		차세대 백신 (Next-generation vaccine)	재추천

	소포체 기반 약물전달기술 (Drug delivery with extracellular vesicles)
	오픈소스 기반 신약발굴기술 (Open source drug discovery)
	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징 (Neuroimaging for psychiatry)
그린 바이오	식물 광합성기구엔지니어링 (Engineering plant photosynthesis)
	개인 맞춤형 3D푸드프린팅 (Personalized3D food printing)
	뿌리 공생미생물엔지니어링 (Rhizomicrobiomeengineering)
	바이오장기 생산 키메라기술 (Chimera technology for bio-organs)
	식물 세포운명제어기술 (Control of plant cell fate)
화이트 바이오	바이오에어로졸분석 센서 (Bioaerosolanalytic sensors)
	나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술 (Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)
	안전한 소독제 (Antimicrobial resistance-free disinfectant)
	바코드 미생물 (Barcoded microbes)
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴 (Xenobiotics-degrading microbiome)
	미세플라스틱 유해성 장기 평가기술 (Long-term hazard assessment for nanoplastics)

	소포체 기반 약물전달기술 (Drug delivery with extracellular vesicles)	재추천
	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징 (Neuroimaging for psychiatry)	재추천
그린 바이오	개인 맞춤형 3D 푸드프린팅 (Personalized 3D food printing)	최신
	아쿠아포닉스 (Aquaponics)	위크
	뿌리 공생미생물엔지니어링 (Rhizomicrobiomeengineering)	위크
	바이오장기 생산 키메라기술 (Chimera technology for bio-organs)	재추천
	식물 광합성기구 엔지니어링 (Engineering plant photosynthesis)	최신
화이트 바이오	바이오에어로졸분석기술 (Bioaerosol analytic sensors)	최신
	나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술 (Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)	위크
	친환경 소독제/농약 소재 발굴기술 (Eco-friendly disinfectant/insecticide materials)	위크
	바코드 미생물 (Barcoded microbes)	재추천
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴 (Xenobiotics-degrading microbiome)	재추천
	미세플라스틱 유해성 장기 평가기술 (Long-term hazard assessment for nanoplastics)	재추천

[표 17] 후보기술 최종 선정을 위한 필터링 평가 결과

분야	기술명(한글)	기술설명	기술적 혁신성	산업적 혁신성	합산
플랫폼 바이오	세포 정밀 이미징/시퀀싱	역동적인 세포 내 현상들을 3차원적으로 정밀하게 관찰하는 동시에 특정 유전자의 서열을 분석하여 발현량과 위치를 파악하는 기술	4.33	3.78	4.05
	eDNA 모니터링	대기 내(airborne) DNA 등을 분석하여 환경과 생태계의 다양한 생물(생물다양성)을 파악하고, 감염원이 될 수 있는 바이러스, 박테리아 등을 신속하게 파악하는 기술	3.78	3.55	3.67
	바이러스 군집/다양성 분석	인체 내 존재하는 바이러스 군집을 비롯하여 전 지구적 생물 진화 및 생태계 균형 유지를 위한 바이러스의 역할을 이해하기 위해 바이러스 다양성을 분석하는 기술	2.67	3.12	2.88
	차세대 유전체 합성	생명체의 전체 게놈 또는 게놈 수준의 대형 DNA를 설계하고, 이를 정확하면서도 신속하게, 대량으로 합성하는 기술	3.88	4.55	4.22
	후성유전체 편집	유전자편집 도구를 활용하여 후성유전학적 변이를 선택적으로 제어함으로써 생명체의 기능을 연구하고, 분석하는 기술	4.12	4.22	4.17
	장기-특이적 면역 틈새 시스템	뇌와 같이 특정 장기·기관은 자체 면역세포로둘러싸여 면역학적으로 구별되는데 인체 내 장기·기관 특유의 면역 기능, 체계, 활성 등을 규명하는 기술	4.22	3.45	3.83
	나노입자-매개 바이오물질전달기술	나노물질/기술을 이용하여 DNA, RNA, 단백질 등의 바이오물질을 세포 내부로 안전하고, 효율적으로 전달하는 기술	3.45	4.22	3.83
	생명발달 시퀀싱	유전자편집, 단일세포시퀀싱 등을 통해 세포분화, 조직발달, 질병발생 과정에 관여하는 주요 유전자와 네트워크를 분석하는 기술	3.45	3.55	3.50
레드 바이오	효소노화 표적 발굴기술	조직 및 장기 노화와 관련된 효소의 활성 변화를 분석하고, 이를 표적으로 발굴하는 기술	3.45	3.78	3.62
	치료용 신경정신약물	의료용 대마 등 유용성분을 기반으로 우울증, 불안, 중독 등 신경정신질환을 치료하는 의약품 개발과 관련된 기술	3.12	4.33	3.72
	면역펩티도믹스	암세포 등 질환세포 내 다양한 펩타이드를 분석하고, 그 라이브러리를 데이터로 축적하여 항암, 면역치료제 표적을 예측하고, 발굴하는 기술	3.22	3.55	3.38
	차세대 백신	mRNA 기반의 칵테일 백신, 범용 백신, 신규 모달리티를 적용한 백신 등 다양한 병원체에 대한 감염을 방어하는 기술	3.12	4.33	3.72

	소포체 기반 약물전달기술	세포 소기관인 소포체, 다양한 세포 유래 엑소좀을 활용하여 약물을 목적 세포까지 정확하고 효율적으로 전달하는 기술	4.22	3.88	4.05
	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징	신경/정신질환 관련 뇌영상 정보의 데이터 뱅크화 및 이를 분석하여 신경/정신질환 진단과 치료에 활용하는 기술	3.67	3.78	3.72
그린 바이오	**개인 맞춤형 3D 푸드프린팅**	개인 DNA 분석을 통해 음식 선호도와 최적의 영양공급 다이어트를 예측하여 음식의 재료를 선정하고, 이를 3차원 프린팅 기술로 개인 맞춤형 음식과 식품을 제작하는 기술	3.45	3.67	3.55
	아쿠아포닉스	어류양식(Aquaculture)과 수경재배 (Hydroponics)의 합성어로, 물고기의 분비물을 이용하여 식물을 키워 지속가능한 농법으로 수산물과 작물을 동시에 재배하는 기술	2.88	3.55	3.22
	뿌리 공생미생물엔지니어링	식물 근권부 공생 미생물체, 병원성 미생물체 분석으로 식물근 마이크로바이옴 기능 조절을 통해 작물 성장을 돕거나 멸종위기 보호종을 보전하는 기술	3.33	3.33	3.33
	바이오장기 생산 키메라기술	인간 줄기세포를 동물에 넣어 이식 및 치료 목적으로 인간의 조직이나, 장기, 기관을 동물에서 생산하는 기술	4.67	4.22	4.45
	식물 광합성기구 엔지니어링	식물의 광합성을 담당하는 기구의 기능을 개선하여 광합성 효율이 향상된 작물 등을 제작하는 기술	3.78	3.33	3.55
화이트 바이오	**바이오에어로졸 분석기술**	기후변화로 인한 산불, 대기오염에 의한 미세먼지 등으로 발생하는 바이오에어로졸 내 다양한 미생물과 이의 대사물질을 파악하고, 인체에 미치는 영향을 분석하는 기술	3.00	3.00	3.00
	나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술	생분해성 키토산 등으로 이루어진 친환경 나노 입자로 미세 플라스틱, 섬유, 하이드로겔 등 자연에서 분해되지 않는 물질을 대체할 수 있는 중합체 합성 기술	3.00	3.67	3.33
	친환경 소독제/농약 소재 발굴기술	천연물 유래 성분 등을 기반으로 항생제 내성을 보이지 않는 등 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약을 생산하는 기술	2.88	4.12	3.50
	바코드 미생물	특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 법의학, 제품 유통 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술	3.55	3.55	3.55
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴	박테리아, 나방 등에서 분리해낸 환경오염물질 분해효소를 지닌 마이크로바이옴을 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경 오염물질을 해결하는 기술	3.88	4.55	4.22
	미세플라스틱 유해성 장기 평가기술	해양환경 보존을 위해 장기적 관점에서 미세 플라스틱의 독성 및 유해성을 평가하는 기술	3.00	3.55	3.28

○ 플랫폼 바이오(Platform Bio), 레드 바이오(Red Bio), 그린 바이오(Green Bio), 화이트 바이오(White Bio)로 구분하여 20개 후보기술을 최종적으로 도출

[표 18] 2022년 바이오 미래유망 후보기술

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)
○ **세포 정밀 이미징/시퀀싱(In situ live cell imaging/sequencing)** - 역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 특정 유전자의 서열을 분석하여 발현량과 위치를 파악하는 기술
○ **eDNA 모니터링(environmental DNA monitoring)** - 대기 내(airborne) DNA, RNA 등 핵산을 분석하여 환경과 생태계의 다양한 생물(다양성)을 파악하고, 감염원이 될 수 있는 바이러스, 박테리아 등을 신속하게 파악하는 기술
○ **차세대 유전체 합성(Next-generation genome writing, NGW)** - 생명체의 전체 게놈 또는 게놈 수준의 대형 DNA를 설계하고, 이를 정확하면서도 신속하게, 대량으로 합성하는 기술
○ **후성유전체 편집(Epigenome editing)** - 유전자편집 도구를 활용하여 후성유전학적 변이를 선택적으로 제어함으로써 생물체의 기능을 연구하고, 분석하는 기술
○ **장기-특이적 면역 틈새 시스템(Organ-specific immunity niches)** - 뇌와 같이 특정 장기·기관은 자체 면역세포로 둘러싸여 면역학적으로 구별되는데 인체 내 장기·기관 특유의 면역 기능, 체계, 활성 등을 규명하는 기술
○ **나노입자-매개 바이오물질 전달기술(Nanoparticle-mediated biomaterial delivery)** - 나노물질/기술을 이용하여 DNA, RNA, 단백질 등의 바이오물질을 특정 조직이나 세포를 표적화하여 안전하고, 효율적으로 전달하는 기술
레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)
○ **효소노화 표적 발굴기술(Targeting enzyme aging)** - 조직 및 장기 노화와 관련된 효소의 활성 변화를 분석하고, 이를 표적으로 발굴하여 의약품 개발 등에 활용하는 기술
○ **치료용 신경정신약물(Mind-altering medicine)** - 의료용 대마 등 정신활성 물질의 유용성분을 기반으로 신경정신질환을 치료하는 의약품 개발과 관련된 기술
○ **면역펩티도믹스(Immunopeptidomics)** - 암세포 등 질환세포 내 다양한 펩타이드를 분석하고, 그 라이브러리를 데이터로 축적하여 항암, 면역치료제의 표적을 예측하고, 발굴하는 기술
○ **차세대 백신(Next-generation vaccine)** - mRNA 기반의 칵테일 백신, 범용 백신, 신규 모달리티를 적용한 백신 등 다양한 병원체에 대한 감염을 방어하는 기술

○ **소포체 기반 약물전달기술(Drug delivery with extracellular vesicles)**
- 세포 소기관인 소포체, 다양한 세포 유래 엑소좀을 활용하여 약물을 목적 세포까지 정확하고, 효율적으로 전달하는 기술

○ **신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징(Neuroimaging for psychiatry)**
- 신경/정신질환 관련 뇌영상 정보의 데이터 뱅크화 및 이를 분석하여 신경/정신질환 진단과 치료에 활용하는 기술

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

○ **개인 맞춤형 3D 푸드 프린팅(Personalized 3D food printing)**
- 개인 DNA 분석을 통해 음식 선호도와 최적의 영양공급 다이어트를 예측하여 음식의 재료를 선정하고, 이를 3차원 프린팅 기술로 개인 맞춤형 음식과 식품을 제작하는 기술

○ **뿌리 공생미생물 엔지니어링(Rhizomicrobiome engineering)**
- 식물 근권부 공생 미생물체, 병원성 미생물체 분석으로 식물근 마이크로바이옴 기능 조절을 통해 작물 성장을 돕거나 멸종위기 보호종을 보전하는 기술

○ **바이오장기 생산 키메라기술(Chimera technology for bio-organs)**
- 인간 줄기세포를 동물에 넣어 이식 및 치료 목적으로 인간의 조직이나 장기, 기관을 동물에서 생산하는 기술

○ **식물 광합성기구 기능 향상기술(Engineering plant photosynthesis)**
- 식물의 광합성을 담당하는 기구의 기능을 개선하여 광합성 효율이 향상된 작물 등을 제작하는 기술

화이트바이오(White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

○ **나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술(Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)**
- 생분해성 키토산 등으로 이루어진 친환경 나노 입자로 미세 플라스틱, 섬유, 하이드로겔 등 자연에서 분해되지 않는 물질을 대체할 수 있는 중합체 합성 기술

○ **친환경 소독제/농약 소재 발굴기술(Eco-friendly disinfectant/insecticide materials)**
- 천연물 유래 성분 등을 기반으로 내성을 보이지 않아 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약 등의 소재를 발굴하는 기술

○ **바코드 미생물(Barcoded microbes)**
- 특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 법의학, 제품 유통 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술

○ **환경오염물질 분해 마이크로바이옴(Xenobiotics-degrading microbiome)**
- 박테리아, 나방 등에서 분리해낸 환경오염물질 분해효소를 지닌 마이크로바이옴을 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경오염 물질을 분해하는 기술

□ (미래유망 후보기술 평가) 각 기술별 기술적 혁신성, 산업적 혁신성, 사회문제해결가능성에 대한 평가를 위해 설문조사 실시

o 바이오인 고객 대상으로 20개 후보기술에 대한 설문조사 수행

※ 총 749명 설문조사 참여



ı Platform 바이오 분야 (기초·생명과학, 공통기반기술)

후보기술 및 기술설명		평가 (점수) (①:낮음 → ⑤:높음)				
		①	②	③	④	⑤
1. (후보기술) 세포 정밀 이미징/시퀀싱 (In situ live cell imaging/sequencing) (기술설명) 역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 그 안에서 일어나는 특정 유전자의 서열을 분석하고, 그 발현량과 위치를 파악하는 기술	기술적 혁신성	○	○	○	○	○
	산업적 혁신성	○	○	○	○	○
	사회문제 해결가능성	○	○	○	○	○
2. (후보기술) eDNA 모니터링(environmental DNA monitoring) (기술설명) 대기 내(airborne) DNA, RNA 등 핵산을 분석하여 환경과 생태계의 다양한 생물(다양성)을 파악하고, 감염원이 될 수 있는 바이러스, 박테리아 등을 선속하게 파악하는 기술	기술적 혁신성	○	○	○	○	○
	산업적 혁신성	○	○	○	○	○
	사회문제 해결가능성	○	○	○	○	○

[그림 7] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성

□ (미래유망기술 최종선정) 바이오인 고객 설문조사와 전문가위원회 평가를 통해 미래유망기술 최종 선정

o 바이오인 고객 대상 설문조사 결과와 미래유망 후보기술 도출을 위해 진행된 전문가 평가결과를 합산하여 최종 10대 바이오 미래유망기술 선정

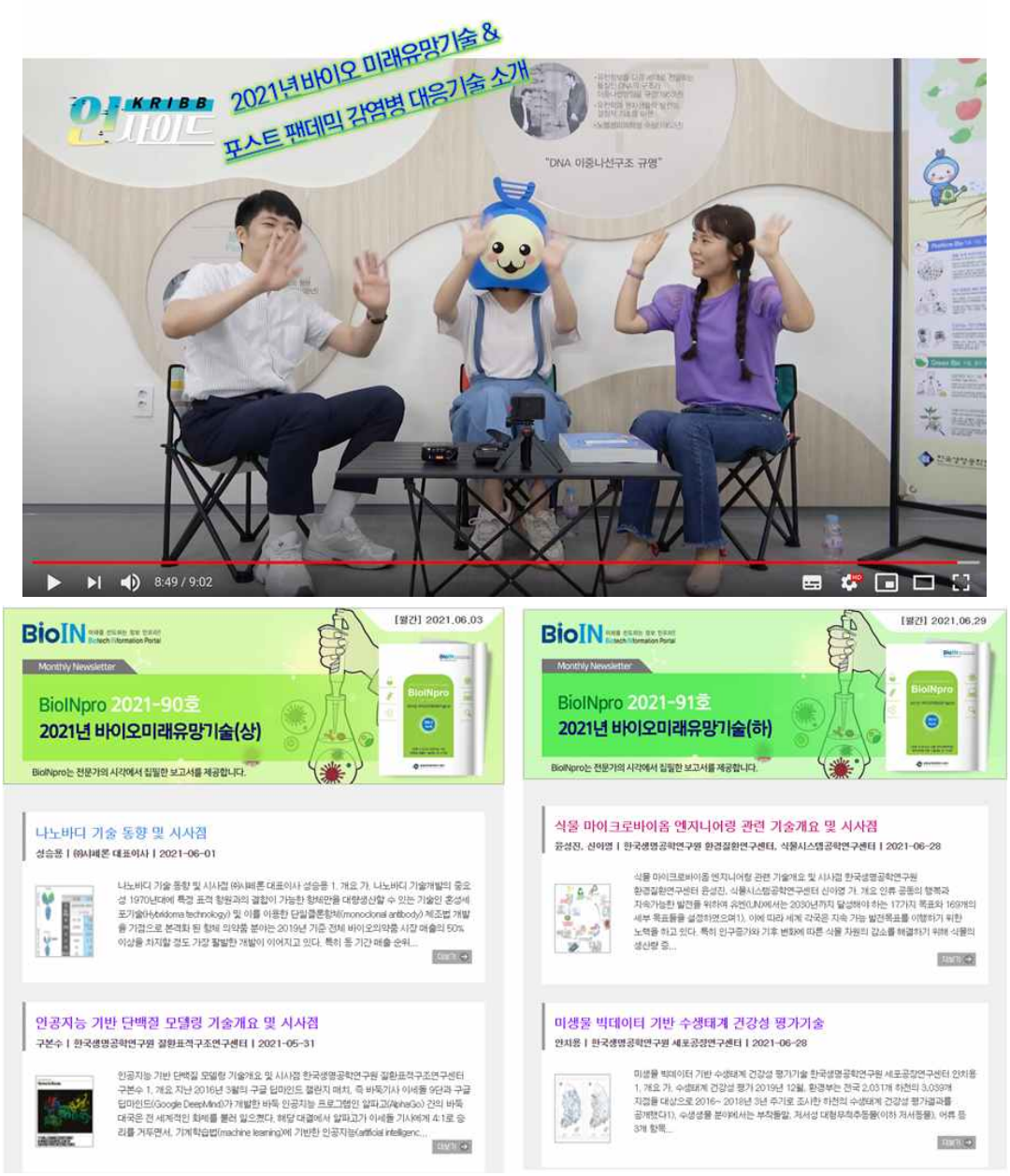
[표 19] 바이오 미래유망기술 설문조사 및 전문가 평가 결과

분야	후보기술명	바이오인 회원				전문가 평가[b]	총합계 (a+b)
		기술적 혁신성	산업적 혁신성	사회문제 해결 가능성	합산[a] (평균)		
플랫폼 바이오 Platform Bio	세포정밀이미징/시퀀싱	3.93	3.70	3.53	3.72	4.05	7.77
	eDNA 모니터링	3.72	3.66	3.89	3.76	3.67	7.43
	차세대 유전체 합성	3.85	3.86	3.64	3.79	4.22	8.01
	후성유전체 편집	3.80	3.70	3.68	3.73	4.17	7.90
	장기-특이적 면역 틈새 시스템	3.90	3.73	3.75	3.79	3.83	7.62
	나노입자-매개 바이오물질 전달기술	3.83	3.89	3.82	3.84	3.83	7.67
레드 바이오 Red Bio	효소노화 표적 발굴기술	3.64	3.67	3.69	3.67	3.62	7.29
	치료용 신경정신약물	3.46	3.66	3.94	3.69	3.72	7.41
	면역펩티도믹스	3.69	3.63	3.73	3.68	3.38	7.06
	바이러스 칵테일 백신	3.72	3.84	4.05	3.87	3.72	7.59
	소포체 기반 약물전달기술	3.70	3.62	3.58	3.64	4.05	7.69
	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징	3.67	3.60	3.71	3.66	3.72	7.38
그린 바이오 Green Bio	개인 맞춤형 3D 푸드 프린팅	3.33	3.38	3.21	3.31	3.55	6.86
	뿌리 공생미생물 엔지니어링	3.43	3.38	3.53	3.45	3.33	6.78
	바이오장기 생산 키메라기술	3.85	3.83	3.90	3.86	4.45	8.31
	식물 광합성기구 기능 향상기술	3.48	3.46	3.43	3.46	3.55	7.01
화이트 바이오 White Bio	나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술	3.73	3.80	3.95	3.83	3.33	7.16
	친환경 소독제/농약 소재 발굴기술	3.40	3.58	3.78	3.58	3.50	7.08
	바코드 미생물	3.53	3.43	3.55	3.50	3.55	7.05
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴	3.76	3.89	4.12	3.92	4.22	8.14

3) 3단계 : 기 발굴된 바이오 미래유망기술의 공감대 형성을 위한 홍보

□ 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상 제작, 소설 출판 등 대중의 공감대 형성을 위해 노력

o 바이오정책포털사이트 BioIN에 동영상 홍보 및 주요 기술별 전문가 심층 원고 게시



[그림 8] 2021 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상(상) 및 전문가 원고(하)

○ 2019년, 2020년 기술 중심으로 그간 연재되었던 소설을 묶어 편집한 과학소설(전승민 작가) 출판 예정



[그림 9] 바이오 미래유망기술 연재소설 바이오인 게시 및 서적 출판(예정)

○ 2021 과학기술대전 내 바이오 홍보관에 소개되어 바이오 R&D와 미래유망기술에 대한 이해와 공감 형성을 위해 활용



홍보 동영상(youtube) 상영

캐릭터(유망이) 사진 Zone

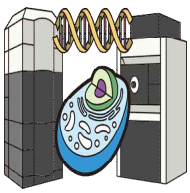
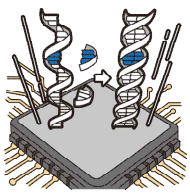
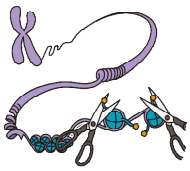


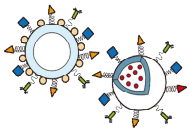
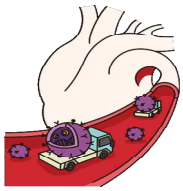
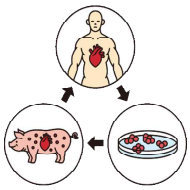
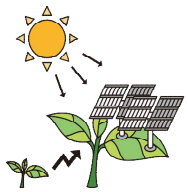
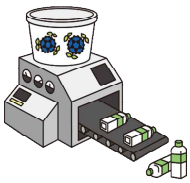
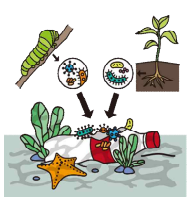
[그림 10] 2021년 과학기술대전 내 전시된 바이오 미래유망기술 홍보관

3 연구 결과

가 2022년 10대 바이오 미래유망기술 선정

□ 바이오 전 분야를 선도한다는 관점에서 Platform, Red, Green, White Bio 분야별 미래유망기술 도출

분야	미래유망기술 주요 내용	
플랫폼 바이오 Platform Bio	**세포 정밀 이미징/시퀀싱(In situ live cell imaging/sequencing)**	
		▹ 역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 특정 유전자의 서열을 분석하여 발현량과 위치를 파악하는 기술 ▹ 세포 본연의 형태를 유지한 체 단일세포 수준의 시·공간적 생체분자 정보를 제공하여 미지의 생명현상 규명에 활용
	차세대 유전체 합성(Next-generation genome writing, NGW)	
		▹ 생명체의 전체 게놈 또는 게놈 수준의 대형 DNA를 설계하고, 이를 정확하면서도 신속하게, 대량으로 합성하는 기술 ▹ 의약물질이나 에너지, 소재 생산을 위한 고효율 균주 연구를 가속화 할 수 있고 나아가 건강, 환경, 우주 등의 분야에서 현재 인류가 직면한 기술적 한계를 극복하는 데에 기여
	후성유전체 편집(Epigenome editing)	
		▹ 유전자편집 도구를 활용하여 후성유전학적 변이를 선택적으로 제어함으로써 생물체의 기능을 연구하고, 분석하는 기술 ▹ DNA의 절단이나 서열 변화를 일으키지 않아 후대에 영향 없이 유전자 발현을 조절함으로써 보다 안전한 유전체 편집이 가능
레드 바이오 Red Bio	**치료용 신경정신약물(Mind-altering medicine)**	
		▹ 의료용 대마 등 정신활성 물질의 유용성분을 기반으로 신경정신질환을 치료하는 의약품 개발과 관련된 기술 ▹ 코로나19 팬데믹으로 사회적 부담이 더욱 가중되고 있는 우울증, 불안, 외상후스트레스장애, 중독, 뇌전증 등 만성·난치성 신경정신질환 극복에 기여

그린 바이오 Green Bio	**차세대 백신(Next-generation vaccine)**	
		▹ mRNA 기반의 칵테일 백신, 범용 백신, 신규 모달리티를 적용한 백신 등 다양한 병원체에 대한 감염을 방어하는 기술 ▹ 다양한 병원체와 변이 바이러스에 신속하게 대응하여 효과적으로 감염병을 제어하고 더불어 항암과 희귀질환 예방에도 활용
	소포체 기반 약물전달기술(Drug delivery with extracellular vesicles)	
		▹ 세포 소기관인 소포체, 다양한 세포 유래 엑소좀을 활용하여 약물을 목적 세포까지 정확하고 효율적으로 전달하는 기술 ▹ 기존의 리포좀 등 인공적 합성물질이 아닌 생체 유래 물질 특성을 활용하여 면역원성이 낮아 안전하고, 세포 표적화가 용이하여 약물 전달체로서 유망
	바이오장기 생산 키메라기술(Chimera technology for bio-organs)	
		▹ 인간 줄기세포를 동물에 넣어 이식 및 치료 목적으로 인간의 조직이나 장기, 기관을 동물에서 생산하는 기술 ▹ 면역거부 반응이 최소화된 범용/맞춤형 이식용 장기를 확보하여 환자에게 제공함으로써 장기수급 불균형 해소 및 난치질환 치료 가능성 제고
	식물 광합성기구 기능 향상기술(Engineering plant photosynthesis)	
		▹ 식물의 광합성을 담당하는 기구의 기능을 개선하여 광합성 효율이 향상된 작물 등을 제작하는 기술 ▹ 다양한 식물 종에 도입할 수 있는 범용성을 기반으로 식물이 확보할 수 있는 에너지의 총량을 증가시켜 식량 및 바이오소재 생산 효율을 크게 향상
화이트 바이오 White Bio	**나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술 (Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)**	
		▹ 생분해성 키토산 등으로 이루어진 친환경 나노 입자로 미세플라스틱, 섬유, 하이드로겔 등 자연에서 분해되지 않는 물질을 대체할 수 있는 중합체 합성 기술 ▹ 지구상에 풍부하게 존재하는 바이오매스 기반의 지속가능한 친환경 소재를 활용하여 미세플라스틱 유래 환경오염 및 인체 유해성 문제해결에 기여
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴(Xenobiotics-degrading microbiome)	
		▹ 박테리아, 나방 등에서 분리해낸 환경오염물질 분해효소를 지닌 마이크로바이옴을 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경오염 물질을 분해하는 기술 ▹ 유기체를 이용하여 플라스틱을 비롯한 난분해성 환경오염 물질을 분해하기 때문에 분해 과정에서 유해 물질이 발생하지 않아 친환경적이며, 안전한 환경 조성 가능

□ Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 2022년 바이오 미래유망기술을 열기구로 형상화하여 인포그래픽으로 작성



[그림 11] 2022년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술

나 향후 계획 및 기대효과

[에필로그(Epilogue) - 보고서를 마치며]

최근 Science紙에서는 과학과 기술을 파워커플(Power couple)이라 지칭하며, 특히 바이오 분야에서 과학과 기술의 상호 혁신 시너지를 강조하였다.

혁신기술이 발명되면 이로 인해 새로운 과학적 발견이 가속화되어 폭발적으로 지식이 확장되어 학문의 변화를 유도하는데, 바이오 연구에서 현미경은 미생물학의 도약을, PCR (Polymerase chain reaction)은 분자생물학 연구의 혁명을 촉발하였다.

최근 개발된 단일세포 이미징 및 시퀀싱 기술은 발달 생물학, 면역학, 종양학에 매우 진보된 접근방식을 제공할 것으로 기대된다.



* Science 스페셜이슈(V361, I6405, 2018.8.31) 커버 이미지는 바이오 발전에 있어 과학과 기술의 상호혁신에 관한 무한주기(뫼비우스의 띠)를 상징

이에 우리는 바이오 분야의 과학과 기술의 상호혁신을 유도할 수 있는 미래유망기술 발굴을 위해 지속 노력할 계획이다.

□ 지난해 우리나라는 유엔무역개발회의 역사상 처음으로 선진국으로 지위가 변경된 국가로, Fast-follower 전략을 넘어서 First-mover가 되기 위한 전략 필요

○ 최근 주요국에서는 코로나19 백신의 성공에 힘입어 의학과 건강을 변화시키는 돌파구의 속도를 높이기 위해 DARPA(Defense Advanced Research Projects Agency)에서 영감을 받은 새로운 기관 설립을 추진 중

※ 미국 바이든 행정부는 NIH 내에 ARPA-H(Advanced Research Projects Agency for Health) 설립을 위해 2022년 65억 달러(약 7.8조원) 예산을 요청

※ 영국 또한 ARIA(Advanced Research and Invention Agency)로 알려진 연구지원 기관을 곧 출범할 예정이며, 처음 4년간 8억 파운드(10억 달러, 약 1.2조원)를 지원할 예정

o 우리나라는 코로나19 팬데믹 초기 그 어느 나라보다 신속하게 진단기기를 개발하며 first-mover로서의 입지를 형성

- 국내 또한 고위험-고수익(High-risk/High-return) 연구개발을 체계적으로 지원하면 기술패권 경쟁시대의 새로운 first-mover가 될 수 있다는 가능성을 제시

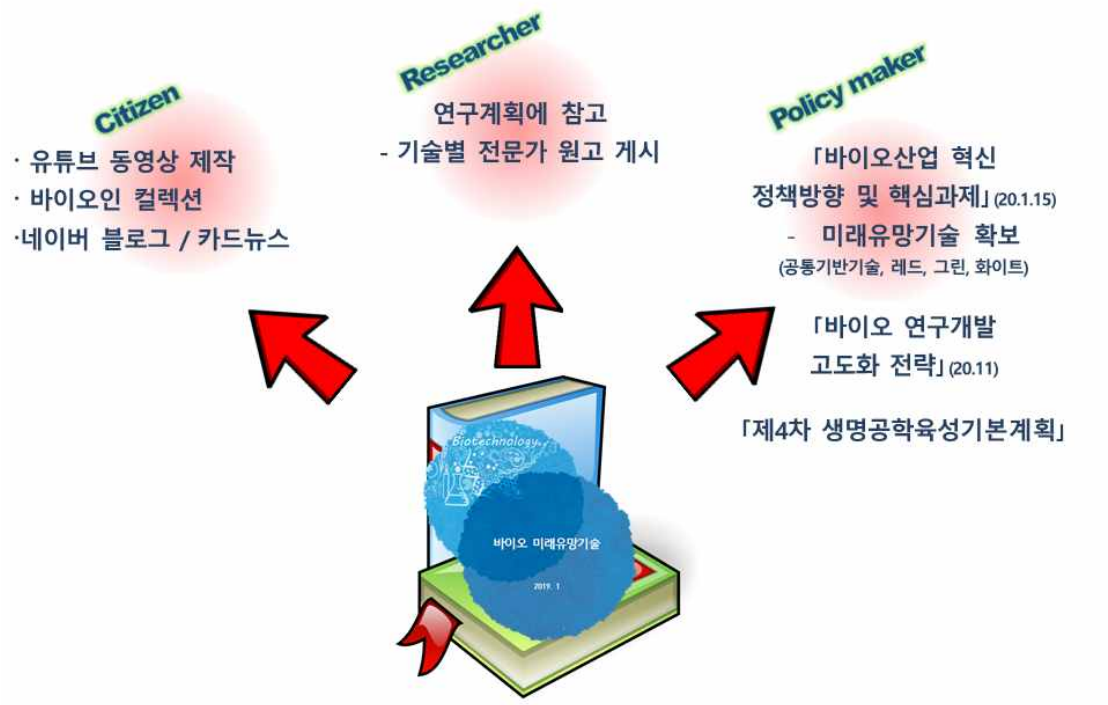
☞ **이에 국가생명공학정책연구센터는 바이오 미래유망기술 발굴 연구를 통해 First-mover로서 확보해야 할 혁신기술을 지속적으로 제시할 예정**

□ 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과는 다양하게 활용 가능할 것으로 기대

o 일반인, 연구자, 정책입안자 관점에서 활용될 수 있도록 후속적인 업무를 추진할 계획

- 유튜브 동영상 제작 등을 통해 보다 이해하기 편안한 형태로 연구결과를 전달하고자 하며, 심도 있는 전문가 원고를 통해 연구계획서 작성 및 동향 파악에 도움이 될 수 있도록 할 예정

- 더 나아가 정책적 관점에서는 바이오 R&D 방향 설정 및 전략 수립에 참고할 수 있는 형태로 보완해나갈 예정



[그림 12] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안

4 참고문헌

1) 과학기술정보통신부, 제3차 생명공학육성기본계획, 2017

2) 국가생명공학정책연구센터, 2015 바이오 미래유망기술 발굴, 2015

3) 국가생명공학정책연구센터, 2017 바이오 미래유망기술 발굴, 2017

4) 국가생명공학정책연구센터, 2018 바이오 미래유망기술 발굴, 2018

5) 국가생명공학정책연구센터, 2019 바이오 미래유망기술 발굴, 2019

6) 국가생명공학정책연구센터, 2020 바이오 미래유망기술 발굴, 2020

7) 국가생명공학정책연구센터, 2021 바이오 미래유망기술 발굴, 2021

8) KISTEP, 2021년 KISTEP 10대 미래유망기술 선정에 관한 연구, 2021

9) KISTI, KISTI DATA INSIGHT 제15호 : 미래기술 위크시그널, 2022

10) MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies, 2021

11) National Academy of Sciences, Engineering, Medicine, NAE Perspectives, Technoscientific Research: A Missing Term in R&D Discourse, 2022.1.18

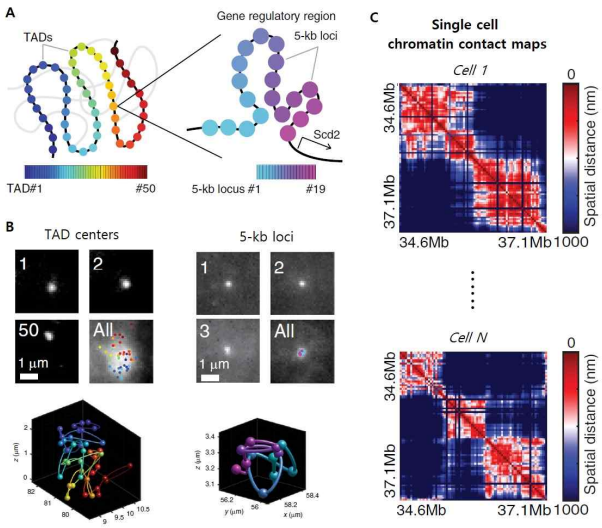
12) Science, Power Couple: Science and technology, 2018

13) Thomas Frey, Communicating with the Future, 2011

14) World Economic Forum, Top 10 Emerging Technologies, 2021

첨부1 2022 바이오 미래유망기술 설명자료

기술명	**세포 정밀 이미징/시퀀싱(In situ live cell imaging/sequencing)**
기술 정의	▪ (정의) 역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 특정 유전자의 서열을 분석하여 발현량과 위치를 파악하는 기술 ▪ (장점) 세포 본연의 형태를 유지한 체 단일세포 수준의 시·공간적 생체분자 정보를 제공하여 미지의 생명현상 규명에 활용
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 단일세포 수준에서 특정 유전자의 발현과 특정 염색체의 크로마틴 3차 구조와의 상관관계 확립 **향후 10년**: ▪ 질병 특이적 염색질 3차 구조 및 유전자 발현의 정밀 분석을 통한 진단 기술로의 활용
요소 기술	▪ (바이오 이미징) FISH 기반의 초고해상도 3차원 이미징 기술 – Multi-round FISH(fluorescent in situ hybridization, or oligo-panting) 기술을 통해 서로 다른 mRNA나 크로마틴 부위를 형광 바코딩(bargcoding) – 초고해상도 형광현미경(super-resolution fluorescence microscopy)을 활용, 특정 뉴클레오타이드 (DNA, RNA)의 서열을 형광 표지하여 시각화 – 단일세포(single-cell) 수준에서 기술 구현 ▪ (형광 시퀀스 데이터 분석) 이미지 프레임별 형광 신호 분석 – 서로 다른 시간에 측정된 특정 서열(sequence specific)에 대한 FISH probe들의 형광 신호를 조합하여 각 mRNA 혹은 크로마틴 부위의 위치 정보를 재구성 – 특정 유전자에 대해 기존에 설정한 형광 바코드 정보를 바탕으로 해당 유전자를 식별 혹은 특정 염색체의 크로마틴 3차 구조를 분석



*출처 : Miao Liu et al., Nature Communications(2020)

주요 이슈		▪ (기술적 니즈) 유전체 연구에 있어서 기존의 염기서열분석 기술에 의존하는 연구 패러다임을 넘어서 단일세포 수준의 공간정보를 포함하는 다차원적인 정보를 획득할 수 있는 기술의 도입이 요구 ▪ (경제적 니즈) 질환 특이적 특정 유전자의 크로마틴 3차 구조와 발현에 관한 단일세포 수준의 데이터베이스를 확립하여 질병 진단 및 신약 개발에 응용 가능 ▪ (사회적 니즈) 기존 NGS(next-generation sequencing) 기반 기술의 유전체 정보와 더불어 단일세포 수준의 3차원 정보를 바탕으로 고차원 유전체 분석을 통해 개인 맞춤형 의료 서비스 구현에 기여
기술 개발 동향	해외 동향	▪ 해당 기술은 기존의 oligo-painting FISH 기술을 응용하여 하버드 대학의 Xiaowei Zhuang 그룹에 의해 2015년에 처음 제시 – 형광 바코딩을 통해 한 세포 내에서 100~1000개의 서로 다른 single mRNA molecule들의 spatial 정보를 정확하게 제공한다고 하여 MERFISH(multiplexed error-robust FISH)라고 명명됨 ▪ 1년 뒤인 2016년, 동일 연구그룹에서 해당 기술을 크로마틴 구조 분석에 활용, 당시에 시퀀싱 기반의 Hi-C 기술로 염원했던 단일세포 수준의 크로마틴의 3차 구조를 분석하여 세포 간 크로마틴 구조의 이질성을 확인시켜 줌 ▪ 2020년에는 동일 연구그룹에서 이미징 기반의 크로마틴 3차 구조 분석 기술을 단일세포 내 whole chromosome 수준으로 확장한 연구결과를 발표 ▪ 현재 해당 기술은 바이오 이미징 기술을 겸비한 연구그룹들에서 빠르게 확장되고 있는 추세
	국내 동향	▪ 국내에서는 아직까지 해당 기술을 응용하여 공식적으로 발표한 연구 사례가 없음
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 해당 기술은 세포 본연의 형태를 유지한 체 단일세포 수준의 시·공간적 유전체 정보를 제공한다는 점에서 기존 유전체 분석 기술을 크게 변화시킬 기술로 평가 ▪ 향후 해당 기술이 보편화되고 현재 다소 불편한 protocol이 간소화 된다면 신약 개발, 환자 맞춤형 유전체 정보 분석 등 응용 분야가 방대하다고 평가
	사회적효과	▪ 단일세포 수준의 유전체 정보를 제공하여 암, 난치질환 등 글로벌 난제의 해결에 기대
필요 사항		▪ 해당 기술을 구현할 수 있는 셋업의 보급 ▪ 해당 기술을 통해 여러 세포주에 대한 단일세포 정보의 빅데이터화 ▪ 실제 질환 모델로 응용하여 해당 기술의 효용성 검증

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">차세대 유전체 합성(Next-generation genome writing, NGW)</td></tr>
<tr><td>기술
정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 생명체의 전체 게놈 또는 게놈 수준의 대형 DNA를 설계하고, 이를 정확하면서도 신속하게, 대량으로 합성하는 기술
▪ (장점) 의약물질이나 에너지, 소재 생산을 위한 고효율 균주 연구를 가속화 할 수 있고 나아가 건강, 환경, 우주 등의 분야에서 현재 인류가 직면한 기술적 한계를 극복하는 데에 기여</td></tr>
<tr><td>실현
시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 인공미생물을 활용한 의약, 농업, 화학, 에너지 분야 소재의 친환경적 대량 생산</td><td>▪ DNA 합성 비용을 1/1000로 줄이고 인간 세포 엔지니어링을 통한 신약 개발, 세포치료, 장기 이식 등 의학 활용</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소
기술</td><td colspan="2">▪ 유전체 설계 기술
- 세포의 유전체를 구성하는 다양한 유전자와 기능 DNA 조각들을 목적에 맞게 재설계하는 기술로서 단순화, 확장, 재구성의 원칙으로 유전자의 생리, 대사적 기능 정보와 후성학적 변형, 활성 위치 등을 고려한 설계 기술.
▪ 유전체 합성/편집 기술
- 올리고머칩이나 효소를 활용한 20~300bp의 올리고머 합성 기술, 1~10kbp 수준의 in-vitro 올리고머 합성/조합 기술
- Bacillus subtilis나 E. coli를 활용한 〈 100kbp 수준의 DNA 조합 기술, 효모를 활용한 1Mbp 수준의 합성 기술
- CRISPR 기반의 고처리(high-throughput) 병렬 유전체 편집기술 등을 포함
▪ 세포 이식 및 부팅기술
- 원핵세포의 경우 합성된 유전체를 세포융합기술 등을 통해 다른 균종에 이식하는 기술 등
- 진핵세포의 경우 동물이나(MAC) 사람의 인공염색체(HAC) 기술 등
▪ 합성생물학 기반 IT 융합 기술
- 합성생물학과 자동화 로봇, AI, IT 기술이 융합된 바이오파운드리의 DBTL 전략으로 노동, 시간 집약적인 장쇄 DNA 합성을 수행하고 인공세포 제작의 재현성과 신뢰성을 높이는 기술
- 방대한 오믹스 빅데이터(진핵세포의 경우 HGP 이후 축적된 ENCODE, gnomAD, GWAS 등)를 활용하고 1Gbp 이상의 염기서열 설계를 수행할 수 있는 IT 관련 기술</td></tr>
<tr><td>주요
이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 생명현상의 이해라는 생물학의 궁극적인 목적 달성과 함께 합성/제작 기반 기술로 기존 유전자 기능 규명 연구의 혁신적 가속화 가능. 백신, 치료제, 장기 이식 등 현재 기술로 극복하기 어려운 기술 제공 가능
▪ (경제적 니즈) 의약/화학/에너지 소재의 고효율 친환경적 생산과 함께 백신, 치료제, 장기 이식 등 의학적 고부가 물질 기반의 스타트업과 바이오경제 구현의 정책적 지원
▪ (사회적 니즈) 플라스틱 등 석유화학산업이 촉발한 환경오염과 기후변화, 팬더믹, 우주개척 등 인류 생존에 직결된 사회 문제들의 해결책 필요</td></tr>
<tr><td>기술
개발
동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ 효소 기반 DNA 올리고머 합성 기술
- TDT 효소 기반으로 200bp 올리고가 합성 가능함을 보였고 최초 DNA 프린터 SYNTAX SYSTEM과 최근 그 후속 제품까지 발표(DNA Script, 2021)</td></tr>
</table>

		– 효소 기반 새로운 올리고머 합성법으로 현재 합성법보다 1/5 수준 에러와 3배의 길이 그리고 1000배($50/oligo --〉 $0.03/oligo) 이상 저렴한 기술 개발(Twist Bioscience, 2021) ▪ 원핵세포 게놈 합성 – 901개 유전자 JCVI-syn1.0 개발(Science, 2011), 473개 유전자 JCVI-syn3.0 개발(Science, 2016) – 코돈 변경한 Synthetic E. coli 개발(Nature, 2019) – 480개 유전자 JCVI-syn3.0A 개발, 7개 유전자 기능 규명(Cell, 2021) ▪ 진핵세포 인공 게놈 활용 – Synthetic Yeast Genome 개발(Science 7편 series, 2016) – 101kbp 인간 HPRT1 유전자를 마우스 배아줄기세포에 전달, 단백질 생산 (Genetics, 2021) – high-throughput 병렬 게놈 편집 기술을 활용한 효모 기능 변이 규명 (Cell, 2018, Nature biotech., 2018) – 다중 서열 편집(CRISPR-Deaminase) 기술 기반 인간 게놈 대량 편집 (NAR 2020) ▪ GP-write : HGP 이후 여전히 미지의 영역으로 남아있는 생명현상을 DNA 합성을 통해 이해하려는 과학자들의 공감대로 시작 – 17개 국가 300명 이상의 과학자들로 구성. Twist bioscience, Autodesk, LATTICE, Agilent, Labcyte 등 다양한 합성생물학 및 자동화 HW/SW 기업들과 파트너쉽 형성, 최근 Foundry와 Incubator로 구성된 GPW-hub 계획 수립, 대규모 게놈 편집용 소프트웨어 CAD 출시 예정(GP-write) – “Ultrasafe human cell line“이 가장 대표적 프로젝트로서 범용 플랫폼 으로서 인공세포주 개발 목표. 약 1% 수준의 게놈 변형이 이루어지며 치료제, 백신, 장기 이식 등 활용 목표
	국내 동향	▪ 카이스트에서는 유전체의 약 30%(약 1Mb)가 제거된 대장균을 제작하고(Appl Microbiol Biotechnol. 2014) 이렇게 제작된 유전체의 인공진화를 통한 기능개선 연구 수행(Nat Commun. 2019) ▪ 한국생명공학연구원에서는 장쇄 DNA 어셈블리를 위한 SW 개발, 등록. 이를 활용한 M13 파지 합성 수행 (2021). 또한 장쇄 DNA를 빠르게 제작할 수 있는 자동화 시스템인 K-바이오파운드리 베타를 구축 중
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ DNA 합성, 바이오파운드리와 같은 바이오 인프라 관련 스타트업 활성화 및 인공미생물 활용을 통한 제약 및 제조산업에 기여
	사회적효과	▪ 인간 활동에 기인한 환경오염 및 기후변화의 위협과 팬더믹 문제를 빠르고 근본적으로 해결할 수 있는 생물학적 기술 개발 기대
필요 사항		▪ 대중의 참여와 윤리, 법, 사회적 영향(ELSI)을 고려해야 하며 나아가 ELSI를 넘어선 책임 있는 혁신(Responsible innovation)이 관련 연구자들에게 필요 ▪ 올리고머칩 등 고집적 올리고머 합성기술이 필요하며 바이오파운드리와 같은 고효율 자동화 시스템의 활용 및 관련 인력 필요 ▪ 다세포 진핵생물의 동물 합성유전체학, 특히 장쇄 DNA의 조립 및 전달에서 조작이 어렵고 효율이 낮은 문제를 극복할 기술 개발 필요

기술명	후성유전체 편집(Epigenome editing)
기술 정의	▪ (정의) 유전자편집 도구를 활용하여 후성유전학적 변이를 선택적으로 제어함으로써 생물체의 기능을 연구하고, 분석하는 기술 ▪ (장점) DNA의 절단이나 서열 변화를 일으키지 않아 후대 영향 없이 유전자 발현을 조절함으로써 보다 안전한 유전체 편집이 가능
실현 시기	**향후 5년** ▪ 후성유전학적 변이와 질병의 상관 관계에 대한 정보와 DNA 및 히스톤 변형 조절 인자의 라이브러리 구축 **향후 10년** ▪ 크리스퍼-후성유전조절인자 복합체를 바이러스나 나노입자를 이용해 인체에 전달하는 방식의 치료제 개발
요소 기술	▪ 유전자 특이적 후성유전체 조절을 통한 유전자발현 및 세포 분화기술 - DNA 메틸화 및 히스톤 단백질의 변형을 통한 유전자발현 조절 - 다중 유전자발현을 통한 세포 운명 및 분화 조절 기술 - 특정 세포의 분화, 탈분화와 연관된 유전자, 처리 시간, 처리 강도 등에 대한 입체적 정보 확보 - 질병치료 및 건강 개선을 위한 다중 후성유전학적 조절 메커니즘 규명 ▪ 후성유전체 편집용 유전자가위 기술 개발 - 효소 절단 활성이 제거된 핵산분해효소의 확보와 후성유전체 조절 인자를 연결한 융합단백질 제작 및 가이드 RNA 엔지니어링 - AAV 전달을 위한 초소형 유전자가위 기술 개발 및 유전자가위 엔지니어링 - 오프타겟 최소화를 통한 고특이적 후성유전체편집 시스템 개발 ▪ 인체 전달을 위한 전달체 기술 - 다양한 조직 및 장기 전달을 위한 지질나노입자 기반의 전달체 기술 - 면역성이 적고 다양한 조직으로의 전달이 가능한 AAV 전달체 엔지니어링 - 전달체의 인체 안전성 확보 기술 - 조직 특이적 전달기술, 전달 지속성 및 조절 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 유전자편집기술에 대한 원천성 확보 경쟁 심화, 혁신적인 후성유전체 편집기술 우위 확보 중요 - 후성유전체 편집 모듈의 인체 전달 문제와 단일유전자의 후성유전체 편집으로는 불충분한 생체제어/질병치료의 문제해결 필요 ▪ (경제적 니즈) 희귀난치질환에 대한 새로운 치료제 개발 요구 - 관련 산업적 경쟁력 확보를 위한 국가 간 경쟁 심화 및 팽창하는 첨단바이오의약품 시장 대응 필요성 확대 ▪ (사회적 니즈) 퇴행성 질환, 노화, 암, 신경질환 등 고령화 사회에서 증가하는 다양한 질환의 극복에 대한 새로운 패러다임 요구

기술 개발 동향	해외 동향	▪ CRISPRi 및 CRISPRa 기술을 활용한 DNA 메틸화, 히스톤 메틸화, 아세틸화, 인산화의 조절 기술 개발(Trend Biotechnol 2021. 39: 678-691) ▪ CRISPR 라이브러리를 활용한 후성유전 조절인자 스크리닝 및 후성유전체 지도 구축 ▪ 리프로그래밍 유전자의 후성유전학적 조절을 통한 세포분화 및 유전자발현 조절기술 개발 ▪ 단일세포 후성유전체 추적을 통한 뇌발달 메커니즘 규명(Nat. 2021. 598: 205-213) ▪ 게놈 재배열(Cell 2018. 1405-1417 e14) 및 크로마틴 루핑(Nat. Commun 2017. 8: 15993) 기술을 통한 대규모의 후성유전체 조절 기술 개발 ▪ AAV 엔지니어링을 통한 AAV 전달기술(Nat. Rev. Genetics 2020. 21: 255-272)을 포함한 다양한 유전자 전달체 연구
	국내 동향	▪ 생명연-진코어 공동연구팀의 초소형 유전자가위 기술 개발로 AAV 기반의 후성유전체 조절 인자 인체 전달 기술 확보 ▪ 진에딧, 바이오오케스트라, 이화여대 등 다양한 산업계, 학계의 나노입자 기반 전달체 기술 개발 ▪ 이연제약, 헬릭스믹스, AAVTAR 등 AAV 기반 전달체 연구개발 및 CMO 기업 활동 ▪ 플라즈몬 나노 입자를 활용한 단일세포 후성유전정보 고해상도 이미징 기술 개발(서울시립대-한밭대 공동연구)
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 재생의학, 유전자치료, 세포치료제 산업의 확대 및 차세대 바이오산업 경쟁력 확보 ▪ 고령화시대에 증가하는 만성질환 및 난치질환 시장에 대응하여 관련 산업을 선도
	사회적효과	▪ 희귀질환 및 비가역적 손상에 의한 난치질환의 극복으로 인한 삶의 질 향상에 기여 ▪ 고령화로 인해 발생하는 다양한 퇴행성질환, 신경질환, 암 등에 대한 치료법 제시로 건강사회 구현
필요 사항		▪ 후성유전체 소재의 조직 특이적 전달, 온오프조절, 생체내 세포분화 등의 기술적 제약의 극복 필요 ▪ 후성유전체 편집 효과 및 안전성에 관한 유전체-후성유전체 수준의 평가 시스템 개발 ▪ 후성유전체 편집 및 유전자발현의 관계, 다중 유전자발현, 시공간 정보 등에 관한 고도의 종합적 정보시스템 확보 ▪ 유전자치료제 적용 가능 질환의 확대를 위한 국내 생명윤리법 개정

기술명	치료용 신경정신약물(Mind-altering medicine)
기술 정의	▪ (정의) 의료용 대마 등 정신활성 물질의 유용성분을 기반으로 신경정신질환을 치료하는 의약품 개발과 관련된 기술 ▪ (장점) 코로나19 팬데믹으로 사회적 부담이 더욱 가중되고 있는 우울증, 불안, 외상후 스트레스장애, 중독, 뇌전증 등 만성·난치성 신경정신질환 극복에 기여
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 정신활성물질 기반의 만성·난치성 신경정신질환의 치료제로 도입 및 활용 **향후 10년**: ▪ 부작용 없는 정신활성물질 활용 만성 난치성 신경정신질환 치료제 개발
요소 기술	▪ 정신활성물질(사이키델릭)의 의약적 작용기전 분석 기술 – 뇌이미징 영상 분석기술 – 약물 타겟 조절 기전의 in silico, in vitro, in vivo 시스템 기반 분석 기술 – 신경전기생리학 및 신경분자생물학 기반 분석 기술 – 질환모델 실험동물 활용 분석 기술 – 신경세포/미세아교세포/성상교세포의 상호작용 조절 분석 기반 기술 – 뇌신경회로 분석 기술 – 광유전학/화학유전학적 기법 활용 기술 ▪ 사이키델릭 유사 분자의 개발 – 환각 및 중독 유발성 없는 사이키델릭 유사 분자 선별 기술 – 환각성 화합물 유래 유용물질 분석 기술 – 약물의 환각, 의존성 및 중독 초래 여부 예측 및 분석 기술 – 세포수준과 개체 수준의 효능 평가 기술 – 약물동역학적(pharmacokinetics) 분석 기술, 독성 평가 분석 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 난치성 신경정신질환에 대한 과학기술적 근거 마련 – 환각성, 의존성, 내성, 및 중독성이 없는 혁신적 신경정신질환 치료제 개발 필요 ▪ (경제적 니즈) 2021년 보건복지부 자료에 의하면, 정신질환 및 정신과적 문제로 의료서비스를 이용한 환자는 2009년 206만 명에서 2019년 311만 명으로 늘어나, 연평균 4.2% 증가한 것으로 보고 – 중증정신질환으로 진단받은 환자는 2013년 14만 3000명에서 2019년 17만 5000명으로 증가해 연평균 3.4%의 증가율을 보임 ▪ (사회적 니즈) 표준 항우울제에 듣지 않는 환자가 전체 환자의 20% 이상인 것으로 보고되고 있으며 자살 위험성 증가, 소화불량, 어지럼증, 구토증 등 부작용에 대한 해결이 필요한 상황

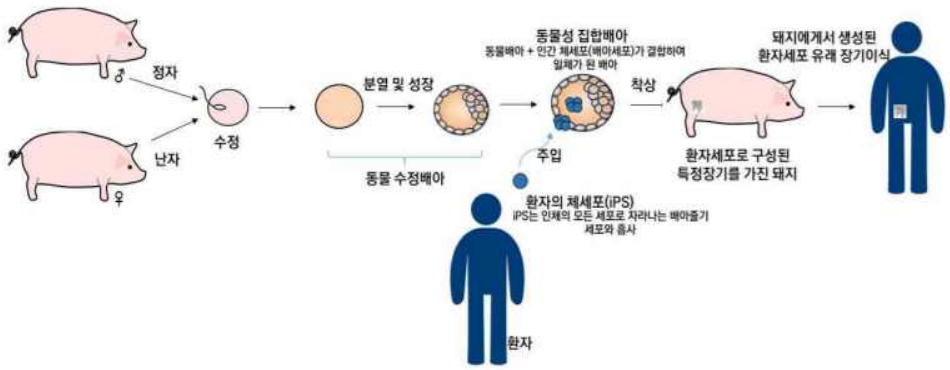
기술 개발 동향	해외 동향	▪ 실로시빈(psilocybin), LSD(lysergic acid diethylamide), MDMA(3,4-methylenedioxymethamphetamine, 일명 엑스타시)를 이용해 다양한 우울증, PTSD 등의 정신과 장애들을 치료하려는 임상시험들이 시도 – Compass Pathways사는 치료 저항성 우울증 환자를 대상으로 유럽과 북미에서 후기 임상시험을 통해 실로시빈(psilocybin) 치료제를 개발 중 – Mindmedis사는 건강을 개선하고 웰빙을 증진하며 고통을 완화하는 것을 목표로 사이키델릭 의약품을 개발 중 ▪ 2018년 미국 식품의약국(FDA)는 마약의 일종인 대마초에서 추출한 성분이 포함된 물질을 처음으로 의약품으로 승인 – 대마초 뿌리에서 추출한 물질을 기반으로 개발한 에피디올렉스 (Epidiolex)는 드라베 증후군 등 소 난치성 뇌전증(간질) 치료제로 시판을 승인 ▪ 환각성 화합물의 환각효과 탐지 센서 개발 – 사이키델릭 유사 물질의 선별을 위한 노력으로 미국의 켈리포니아 대학교에서 세로토닌 수용체 5-HT2AR의 구조 기반 센서 개발 연구 결과를 보고 ▪ Small Pharma는 케타민(ketamine) 유도체를 기반으로 항우울제를 개발 중미며 미국은 2019년 표준 항우울제에 반응하지 않는 우울증에 에스케타민의 사용을 승인 – 케타민 유사 약제들이 항우울제로 높은 치료 반응을 보이는 것이 보고되었지만, 대화의 어려움, 이상한 기분과 같은 단기적 부작용이 있고 중독과 남용의 위험이 높은 것으로 알려짐 – 엑스터시는 PTSD 치료에 긍정적인 연구결과가 보고된 바 있으나 남용 가능성에 대한 우려도 있음
	국내 동향	▪ 출연연, 대학, 병원을 중심으로 사이키델릭 의약품 개발에 대한 일부 연구가 진행 중이나, 법적 규제와 까다로운 연구절차 등으로 연구에 제약 ▪ 카나비디올을 포함한 칸나비스를 이용한 뇌전증 등의 의학적 효능 및 상업적 활용 연구가 진행 중 ▪ 식품의약품안전처는 2018년 국내에 대체치료 수단이 없는 뇌전증 등 희귀/난치 환자들에게 해외에서 허가된 대마성분(칸나비디올 등) 의약품 수입을 허용
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 2020년 우울증으로 병원 진료를 받은 환자 수는 402만 명으로 전년 대비 6.7%(377만명) 증가 ▪ 항우울제 시장 규모도 2017년부터 꾸준히 성장해왔으며, 2020년에는 전년 대비 33%의 높은 증가폭을 기록. 우울증 치료제에 대한 국내 수요가 크게 늘어남(건강보험심사평가원의 의료통계정보).
	사회적효과	▪ 사회적 부담이 더욱 가중되고 있는 만성·난치성 신경정신질환 극복 및 삶의 질 개선 효과
필요 사항		▪ 사이키델릭 의약품의 신경정신질환 약물로의 불법 오남용 등에 대한 구체적인 규제 및 관리 방안의 설계 ▪ 사이키델릭 의약품의 우울증과 PTSD 개선 효과는 확인 단계로, 중독/환각 등의 부작용 해결을 위한 다양한 전문가들의 아이디어 융합과 공동연구 필요 ▪ 엄격한 임상시험을 통한 검증을 거쳐 통제된 환경 및 사용 가이드라인 제시

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">차세대 백신(Next-generation vaccine)</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) mRNA 기반의 칵테일 백신, 범용 백신, 신규 모달리티를 적용한 백신 등 다양한 병원체에 대한 감염을 방어하는 기술
▪ (장점) 다양한 병원체와 변이 바이러스에 신속하게 대응하여 효과적으로 감염병을 제어하고 더불어 항암과 희귀질환 예방에도 활용</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 전통적 백신* 플랫폼 패러다임의 전환
* 약독화 및 불활화 바이러스, 바이러스 유사입자, 재조합 항원 단백질 사용
▪ 감염병 및 암 특이적 타겟의 핵산 (mRNA, DNA) 기반 백신 기술 개발</td><td>▪ 안전성 및 안정성과 최소부작용 등의 기술 고도화
▪ 다양한 감염병, 항암과 희귀질환 등 광범위한 질환의 백신 적용</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 백신 전달체 기술
- mRNA 백신의 생체 내 전달 효율성을 높이기 위한 전달체* 개발과 이에 따른 간독성, 아나필락시스, 심근염 등 최소부작용 기술
* 합성고분자, 지질나노입자(LNPs, lipid nanoparticles), 펩타이드 및 금속 나노입자 기반
- mRNA 백신의 열안정성 극복 기술
- 단일 투여 및 점막투여 방법
- 고품질/고수율 mRNA 합성, 정제 및 항원최적화 기술
- 효과적인 나노에멀젼(항원-전달체) 제형 최적화 기술
▪ 병원체 유전체 분석 및 설계 기술
- NGS(Next Generation Sequencing)와 같은 분석법을 활용하여 다양한 병원체 임상 샘플에서의 신속한 전장 유전체 분석
- 인공지능(AI) 기반 백신 후보물질 프로파일링 기술
- 자가증폭(self-amplifying) mRNA 설계 기술</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 핵산 기반 백신 플랫폼의 생체내 전달 효율성, 열안전성, 효율적인 생산 및 정제 시스템과 백신 전달체의 최소부작용 기술 개발 필요
▪ (경제적 니즈) 다양한 감염병, 암 또는 희귀질환의 신약 소재 개발로 국가 경제뿐만 아니라 세계 경제에 큰 파급효과를 보임
▪ (사회적 니즈) 코로나19 팬더믹을 계기로 변이 바이러스에 대한 빠른 대처와 신종 병원체에 대한 대응력을 높이며, 감염병 뿐만 아니라 항암과 희귀질환 등을 핵산 백신 기술 개발을 통해 극복</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ mRNA 백신 개발
- 코로나 범용 백신 : 미국 노스캐롤라이나의대 랄프 바릭 교수 연구팀은 사람과 박쥐에 감염되는 코로나 바이러스 4종의 mRNA가 포함된 키메라 백신 개발(Science 373(6558), 991-998, 2021)
- 독감 백신 : 미국 모더나社는 mRNA 기반 독감 인플루엔자 백신 'mRNA-1010'를 개발하여 임상2, 3상 돌입. 사노피 파스퇴르社도 독감백신 개발(NPJ Vaccines 6(1),153, 2021)과 임상 1상 돌입. 미국 펜실베니아 대학의 프레디 노버트 교수 연구팀은 인플루엔자 바이러스 mRNA를 이용한 범용 백신(Molecular therapy 28(7), 1569-1584, 2020) 개발
- 코로나와 독감 혼합 백신 : 미국 노바백스社는 코로나19 백신 후보 물질(NVX-Cov2373)과 독감 백신(NanoFlu), 면역증강제 메트릭스엠을 혼합한 백신에 대한 임상 1상 진행</td></tr>
</table>

		- 희귀질환 백신 : 미국 펜실베이니아 의대 조너선 엡스타인 교수 연구팀은 CAR-T와 mRNA 나노구조 기술을 융합해 심장 섬유증을 치료하는 기술 개발(Science 375, 91-96, 2022). 미국 NIAID의 파올로 루소 박사 연구팀은 mRNA를 이용한 인간면역결핍바이러스(HIV) 백신 개발(Nature Medicine 27(12), 2234-2245, 2021) - 중국 바이두연구원은 세계 처음으로 mRNA 백신 유전자 서열 설계 알고리즘 LinearDesign 개발 ▪ 백신 전달체 개발 - 중국 군사의학연구소 Cheng-Feng Qin 박사 연구팀은 기존 mRNA 백신의 열안정성 지질나노입자를 개발(Cell 182(5), 1271-1283, 2020) - 미국 GSK社(Molecular therapy doi: 10.1016/j.ymthe.2022.01.001, in press, 2022)와 중국과학원 Jinghua Yan 박사(Nature communications 12, 776, 2021) 연구팀은 자가증폭(self-amplifying) 가능하고 면역원성과 전달체 독성이 개선된 코로나19 mRNA 백신을 개발
	국내 동향	▪ 기업, 대학 및 출연연을 중심으로 mRNA 기반 백신 개발 연구가 활발히 진행 중 ▪ mRNA 백신 개발 - 에스티팜은 코로나19 mRNA 백신 후보물질 'STP2104'을 개발 및 국내 임상 1상 예정 - 아이진社는 코로나-19 mRNA 백신 후보물질'EG-COVID'을 개발 및 남아공 임상 1·2a상 신청 - KIST 금교창 박사와 가톨릭대학교 남재화 교수 연구팀은 신규 RNA 기반의 백신 플랫폼 개발(Angewandte Chemie 59(28), 11540-11549, 2020) - 팜캐드社는 AI 플랫폼 '파뮬레이터'를 이용해서 백신 항원 예측, mRNA 염기 서열 선정 후 아이진社의 mRNA 백신 개발에 활용 ▪ 백신 전달체 개발 - 이화여대 이혁진 교수 연구팀은 약물을 세포 내부로 전달하는 효율을 높이기 위한 지질나노입자 개발(Science advances 7(9), 2021) - KIST 금교창 박사 연구팀은 RNA 안정화 및 전달을 위한 지질나노 입자 제형화 연구 - 레모넥스社는 mRNA 백신 개발 위한 약물전달기술 개발 중 - 서울대, IBS 나노입자 연구단은 합성 고분자 나노 전달체는 구조와 크기, 이온화 특성을 이용한 백신 전달체 연구 진행
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ mRNA 백신/전달체 개발을 기반으로 글로벌 백신 시장 선점 alc 광범위한 차세대 의료 및 바이오산업의 경쟁력 확보 ▪ 핵심 원천기술 확보를 통해 관련 기술 분야의 선제적 우위 선점 ▪ 코로나19와 같은 감염병 팬데믹에 의한 경제적 및 사회적 피해 최소화 및 건강한 사회 실현
	사회적효과	▪ 감염병 뿐만 아니라 항암과 희귀질환 등을 제어할 수 있는 플랫폼 기술 개발로 국민의 안전한 생활과 새로운 경제가치 창출에 기여
필요 사항		▪ mRNA 백신/전달체 관련 국내 기술경쟁력 확보 및 고도화 기술 개발 필요 ▪ 국제경쟁력의 확보를 위한 국내외 지식재산권 선점을 위한 신속 대응 필요 ▪ 국가 차원의 전략과 지원, 국내외 연구자 간 네트워크, 민간부문의 참여 확대를 통해 R&D 효율성 제고

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">소포체 기반 약물전달기술(Drug delivery with extracellular vesicles)</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 세포 소기관인 소포체, 다양한 세포 유래 엑소좀을 활용하여 약물을 목적 세포까지 정확하고 효율적으로 전달하는 기술
▪ (장점) 기존의 리포좀 등 인공적 합성이 아닌 생체 유래 물질 특성상 면역원성이 낮아 안전하고, 세포 표적화가 용이하여 약물 전달체로서 유망</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 대량 생산, 분리 및 저장 기술 개발
▪ 임상시험 단계 파이프라인 축적</td><td>▪ 세포치료제 이상의 효능을 갖추면서 동시에 안전성이 높은 엑소좀 유래 치료제 승인</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 소포체(엑소좀) 내 치료물질 탑재 기술
– 치료물질을 세포 유래 엑소좀 내에 효율적으로 탑재하는 기술로서, 엑소좀 先분리 후 전기자극, 초음파 등을 통해 치료물질을 탑재시키는 외인성 기술과 세포 자체 합성시스템을 활용한 내인성 기술 등 포함
▪ 특정 세포 표적 기술
– 엑소좀 막의 다양한 지질 및 단백질 구성은 특정 장기나 세포의 친화성을 갖게 함으로서 치료 타겟을 조절
– 유전공학적 조작기술을 통해 특정 세포 인식 가능 소포체를 제작하여 치료 타겟 선택성을 높이는 기술
▪ 대량 생산, 분리, 저장 기술
– 최종 임상 적용을 위해 치료 목적의 소포체를 대량 생산 및 분리하고 효능 활성을 유지시키며 저장할 수 있는 기술
– 높은 수준의 우수 의약품 제조관리 기준(cGMP)을 준용하여 모든 과정을 수행함으로서 임상개발을 가능하게 하는 기술</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 기존 합성물 기반 나노 약물전달체의 약점(생물학적 장벽 통과 한계, 독성 유발, 면역원성)에 대한 기술적 극복 가능
– 기존에 전달 기술 문제로 개발 중단된 유효물질에 대한 추가연구가 활발해 질 것으로 예상
▪ (경제적 니즈) 약물 전달체는 약물 독성과 약물 효능의 기반이 되는 약동학 및 약력학적 활성을 결정하는 핵심 요인으로서 모든 약물에 적용 가능하기 때문에 무한한 수요 잠재력을 보유
▪ (사회적 니즈) 코로나19 시대에 유례없는 대규모 백신 접종은 약물의 효능 뿐만 아니라 안전성에 대한 사회적 관심을 높임
– 약물의 효능과 안전성을 높이는 생체 유래 엑소좀은 이러한 사회적 요구에 대해 충족 가능</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ 미국 코디악 바이오사이언스는 조작된 엑소좀 기반 치료제에 대한 임상시험을 처음으로 시작한 기업으로서,
– 엑소좀 내 면역세포 활성 유도 STING agnonist를 탑재한 exoSTING 후보물질이 임상 1·2상 진행 중이며, 막 표면에 항암 면역 효능을 유도하는 IL-12을 탑재한 exoIL-12 후보물질은 임상 1상 진행 중
– 최근에는 antisense oligonucleotide 탑재를 통한 유전자 침묵 기반 엑소좀 후보물질 exoASO-STAT6 전임상 효능 데이터를 기반으로 임상시험을 위한 IND 승인 획득</td></tr>
</table>

		▪ 미국 코디악과 더불어 엑소좀 개발 선두주자인 영국 에복스는 작용제의 엑소좀 내부 및 막 탑재 원천기술(DeliverEX™)을 기반으로 리소좀 축적 질환(Lysosomal storagedisease) 등 난치성 질환을 표적 으로 하는 약물개발 파이프라인을 축적하였으며 일부는 일라이 릴리 등의 대형 제약사에 라이센스 아웃함 – 최근에는 엑소좀 막표면 단백질 디스플레이 조작을 통해 기존 시판되는 염증 질환 치료제보다 우수한 전임상 효능 데이터를 보고하는 등 엑소좀 조작 원천기술 개발을 선도하고 있음(Nat Biomed Eng, 5:1084-1098, 2021)
	국내 동향	▪ 일리아스바이오로직스, 프로스테믹스, 카이노스메드, 씨케이엑소젠 등의 바이오기업이 면역질환 및 염증성 장 질환, 암 치료 등을 타겟으로 엑소좀을 개발 중(2022년 임상시험 개시 목표) – 대웅제약 및 종근당바이오 등 국내 대형 제약사도 엑소좀 개발 공동연구, 위탁생산 계약 등 사업모델 추진 계획 수립 ▪ 국내 바이오기업 브렉소젠(Brexogen)은 pan-PPAR 작용제가 탑재된 줄기세포 유래 엑소좀을 개발하여 비알콜성지방간염(NASH)에 대한 치료효과 기전과 동물 효능 데이터를 보고(J Nanobiotechnol, 19:372, 2021) – 세포활성조절인자를 처리한 줄기세포(iMSC) 유래 소포체를 개발. 대량생산과 더불어 상대적으로 표준화된 엑소좀 치료기술에 대한 가능성 제시 ▪ 일리아스바이오로직스는 미국 텍사스주립대의대와 공동연구를 통해 엑소좀 기반 조산 치료물질에 대한 효능을 입증함(Sci Adv, 22:4, 2021) – 자체 개발 원천기술인 EXPLOR® 엑소좀 내 약물탑재 기술을 이용 하여 태반을 통과하는 엑소좀 치료제를 개발하고 태아의 염증 완화를 통한 조산 예방 효과를 확인 ▪ 인천대학교 이원종 교수 및 KBSI 김정아 박사 연구팀은 엑소좀의 효율적인 분리를 위해 고흡수성 수지(Super absorbent polymer)를 활용함으로서 초간단 엑소좀 농축 기술 개발(J Ext Ves, 10:e12074, 2021) – 초원심 분리법 등 기존 엑소좀 분리법의 고비용 저효율 문제를 극복하여 향후 대량생산/분리 플랫폼으로서 활용 가능성 제시
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 미국 시장조사기관 그랜드 뷰 리서치 보고에서 글로벌 엑소좀 시장이 2030년 약 2조 6,000억 원 규모로 성장할 것으로 예상 ▪ 각종 암을 비롯한 알츠하이머, 심혈관 질환, 간질환 등 활용 범위가 확대되면서 초기 시장 선점을 위해 국내외 기업들의 진입 급부상
	사회적효과	▪ 고령화 및 팬데믹 시대에 비침습적, 고효능의 안전성을 갖춘 약물 개발에 대한 사회적 요구를 충족시킬 수 있을 것으로 기대
필요 사항		▪ 시장 선점을 위한 엑소좀 내 작용제 탑재 원천기술 확보 ▪ 임상 적용을 위한 cGMP 수준 대량생산 가능 기술 확보 ▪ 임상시험 성공을 위한 맞춤형 전임상 평가 플랫폼 개발

기술명	바이오장기 생산 키메라기술(Chimera technology for bio-organs)
기술 정의	▪ (정의) 인간 줄기세포를 동물에 넣어 이식 및 치료 목적으로 인간의 조직이나 장기, 기관을 동물에서 생산하는 기술 ▪ (장점) 면역거부 반응이 최소화된 범용/맞춤형 이식용 장기를 확보하여 환자에게 제공함으로써 장기수급 불균형 해소 및 난치질환 치료 가능성 제고
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 동물에서 생산할 수 있는 인간의 세포, 조직이나 기관 다양화 **향후 10년**: ▪ 면역거부 반응이 최소화된 범용/ 맞춤형 이식용 장기 생산 및 이종이식 효율 제고
요소 기술	▪ 줄기세포 분화기술 및 키메라배아 제작기술 - 분화되지 않아 다른 세포로 분화될 수 있는 줄기세포 전반적 기술 - 줄기세포의 분화를 통제하여 원하는 세포로 발달 될 수 있도록 조절하는 기술 - 키메라배아(동물집합성배아)* 제작기술 * 하나 이상의 동물 배아와 인간의 체세포 또는 인간 수정배아의 배아세포가 집합하여 일체가 된 배아 ▪ 유전자가위기술을 이용한 형질전환 동물 제작기술 - 크리스퍼(CRISPR-Cas9) 등 유전자가위기술을 이용하여 특정 부위의 유전자를 삭제 또는 편집하는 기술 - 바이오장기 생산을 위한 동물에 유전자편집기술을 적용하여 면역원성이 제거되고, 정확도가 향상된 형질전환 동물 모델 확보 기술 〈키메라 기술에 의한 바이오장기 제작 과정〉  ▪ 면역 반응 조절기술 - 장기 이식 등에서의 보이는 이식면역에 대한 회피 또는 조절 기술 - 키메라 기술에 의한 바이오장기의 이종 이식에서의 면역반응 조절 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) iPSC(역분화줄기세포) 등 줄기세포를 활용한 이종장기 관련 연구(키메라 장기 연구)'는 장기이식 수요 부족을 해결하기 위한 대안으로 부상 ▪ (경제적 니즈) 키메라 장기는 환자의 iPSC를 활용하기 때문에 체내 면역 거부반응, 이종 간 감염병 우려를 줄일 수 있는 수단으로 시장 확대 예상 가

		▪ (사회적 니즈) 장기이식 수요 증가(장기이식 대기환자 수의 증가, 인구 고령화 등)에도 불구하고 장기기증자 수의 정체로 장기 공급이 매우 부족 – 국내 2020년 말 기준 장기 이식을 기다리는 대기자는 누적 4만 3000여 명이지만, 실제 기증자는 10분의 1 수준으로 약 4000명에 불과하며, 대기 시간의 지속적 증가로 인한 사회적 문제 확대
기술 개발 동향	해외 동향	▪ 쥐(rat) 줄기세포를 췌장 유전자를 차단한 생쥐(mouse)의 수정란에 이식하여 생쥐의 몸에서 쥐의 췌장 재생 성공(2010년) 및 당뇨병에 걸린 생쥐에 이식하여 당뇨병을 치료하여 키메라 장기의 질병 치료 가능성 입증(2017년, 도쿄대 나카우치 교수팀) ▪ 췌장을 만들 수 없는 돼지의 수정란에 건강한 돼지의 세포를 넣어 정상적 췌장을 가진 돼지 탄생 성공(도쿄대 나카우치 교수팀, 메이지대 나가시마 교수팀, 2013년) ▪ 다능성 줄기세포를 돼지의 배아에 넣은 형태의 인간-돼지 키메라 세포를 세계 최초로 개발(미국 소크연구소 후안 벨몬테 교수팀, 2017년, Cell지 발표) ▪ 인간 줄기세포를 원숭이 배아에 주입해 키운 '인간 원숭이 혼합 배아'가 세계 최초로 탄생(미국 소크연구소 후안 벨몬테 교수팀, 쿤밍과기대 지웨이즈 교수팀, 2021년)
	국내 동향	▪ 의료용으로 최적화된 돼지의 몸 안에 사람에게 이식 가능한 조직과 장기를 생산하는 연구가 대학 내 기관생명연구윤리위원회(IRB) 심의 통과(건국대 인간화돼지 연구센터, 2019년) ▪ 무균돼지의 췌도를 사람에게 이식하는 연구자 임상시험 추진(서울대 바이오이종장기개발사업단, 2020년)
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 전 세계적으로 강력히 요구되는 대체 장기의 해결로 관련 연구 성과에 따른 막대한 경제적 산업적 효과가 기대됨
	사회적효과	▪ 장기 이식을 필요로 하는 전 세계 수많은 환자의 장기이식 수술 가능성 및 대기 시간의 단축으로 생명 연장의 사회적 효과가 기대
필요 사항		▪ 줄기배아 실험체를 이용함에 따른 생명 존엄성 등 윤리적 문제 해결 ▪ 키메라 동물체에 대한 번식 등에 따른 부작용 통제 ▪ 줄기세포의 특정 장기 발달에 대한 정확한 메커니즘 규명 및 활용 ▪ 인수 공통 전염병 등에 대한 연구 ▪ 이종 장기 이식에 따른 면역거부 반응 회피 또는 최소화 연구 ▪ 이종 장기 이식에 관한 법적, 사회적 규제 동의

기술명	식물 광합성기구 기능 향상기술(Engineering plant photosynthesis)	
기술 정의	▪ (정의) 식물의 광합성을 담당하는 기구의 기능을 개선하여 광합성 효율이 향상된 작물 등을 제작하는 기술 ▪ (장점) 다양한 식물 종에 도입할 수 있는 범용성을 기반으로 식물이 확보할 수 있는 에너지의 총량을 증가시켜 식량 및 바이오소재 생산 효율을 크게 향상	
실현 시기	**향후 5년**	**향후 10년**
	▪ 식물 광합성 효소 디자인 및 유전자 치환 기술 등 기반기술 개발	▪ 생산성이 극대화된 식물체의 개발 및 재배를 통해 풍부한 식물유래 소재 및 식량자원 확보
요소 기술	▪ 광합성 효소 디자인 기술 – AI 기반의 정밀한 단백질 구조 예측기술을 바탕으로 광합성에 관여하는 효소들을 새롭게 디자인하여 고효율 효소를 제작하는 기술 – 광합성 기구는 종에 따라 크게 다르지 않아 기존 생물의 효소를 활용하는 방법으로는 한계가 있어 단백질을 완전히 새롭게 디자인하여 불필요한 부분을 제거하고 효율을 극대화시키는 기술 ▪ 유전자 치환 기술 – 내재 유전자를 제거하고 해당 유전자의 기능을 대체할 수 있는 새로운 유전자를 도입하는 기술 – 고효율의 광합성 효소를 디자인하여 도입한다고 해도 기존에 존재하는 내재효소와 경쟁이 발생해 효율이 떨어질 수 있어 내재 유전자를 제거하고 새로운 효소 유전자를 도입하는 유전자 치환 기술 ▪ 식물 형질전환 및 재분화 기술 – 식물 종과 관계없이 단일세포에서 식물체로 분화시킬 수 있는 범용성 분화 조절 기술 – 식물 내 유전자를 도입하기 위해서는 단일세포에 도입한 후 식물체로 분화를 유도해야 하지만 현재 식물 종에 따라 분화 장벽이 존재하여 일부 품종만 이 과정이 가능한데, 이를 극복할 수 있는 기술	
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 식물의 개량은 육종을 통해 이뤄져 왔지만 현대에 들어 한계에 봉착했으나, 광합성 효율을 향상시키는 방식으로 극복 가능 ▪ (경제적 니즈) 같은 면적에서 추가 자원 투자 없이 50% 이상 증가된 생산 효율을 낼 수 있어 식물을 활용한 식량 및 소재 산업의 성장 가속화 ▪ (사회적 니즈) 광합성 효율의 증가는 식물공장의 효율을 극대화시켜 노지 농업을 대체할 수 있는 미래 농업 형태로 전환시킬 수 있고, 이를 통해 기후변화와 관계없이 안정적인 식량 및 소재 생산이 가능하며 토지의 활용도를 다양화	
기술 개발 동향	**해외 동향**	▪ 영국 에식스대학 RIPE 연구팀은 이산화탄소 고정에 관련된 효소와 에너지 전달체계 단백질을 동시 과발현시키는 방식으로 식물의 광합성 효율을 최대 27% 향상시킨 결과를 발표(Nature Plants 6, 1054-1063, 2020)

		- 식물 광합성 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 효율 저하의 원인이 되는 효소로 SBPase를 지목 - 상대적으로 효율이 높은 남세균의 SBPase와 동시에 효소에 에너지를 공급해주는 단백질인 cytochrome c6를 도입하여 식물의 광합성 효율 향상시킨 사례 보고 ▪ 미국 일리노이 대학 Long 교수 연구팀은 식물 내 광보호 시스템의 on/off 전환속도를 빠르게 하여 광합성 효율을 최대 15% 향상 (Science, 354, 857-861, 2016) - 식물 내 광보호 시스템은 빛의 세기가 지나치게 강하면 광합성을 일시정지 시키지만 다시 가동시키는 시간적 딜레이가 커 광합성 효율 저하의 원인이 됨 - 광보호 시스템의 전환에 관여하는 3가지 효소의 동시 과발현을 통해 식물의 광보호 시스템 전환 속도를 높이고, 이를 통해 광합성 효율이 향상
	국내 동향	▪ 포항공과대학에서 농촌진흥청의 지원으로 탄소대사 개선 기술 개발 연구 진행 - 엽록체의 분열 과정이나 고효율 광합성 시스템을 가진 C4식물의 유전체를 분석하여 광합성 유전자의 기능 규명 ▪ 충남대학교에서 남세균 유전자를 식물에 적용하여 광합성 효율을 향상 - 광합성 기구를 산화 스트레스로부터 보호하는 역할을 하는 색소 관련 유전자 등 6개 남세균 유전자의 유용성 검증 ▪ 신라대학교에서 식물공장 광원의 색조합 연구를 통해 광합성 활성화에 최적인 조합을 찾아냄 - 식물의 품종에 따라 필요한 빛의 파장별 연구를 통해 광합성 효율을 최대로 높일 수 있는 조합을 연구 ▪ 국내에서는 간헐적으로 광합성 관련 연구를 진행하고 있지만 대부분 원리 규명에서 그칠 뿐 실질적으로 광합성 기구를 개량하여 효율을 향상시키는 연구가 매우 부족
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 광합성 기구의 개량을 통해 효율이 향상된 식물은 현재와 같은 투자 비용으로 50% 이상 향상된 생산 효율을 낼 수 있어 식물을 활용한 그린바이오산업 활성화 ▪ 전 세계 25조원에 달하는 생명공학 종자시장에 진출할 수 있는 핵심 기술
	사회적효과	▪ 식물공장에 적용할 경우 생산성을 극대화시킬 수 있어 노지농업을 대체할 미래 농업형태로 전환시킬 수 있으며, 이는 한정된 토지의 활용도를 다양화시킬 수 있음 ▪ 고효율·고생산 식물체를 공급하여 인구증가에 따른 식량문제가 심각한 국가의 기아문제 해결 및 식량 자급률 향상
필요 사항		▪ 원천기술 개발을 위한 장기간의 연구 투자 필요 ▪ 생명공학 작물에 대한 사회적 인식 및 규제개선 필요

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술(Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 생분해성 키토산 등으로 이루어진 친환경 나노 입자로 미세플라스틱, 섬유, 하이드로겔 등 자연에서 분해되지 않는 물질을 대체할 수 있는 중합체 합성 기술
▪ (장점) 지구상에 풍부하게 존재하는 바이오매스 기반의 지속가능한 친환경 소재를 활용하여 미세플라스틱 유래 환경오염 및 인체 유해성 문제해결에 기여</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 친환경 소재의 다양한 물성 구현 및 용도에 따른 생분해 속도 제어 기술 확립</td><td>▪ 저비용·친환경 가공 공정기술 및 대량생산 시스템 구축</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 친환경 나노입자의 제조 기술
- 키틴, 셀룰로오스 등 원료의 가공을 통한 나노섬유·나노결정화 및 공정 최적화 기술
- 다양한 물성 구현 및 응집 방지를 위한 나노입자의 표면처리·개질 기술
- 나노구조 제어 및 품질 균일화 기술
- 효율적인 건조·분산 기술 및 제조공정 단순화
▪ 나노 복합 생분해성 고분자 중합 및 물성 개선 기술
- PLA, PBAT 등 기 상용화된 친환경 고분자의 단점(가공 취약성, 내구성, 열 불안정성 등)을 보완하는 기계적 물성 개선 및 기능성 향상
- 친환경 소재의 경량화·고강도화를 위한 나노입자 혼화성 개선기술 및 in-situ 중합 기술
▪ 친환경 고분자의 생분해성 제어 기술
- 포장재, 각종 생활용품 등 용도에 따른 생분해 속도 차별화를 위한 관능기 도입 및 개질 기술
- 제품 유통 중 분해 방지를 위해 특정 후처리 또는 특정 조건 하에서 분해가 진행되도록 하는 생분해 거동 제어 기술
- 폐자원 순환을 위한 화학적 재활용이 가능한 신소재 관련 기술 개발</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 기존 석유화학 기반 난분해성 소재와 대등한 사양의 물성 ·가격 경쟁력 확보를 통한 생분해성 소재의 적용 제품군 확대 및 원천기술 개발 저변 확대
▪ (경제적 니즈) 약 15%의 연평균 성장률을 나타낼 것으로 전망되는 친환경 소재의 글로벌 산업에서의 기술경쟁력 확보 및 시장 선점
▪ (사회적 니즈) 나노물질 기반 친환경 소재 개발을 통한 전 세계적인 환경오염 및 기후변화에 대한 대응</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ 미국, 유럽, 일본 등은 중장기적인 생분해성 바이오플라스틱 개발 로드맵 마련 및 산업 육성 정책 추진
- 습윤밴드, 기저귀, 태양전지, 자동차 내장재 등 다양한 용도로 생분해성 나노물질 적용 방안 연구</td></tr>
</table>

		▪ 스웨덴 왕립 공과대학교의 연구진은 화학적 개질을 최소화한 저비용·친환경 공법으로 분산성이 개선된 셀룰로오스 유래 나노섬유인 CNF를 제조, 기존 공법으로 제조한 CNF와 유사한 기계적 물성 확보(ACS Nano, 2020) ▪ 미국 조지아대학교 연구진은 CNF 하이드로젤과 키토산 복합체를 사용한 친환경적 섬유 염색 공법 발표(Green Chem., 2021) ▪ 일본 제지회사는 생분해성 나노물질 기반 화장품, 기저귀 등 개발
	국내 동향	▪ 기존 석유화학 분야의 기업, 정부 출연연구기관 및 대학 중심의 생분해성 소재 개발 진행 – SKC*, CJ제일제당 등이 생분해성 나노물질 기반 PBAT, PHA 친환경 복합체 소재의 물성 강화 및 양산 기술 개발 본격화 * 한국화학연구원 기술이전 – 한국화학연구원 연구진은 생분해성 키토산/PBS 나노 복합체를 합성하여 6개월 내 완전 분해되는 고강도 비닐봉지를 개발한 데에 이어 생분해성 항균 마스크 필터 개발(Carbohydr. Polym., 2019 / Adv. Sci., 2021) – 한국기계연구원 연구진은 난분해성 폴리스티렌을 대체하기 위해 키토산 기반 친환경 나노코팅 공정을 개발(ACS Appl. Mater. Interfaces, 2019) – 포스텍 연구진은 실험실 창업을 통해 커피 찌꺼기 등에서 셀룰로오스 나노결정, 나노키틴 기반 하이드로젤 개발
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 지속가능한 친환경 소재의 원천기술 확보를 통한 시장성 확보 – 소비자·산업계의 친환경 제품에 대한 관심이 증가함에 따라 생분해성 소재 시장은 매년 지속적으로 성장하고 있으며, 2023년 7조 3천억원 규모가 될 것으로 예상(MarketandMarkets, Bioplatics& Biopolymers Market, 2018) ▪ 전세계적으로 친환경 산업구조로 변화하는 추세이므로 석유화학 유래 난분해성 소재(플라스틱, 섬유 등) 대체 가능성에 따른 막대한 경제적 파급효과 기대
	사회적효과	▪ 탈석유 소재 개발을 통한 글로벌 기후변화 및 미세플라스틱 유래 환경오염 이슈 해결에 일조
필요 사항		▪ 친환경 바이오소재 분야의 선진국과 3년의 기술격차* 극복을 위한 적극적인 산업·인력육성 강화 * 2020 기술수준평가(친환경 바이오소재 기술), 한국과학기술평가원 ▪ 생분해성 나노물질 기반 중합체의 대량생산 시스템 구축 및 제품화를 위한 전주기 연구개발 지원 필요 ▪ 다양한 조건(수계, 해양 등)에서의 생분해 거동 평가 및 표준시험방법 확립 ▪ 유망한 생분해성 소재의 시제품 생산·상용화를 위한 연구자–수요기업 간 네트워크 및 해외 시험평가기관과의 협력체계 구축

기술명	환경오염물질 분해 마이크로바이옴(Xenobiotics-degrading microbiome)
기술 정의	▪ (정의) 박테리아, 나방 등에서 분리해낸 환경오염물질 분해효소를 지닌 마이크로바이옴을 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경오염 물질을 분해하는 기술 ▪ (장점) 유기체를 이용하여 플라스틱을 비롯한 난분해성 환경오염 물질을 분해하기 때문에 분해 과정에서 유해 물질이 발생하지 않아 친환경적이며, 안전한 환경 조성 가능
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 다양한 환경 조건에서 플라스틱, 비닐 그리고 첨가제와 같은 환경오염물질을 분해할 수 있는 신규 마이크로바이옴 및 유전자 동정 **향후 10년**: ▪ 마이크로바이옴 및 분해 효소의 효율을 높이는 기술 발달로 다양한 환경오염 물질에서 새로운 자원을 생산
요소 기술	▪ 오믹스 기반 분해 효소 동정 기술 - 동물, 곤충을 비롯하여 생태계에 존재하는 마이크로바이옴 분석을 통해 새로운 환경오염물질 분해 효소를 발굴하는 기술 - 전체적인 마이크로바이옴에서 발견되는 대사 경로를 분석하여 유전자 및 단백질 수준에서 표적 효소를 발굴하는 기술 - 동위원소를 이용하여 제작한 합성 플라스틱을 이용하여 마이크로바이옴 기반 분해 효소의 효율 분석 및 동정 기술 ▪ 고효율의 분해 효소 제작 기술 - 마이크로바이옴의 오믹스 빅데이터를 분석하여 환경오염물질을 분해할 수 있는 효소들에 대한 DB를 구축하고, 이를 통해 마이크로바이옴의 생합성 대사회로를 설계하고 제작하는 합성생물학 기술 - 효율적인 분해 효소를 생산하기 위하여 CRISPR 유전자편집기술을 활용하여 마이크로바이옴 대사회로의 유전자 발현을 조절하는 기술 - 분해 효소의 단백질 구조 분석 및 단백질 변형 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 제한된 자원을 이용하여 생산되는 플라스틱 및 화학물질에 대한 환경오염 문제해결 및 재사용 효율을 증대시킬 혁신적 기술개발 필요 - 다양한 환경 속에 존재하는 마이크로바이옴의 특성 분석에 대한 메타게놈 결과를 바탕으로 신규 자원의 생산 및 환경오염물질을 분해할 수 있는 효소의 동정 및 활용 기술개발 필요 ▪ (경제적 니즈) 글로벌 탈탄소화 기조에 따른 산업 정책 활성화에 부응하여 환경 보전을 통한 순환경제로의 발전 및 경제적 부담 완화에 기여 ▪ (사회적 니즈) 인간의 편의를 위해 만들어진 플라스틱 및 화학물질 사용 때문에 발생된 환경오염 물질이 생태계 및 인류의 건강을 위협하는 것을 예방하기 위하여 친환경적인 기술 개발이 필요
기술 개발 동향	**해외 동향**: ▪ 교토공예성유대학(Kyoto institute of technology) 코헤이 오다 연구팀은 PET(polyethylene terephthalate)를 고효율로 분해하는 신규 PETase를 규명(Science. 2016;351(6278):1196-1199)

		▪ 중국의 텐진산업생명공학연구소(Tianjin Institute of Industrial Biotechnology) Rey-Ting Guo 연구팀은 PET hydrolase의 분해 구조 분석을 기반으로 PETv (polyethylene terephthalate)의 분해 기전을 규명(Nat Commun. 2017;8(1) :2106.) ▪ 영국 포츠머스대 존 맥기핸(John McGeegan) 교수팀과 미국 국립재활용 에너지연구소 그렉 베컴(Gregg Beckham) 박사팀은 공동 연구를 통하여 플라스틱 분해 효율을 높이는 효소 결합 기술을 보고(Proc Natl Acad Sci USA. 2020;117(41):25476-25485) ▪ 프랑스 생명공학 기업 Carbios는 퇴비더미에서 동정한 박테리아의 플라스틱 분해 효소를 동정 후 효소분해 공정을 거쳐 섬유폐기물을 PET 플라스틱으로 재활용할 수 있는 기술을 개발하여 화장품 용기를 만든 것에 성공
	국내 동향	▪ 한국생명공학연구원 류충민 박사팀은 장내 미생물에 의한 플라스틱 분해 기전 외에 꿀벌부채명나방 애벌레의 장에서 플라스틱을 분해할 수 있는 신규 효소를 동정(Cell Rep. 2019;26(9): 2451- 2464.e5) ▪ 경북대학교 김경진 교수팀과 KAIST 이상엽 교수팀의 공동연구를 통하여 PET(polyethylene terephthalate)를 분해하는 PETase의 3차 구조를 규명하여 플라스틱 성분 분해 기전 및 분해 활성이 증가된 효소 및 열에 안정적인 PTEase를 개발(Nat Commun. 2018;9(1):382., ACS Catal. 2019, 9, 4, 3519-3526) ▪ 인하대학교 김창균 교수팀은 고분자 물질/미생물 복합체를 활용한 플라스틱 분해 기술을 개발(Chemosphere. 2019;222:527-533)
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 환경유해물질의 생분해 기술은 순환경제 시대에서 제한된 자원을 활용하여 친환경적으로 플라스틱을 분해 후 신규 자원을 생산할 수 있는 가능성 때문에 산업적으로 활용 가치가 높은 기술 ▪ 자연에서 생분해되는 고비용의 바이오플라스틱 소재의 개발에 비하여 마이크로바이옴을 활용한 기술은 경제적 비용을 감소시킬 수 있을 것으로 전망
	사회적효과	▪ 생태계 및 인류 건강을 위협할 수 있는 환경유해물질을 분해할 수 마이크로바이옴 개발을 통하여 깨끗하고 건강한 지구환경에 대한 위험 요소를 감소시킬 것으로 기대 ▪ 2050 탄소중립 실현을 위한 폐플라스틱 연료/연료화 정책을 기반으로 진행 중인 폐플라스틱 유래 열분해유 생산에서 열에 안정적인 마이크로바이옴 분해 효소 기술은 열분해유를 효율적으로 생산할 것으로 기대
필요 사항		▪ 우리나라 고유의 토착 생물자원 및 다양한 환경 조건에서 마이크로바이옴 분석을 통한 신규 환경유해물질 분해 효소 동정 및 데이터베이스화 ▪ 환경유해물질 분해 효소의 효율을 높이는 연구에 대한 지원을 통하여 산업 현장 및 환경오염 지역에서 사용가능한 마이크로바이옴 기술 개발

첨부2 그간 발굴된 바이오 미래유망기술 리스트(후보기술 포함)

2015 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

의약

- **지능형 환자 맞춤약**
  - 신기술(환자 맞춤형 줄기세포, 지능형 약물 방출 등)과 바이오 빅데이터를 지능형 컴퓨팅으로 처리하여 최적의 약물 개발
- **Expressome 분석 기반의 iPSC 활용 약물평가**
  - 유전적 차이에 따른 약물 반응이 아니라 약물에 반응하여 발현되는 expressome을 분석하여 좀 더 정밀한 약물 반응성을 분석하는 기술
- **유전자 교정세포 3D 프린팅**
  - 체외에서 유전자 교정 후 3차원 세포 프린팅으로 원하는 조직이나 장기를 제작하여 재생하는 기술
- **바이오 빅데이터 인공지능 알고리즘**
  - 바이오 빅데이터를 활용하여 생명현상의 AI를 생성케 하고, 이 논리로 생명현상을 해석하는 기술
- **개인 맞춤형 마이크로바이옴**
  - 개인 특이적 다양성을 가진 인체 공생 마이크로바이옴 특성 규명을 통한 마이크로바이옴 치료제 개발
- **줄기세포 기반의 Regeneration-on-a-chip**
  - 줄기세포치료제가 수행할 것으로 예상되는 regeneration 현상을 마이크로칩 상에서 구현하여 치료의 적합성과 가능성을 판단할 수 있는 기술

의료기기

- **차세대유전체분석 칩**(NGS-on-a-chip)
  - 칩 상에서 극소량의 시료로부터 유전체 서열 정보를 초고속/저비용/대용량으로 분석하는 기술
- **스마트 진단용 Quadcoder**
  - 스캐닝만으로 환자의 상태를 측정하고, 질병을 진단하는 분석기능, 데이터를 저장하고 이을 기반으로 치료 및 모니터링을 위한 데이터 쉐어링 기능을 갖는 기기
- **줄기세포치료제/재생의약 이식용 로봇수술 기술 및 장비**
  - 줄기세포의 재생의학적 치료효과를 높이기 위한 이식기술의 개발을 위해 robotic surgery의 정밀한 기술과 융합하는 기술
- **Sociogenomics 기반의 생체인식 웨어러블 디바이스**
  - 인간의 반복적인 병적·사회적 행동양식(치매, 행동장애, 인격장애 등)을 예측할 수 있는 생체인식(유전체, 지문, 홍체 등) 웨어러블 기기 /프로그램
- **체내 이식형 스마트 바이오센서**
  - 신체에 직접 이식하거나 복용할 수 있는 형태의 바이오센서로, ICT 기술을 활용하여 의사와 환자를 실시간으로 연결하는 기술
- **운동효과 바이오닉스**
  - 실제 운동을 하지 않아도 운동을 통해 형성되는 근육을 생성하고 유지하여 노화에 따른 근육감소 예방 및 근기능 유지를 위한 기술

의료서비스

- **사이버 메이트 헬스케어**
  - 개인 바이오헬스 데이터(유전체 정보 등)를 재구성하여 사이버 상의 헬스케어 관리 시스템을 구현하는 기술
- **퍼스널 노화속도계**
  - 신체 기능별 노화속도를 정확하게 측정할 수 있는 마커 발굴로 개인별 노화속도를 예측하고, 진단하는 기술
- **자가 건강관리를 위한 무자각/무구속 Gamification 시스템**
  - 사물인터넷을 이용해 일상생활에서 사용자의 활동량을 기록(무자각/무구속)하고 게임에서 사용되는 요소들로 연결하여 온라인 자가 건강관리 서비스
- **아바타 유전체를 이용한 건강 게임툴**
  - 개인 유전체 정보를 재구성하여 사이버 상의 아바타를 제작하고, 이의 건강유지 (비만 예방 등)를 게임 프로그램과 접목
- **Human 빅데이터 분석을 위한 가상인간 모델링**
  - 휴먼 데이터 분석을 통한 해부용 3D 카데바(cadaver) 등 가상인간 모델링을 구현하는 기술
- **사회유전체 분석용 인공지능 시스템**
  - 인간의 사회적 행동양식(행동장애, 인격장애 등)에 대한 광범위한 유전체적 데이터 생산과 분석을 수행하는 AI
- **인지/감각기능 증강용 가상현실**
  - 신체 기능별 노화속도를 정확하게 측정할 수 있는 마커 발굴로 개인별 노화속도를 예측하고, 진단하는 기술
- **4D 세포 추적기술**
  - 분화, 증식에 따른 세포들의 3차원적인 변화 정보를 기반으로 고해상도의 3D, 4D 생명체 지도를 확보하여 세포의 상호작용을 분석하는 기술

2017 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

분야 1 보건의료 빅데이터 플랫폼 구축

- **대규모 임상 유전체 정보관리기술**(Clinico-genomic big data management)
  - 환자의 다중 임상 데이터 표준화 및 이를 유전정보와 연계, 관리하는 기술
- **치료예측 빅데이터 분석기술**(Data mining for predictive therapy)
  - 질병과 관련된 유전자 변이, 약물반응 등의 발굴을 위한 데이터 마이닝 기법
- **모든인터넷 기반 바이오헬스**(Biohealth service based on Internet of Everything)
  - 사물인터넷 기반의 개인 건강정보와 임상정보가 종합되는 IoE 건강관리 기술 및 서비스

분야 2 보건의료 빅데이터 플랫폼 구축

- **단일세포 유전체 분석기술**(Single cell genomics)
  - 단일세포 수준에서 유전자 돌연변이, 전사체의 변화 등을 분석하는 기술
- **합성 면역공학**(Synthetic immunity)
  - 유전자 편집 등을 통해 개인 맞춤형 면역체계를 구축하여 암 등에 걸리지 않도록 하는 기술
- **유전체 분석 기반 항암치료기술**(Cancer Precision Medicine)
  - 현재 사용 중인 표적 항암제를 환자의 유전자 돌연변이에 맞게 처방하여 치료하는 기술

분야 3 보건의료 빅데이터 플랫폼 구축

- **원헬스 모니터링기술**(One-health monitoring)
  - 인간, 동식물, 환경이 인간 건강과 연결되어 있다는 개념에서 바이러스의 국가/대륙 간 이동 등을 감지하는 기술
- **현장 적용 바이러스 진단기술**(Field viral diagnostics)
  - 공항, 항만, 병원 등에서 바이러스를 신속-현장 진단하고 그 데이터를 전송할 수 있는 기술
- **역학정보분석기술**(Infoepidemiology)
  - 인공지능 및 빅데이터 분석 기술을 활용한 감염병 발생과 바이러스 확산을 예측하는 기술

분야 4 모바일 기기로 질병 예측·예방·진단 및 관리

- **스마트폰 진단센서**(Smartphone diagnostic sensor)
  - 스마트폰에 내장된 센서(온도, 가속도, 압력, 적외선, 카메라, 마이크 등)를 이용하여 질병을 진단하는 기술
- **모바일 인공지능 진단기술**(Mobile AI diagnostics)
  - 모바일기기에 내장된 센서에 의한 데이터와 문자, 음성, 이미지 등의 빅데이터 수집 및 분석을 통해 질병 예방, 진단, 치료에 응용하는 기술
- **e-헬스 조정기술**(E-health intervention)
  - 스마트폰이나 인터넷을 이용하여 질병의 진단 및 치료에 의료진이 개입하여 치료성과를 높이는 기술

분야 5 애플·구글 등 스마트 헬스케어 전쟁

- **웨어러블 건강관리기술**(Wearable health device)
  - 생체신호(맥박, 체온, 혈압, 심전도 등)의 실시간 수집을 위한 웨어러블기기의 제조 및 데이터 분석을 통한 건강 관리기술
- **전자·인공 피부**(Electric/Artificial skin)
  - 생체신호의 즉각적인 입·출력 및 약물주입 등이 가능한 유연한 소재 기반의 전기장치로 모바일 기기와의 연동이 가능하게 하는 기술
- **IoT 헬스케어 플랫폼**(IoT healthcare platform)
  - 다양한 전자기기들 간의 통합을 통해 만성질환자, 고령자의 질병 예방과 건강관리에 기여하는 기술

분야 6 표적유전자를 편집하는 유전자 가위기술의 혁신

- **유전자 편집을 통한 질병치료기술**(Genome editing-base gene/cell therapy)
  - 질병 관련 유전자의 편집을 통해 희귀유전질환 등 질병을 치료하는 기술
- **유전자변형 동식물 제작기술**(One-step generation of gene-modified animals/plants)
  - 동식물의 특정 유전자 변형을 유도하여 개량된 형질을 갖는 동식물을 제작하는 기술
- **유전자가위의 비특이성 제어기술**(Control of off-target effects by genetic scissors)
  - 원하지 않는 유전자가 변형되어 발생할 수 있는 오프-타겟(off-target) 정보를 측정하고 관련 위험성을 줄이는 기술

분야 7 혁신적 진단기술, 액체생체검사 대두

- **순환 종양세포 DNA 탐지기술**(Circulating tumor DNA detection)
  - 혈액 내 종양세포의 분자적 특성 분석을 통해 암의 전이 및 내성 기전을 이해하여 암 치료에 기여하는 기술
- **질병세포 트랩 기술(Disease cell trap)**
  - 혈액 등 인체 내에서 돌아다니는 질병 관련 비정상 세포를 특이적으로 포집하는 기술
- **면역자석기술(Immuno-magnetic)**
  - 체액 내 미량으로 존재하는 바이오마커를 대량으로 존재하는 매트릭스 물질로부터 분리해내는 기술

분야 8 원격의료 시범사업 확산

- **연속식 혈당측정기술**(Continuous glucose monitoring)
  - 혈액 채취 없이 비침습적인 방법으로 혈당을 연속적으로 측정하는 센서의 고도화 기술
- **종이 바이오칩(Lap-on-paper biochip)**
  - 건강, 질병의 관리를 위해서 간단하지만 신뢰성이 보장된 센서 플랫폼 기술
- **가상 진료기술(Virtual medical room)**
  - 가상현실기술을 활용하여 의사의 진료 등이 원격으로 가능하게 하는 기술

분야 9 재생의료 융합화 및 기술개발 확대

- **생체 내 직접교차분화기술**(in vivo direct reprogramming)
  - 세포의 체외조작 없이 생체 내에서 직접교차분화를 유도하여 세포의 운명을 바꾸는 기술
- **리프로그래밍 인자 전달기술(Targeted delivery of reprogramming factors)**
  - 생체 내 재생을 유도하기 위해 특정한 목적 세포에 원하는 인자를 정확하게 전달하는 기술
- **재생유도 신약(Regenerative small molecule drug)**
  - 생체에 내재 된 재생기능을 유도하는 의약물질 발굴 및 신약개발 기술

분야 10 유전체 발현 지휘 단백질 발견

- **후성유전학적 발생·분화 조절기술**(Epigenetic regulation of development)
  - 후성유전학적 방법으로 발생 및 분화과정에서 광범위한 유전자들의 발현을 조절하는 기술
- **세포운명 결정인자 제어기술(Regulation of cell fate-determining factors)**
  - 세포의 운명을 결정지을 수 있는 중요 인자들을 발굴하고 이들에 의해 영향 받는 유전자들의 발현을 조절하는 기술
- **발생과정의 유전체·단백체 분석기술(Genomic and proteomic analysis on early development)**
  - 발생 초기과정의 조절기전을 파악하기 위해 발생 단계별 유전체, 단백체를 분석하는 기술

2018 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

코어바이오(Core Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **고속/대량 당쇄합성 (High throughput glycomimics)**
  - 인체 유래 당단백질의 구조와 동일한 형태의 당쇄를 고속/대량으로 합성하여 제작하는 기술
- **단일 뉴런 분석기술 (Single neuron analysis)**
  - 단일뉴런의 유전자 발현, 단백체 결합, 연결성, 신경활성 변화 등을 종합하여 신경조직 간 네트워킹을 파악하는 기술
- **대사체 재설계 분석 (Metabolomic reprogramming)**
  - 체세포 리프로그래밍 등을 통해 인공적으로 생식세포(난자, 정자) 및 배아를 제작하는 기술
- **막단백질 구조 지도 (Membrane proteome structure map)**
  - 항체의 주요 타겟이지만 정제가 어려워 많은 연구가 필요한 막단백질 구조의 전체상을 파악하는 기술
- **유전자 복원기술 (Genetic remediation)**
  - 생태계 및 시스템 내에서 원치 않는 유전자 변이를 제거하여 유전적 기준선(genetic baseline states) 상태로 복원하는 기술
- **합성 배아 (Synthetic embryo)**
  - 줄기세포를 이용하여 인공적으로 배아 및 배아성장에 필요한 태반과 유사 구조체를 제작하는 기술

화이트바이오 (White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

- **유전자 드라이브기술 (Gene drive)**
  - 기후변화에 따른 질병매개 해충의 특정 유전자를 종 전체로 확산시켜 개체번식을 제어하는 기술
- **인공효소 체인 (Artificial enzyme chain)**
  - 세포 내 연쇄반응인 생합성 대사경로를 이용, 인공적으로 합성한 체인형식의 효소 연쇄반응 공정을 통해 바이오연료 및 다양한 소재 생산효율을 극대화하는 기술
- **탄소자원화 광합성 세포공장 (Carbon utilizing photosynthetic cell factory)**
  - 이산화탄소 저감 및 탄소자원화 능력을 갖는 광합성 세포공장 시스템을 구축, 이를 활용한 고부가소재를 생산하는 기술
- **환경오염물질 분해 마이크로바이옴 (Xenobiotics microbial ecosystem)**
  - 박테리아, 나방 등의 분해효소를 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경 오염물질을 해결하는 기술

레드바이오 (Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **생체 내 유전체 편집기술 (in vivo Genome editing)**
  - 유전자 가위기술을 이용하여 개체 내 세포를 대상으로, 그 내부의 특정 유전자를 편집하여 질병을 치료하는 기술
- **신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징 (Neuroimaging for psychiatry)**
  - 신경/정신질환 관련 뇌영상 정보의 데이터 뱅크화 및 이를 분석하여 신경/정신질환 진단과 치료에 활용하는 기술
- **약물전달 3D 프린팅 기술 (3D-printed drug delivery system)**
  - 투약결과에 대한 모니터링이 필요하고, 복잡한 제형의 의약품을 환자 맞춤형 용량과 성분, 체내 추적이 가능한 물질을 함께 3D 프린팅하는 기술
- **오가노이드 기반 생체모사기술 (Organoids-based biomimetics)**
  - 줄기세포, 3D 프린팅기술 융합 등을 통해 제작된 오가노이드를 이용하여 복잡한 생체시스템(순환계, 신경계, 소화계, 개체 전체 등)을 모사하는 기술
- **오픈소스 신약발굴기술 (Open source drug discovery)**
  - 공개된 신약개발 관련 빅데이터를 인공지능 등의 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용하는 기술
- **차세대 항암백신 (Next generation cancer vaccine)**
  - 활성이 없는 다양한 암 유발 바이러스 인자들의 동정과 분석에 관한 빅데이터를 통해 고효율의 암 발생 예방 및 치료적 접근이 가능한 백신물질을 개발하는 기술

그린바이오 (Green Bio, 농림수축산·식품)

- **식물공장형 그린백신 (Plant-based vaccine production in plant factory)**
  - 식물공장 생산방식을 적용하여 부작용이 적고 효율적인 식물백신을 대량으로 생산하는 기술
- **식품 유해성분 동시검출 센서 (Simultaneous hazards-detecting sensors)**
  - 안전한 먹거리 검증을 위해 식품 내 미량 포함된 인공색소, 중금속 등을 동시에 검출하는 기술
- **유전체 편집 기반 양적형질 조절기술(QT engineering by genome editing)**
  - 양적형질(quantitative traits)에 관여된 여러 개의 타겟 유전자를 동시에 편집하여 동·식물의 형질을 강화/개량하는 기술
- **인공육류 생산기술 (Artificial meat production)**
  - 줄기세포의 3D printing을 이용하여 동물세포 배양기술을 통해 친환경·고기능성 육류를 생산하는 기술

2019 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **DNA 기록기/분자레코더(DNA writer/Molecular recorder)**
  - 생물학적·인공적 정보를 살아있는 세포 내에서 처리하고 저장할 수 있도록 DNA를 역동적인 기록 매개체로 활용하는 기술
- **염색체 엔지니어링(Chromosome engineering)**
  - 세포 내 염색체를 복제, 재조합, 분리하여 염색체 수를 최소화하는 등 염색체 공정을 통해 생물학적 기능을 해석하는 기술
- **단일세포 다중오믹스 시각화기술(Single cell multiomics visualization)**
  - 단일세포의 유전체, 단백체, 대사체 등의 데이터를 AI 기반으로 시각화하여 시공간적 지도로 표현하는 기술
- **조직별 면역세포 세포체 지도(Cellomics map of tissue-resident immune cells)**
  - 조직 특이적 면역세포의 종류, 기능 및 상호 관계를 이해하기 위해 세포체의 전체상을 파악하고 시각화하는 기술
- **자기조직화 다세포 구조(Self-organizing multicelluar structures)**
  - 합성유전회로(synthetic genetic circuits)를 설계하여 생물의 능력을 모방할 수 있는 맞춤형의 3D 구조(조직)를 제작하는 기술
- **크리스퍼 바코드 맵(CRISPR barcode map)**
  - CRISPR 유전자편집기술을 이용하여 유전체 내 표시해 둔 바코드를 통해 생명의 발생과 분화를 추적하는 기술

그린바이오 (Green Bio, 농림수축산·식품)

- **미토콘드리아 유전체편집을 통한 대사조절기술(Metabolic modification by mitochondrial genome editing)**
  - 에너지 생산기관인 미토콘드리아 유전체편집을 통해 식물의 물질대사를 조절하고 생산성을 증대시키는 기술
- **이미지 기반의 작물생장 모델링기술(Image-based modeling for crop production)**
  - 작물 이미지 빅데이터를 이용하여 작물의 생장을 예측 및 관리하는 기술
- **인공육류 생산기술(Artificial meat production)**
  - 줄기세포의 3D printing을 이용하여 동물세포 배양기술을 통해 친환경·고기능성 육류를 생산하는 기술
- **식물공장형 그린백신(Plant-based vaccine production in plant factory)**
  - 식물공장 생산방식을 적용하여 부작용이 적고 효율적인 식물백신을 대량으로 생산하는 기술

레드바이오 (Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **逆노화성 운동모방 약물(Exercise-mimicking medicine for anti-aging)**
  - 실제 운동을 하지 않아도 운동효과를 나타내어 근육노쇠 등 노인성질환을 예방할 수 있는 약물
- **광의학 치료기술(Photodynamic/Photothermal therapy)**
  - 특정 파장대의 빛과 광민감제(photosensitizer)를 암세포의 내부로 도입시켜 그 빛을 이용하여 암세포를 제거하는 기술
- **암 오가노이드 연계 면역세포 치료기술(Canceroid-mediated immune cell therapy)**
  - 암환자 세포 유래 암 오가노이드를 이용하여 환자 맞춤형 면역세포치료제를 생산하고, 이를 항암치료에 활용하는 기술
- **비 오피오이드 통증조절제(Non-opioid painkiller)**
  - 만성통증 기전 및 바이오마커 규명을 통해 안전하고, 효과적이며, 중독성 없이 통증을 조절하는 약물
- **오픈소스 신약발굴기술(Open source drug discovery)**
  - 공개된 신약개발 관련 빅데이터를 인공지능 등의 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용하는 기술
- **신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징(Neuroimaging for psychiatry)**
  - 신경/정신질환 관련 뇌영상 정보의 데이터 뱅크화 및 이를 분석하여 신경/정신질환 진단과 치료에 활용하는 기술

화이트바이오 (White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

- **유전자 드라이브기술(Gene drive)**
  - 기후변화에 따른 질병 매개 해충의 특정 유전자를 종 전체로 확산시켜 개체번식을 제어하는 기술
- **플라스틱 분해 인공미생물(Plastic degrading artificial microorganism)**
  - 합성생물학을 통해 플라스틱 분해능을 보유한 미생물을 상향식(bottom-up) 방식으로 개발하는 기술
- **유전자회로 공정 예측기술(Predictable genetic circuit engineering)**
  - 빅데이터로 기계학습 된 시뮬레이션으로 합성유전자회로의 최종출력(소재·물질 생산능 등)을 예측하는 기술
- **미세플라스틱 유해성 장기 평가기술(Long-term hazard assessment for nanoplastics)**
  - 해양환경 보존을 위해 장기적 관점에서 미세 플라스틱의 독성 및 유해성을 평가하는 기술

2020 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **프라임 에디팅(Prime editing)**
  - 살아있는 세포 내에서 특정 유전자서열을 고효율로 첨가, 삭제, 치환하는 기술
- **Cryo-EM 생체분자 구조분석기술(High-resolution cryo-EM bio-imaging)**
  - 거대 단백질 복합체, 막단백질, 세포의 입체구조를 초저온-전자현미경을 통해 분석하는 기술
- **키메라 바이오인공장기(Artificial bio-organs by chimerism)**
  - 환자 맞춤형 이식 및 치료를 목적으로 동물에서 사람의 세포, 조직, 장기 등을 키워내는 기술
- **단일 신경세포 트래킹(Tracking single neurons)**
  - 뇌 특정 부위에 전극을 주입 후 각 신경세포의 전기신호를 측정하고 분류하여 신경회로 구성 및 뇌기능 제어기전을 규명하는 기술
- **장기관류시스템(Organ perfusion system)**
  - 체내 환경(혈류, 산소, 온도 등)을 모사하여 체외에서 장기의 세포 괴사나 손상 없이 기능을 유지하는 기술
- **공간 오믹스 기반 단일세포 분석기술(Single cell spatial reconstruction)**
  - 생체 기관이나 조직 내 개별세포의 위치정보를 유지한 상태에서 오믹스 데이터를 확보하여 3차원적인 공간정보를 파악하는 기술

레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **조직 내 노화세포 제거기술(Senolytics)**
  - 조직의 노화 및 기능 이상을 유발하는 노화세포를 선택적으로 제거하여 조직 항상성을 유지하고 질병을 치료하는 기술
- **소포체 기반 약물전달기술(Drug delivery with extracellular vesicles)**
  - 세포 소기관인 소포체에 약물을 탑재하여 목적 세포까지 정확하게 전달하는 기술
- **면역세포치료제 활성화 백신(Boosting vaccine for CAR-T/NK cells)**
  - CAR-T, NK 등 면역세포의 활성화를 유도하는 물질(백신)을 투입하여 고형암을 치료하는 기술
- **실시간 액체생검(Real-time liquid biopsies)**
  - 혈액, 소변 등에 존재하는 핵산 조각들을 분석하여 실시간 질병의 진행을 추적하는 기술
- **알츠하이머 치매를 위한 세포치료(Cell therapy for Alzheimer's disease)**
  - 대표적인 퇴행성 뇌질환인 알츠하이머성 치매를 치료하기 위한 세포 혹은 줄기세포를 이용한 치료법
- **디지털 치료제(Digital therapeutics)**
  - 기존의 먹는 알약이나 주사제가 아닌 디지털기술(소프트웨어)을 기반으로 질병 예방, 관리 및 치료하는 신개념 의약품

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

- **엽록체 바이오공장(Chloroplast biofactory for high-level production of biomolecules)**
  - 식물 세포 소기관인 엽록체를 이용하여 유용한 외래 단백질 등을 대량 생산하는 기술
- **식물 종간 장벽제거기술(Removing interspecific incompatibility for cross-species hybridization)**
  - 식물 생식기관에서 종간 장벽 역할을 하는 단백질의 재설계와 도입을 통해 교배가 어려운 두 종간의 교배 효율을 향상시키는 기술
- **친환경 에너지 발전과 농업의 결합(Agrivoltaics for efficient food and energy production)**
  - 식물 재배시설에 친환경 에너지 발전 시설을 결합하여 농업 효율과 에너지 생산 효율을 동반 상승시키는 기술
- **애완동물 유전체의약(Pet genomic medicine)**
  - 애완동물의 유전체 염기서열 분석을 통해 확보된 유전정보를 바탕으로 각 애완동물의 특성에 맞게 치료하는 기술

화이트바이오 (White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

- **빅데이터 기반 생태건강성 평가(Ecosystem health assessment using bio-big data)**
  - 바이오 빅데이터(특히, 미생물 군집구조)를 포함한 환경, 생태 데이터를 통합하여 생태계의 건강성을 평가하는 기술
- **바이오파운드리(Biofoundry)**
  - 로봇과 AI 기술을 융합한 바이오 첨단기술로서 DNA 조립에서부터 세포 개량까지의 복잡한 과정을 빠른 순환 공정으로 구현하는 기술
- **인공생태계(Manipulation of artificial ecosystem)**
  - 최소한의 요소로 실제 생태계를 최대한 모사하는 기술로 다양한 생태계 교란의 영향을 현장처럼 시뮬레이션하는 기술
- **무세포 합성생물학(Cell-free synthetic biology)**
  - 생명활동에 필요한 최소요소(DNA, 단백질 등)로 구성된 무세포 환경에서 유용한 기능을 수행하는 생명 시스템을 제작하는 기술

2021 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **개인 맞춤형 체외 면역시스템(in vitro personalized immune system)**
  - 개인 맞춤형 오가노이드에 면역세포 공배양 등을 통해 체외에서 개인의 면역체계를 모사하는 기술
- **실시간 지질체 분석(Real-time lipidomic analysis)**
  - 발달, 면역, 인지 등 다양한 세포신호전달에 관여하는 모든 지질성분을 실시간으로 분석하는 기술
- **대사체 지도(Metabolome map)**
  - 임상, 유전체, 장내 미생물, 생활방식 등 방대한 정보와 연계된 개인별 대사 프로파일을 분석하여 지도를 작성하는 기술
- **인공지능 기반 단백질 모델링(AI based protein modeling)**
  - 분자물리학적 접근방법과 딥러닝 인공지능을 활용하여 단백질 구조뿐만 아니라 세포 내 단백질 작용을 예측하는 기술
- **생명발달 시퀀싱(In vivo developmental sequencing)**
  - 유전자편집, 단일세포시퀀싱 등을 통해 세포분화, 조직발달, 질병발생 과정에 관여하는 주요 유전자와 네트워크를 분석하는 기술
- **생물 유래 화학다양성 확보 기술(Chemical diversity in nature)**
  - 심해 등 극한 환경에서 살아가는 생물과 그 안에 함께 있는 마이크로바이옴이 생산하는 다양한 물질을 확보하는 기술

레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **합성 면역(Synthetic immunity)**
  - 유전적으로 면역회로를 합성하여 면역세포의 활성을 높이거나 면역물질 생성을 조절하는 기술
- **바이러스 칵테일 백신(Virus cocktail vaccine)**
  - 여러 바이러스의 항원을 포함하여 1회 접종으로 다양한 바이러스에 대한 감염율을 현저히 감소시키는 기술
- **종이 바이오칩(Lab-on-paper biochip)**
  - 구강 내 접촉 방식에 의한 색의 변화로 감염, 질병, 건강 상태를 저렴하고 간편하게 진단하는 기술
- **인체 마이크로바이옴 최적화(Optimization of human microbiome)**
  - 장내, 피부, 호흡기 등 인체 마이크로바이옴을 제어하여 약물치료 효과 및 효능을 최적화하는 기술
- **단일세포 교정기술(Single cell repairing)**
  - 유전자 교정기술 등을 활용하여 단일세포 수준에서 질병을 치료하는 기술
- **나노백신/나노항체(Nanovaccine/Nanobody)**
  - 나노구조체 표면에 다량, 다종의 항원을 노출시키거나, 기존 항체보다 작고 효과적인 치료제를 제작하는 기술

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

- **식물 마이크로바이옴 엔지니어링(Plant microbiome engineering)**
  - 식물 공생 미생물체, 병원성 미생물체 분석으로 식물 마이크로바이옴 기능 조절을 통해 작물 성장을 돕거나 멸종위기 보호종을 보전하는 기술
- **세포배양 축산 기술(Cellular agriculture)**
  - 팬데믹 등으로 공급문제가 발생할 수 있는 축산업을 대체하기 위해 세포배양 기반으로 육류나 우유를 제조하는 기술
- **광호흡 대사경로 리모델링(Remodeling of photorespiration metabolic pathway)**
  - 합성 생물학 기반으로 광호흡 대사경로를 리모델링하여 벼, 콩 등 주요 작물에서 발생하는 광합성 효율 저하를 회복시키는 기술
- **스마트 양식 기술(Smart fish farming)**
  - 팬데믹으로 중단될 수 있는 어업 활동을 대체하고, 멸종위기 해양 어종 보존 및 해산물 오염을 방지 할 수 있는 기술

화이트바이오 (White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

- **친환경 고분자 생산 미생물(Eco-friendly polymer producing microbe)**
  - 일회용품 및 미세플라스틱 문제를 해결하기 위해 미생물로부터 완전 친환경 고분자 재료를 생산하는 기술
- **빅데이터 기반 생태건강성 평가(Ecosystem health assessment using bio big data)**
  - 바이오 빅데이터(특히, 미생물 군집구조)를 포함한 환경, 생태 데이터를 통합하여 생태계의 건강성을 평가하는 기술
- **바코드 미생물(Barcoded microbes)**
  - 특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 법의학, 제품유통 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술
- **원헬스 모니터링 기술(One-health monitoring)**
  - 환경, 인간, 동식물이 서로 연결되어 있다는 개념에서 바이러스의 국가/대륙 간 이동 등을 감지하는 기술

2022 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **세포 정밀 이미징/시퀀싱(In situ live cell imaging/sequencing)**
  - 역동적인 세포 내 현상을 3차원으로 정밀하게 관찰하는 동시에 특정 유전자의 서열을 분석하여 발현량과 위치를 파악하는 기술
- **eDNA 모니터링(environmental DNA monitoring)**
  - 대기 내(airborne) DNA, RNA 등 핵산을 분석하여 환경과 생태계의 다양한 생물(다양성)을 파악하고, 감염원이 될 수 있는 바이러스, 박테리아 등을 신속하게 파악하는 기술
- **차세대 유전체 합성(Next-generation genome writing, NGW)**
  - 생명체의 전체 게놈 또는 게놈 수준의 대형 DNA를 설계하고, 이를 정확하면서도 신속하게, 대량으로 합성하는 기술
- **후성유전체 편집(Epigenome editing)**
  - 유전자편집 도구를 활용하여 후성유전학적 변이를 선택적으로 제어함으로써 생물체의 기능을 연구하고, 분석하는 기술
- **장기-특이적 면역 틈새 시스템(Organ-specific immunity niches)**
  - 뇌와 같이 특정 장기·기관은 자체 면역세포로 둘러싸여 면역학적으로 구별되는데 인체 내 장기·기관 특유의 면역 기능, 체계, 활성 등을 규명하는 기술
- **나노입자-매개 바이오물질 전달기술(Nanoparticle-mediated biomaterial delivery)**
  - 나노물질/기술을 이용하여 DNA, RNA, 단백질 등의 바이오물질을 특정 조직이나 세포를 표적화하여 안전하고, 효율적으로 전달하는 기술

레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **효소노화 표적 발굴기술(Targeting enzyme aging)**
  - 조직 및 장기 노화와 관련된 효소의 활성 변화를 분석하고, 이를 표적으로 발굴하여 의약품 개발 등에 활용하는 기술
- **치료용 신경정신약물(Mind-altering medicine)**
  - 의료용 대마 등 정신활성 물질의 유용성분을 기반으로 신경정신질환을 치료하는 의약품 개발과 관련된 기술
- **면역펩티도믹스(Immunopeptidomics)**
  - 암세포 등 질환세포 내 다양한 펩타이드를 분석하고, 그 라이브러리를 데이터로 축적하여 항암, 면역치료제의 표적을 예측하고, 발굴하는 기술
- **차세대 백신(Next-generation vaccine)**
  - mRNA 기반의 칵테일 백신, 범용 백신, 신규 모달리티를 적용한 백신 등 다양한 병원체에 대한 감염을 방어하는 기술
- **소포체 기반 약물전달기술(Drug delivery with extracellular vesicles)**
  - 세포 소기관인 소포체, 다양한 세포 유래 엑소좀을 활용하여 약물을 목적 세포까지 정확하고, 효율적으로 전달하는 기술
- **신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징(Neuroimaging for psychiatry)**
  - 신경/정신질환 관련 뇌영상 정보의 데이터 뱅크화 및 이를 분석하여 신경/정신질환 진단과 치료에 활용하는 기술

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

- **개인 맞춤형 3D 푸드 프린팅(Personalized 3D food printing)**
  - 개인 DNA 분석을 통해 음식 선호도와 최적의 영양공급 다이어트를 예측하여 음식의 재료를 선정하고, 이를 3차원 프린팅 기술로 개인 맞춤형 음식과 식품을 제작하는 기술
- **뿌리 공생미생물 엔지니어링(Rhizomicrobiome engineering)**
  - 식물 근권부 공생 미생물체, 병원성 미생물체 분석으로 식물근 마이크로바이옴 기능 조절을 통해 작물 성장을 돕거나 멸종위기 보호종을 보전하는 기술
- **바이오장기 생산 키메라기술(Chimera technology for bio-organs)**
  - 인간 줄기세포를 동물에 넣어 이식 및 치료 목적으로 인간의 조직이나 장기, 기관을 동물에서 생산하는 기술
- **식물 광합성기구 기능 향상기술(Engineering plant photosynthesis)**
  - 식물의 광합성을 담당하는 기구의 기능을 개선하여 광합성 효율이 향상된 작물 등을 제작하는 기술

화이트바이오 (White Bio, 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재)

- **나노물질 유래 친환경 중합체 합성기술(Nanomaterial-derived eco-friendly polymer synthesis)**
  - 생분해성 키토산 등으로 이루어진 친환경 나노 입자로 미세 플라스틱, 섬유, 하이드로겔 등 자연에서 분해되지 않는 물질을 대체할 수 있는 중합체 합성 기술
- **친환경 소독제/농약 소재 발굴기술(Eco-friendly disinfectant/insecticide materials)**
  - 천연물 유래 성분 등을 기반으로 내성을 보이지 않아 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약 등의 소재를 발굴하는 기술
- **바코드 미생물(Barcoded microbes)**
  - 특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 법의학, 제품유통 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술
- **환경오염물질 분해 마이크로바이옴(Xenobiotics-degrading microbiome)**
  - 박테리아, 나방 등에서 분리해낸 환경오염물질 분해효소를 지닌 마이크로바이옴을 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경오염 물질을 분해하는 기술

◇ 본 자료의 내용은 국가생명공학정책연구센터의 공식 견해가 아니며, 자료의 내용을 인용할 시에는 출처를 반드시 밝혀 주시기 바랍니다.

◇ 본 자료는 국가생명공학정책연구센터 사이트(http://www.bioin.or.kr)에서 다운로드가 가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우에 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

◐ 국가생명공학정책연구센터 총서 목록(최근 3년) ◑

총서 번호	보고서명	저자	발간일	공개 여부
271	2019 바이오 미래유망기술	남연정 김무웅	2019-01-31	공개
272	2018년 하반기 BioINwatch Collection	김은중 김무웅	2019-01-31	공개
273	2017년 바이오분야 국가연구개발사업의 포트폴리오 및 포지셔닝 분석	홍윤정 김무웅	2019-02-11	비공개
274	2018 정부 바이오 정책 보도자료 모음집	박성훈	2019-02-14	공개
275	2018 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	박성훈	2019-02-18	공개
276	2018 바이오인글로벌 모음집	박성훈	2019-02-20	공개
277	OECD Bio Policy Review No.2	박주연	2019-03-20	공개
278	정부연구비가 신약개발 성과에 미치는 영향분석 및 시사점	조윤정	2019-04-15	공개
279	2019년 상반기 BioInwatch Collection	김은중 남연정 김무웅	2019-08-16	공개
280	2019 내 손 안의 바이오 통계	홍윤정 김무웅	2019-10-04	공개
281	2019년 BioINdustry 산업동향 보고서	김무웅 홍윤정 김은중 남연정 하선권 김영철	2019-12-31	공개
282	2018년 국내 바이오 중소·벤처기업 현황 통계	홍윤정 김무웅	2020-1-31	공개
283	2020 바이오 미래유망기술	남연정 김무웅	2020-2-11	공개
284	2019년 하반기 BioINwatch Collection	김은중 김무웅	2020-2-25	공개
285	2019년 BioINpro 모음집	김영철 김무웅	2020-2-28	공개
286	2019 생명공학백서	문성훈 김민정 이지현	2019-12-31	공개
287	2019 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	박성훈	2020-3-31	공개
288	2019 BioIN글로벌 모음집	박성훈 김무웅	2020-3-31	공개
289	2018년 바이오분야 국가연구개발사업의 포트폴리오 및 포지셔닝 분석	남연정 김무웅	2020-6-30	비공개
290	2020년 상반기 BioInwatch Collection	김은중 김무웅	2020-7-30	공개
291	내 손 안의 바이오 통계	남연정 김무웅	2020-12-23	공개

총서 번호	보고서명	저자	발간일	공개 여부
292	2020년 BioINpro 모음집	김영철 김무웅	2021-1-31	공개
293	2020년 하반기 BioINwatch Collection	김영철 김무웅	2021-1-31	공개
294	2020년 BioINdustry 산업동향보고서	김영철 김무웅	2021-1-31	공개
295	2021 바이오 미래유망기술	남연정 김무웅	2021-2-23	공개
296	Biotechnology in Korea 2020	이지현 문성훈	2020-12-31	공개
297	2020 정부 BT 연구성과 모음집	박성훈 백주희	2021-03-10	공개
298	2020 BioIN글로벌 모음집	박성훈	2021-03-10	공개
299	2019년 바이오분야 국가연구개발사업의 포트폴리오 및 포지셔닝 분석	남연정 김무웅	2021-06-01	비공개
300	2021년 상반기 BioINwatch Collection	김영철 김무웅	2021-07-30	공개
301	OECD BIO POLICY REVIEW	설 민	2021-08-11	공개
302	2019년 기준 국내 바이오 중소·벤처기업 현황 통계	하선권 양준혁	2021-08-12	공개
303	내 손 안의 바이오 통계	김은중 김무웅	2021-11-30	공개
304	2021년 BioINdustry 산업동향보고서	김영철 하선권 이지연 설 민 남연정 유성희 최성열 임일권	2021-12-24	공개
305	2021년 BioINpro 모음집	김영철 김무웅	2021-12-24	공개
306	2021 생명공학백서	이지현 문성훈	2021-12-31	공개
307	2022 바이오 미래유망기술	김무웅 남연정	2022-2-28	공개
※ 총서 발간자료는 BioIN정보포털사이트(http://www.bioin.or.kr)에서 다운받으실 수 있습니다.				

필자	한국생명공학연구원
	김무웅 국가생명공학정책연구센터 책임연구원 moongkim@kribb.re.kr / 042-879-8375
	남연정 국가생명공학정책연구센터 책임연구원 yjnam@kribb.re.kr / 042-879-8365
	김흥열 국가생명공학정책연구센터 센터장 yeolhee@kribb.re.kr / 042-879-8370

협력	한국과학기술정보연구원
	양혜영 미래기술분석센터 책임연구원 hyyang@kisti.re.kr
	김은선 데이터분석본부 본부장 kimes@kisti.re.kr

2022 바이오 미래유망기술 발굴

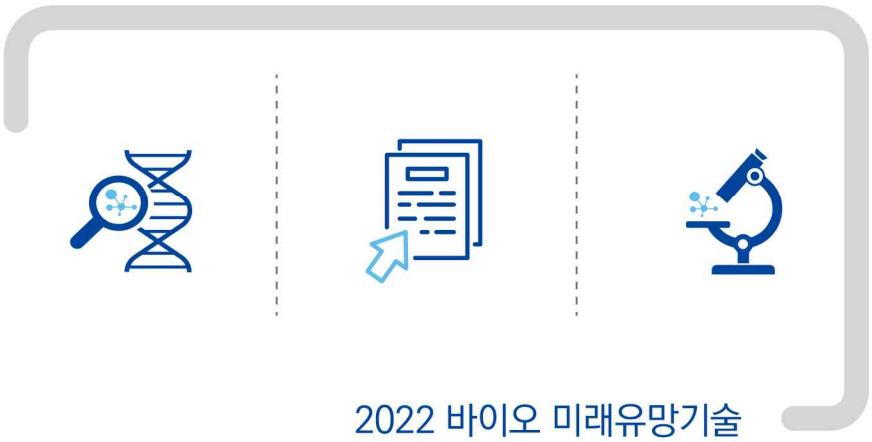
- Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 -

발 행 일 2022. 2. 28

발 행 인 김 장 성/한국생명공학연구원장

발 행 처 국가생명공학정책연구센터
대전광역시 유성구 과학로 125
한국생명공학연구원 14동 3층
대표전화 : (042) 879-8377

ISBN 978-89-6709-181-1



2022 바이오 미래유망기술

국가생명공학정책연구센터
National Biotech Policy Research Center

(34141) 대전광역시 유성구 과학로 125
TEL | 042-879-8377 FAX | 042-879-8369
www.bioin.or.kr

비매품/무료
93570
9 788967 091811
ISBN 978-89-6709-181-1