총서 318권



2023 바이오 미래유망기술

한국생명공학연구원
Korea Research Institute of Bioscience and Biotechnology
국가생명공학정책연구센터
National Biotech Policy Research Center
KiSTi 한국과학기술정보연구원
Korea Institute of Science and Technology Information

목차

Contents

1 연구 배경 및 목적 ····· 01

가. 연구 배경 및 필요성 ····· 01

나. 국내·외 현황 및 사례 ····· 07

다. 연구 목적 ····· 12

2 연구 범위 및 방법 ····· 13

가. 정의 및 추진방안 ····· 13

나. 단계별 연구 방법 ····· 15

3 연구 결과 ····· 32

가. 2023 10대 바이오 미래유망기술 선정 ····· 32

나. 향후계획 및 기대효과 ····· 35

4 참고문헌 ····· 37

[첨부1] 2023 바이오 미래유망기술 설명자료 ····· 39

[첨부2] 그간 발굴된 바이오 미래유망기술 리스트 ····· 59

표 목차

Contents

[표 1] 바이오 미래유망기술 발굴 연구방법론 특징 비교 ····· 6

[표 2] 세계경제포럼 선정 10대 미래유망기술 ····· 7

[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술 ····· 8

[표 4] 주요 해외 미래유망기술 발표 현황 ····· 9

[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황 ····· 11

[표 6] 미래유망기술 파급효과 정의 ····· 13

[표 7] 미래유망기술 발굴을 위한 단계별 추진방안 ····· 14

[표 8] 대분류별 바이오 위크시그널(키워드) 탐색 건수 ····· 16

[표 9] 바이오 분야 위크시그널 리스트(일부) ····· 16

[표 10] 최신 바이오 관련 뉴스 및 연구 이슈 리스트(일부) ····· 17

[표 11] 위크시그널 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 17

[표 12] 최신 이슈 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 18

[표 13] 후보기술 재추천 기반 바이오 미래유망 후보기술 도출 양식(예시) ····· 19

[표 14] 바이오 미래유망 후보기술 도출 과정 ····· 20

[표 15] 후보기술 출처/소스별 도출 갯수 ····· 20

[표 16] 후보기술 최종 선정을 위한 필터링 평가 결과 ····· 21

[표 17] 후보기술 최종 도출 리스트 ····· 25

[표 18] 2023년 바이오 미래유망 후보기술 ····· 26

[표 19] 바이오 미래유망기술 설문조사 및 전문가 평가 결과 ····· 29

그림 목차

Contents

[그림 1] 논문(a)과 특허(b)로 본 과학기술의 파괴적 영향력 감소 추세 ····· 2

[그림 2] 경로-파괴형(path-breaking)으로의 혁신 모델 전환 ····· 3

[그림 3] 다양한 기술과 산업에 파급되는 바이오 ····· 4

[그림 4] 2022년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 ····· 5

[그림 5] 바이오 미래유망기술 발굴 추진방안 변화 ····· 6

[그림 6] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교 ····· 12

[그림 7] 데이터 기반 위크시그널 자동탐지 프로세스 ····· 15

[그림 8] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성 ····· 28

[그림 9] 2022 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상(상) 및 바이오인 페이스북, 생명연 블로그(하) ··· 30

[그림 10] 2022 바이오 미래유망기술 전문가 원고 ····· 31

[그림 11] 2022년 과학기술대전 내 전시된 바이오 미래유망기술 홍보관 ····· 31

[그림 12] 2023년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 · 34

[그림 13] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안 ····· 36

ABSTRACT

Ⅰ Definition and Implementation Strategy

□ Definition of Bio Emerging Technologies

○ Technology including science, phenomenon, and concepts that can be realized technically or industrially within the next 5 to 10 years based on life science and is expected to have a high effect on technological and industrial innovation in the future

- (Bio) Based on the study of life phenomena (life sciences), it can be used to promote the discovery of scientific knowledge, solve problems, or produce useful products
- (Emerging Technologies) Technology that can be realized technically or industrially within the next 5 to 10 years and has a high ripple effect on technological innovation and industrial innovation

[Definition of innovation]

Sort	Definition
Technological innovation	Innovate technological advancements in relevant areas or influence technical problem resolution
Industrial innovation	Innovate industrial development in related fields or exert a wide range of economic influence

□ Implementation strategy for Bio Emerging Technologies

○ (Implementation system) Composed of a general committee, a research team, and expert committees

- (General Committee) Review the overall research plan and results
- (Research Team) Lead overall research and write out a report through cooperation with KISTI Future Technology Analysis Center and operation of the expert committees
- (Expert Committee) Organize focus group and scanning group

* Focus group : Derive candidate technologies in platform, red, green, and white bio areas through weak signal review (consisting of former and current review boards from Korea National Research Foundation)

* Scanning group : Derive candidate technologies by constantly monitoring the latest research issues and results

○ (Method) Performed in 3 steps

- (Step 1) Discovering innovative seeds by weak signal analysis and monitoring the latest research issues
- (Step 2) Screening emerging technologies and final selection
- (Step 3) Publicize the bio emerging technologies

II Concrete Method

1) Step 1: Discovering innovative seeds by weak signal analysis and monitoring the latest research issues

□ Weak signal search method for scientific technology and extraction of weak signal for Bio field

○ (Analysis target) SCOPUS thesis data (15,276,962 papers)

○ (Target year and document type) Last 5 years (2017-2021), 5 types of literature(article, book, book chapter, conference paper, review, etc.)

○ (Keyword set extraction) Extract keyword/keyword phrases from the title and abstract items of the paper using the N-gram algorithm

- Integrate extracted and author keywords to form a basic set of keywords

○ (Keyword Activity Measurement) For each keyword, activity* is measured, and keywords with more than 0.5 and more than 9 appearances in the last 3 years are selected

* The ratio of the frequency of keyword appearance in the past 23 years to the frequency of appearance

○ (Keyword Group Generation) Construction of a Word Embedding

Model for a Five-Year Paper Data Set used to extract keyword sets

- Derive candidates for science and technology weak signal by automatically grouping short-range keyword bundles through distance measurement between keywords within the model

○ (Results) A total of 439 candidates for the weak signal that appeared in 2022, of which 161 were derived in the bio field

□ Monitoring the latest bio-related research issues and results

○ (Monitoring target) Bio-related news and major research results published in Nature and Science over the past year

○ (Results) Deriving 210 key issues through constantly monitoring

2) Step 2: Screening emerging technologies and final selection

□ (Screening candidates) Derive candidate technologies for each field (Platform, Red, Green, White Bio) through expert committees and expert interviews

○ (Weak signal) Derive candidate technologies by review the Weak signal keywords and related papers

○ (The latest issue) Derive candidates technologies by review the latest hot issues in the bio research

○ (Re-recommendation) Derive candidates technologies through re-evaluate the candidate technology derived after 2015 at the present time

□ (Select candidate technologies) Performed two rounds of review and filtering evaluation after collecting candidate technologies

○ Collecting raw candidate technologies (169 technologies) ⇨ 1st review ⇨ 1st selection (51) ⇨ Filtering evaluation and 2nd review ⇨ Final derivation for candidates (20)

- (1st review) After collecting raw candidate technologies (169), remove conceptually duplicated or selected technologies through the

Research Team ⇨ revise technology integration, field movement, technical name and description through the General Committee and organize them into 51

- (Filtering evaluation) The technical and industrial innovations are evaluated as indicators through the Expert Committee, and candidate technologies (20) are selected
- (Final derivation) Finalizing candidate technologies by the General Committee

□ (Final selection of Bio emerging technologies) Survey and expert evaluation on technological and industrial innovations for each of the 20 candidate technologies

- ㅇ A survey is conducted for BioIN (www.bioin.or.kr) users
- ㅇ Expert evaluation is conducted for the Expert Committee and the General Committee
- ㅇ Final 10 Bio emerging technologies are selected by combining survey results and expert evaluation results

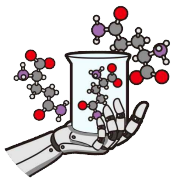
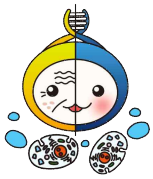
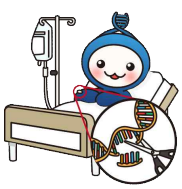
3) Step 3 : Publicize the Bio emerging technologies

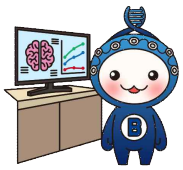
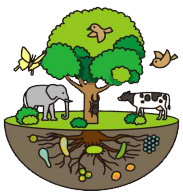
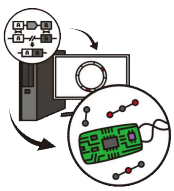
□ Various activities are carried out to form a consensus among the public on the Bio emerging technologies

- ㅇ Promoting videos on the YouTube page of the Korea Institute of Biotechnology(https://www.youtube.com/user/kribbadmin) and publicizing through BioIN Facebook and Naver blogs
- ㅇ Posting in-depth manuscript BioIN prepared by experts about selected technologies and exhibiting them in Korea Science Technology & Fair

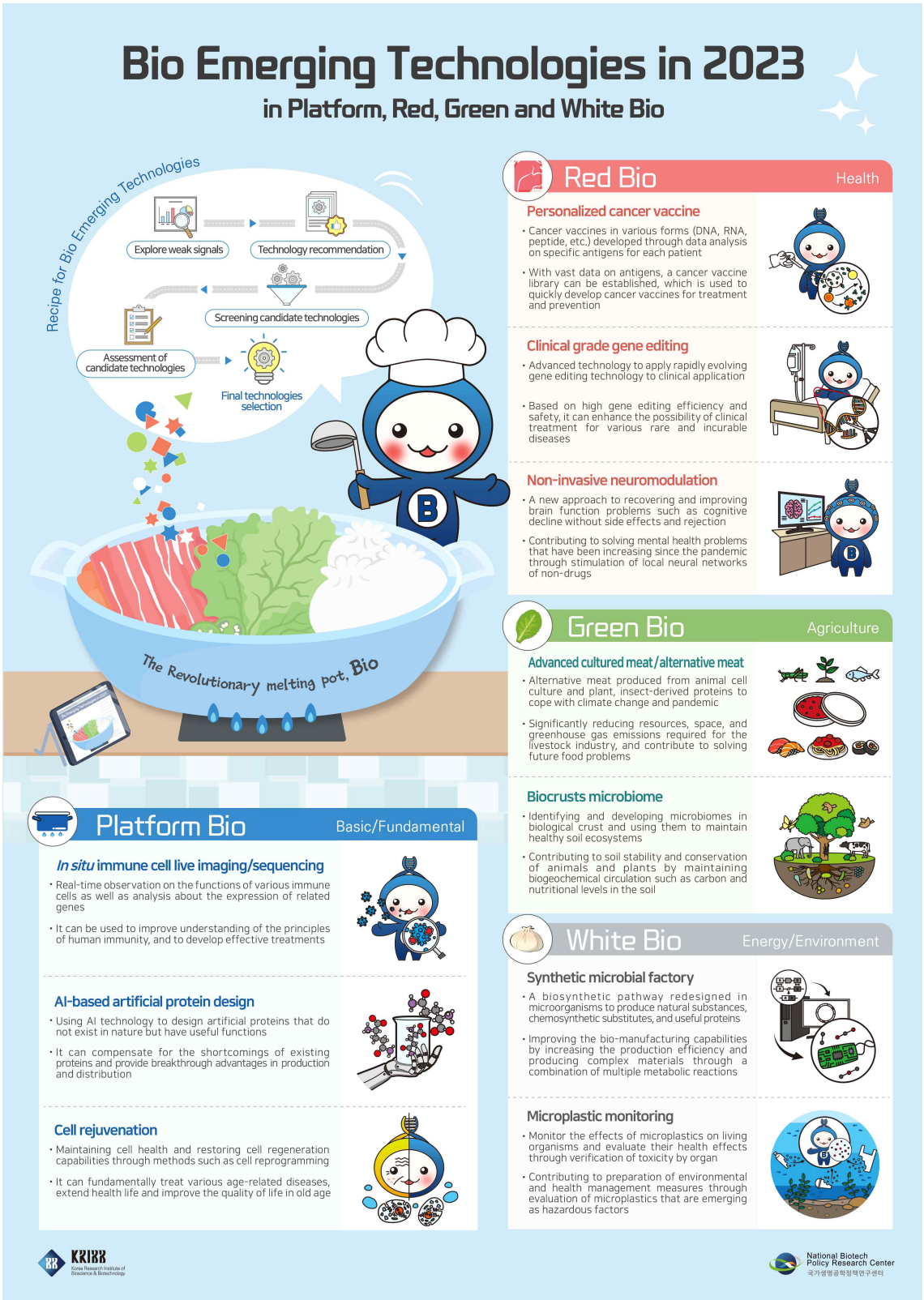
Ⅲ Results

□ Top 10 Bio emerging technologies in 2023

Field	Main contents	
Platform Bio	***In situ* immune cell live imaging/sequencing**	
		▹ Real-time observation on the functions of various immune cells as well as analysis about the expression of related genes ▹ It can be used to improve understanding of the principles of human immunity, and to develop effective treatments
	AI-based artificial protein design	
		▹ Using AI technology to design artificial proteins that do not exist in nature but have useful functions ▹ It can compensate for the shortcomings of existing proteins and provide breakthrough advantages in production and distribution
	Cell rejuvenation	
		▹ Maintaining cell health and restoring cell regeneration capabilities through methods such as cell reprogramming ▹ It can fundamentally treat various age-related diseases, extend health life and improve the quality of life in old age
Red Bio	**Personalized Cancer Vaccines**	
		▹ Cancer vaccines in various forms (DNA, RNA, peptide, etc.) developed through data analysis on specific antigens for each patient ▹ With vast data on antigens, a cancer vaccine library can be established, which is used to quickly develop cancer vaccines for treatment and prevention
	Clinical grade gene editing	
		▹ Advanced technology to apply rapidly evolving gene editing technology to clinical application ▹ Based on high gene editing efficiency and safety, it can enhance the possibility of clinical treatment for various rare and incurable diseases

Green Bio	**Non-invasive neuromodulation**	
		▹ A new approach to recovering and improving brain function problems such as cognitive decline without side effects and rejection ▹ Contributing to solving mental health problems that have been increasing since the pandemic through stimulation of local neural networks of non-drugs
	Advanced cultured meat/alternative meat	
		▹ Alternative meat produced from animal cell culture and plant, insect-derived proteins to cope with climate change and pandemic ▹ Significantly reducing resources, space, and greenhouse gas emissions required for the livestock industry, and contribute to solving future food problems
	Biocrusts microbiome	
		▹ Identifying and developing microbiomes in biological crust and using them to maintain healthy soil ecosystems ▹ Contributing to soil stability and conservation of animals and plants by maintaining biogeochemical circulation such as carbon and nutritional levels in the soil
White Bio	**Synthetic microbial factory**	
		▹ A biosynthetic pathway redesigned in microorganisms to produce natural substances, chemosynthetic substitutes, and useful proteins ▹ Improving the bio-manufacturing capabilities by increasing the production efficiency and producing complex materials through a combination of multiple metabolic reactions
	Microplastics biomonitoring	
		▹ Monitor the effects of microplastics on living organisms and evaluate their health effects through verification of toxicity by organ ▹ Contributing to preparation of environmental and health management measures through evaluation of microplastics that are emerging as hazardous factors

☐ Create an infographic with Platform, Red, Green, and White Bio in 2023 to shape bio emerging technologies into delicious Korean hot pot dishes



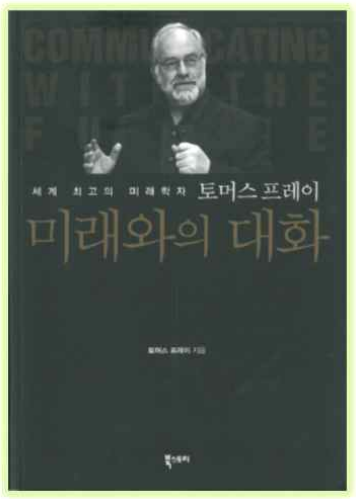
1 연구의 배경 및 목적

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.

□ **과학기술의 혁신은 통합형(consolidating)과 파괴형(disruptive)으로 구분이 가능한데, 통합적 혁신과 파괴적 혁신의 건전한 조화가 과학기술 발전에 중요[1)]**

- o 통합형 혁신은 기존 지식 흐름을 개선하여 이전 연구의 가치를 더욱 확고히 하는데 기여

  ※ 노벨상을 수상한 Kohn와 Sham의 1965년 논문은 통합적 혁신의 사례로, 이미 확립되어 있던 개념의 정리를 통해 전자 구조 계산 방식을 개발

- o 파괴형 혁신은 기존 지식을 파괴하고 쓸모없게 만들고 과학과 기술을 새로운 방향으로 추진

  ※ 노벨상을 수상한 Watson과 Crick의 1953년 논문은 파괴적 혁신의 사례로, 이전의 접근 방식을 대체하는 DNA 구조 모델을 발표

---

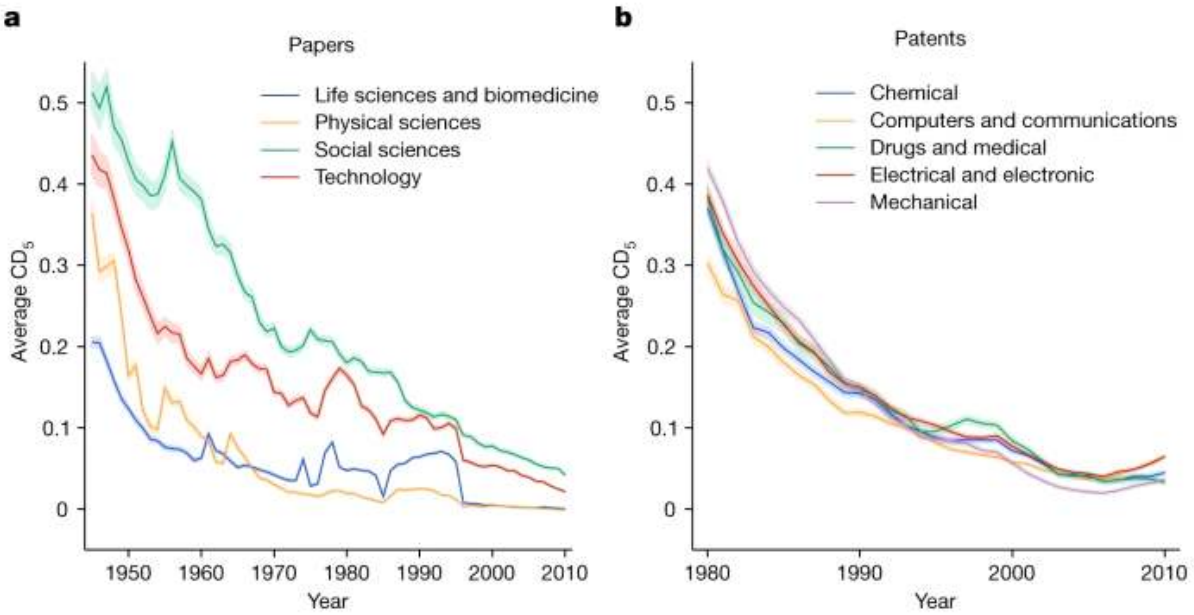
1) Nature, 'Disruptive' science has declined – and no one knows why, 2023.1.4.; Nature, Papers and patents are becoming less disruptive over time, 2023.1.4

○ 지난 수십 년간 과학 및 기술에 관한 문헌(논문, 특허)의 수가 급증하면서 파괴적 영향력은 감소하고 있는 것으로 조사

※ 2,500만 건의 논문(1945~2010년)과 390만 건의 특허(1976~2010년) 데이터로 분석한 결과, 시간이 지남에 따라 파괴적인 혁신성이 감소한 것으로 분석

- 파괴적 연구의 비율은 1945~2010년 사이 크게 떨어졌지만 매우 파괴적인 연구의 수는 거의 동일하게 유지

※ 또한 CD 지수는 1945~1970년까지 가파르게 하락한 다음 1990년대 후반부터 2010년까지 점진적으로 하락하고 있는데, 이러한 수수께끼를 풀기 위한 다양한 접근이 필요



[그림 1] 논문(a)과 특허(b)로 본 과학기술의 파괴적 영향력 감소 추세

○ 왜 이렇게 과학기술의 파괴적 영향력이 감소하고 있는 것일까?

- 지금은 1940년대보다 훨씬 더 많은 연구자들이 활동하고 있고 이로 인해 더 경쟁적인 환경이 조성

- 또한 대규모 연구팀이 더 보편화되었는데, 대규모 연구팀이 파괴적인 과학보다 점진적인 과학을 생산할 가능성이 더 높다는 사실*을 발견

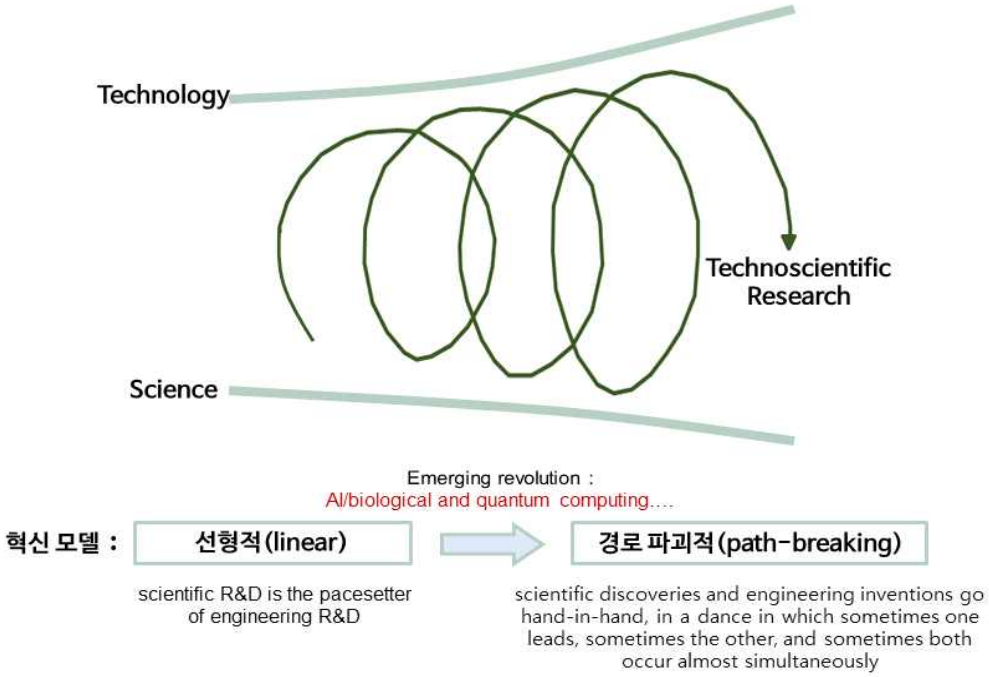
* Nature, Large teams develop and small teams disrupt science and technology, 2019.2.13.

○ 하지만 파괴적 혁신성만이 좋은 것은 아니며, 점진적(incremental) 연구와 파괴적 연구의 건전한 조화가 이상적이라고 설명

□ 인공지능, 바이오, 양자컴퓨팅과 같은 혁명적 도구와 기술의 등장으로 연구개발의 혁신 모델이 과거 선형(linear) 방식에서 경로-파괴형(path-breaking) 모델로 변화[2)]

ㅇ 2차 세계대전 이후 정립되어 온 선형 모델(과학 이후 기술개발 순)은 더 이상 연구개발의 혁신 모델로 적용하기에는 한계가 있으며,

- 대신에 과학과 기술이 상호 협력하여 혁신을 창조하는 Technoscientific research와 Technoscientific development 추진이 필요
- 특히, 경로 파괴형 혁신 모델에 따라 과학과 기술을 구분할 필요가 없다고 주장하며, "Technoscientific"이라는 용어를 강조

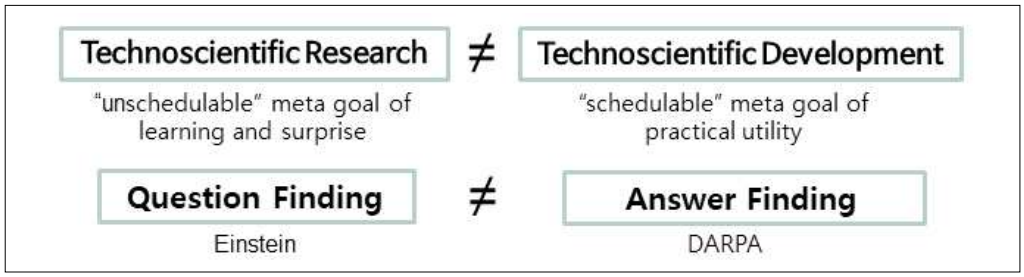


[그림 2] 경로-파괴형(path-breaking)으로의 혁신 모델 전환

ㅇ 과학과 기술은 구분할 필요가 없으나, Research와 Development는 구분 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

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



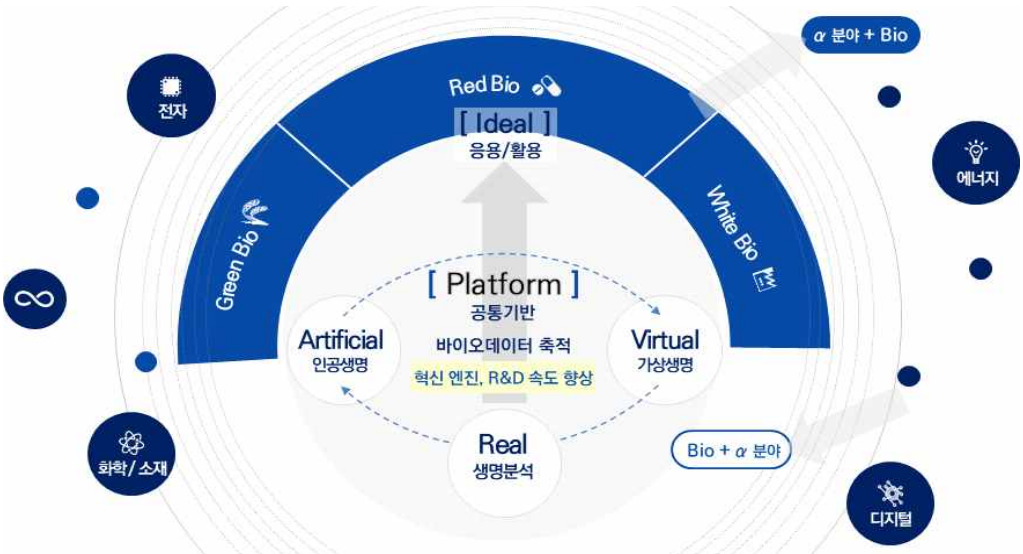
□ 위에서 살펴본 바와 같이 파괴형 기술만이 혁신기술은 아니며, 통합형 기술도 혁신기술이 될 수 있기 때문에 우리의 바이오 미래유망기술은 파괴형과 통합형의 미래유망기술 발굴을 추구

○ 하지만 지금까지 추진해온 접근방법은 질문에 대한 해답을 찾는 미래유망기술 발굴이 주된 초점으로 수행

- 최근 임무 중심형 국가 R&D 프로젝트 추진에 대한 당위성이 커지는 상황에서 당면한 문제를 해결하기 위한 미래유망기술 발굴 연구는 중요

○ 이에 국가생명공학정책연구센터는 지난 2015년부터 바이오 미래유망기술 발굴 연구를 추진해오고 있으며, 8번째 연구결과를 올해 발표

- 다양한 기술과 산업에 파급효과를 나타내는 바이오의 특성을 반영하여 기초·기반(Platform Bio), 보건의료(Red Bio), 농림수축산·식품 (Green Bio), 산업공정/환경·해양(White Bio) 분야의 미래유망기술 발굴 연구를 추진 중



[그림 3] 다양한 기술과 산업에 파급되는 바이오



[그림 4] 2022년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술

출처 : 생명공학정책연구센터, 2022 바이오 미래유망기술 발굴, 2022.2

□ 국가생명공학정책연구센터는 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

- 특히, 2021년부터 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 5] 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

○ 더불어 지금까지의 추진방안(해답 찾기, Answer finding) 외에 근본적인 질문 찾기(Question finding) 접근방안 수립을 위해 관련기관과 논의할 예정

나 국내·외 현황 및 사례

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

○ WEF[3] 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, 각 년도

3) 유수의 기업인, 경제학자, 저널리스트, 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

○ 미국 MIT에서는 테크놀로지 리뷰(Technology Review)를 통해 2022년 10대 혁신기술을 발표

- 2001년부터 매년 10대 혁신기술(10 Breakthrough Technologies)[4]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

- 2022년 선정된 바이오 관련 기술(4개) : 경구용 코로나19 치료제(A pill for Covid), 단백질 구조 예측용 AI(AI for Protein Folding), 말라리아 백신(Malaria Vaccine), 코로나 변이 추적(Covid Variant Tracking)

[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술

2020년	2021년	2022년
해킹 불가능한 인터넷	mRNA 백신	경구용 코로나19 치료제
초고도화 맞춤의약	GPT-3	실용적인 핵융합로
디지털 머니	틱톡 추천 알고리즘	비밀번호를 대체하는 새로운 인증기술
항노화 신약	리튬-메탈 배터리	단백질 구조 예측용 AI
새로운 분자를 찾아내는 인공지능 기술	데이터 트러스트	지분 증명
위성 메가 별자리	녹색수소	오래 지속되는 그리드 배터리
양자 우월	디지털 접촉 추적	인공지능을 위한 합성 데이터
작은 AI	초정밀 위치정보 기술	말라리아 백신
차등적 개인 정보	원격의 시대	탄소 제거 공장
기후변화 기여	다재다능한 인공지능	코로나 변이 추적

※ 바이오 관련 기술 밑줄 표시

출처 : MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies, 각 년도

4) 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, 2022 바이오 미래유망기술, 2022.2

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

○ 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

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

- 2022년 KISTEP 미래유망기술 주제(이슈)는 '탄소중립 시대'로 선정되었으며, 문헌조사, 설문조사, 전문가 회의 등을 통해 10대 유망기술을 최종 선정

- 미래유망기술은 5~10년 후 한국사회에 커다란 변혁을 가져올 수 있는 이슈를 대상으로 하므로 2030 국가온실가스감축목표 달성에 기여할 수 있는 기술을 선정

- 바이오 기반 원료·제품 생산 기술을 포함하여 선정된 10대 미래유망기술의 조속한 실현과 발전을 위해서 법·제도 개선, 인력 양성, 인프라 확보 등이 필요하다고 제언

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

- 2022년에는 다층적 딥러닝 예측모형을 기본적으로 활용, 과학기술의 위계 구조와 세부 연구영역에서 개별 활동(논문) 간 관계 의미(초록) 특성을 반영하여 과학기술 연구영역의 미래 성장 확률을 예측
- 디지털 전환과 혁신을 이끄는 유망기술과 탐색된 32선의 기술 클러스터를 재분류하여 미래과학기술 10선을 선정

[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황

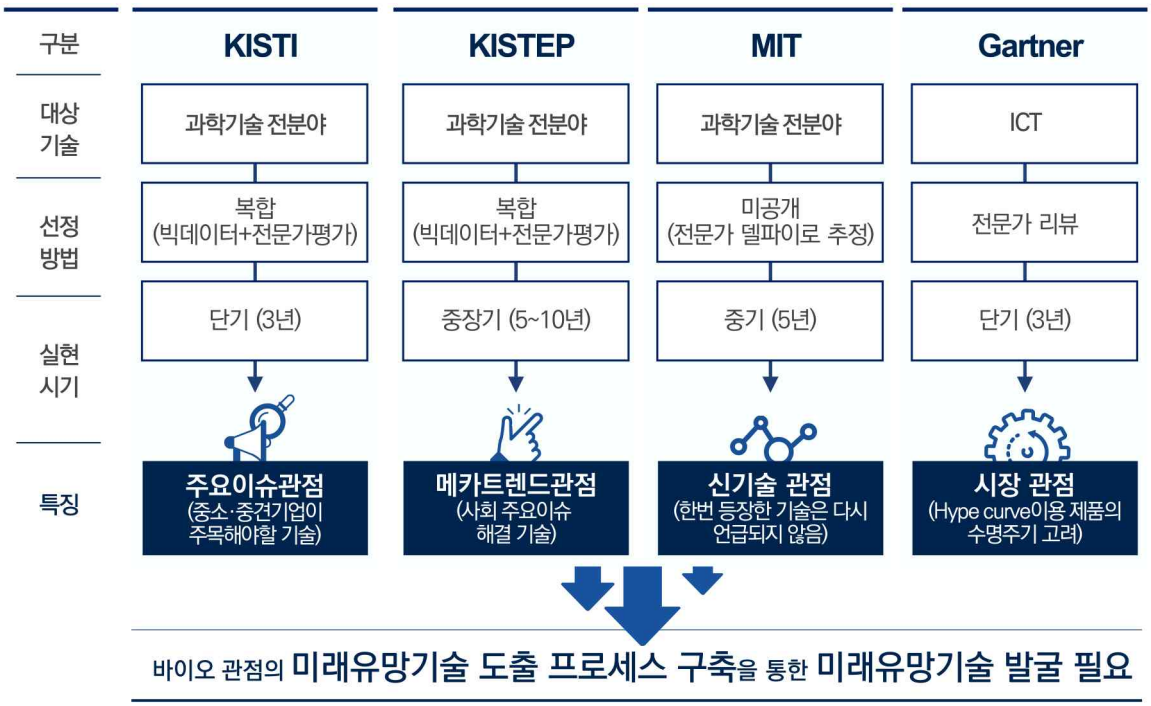
기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
한국과학기술 기획평가원 (KISTEP)	▪ [10대 미래유망기술] 바람직한 미래국가상 관점에서 주요 사회적 이슈에 대한 대응 기술	2009년	1년
한국과학기술 정보연구원 (KISTI)	▪ [미래유망기술] 딥러닝을 이용한 기술클러스터의 미래 성장가능성 예측	2006년	1년
한국연구재단 (NRF)	▪ [12대 미래유망기술] 국가미래유망기술 상시 발굴 및 준비체제	2017년	미정
한국전자통신연구원 (ETRI)	▪ [주목해야 할 7대 미래기술] ICT 분야 중심의 유망기술	2014년	1년
한국정보화진흥원 (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, 2022 바이오 미래유망기술, 2022.2

다 연구 목적

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

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



[그림 6] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교

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

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

○ 또한 산·학·연 연구자들에게는 핵심기술 개발의 단초를 제공하고, 정책 입안자들에게는 정책 및 투자 방향의 참고자료로 활용 가능할 것으로 기대

2 연구의 범위 및 방법

가 정의 및 추진방안

□ 2023 바이오 미래유망기술 정의

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

- (바이오) 생명현상 연구(생명과학)를 기반으로 과학적 지식의 발견을 촉진, 문제해결 또는 유용제품 생산에 활용할 수 있는
- (미래) 향후 5~10년 이내에 기술적 또는 산업적 실현이 가능하고,
- (유망기술) 기술적 혁신성, 산업적 혁신성에 대한 파급효과가 높은 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

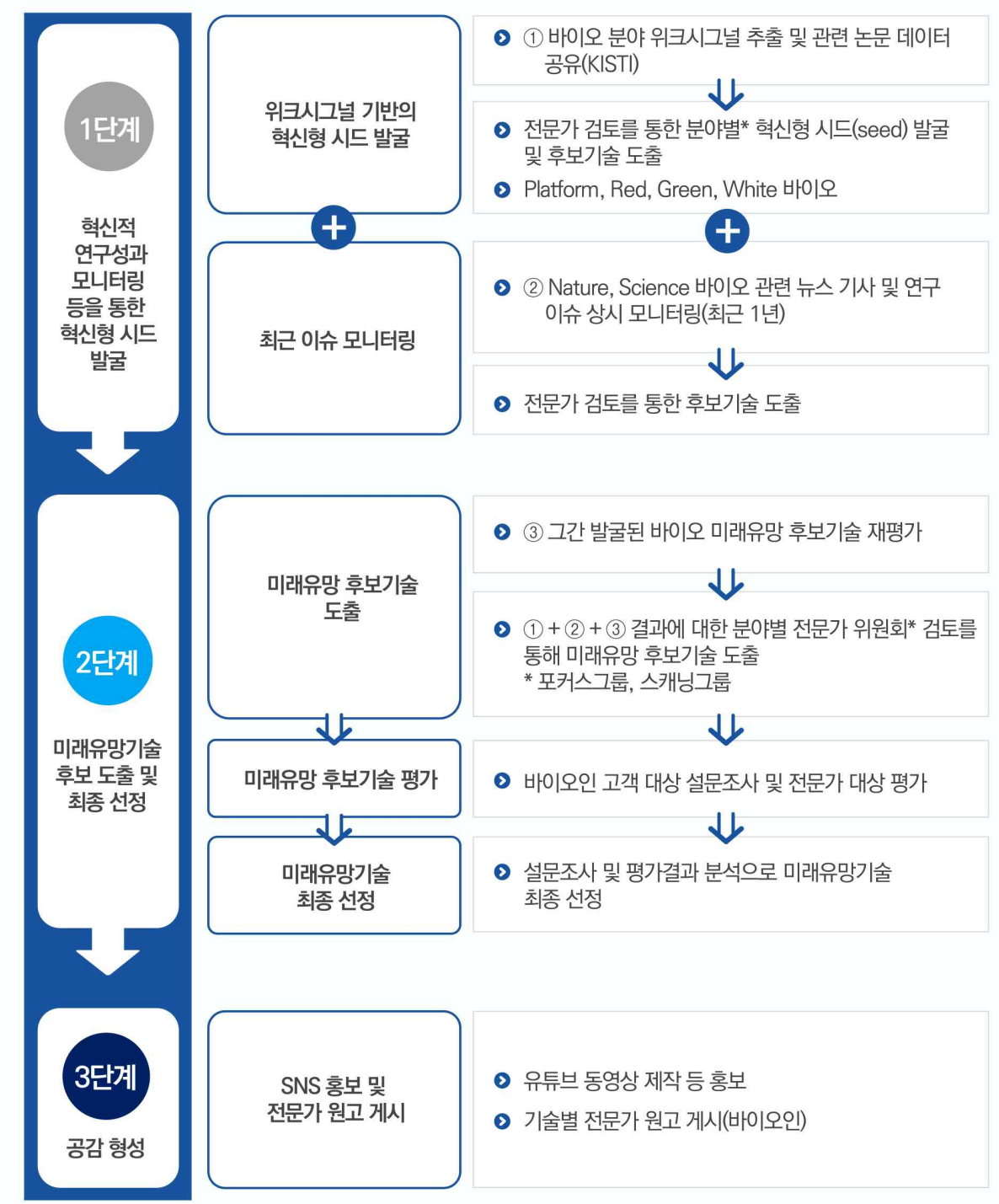
□ 2023 바이오 미래유망기술 발굴을 위한 추진방안 수립

○ (추진체계) 총괄위원회, 연구추진팀, 전문가위원회로 구성

- (총괄위원회) 전반적인 연구계획 및 연구내용 검토를 위해 구성
- (연구추진팀) KISTI 미래기술분석센터와의 협력 및 전문가위원회 운영을 통해 전체적인 연구 추진 및 보고서 작성
- (전문가위원회) 플랫폼, 레드, 그린, 화이트바이오 분야별 연구 전문가 및 연구재단 전·현직 RB로 구성된 포커스그룹과 Nature, Science 최신 뉴스와 연구성과를 상시 모니터링하는 스캐닝그룹으로 구성

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

[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

나 단계별 연구 방법

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

□ 과학기술 위크시그널 탐색방법 및 바이오 분야 위크시그널 추출

- (분석 데이터) SCOPUS 논문 데이터(15,276,962건)
- (대상년도 및 문서형태) 최근 5년(2017~2021), 5가지 문헌 종류(article, book, book chapter, conference paper, review 등)
- (키워드 집합 추출) 논문의 제목과 초록 항목에서 N-gram 알고리즘을 이용하여 키워드/키워드구문을 추출
  - 추출된 키워드와 저자 키워드를 통합하여 기초 키워드 집합을 구성
- (키워드 활동성 측정) 각 키워드에 대하여 활동성*을 측정하여, 0.5 이상이고 최근 3년간 등장 건수가 9 이상인 키워드 선별

  * 지난 23년간 키워드 출연빈도 대비 최근 3년간 출연빈도의 비율을 활동성(activeness)으로 정의
- (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 7] 데이터 기반 위크시그널 자동탐지 프로세스[5)]

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

○ (분석결과) 2022년 등장한 위크시그널 후보 총 439개 발견, 그 중 바이오 분야는 161개의 위크시그널 도출

[표 8] 대분류별 바이오 위크시그널(키워드) 탐색 건수

저널 분류(대분류)	키워드 개수
Agricultural and Biological Sciences	12
Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	23
Dentistry	1
Health Professions	1
Immunology and Microbiology	7
Medicine	112
Nursing	2
Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics	2
Veterinary	1
총합계	**161**

[표 9] 바이오 분야 위크시그널 리스트(일부)

번호	위크시그널	관련 논문	세부분류
comp_14	cabozantinib	Immune cell mediated cabozantinib resistance for patients with renal cell carcinoma	Medicine
comp_86	gpx4	BPDE induces human trophoblast cell ferroptosis by up-regulating iron metabolism and promoting GPX4 proteasomal degradation	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology
candi_295	medical cannabis	Cannabinoid Therapeutics in Chronic Neuropathic Pain: From Animal Research to Human Treatment	Medicine
comp_315	neoantigen	Neoantigen dendritic cell vaccination combined with anti-cd38 and cpg elicits anti-tumor immunity against the immune checkpoint therapy-resistant murine lung cancer cell line llc1	Medicine
comp_359	edible insects	Isolation and proteomic characterization of tropomyosin extracted from edible insect protein	Agricultural and Biological Sciences

□ 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 210여개 도출

[표 10] 최신 바이오 관련 뉴스 및 연구 이슈 리스트(일부)

저널	분류(1)	분류(2)	제목	일자
Nature	Digital biology	Protein Structure prediction	'The entire protein universe': AI predicts shape of nearly every known protein	28-Jul-22
Nature	Organ recovery	Transplantation	Improved organ recovery after oxygen deprivation	11-Aug-22
Science	epigenome editor	Gene therapy	Better than CRISPR? Another way to fix gene problems may be safer and more versatile	01-Jun-22
Science	Aging	Insulin signaling	Insulin signaling in the long-lived reproductive caste of ants	02-Sep-22
Nature	Vaccine	Patent	Africa is bringing vaccine manufacturing home	09-Feb-22

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	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	Intestinal organoids	in vivo 오가노이드 모델	3D 오가노이드 배양기술을 실험동물에 이식하여 체외배양 오가노이드 보다 정확한 분석과 평가가 가능
Red 바이오	Medicine	miRNA-lncRNA	lncRNA(long noncoding RNA) 기반의 질병 진단	다양한 질병과 lncRNA 사이의 연관성을 분석하고, 이를 기반으로 새로운 표적 유전자 발굴 및 질병 진단에 활용

Green 바이오	Agricultural and Biological Sciences	postbiotics	공생 미생물 유래 대사체	인간, 가축 등과 공생하는 미생물의 대사체를 이용하여 건강보조식품, 가축 감염병 치료제 개발에 활용
White 바이오	Biochemistry, Genetics and Molecular Biology	adropin	유사 단백질 생산 미생물	당뇨, 지방 등 조절 효과가 있는 펩타이드 호르몬의 유사 단백질을 미생물에서 생산

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	Sciecne	DNA tape	실시간 세포추적	살아있는 상태에서 순차적으로 단일세포를 확보하여 세포 내 유전체, 단백체 등의 변화를 분석, 추적
	Nature	Mutational clocks	돌연변이 시계	돌연변이 축적 속도와 수명, 암 발생 위험 등과의 연관성을 분석하여 분자적 기전을 규명
Red 바이오	Nature	Organ recovery	장기회복 기술	산소를 재순환시키는 시스템 등을 통해 심정지 후 세포와 장기를 보존하는 기술
Green 바이오	Nature	Monocot grafting	고부가 접목기술	그간 불가능했던 밀, 귀리, 바나나 등 고부가가치 작물에서의 접목을 가능하게 하는 새로운 기술
White 바이오	Sciecne	eDNA	환경DNA/ 환경유전자	대상 생물을 채집하지 않아도 다양한 환경(토양, 대기, 수중 등)에 존재하는 DNA를 분석함으로써 생물다양성 연구, 범죄 수사 등에 활용

○ (재추천 기반) 그간 발굴된 미래유망 후보기술('15~)들의 재검토를 통하여 2023년 바이오 미래유망기술 후보기술로 제시

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

구분	년도	후보기술명(안)	재검토 의견
Platform 바이오	2021년	생명발달 시퀀싱	단일세포 시퀀싱, 유전자 편집기술 등을 통해 생명체 발달과정의 유전자 발현과 네트워크를 분석
	2018년	막단백질 구조 지도	AI 단백질 구조 예측기술 발전에 힘입어 그간 분석이 힘들었던 막단백질 구조의 전체상을 파악
Red 바이오	2019년	오픈소스 신약발굴기술	공개된 신약개발 관련 빅데이터를 인공지능 등의 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용
	2022년	면역펩티도믹스	암세포 등 질환세포 내 다양한 펩타이드를 분석 및 DB화하여 항암, 면역치료제 표적을 예측, 발굴
Green 바이오	2020년	애완동물 유전체의약	애완동물의 유전체 염기서열 분석으로 각 애완동물의 특성에 맞게 치료
	2019년	인공육류 생산기술	포스트 펜데믹 영향으로 향후 감염 위험성이 높은 일반 육류 보다는 인공 육류 개발이 확대될 수 있음
White 바이오	2021년	바코드 미생물	특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 식품 유통, 법의학 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술
	2022년	친환경 소독제/ 농약 소재	천연물 유래 성분 등을 기반으로 내성을 보이지 않아 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약 등의 소재를 발굴

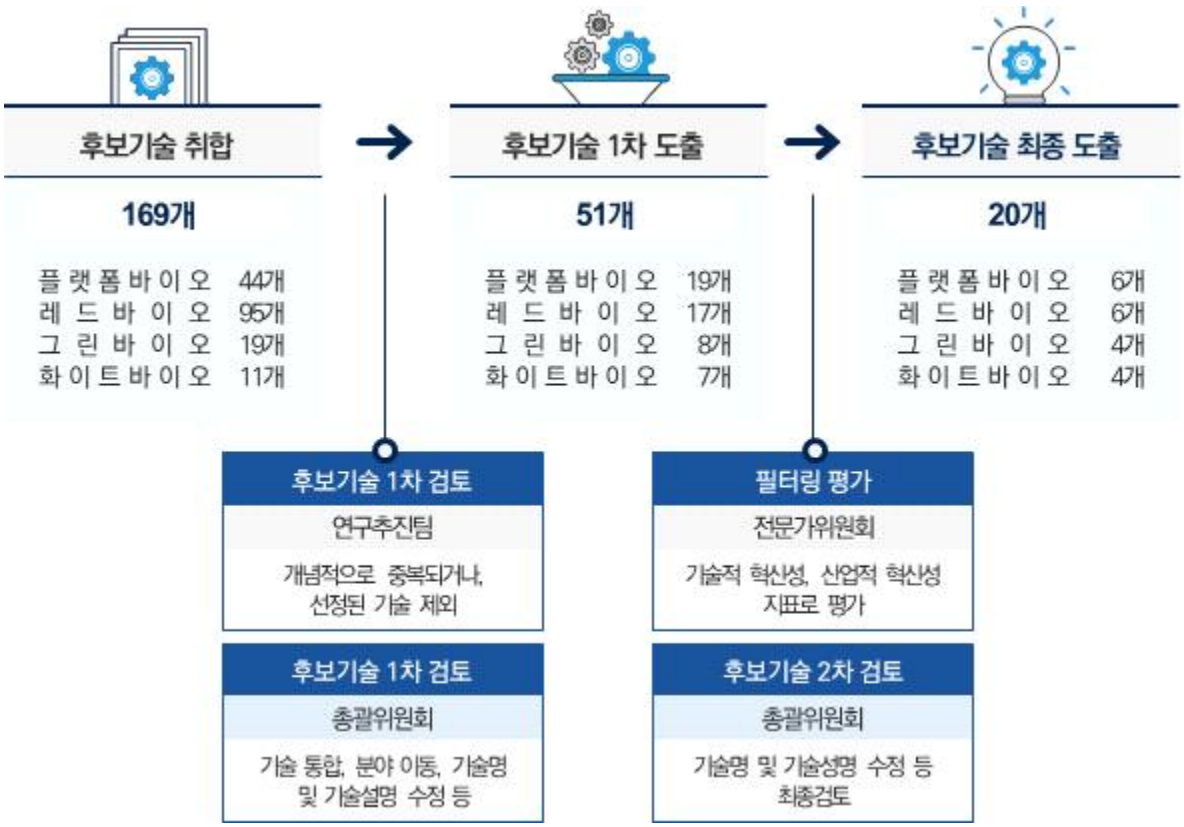
□ **(미래유망 후보기술 최종 도출) 후보기술 취합 후 2차에 걸친 검토 및 필터링 평가 과정을 거쳐 최종 도출**

○ 후보기술 취합(169개) ⇨ 1차 검토 ⇨ 1차 도출(51개) ⇨ 필터링 평가 및 2차 검토 ⇨ 최종 도출(20개)

- (1차 검토) 후보기술 취합(169개) 후 개념적으로 중복되거나, 이미 선정된 기술들을 제거한 뒤, 총괄위원회를 통해 기술 통합, 분야 이동, 기술명 및 기술설명을 수정하여 51개로 정리

- (필터링 평가) 전문가위원회를 통해 기술적 혁신성과 산업적 혁신성을 지표로 평가하여 2배수(20개)의 후보기술 선정
- (최종 도출) 총괄위원회를 통해 미래유망 후보기술 최종 확정

[표 14] 바이오 미래유망 후보기술 도출 과정



[표 15] 후보기술 출처/소스별 도출 갯수

후보기술 1차 도출(51개)					후보기술 2차 도출(20개)				
출처/소스*		위크	재추천	최신	출처/소스*		위크	재추천	최신
플랫폼	19개	6	3	10	플랫폼	6개	1	1	4
레드	17개	11	5	1	레드	6개	4	1	1
그린	8개	5	1	2	그린	4개	2	0	2
화이트	7개	2	3	2	화이트	4개	2	2	0

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

[표 16] 후보기술 최종 도출을 위한 필터링 평가 결과

분야	기술명(한글)	기술설명	기술적 혁신성	산업적 혁신성	합산 (평균)
플랫폼 바이오	*In vivo* 오가노이드 모델	3D 오가노이드 배양기술을 실험동물에 이식하여 체외배양 오가노이드 보다 정확한 분석과 평가가 가능	3.60	3.50	3.55
	분자 네트워크 활용기술	천연물, 식물, 미생물 등에서 유래한 다양한 유용물질을 확인하고 유사한 화합물을 파악하여 화학적, 생합성적 특징을 예측	2.97	3.17	3.07
	네트워크 약리학	빅데이터 분석을 통해 천연물의 약리작용 및 효능물질을 예측하여 식품, 의약품 등의 소재 개발 및 안전관리에 활용	3.07	3.50	3.28
	라이브 면역세포 이미징/시퀀싱	감염원에 대항하는 다양한 면역세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 관련 유전자 발현량을 분석	3.80	3.50	3.65
	RNA 편집기술	RNA의 splicing 및 안정성 조절을 통해 전사 후 RNA 발현량을 변화시켜 생물체의 기능을 분석	3.53	3.37	3.45
	세포외 소포체	유용한 핵산, 단백질을 포함하도록 세포에서 만들어져 분비되는 세포외 소포체의 다양한 기능(약물전달, 백신 등)을 규명	3.17	3.60	3.38
	생명발달 시퀀싱	단일세포 시퀀싱, 유전자 편집기술 등을 통해 생명체 발달과정의 유전자 발현과 네트워크를 분석	3.63	3.37	3.50
	장기-특이적 면역 틈새 시스템	뇌와 같이 인체 내 장기, 기관 특유의 면역 기능, 체계, 활성 등을 규명	3.40	3.30	3.35
	막단백질 구조 지도	AI 단백질 구조 예측기술 발전에 힘입어 그간 분석이 힘들었던 막단백질 구조의 전체상을 파악	3.77	3.40	3.58
	AI 기반의 인공 단백질 설계	AI 기술을 활용하여 자연계에는 존재하지 않지만 유용한 기능을 보유한 인공 단백질을 설계	3.97	3.87	3.92
	범-유전체 지도	유전체 다양성을 지도화하기 위해 지구 상 모든 종의 참조 유전체를 구축	3.47	3.33	3.40
	실시간 세포추적	살아있는 상태에서 순차적으로 단일세포를 확보하여 세포 내 유전체, 단백체 등의 변화를 분석, 추적	3.60	3.30	3.45
	인간-기계 인터페이스	인간과 기계 사이의 상호 작용을 매개하여 정확한 감지와 피드백 기능을 갖춘 장치 및 시스템	3.70	3.97	3.83

	DNA 나노모터	전기로 구동되고, 스스로 조립이 가능한 나노미터 규모의 DNA 모터로 미래의 초소형 기계에 적용 가능	3.80	3.57	3.68
	돌연변이 시계	돌연변이 축적 속도와 수명, 암 발생 위험 등과의 연관성을 분석하여 분자적 기전을 규명	3.47	3.37	3.42
	바이롬(virome)	인체 내 바이러스 군집을 비롯하여 전 지구적 생물 진화 및 생태계 균형 유지를 위한 바이러스의 역할을 이해하고, 다양성을 분석	3.23	3.40	3.32
	합성인간	신경계/순환계/소화계 등을 포괄하는 고도화된 배양 인간체로 합성배아 대비 성인의 특성을 더 유사하게 구현	3.73	3.37	3.55
	세포 역노화	세포의 건강과 재생 능력을 복원하기 위해 유도만능줄기세포 등 세포 리프로그래밍을 통한 역노화 연구	3.57	3.63	3.60
	우주생물학	우주 환경이 동식물의 초기 발달 및 세포의 성장, 기능에 어떠한 영향을 미치는지 연구	3.40	3.17	3.28
레드 바이오	**신생항원 예측**	종양 특이적 항원에 대한 데이터 분석을 기반으로 신생항원을 규명하고, 환자 맞춤형 치료제 개발에 활용	3.23	3.83	3.53
	lncRNA(long noncoding RNA) 기반의 질병 진단	다양한 질병과 lncRNA 사이의 연관성을 분석하고, 이를 기반으로 새로운 표적 유전자 발굴 및 질병 진단에 활용	3.10	3.20	3.15
	맞춤형 대체 신약	퇴행성, 난치성 질병 치료와 증상 완화를 위해 새롭게 허용될 수 있는 약제 성분이나 적용 가능한 기술을 탐색	2.93	3.47	3.20
	박테리아와 바이러스의 동시감염	박테리아, 바이러스 동시감염의 병리학적, 면역학적 기전을 이해하고, 이를 바탕으로 새로운 치료제를 개발	3.13	3.37	3.25
	오가노이드 기반 인간질환 모델링	줄기세포 유래, 암세포 유래, 장기 유래 세포를 이용하여 오가노이드를 제작하고, 이를 이용한 인간 발생, 질환 등을 모델링	3.23	3.50	3.37
	임상 적용 가능 유전자편집기술	빠르게 진전되고 있는 유전자편집기술을 환자 치료 등 임상에 적용하기 위한 고도화 기술	3.70	4.10	3.90

	재생유도 물질	줄기세포 유래 소포체, 재생을 유도하는 신약 등 노화된 세포, 손상된 조직의 재생 관련 치료물질 개발	3.33	3.50	3.42
	행동 중독 치료제	도박 중독, 인터넷 게임 중독 등 비약물성 행동을 강박하는 행동 중독을 치료 가능한 정신의학적 범주로 보고 치료제를 개발	3.10	3.70	3.40
	백혈구 분화제어기술	노화에 따른 백혈구 줄기세포의 분화 기전을 이해하고, 이를 기반으로 노화 관련 질환(종양, 심혈관질환, 면역노화 등)을 제어	3.37	3.47	3.42
	비침습적 신경조율기술	코로나 후유증 중 하나인 뇌기능 문제(인지기능 저하, brain fog, 우울증 등)를 부작용과 거부감 없이 회복, 향상시킬 수 있는 새로운 개념의 신경조율기법	3.33	3.60	3.47
	영상정보학 기반의 정밀진단기술	인공지능 기술 등을 도입하여 방대한 의료영상 빅데이터를 분석하고, 이를 기반으로 정밀한 진단에 활용	3.23	3.90	3.57
	오픈소스 신약발굴기술	공개된 신약개발 관련 빅데이터를 인공지능 등의 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용	3.37	3.83	3.60
	면역펩티도믹스	암세포 등 질환세포 내 다양한 펩타이드를 분석 및 DB화하여 항암, 면역치료제 표적을 예측, 발굴	3.17	3.53	3.35
	약물전달 3D 프린팅기술	체내 추적이 가능한 물질 등을 약물과 함께 3D 프린팅하여 복잡한 제형의 의약품을 환자 맞춤형으로 전달	3.27	3.43	3.35
	인체 마이크로바이옴 최적화	장내, 피부, 호흡기 등 인체 마이크로바이옴을 제어하여 약물치료 효과 및 효능을 최적화	3.20	3.47	3.33
	알츠하이머 치매를 위한 세포.유전자 치료	대표적인 퇴행성 뇌질환인 알츠하이머성 치매를 치료하기 위해 유전자가 편집된 세포 또는 줄기세포를 이용한 치료법	3.13	3.37	3.25
	장기회복 기술	산소를 재순환시키는 시스템 등을 통해 심정지 후 세포와 장기를 보존하는 기술	3.37	3.50	3.43
그린 바이오	**대체육류**	동물세포 배양, 식물유래 단백질 등을 통해 친환경, 고기능성 대체육류를 생산	3.00	3.57	3.28
	토양 마이크로바이옴	생물학적 토양 크러스트 종을 파악하고, 복원 및 개발하여 건강한 토양 생태계를 유지	2.90	3.20	3.05

	식용곤충 농업	식용 곤충을 이용한 고단백 식품 소재 개발 및 면역증진 가축 사료 개발	2.77	3.30	3.03
	스마트어항	아쿠아포닉스 시스템을 활용하여 가정과 사무실 등에서 생활과 업무 환경을 개선	2.53	2.73	2.63
	공생 미생물 유래 대사체	인간, 가축 등과 공생하는 미생물의 대사체를 이용하여 건강보조식품, 가축 감염병 치료제 개발에 활용	2.80	3.27	3.03
	애완동물 유전체의약	애완동물의 유전체 염기서열 분석으로 각 애완동물의 특성에 맞게 치료	2.63	3.10	2.87
	야생형 품종의 유전적 다양성	작물의 야생형 품종에서 질소 고정율을 높이는 등의 유용 유전자를 발굴하고 이를 작물에 도입하여 생산성을 향상	2.93	3.27	3.10
	고부가 접목기술	그간 불가능했던 밀, 귀리, 바나나 등 고부가가치 작물에서의 접목을 가능하게 하는 새로운 기술	3.03	3.37	3.20
화이트 바이오	**유사 단백질 생산 미생물**	당뇨, 지방 등 조절 효과가 있는 펩타이드 호르몬의 유사 단백질을 미생물에서 생산	2.97	3.57	3.27
	미세플라스틱 제거 및 모니터링	다양한 환경에 존재하는 미세플라스틱을 제거하고, 미세플라스틱의 독성과 유해성을 평가	3.63	3.97	3.80
	원헬스 모니터링	환경, 인간, 동식물이 서로 연결되어 있다는 개념에서 바이러스의 국가/대륙 간 이동 등을 추적 및 감시	3.30	3.47	3.38
	바코드 미생물	특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 식품 유통, 법의학 및 감염병 추적을 위한 라벨링 기술	2.93	3.30	3.12
	친환경 소독제/농약 소재	천연물 유래 성분 등을 기반으로 내성을 보이지 않아 인체 유해성이 낮은 소독제, 친환경적인 농약 등의 소재를 발굴	2.80	3.43	3.12
	환경DNA/환경유전자(eDNA)	대상 생물을 채집하지 않아도 다양한 환경(토양, 대기, 수중 등)에 존재하는 DNA를 분석함으로써 생물다양성 연구, 범죄 수사 등에 활용	2.70	2.90	2.80
	미생물 공급망	합성생물학에 의해 재설계된 생합성 경로를 미생물에 구현하여 천연물질 추출이나 화학합성을 대체	3.27	3.57	3.42

o 필터링 평가결과를 반영하여 각 분야별로 점수가 높은 기술을 최종 후보기술로 선정

[표 17] 후보기술 최종 도출 리스트

미래유망 후보기술 최종 리스트		출처/소스	미래유망 후보기술 최종 리스트		출처/소스
플랫폼 바이오	생체 내 면역세포 실시간 분석 (*In situ* immune cell live imaging/sequencing)	위크	레드 바이오	개인 맞춤형 암백신 (Personalized cancer vaccine)	위크
	고해상 막단백질구조 아틀라스 (Membrane protein atomic structure atlas)	재추천		임상 적용 가능 유전자편집기술 (Clinical grade gene editing)	위크
	AI 기반 인공 단백질 설계 (AI-based artificial protein design)	최신		비침습적 신경조율기술 (Non-invasive neuromodulation)	위크
	인간-기계 상호작용 제어기술 (Human-machine interactions (HMIs))	최신		영상정보학 기반의 정밀진단기술 (Medical image-based precision diagnosis)	위크
	생체분자활용 나노기계소자 (Biomolecular nanomachinecomponent)	최신		AI 기반 오픈소스 신약발굴기술 (AI-based open source drug discovery)	재추천
	세포 역노화 (Cell rejuvenation)	최신		허혈손상 장기회복기술 (Ischemic injury organ recovery)	최신
그린 바이오	배양육/대체육고도화 (Advanced cultured meat/alternative meat)	위크	화이트 바이오	합성생물학 적용 미생물공장 (Synthetic microbial factory)	위크
	토양 마이크로바이옴 (Biocrusts microbiome)	위크		미세플라스틱의 건강 및 생체영향평가 (Microplasticmonitoring)	위크
	야생종의 유전적 다양성 활용 (Genetic diversity of wild-type ancestral crops)	최신		원헬스모니터링 (One-health monitoring)	재추천
	외떡잎식물 접목 구현/응용 (Grafting in monocots)	최신		바코드 미생물 (Barcoded microbes)	재추천

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

[표 18] 2023년 바이오 미래유망 후보기술

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

○ **생체 내 면역세포 실시간 분석(*In situ* immune cell live imaging/sequencing)**
- 다양한 면역세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 관련 유전자의 발현을 분석

○ **고해상 막단백질 구조 아틀라스(Membrane protein atomic structure atlas)**
- AI 단백질 구조 예측기술발전에 힘입어 그간 분석이 힘들었던 막단백질구조의 전체상을 원자 수준에서 파악

○ **AI 기반 인공 단백질 설계(AI-based artificial protein design)**
- AI 기술을 활용하여 자연계에는 존재하지 않지만 유용한 기능을 보유한 인공 단백질을 설계

○ **인간-기계 상호작용 제어기술(Human- machine interactions (HMIs))**
- 인간과 기계 사이의 상호 작용을 매개하여 정확한 감지와 피드백 기능을 갖춘 장치 및 시스템

○ **생체분자활용 나노기계 소자(Biomolecular nanomachine component)**
- 전기로 구동되고, 스스로 조립이 가능한 DNA 모터, DNA 트랙 위를 달리는 단백질 모터 등 미래의 초소형 기계에 적용 가능한 생체분자활용 기술

○ **세포 역노화(Cell rejuvenation)**
- 세포 리프로그래밍 등을 통해 세포의 건강을 유지하고, 세포의 재생 능력을 복원

레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)

○ **개인 맞춤형 암백신(Personalized Cancer Vaccines)**
- 암환자별 특이적 항원에 대한 데이터 분석을 통해 개발된 다양한 형태(DNA, RNA, 펩타이드 등)의 암백신

○ **임상 적용 가능 유전자편집기술(Clinical grade gene editing)**
- 빠르게 진전되고 있는 유전자편집기술을 활용하여 환자 치료 등 임상에 적용하기 위한 고도화 기술

○ **비침습적 신경조율기술(Non-invasive neuromodulation)**
- 인지기능 저하 등 뇌기능 문제를 부작용과 거부감 없이 회복, 향상시키는 새로운 접근방법

○ **영상정보학 기반의 정밀진단기술(Medical image-based precision diagnosis)**
- AI기술 등을 도입하여 방대한 의료영상 빅데이터를 분석하고, 이를 기반으로 정밀한 진단에 활용

o **AI 기반 오픈소스 신약발굴기술(AI-based open source drug discovery)**

- 공개된 신약개발 관련 빅데이터를 AI등 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용

o **허혈손상 장기회복 기술(Ischemic injury organ recovery)**

- 심정지후 골든타임을 놓친 세포와 장기를 보존하는 기술

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

o **배양육/대체육 고도화(Advanced cultured meat/alternative meat)**

- 기후변화, 팬데믹 대응을 위해 동물세포 배양, 식물 유래 단백질 등을 통해 친환경, 고기능성 대체육류를 생산

o **토양 마이크로바이옴(Biocrusts microbiome)**

- 생물지각 내 마이크로바이옴을 파악하고 개발하여 건강한 토양 생태계를 유지

o **야생종의 유전적 다양성 활용(Genetic diversity of wild-type ancestral crops)**

- 작물의 야생형 품종에서 질소 고정율을 높이는 등의 유용 유전자를 발굴하고 이를 작물에 도입하여 생산성을 향상

o **외떡잎식물 접목 구현/응용(Grafting in monocots)**

- 그간 불가능했던 밀, 귀리, 바나나 등 외떡잎식물에서의 접목을 가능하게 하여 품종유지 및 증식에 활용

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

o **합성생물학 적용 미생물공장(Synthetic microbial factory)**

- 합성생물학에 의해 재설계된 생합성 경로를 미생물에 구현하여 천연물질, 화학합성 대체물질 및 유용 단백질을 생산

o **미세플라스틱의 건강 및 생체영향 평가(Microplastics biomonitoring)**

- 미세플라스틱이 생체에 미치는 영향을 모니터링하고, 장기별 독성, 유해성 검증을 통해 건강에 미치는 영향을 평가

o **원헬스 모니터링(One Health monitoring)**

- 환경, 인간, 동식물이 서로 연결되어 있다는 개념에서 감염병의 국가/대륙 간 이동 등을 추적 및 감시

o **바코드 미생물(Barcoded microbes)**

- 특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 식품 유통, 법의학 및 감염병 추적을 위한 라벨링기술

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

○ 바이오인 고객 대상으로 20개 후보기술에 대한 설문조사 수행(총 468명 참여)





[그림 8] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성

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

○ 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	합산[a] (평균)		
플랫폼 바이오 Platform Bio	생체 내 면역세포 실시간 분석	3.79	3.72	3.76	3.91	7.67
	고해상 막단백질 구조 아틀라스	3.81	3.49	3.65	3.78	7.42
	AI 기반 인공 단백질 설계	3.91	3.87	3.89	3.99	7.87
	인간-기계 상호작용 제어기술	3.74	3.76	3.75	3.80	7.56
	생체분자 활용 나노기계 소자	3.84	3.60	3.72	3.67	7.39
	세포 역노화	3.95	3.91	3.93	3.70	7.63
레드 바이오 Red Bio	개인 맞춤형 암백신	3.84	4.05	3.94	3.92	7.86
	임상 적용 가능 유전자편집기술	3.84	3.95	3.90	4.04	7.93
	비침습적 신경조율기술	3.83	3.82	3.82	3.83	7.65
	영상정보학 기반 정밀진단기술	3.50	3.77	3.63	3.43	7.07
	AI 기반 오픈소스 신약발굴기술	3.56	3.79	3.68	3.68	7.36
	허혈손상 장기회복 기술	3.67	3.64	3.66	3.55	7.21
그린 바이오 Green Bio	배양육/대체육 고도화	3.47	3.80	3.64	3.47	7.11
	토양 마이크로바이옴	3.40	3.54	3.47	3.34	6.82
	야생종의 유전적 다양성 활용	3.27	3.50	3.39	3.30	6.69
	외떡잎식물 접목 구현/응용	3.21	3.39	3.30	3.21	6.51
화이트 바이오 White Bio	합성생물학 적용 미생물공장	3.66	3.87	3.76	3.76	7.53
	미세플라스틱 제거 및 모니터링	3.67	3.95	3.81	3.79	7.60
	원헬스 모니터링	3.26	3.41	3.34	3.25	6.59
	바코드 미생물	3.38	3.44	3.41	3.46	6.87

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

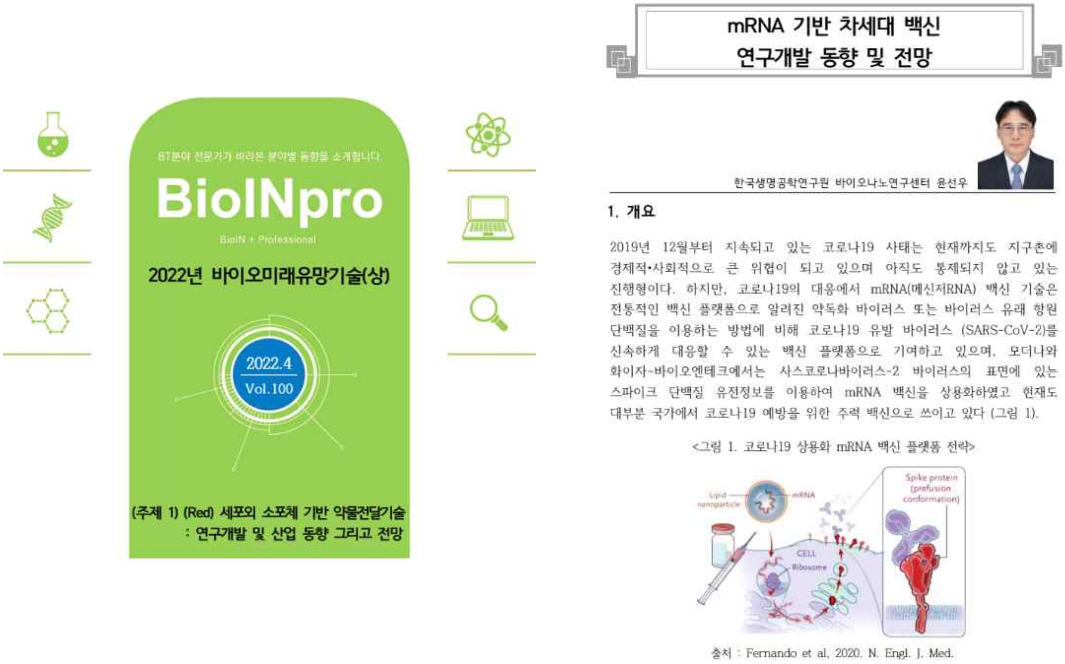
□ 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상 제작, 과학기술대전 내 전시 등 대중의 공감대 형성을 위해 노력

o 한국생명공학연구원 유튜브 페이지에 동영상 홍보 및 바이오인 페이스북, 네이버 블로그를 통한 미래유망기술 홍보



[그림 9] 2022 바이오 미래유망기술 유튜브 동영상(상) 및 바이오인 페이스북, 생명연 블로그(하)

o 주요 기술별로 전문가가 작성한 심층 원고 바이오인 게시



[그림 10] 2022 바이오 미래유망기술 전문가 원고

o 2022 과학기술대전 내 바이오 홍보관에 소개되어 바이오 R&D와 미래유망기술에 대한 이해와 공감 형성을 위해 활용

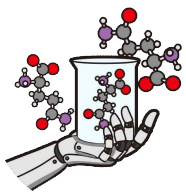


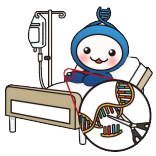
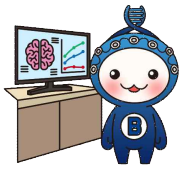
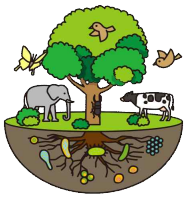
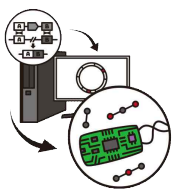
[그림 11] 2022년 과학기술대전 내 전시된 바이오 미래유망기술 홍보관

3 연구 결과

가 2023년 10대 바이오 미래유망기술 선정

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

<table>
<tr><th>분야</th><th>미래유망기술 주요 내용</th></tr>
<tr><td rowspan="6">플랫폼 바이오
Platform Bio</td><td>생체 내 면역세포 실시간 분석(In situ immune cell live imaging/sequencing)</td></tr>
<tr><td>
▹ 다양한 면역세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 관련 유전자의 발현을 분석
▹ 복잡한 면역반응과 질환별 면역세포의 다양한 기능을 분석하여 인체 면역 원리에 대한 이해를 높이고, 이를 통해 효과적인 치료제 개발에 활용</td></tr>
<tr><td>AI 기반 인공 단백질 설계(AI-based artificial protein design)</td></tr>
<tr><td>
▹ AI 기술을 활용하여 자연계에는 존재하지 않지만 유용한 기능을 보유한 인공 단백질을 설계
▹ 실험적 접근 방식으로는 불가능했던 단백질을 인공적으로 설계하여 기존 단백질의 단점을 보완하고, 생산과 유통에 있어 획기적인 장점을 제공</td></tr>
<tr><td>세포 역노화(Cell rejuvenation)</td></tr>
<tr><td>
▹ 세포 리프로그래밍 등을 통해 세포의 건강을 유지하고, 세포의 재생 능력을 복원
▹ 세포 노화에 의해 발생하는 각종 퇴행성 질환을 근본적으로 치료 가능하게 할 뿐 아니라 건강수명 연장 및 노년 삶의 질을 향상</td></tr>
<tr><td rowspan="2">레드 바이오
Red Bio</td><td>개인 맞춤형 암백신(Personalized Cancer Vaccines)</td></tr>
<tr><td>
▹ 암환자별 특이적 항원에 대한 데이터 분석을 통해 개발된 다양한 형태(DNA, RNA, 펩타이드 등)의 암백신
▹ 종양 항원에 대한 방대한 데이터로 암백신 라이브러리를 구축할 수 있으며, 이를 통해 치료용 암백신 및 예방용 암백신을 신속하게 개발하는 데 활용</td></tr>
</table>

그린 바이오 Green Bio	**임상 적용 가능 유전자편집기술(Clinical grade gene editing)**	
		▹ 빠르게 진전되고 있는 유전자편집기술을 활용하여 환자 치료 등 임상에 적용하기 위한 고도화 기술 ▹ 높은 유전자 편집 효율성과 안전성을 기반으로 유전자 돌연변이 등 다양한 희귀, 난치질환에 대한 임상적인 치료 가능성을 제고
	비침습적 신경조율기술(Non-invasive neuromodulation)	
		▹ 인지기능 저하 등 뇌기능 문제를 부작용과 거부감 없이 회복, 향상시키는 새로운 접근방법 ▹ 비약물의 국소 신경망 자극을 통해 부작용과 거부감이 적고, 개인의 돌봄 접근성을 높임으로써 팬데믹 이후 증가 추세인 정신건강 문제해결에 기여
	배양육/대체육 고도화(Advanced cultured meat/alternative meat)	
		▹ 기후변화, 팬데믹 대응을 위해 동물세포 배양, 식물 유래 단백질 등을 통해 친환경, 고기능성 대체육류를 생산 ▹ 축산업에 요구되는 자원과 공간, 온실가스 배출을 크게 감축하여 환경을 보호하며, 미래 식량 문제해결에 기여
	토양 마이크로바이옴(Biocrusts microbiome)	
		▹ 생물지각 내 마이크로바이옴을 파악하고 개발하여 건강한 토양 생태계를 유지 ▹ 탄소, 질소 등의 생물지구화학적 순환과 토양 내 영양수준을 유지하여 토양 안정성, 동식물 보존 등 건강한 토양 생태계 보존 및 복원에 기여
화이트 바이오 White Bio	**합성생물학 적용 미생물공장(Synthetic microbial factory)**	
		▹ 합성생물학에 의해 재설계된 생합성 경로를 미생물에 구현하여 천연물질, 화학합성 대체물질 및 유용 단백질을 생산 ▹ 자연계에 존재하는 미생물에 비해 목표물질 생산 효율이 높으며, 다수의 대사반응 조합으로 복잡한 물질도 생산할 수 있어 바이오제조 역량 구축에 기여
	미세플라스틱의 건강 및 생체영향 평가(Microplastics biomonitoring)	
		▹ 미세플라스틱이 생체에 미치는 영향을 모니터링하고, 장기별 독성, 유해성 검증을 통해 건강에 미치는 영향을 평가 ▹ 환경 유해인자로 심각성이 새롭게 대두되고 있는 미세플라스틱의 체내 유입량과 잠재적인 영향에 대한 평가를 통해 환경 및 건강 관리방안 마련에 활용

□ Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 2023년 바이오 미래유망기술을 전골요리로 형상화하여 미래 먹거리, 바이오를 컨셉으로하는 인포그래픽 작성



[그림 12] 2023년 Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술

나 향후 계획 및 기대효과

[에필로그(Epilogue) – 보고서를 마치며]

몇 년 전 Science에서는 과학과 기술을 파워커플(Power couple)이라 지칭하며, 특히 바이오 분야에서 과학과 기술의 상호혁신 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.

□ **코로나19 팬데믹을 거치면서 생명과학 및 바이오기술은 인류 보편의 건강과 복지를 위한 중요성을 넘어 산업, 안보, 통상 및 공급망 관점에서 국가 생존 차원의 전략성이 나날이 증가**

○ 이를 반영하듯 미국이 바이오기술·제조 행정명령*을 통해 자국의 이익 장벽을 높여가는 상황

- 코로나19 팬데믹을 거치면서 미국은 바이오기술과 같은 필수 산업에 대해 외국의 재료와 생산에 너무 많이 의존해 왔다는 문제의식에서 출발

* 지난해 9월 12일 미국 바이든 대통령은 "국가 바이오기술 및 바이오제조 이니셔티브(National Biotechnology and Biomanufacturing Initiative)" 개시를 위한 행정명령에 서명

- 미국 등 주요국의 자국 우선주의가 팽배해지는 환경 속에서 만약 우리 고유의 바이오 혁신기술이 없다면 다른 나라의 정책과 전략에 좌지우지 되는 상황이 발생할 수 잇음

o 이에 바이오 혁신기술 확보가 그 어느 때보다 중요한데, 바이오 혁신기술이란 누구보다 먼저(원천, 파괴형) 개발하거나 다양하게 확장·응용(플랫폼, 통합형)할 수 있는 기술로, 혁신기술은 많은 경우에 원천성과 플랫폼 성격 모두 해당

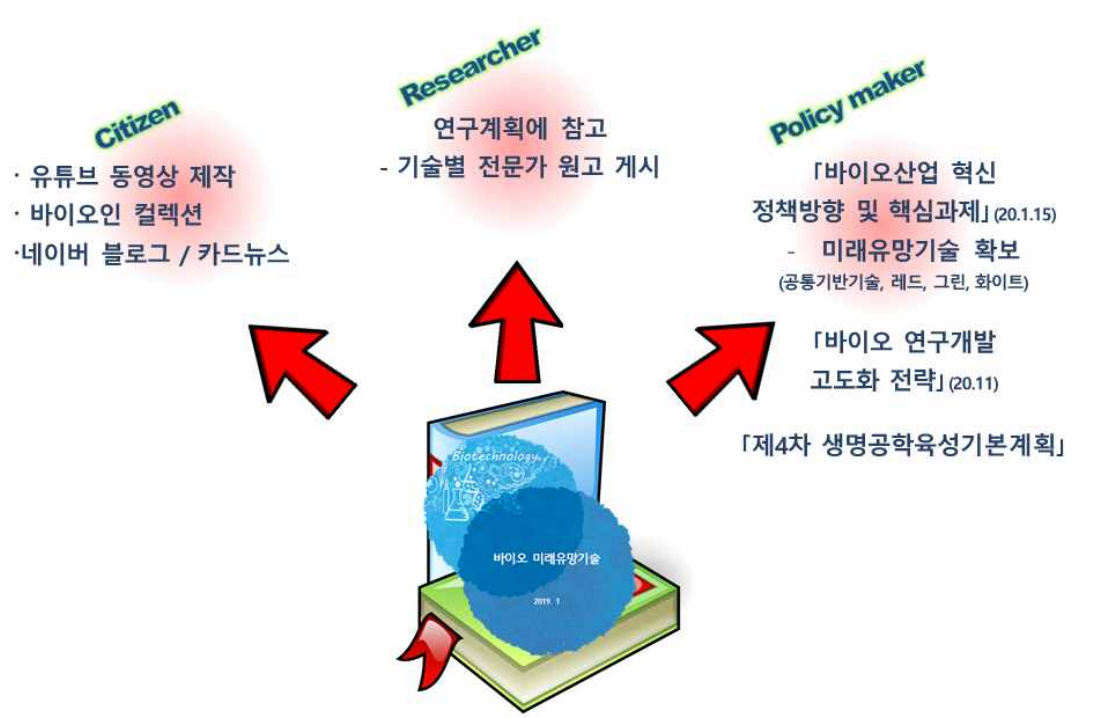
☞ **국가생명공학정책연구센터는 바이오 미래유망기술 발굴 연구를 통해 자국의 기술 장벽을 높여가는 글로벌 환경에서 우리가 확보해야 할 혁신기술을 지속적으로 제시할 예정**

□ 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) 국가생명공학정책연구센터, 2022 바이오 미래유망기술 발굴, 2022

9) KISTEP, 2022년 KISTEP 10대 미래유망기술 선정에 관한 연구, 2022

10) KISTI, KISTI DATA INSIGHT 제23호 : 디지털 전환과 혁신을 이끄는 미래과학기술, 2022

11) MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies, 2022

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

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

14) Thomas Frey, Communicating with the Future, 2011

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

16) Nature, ‘Disruptive’ science has declined - and no one knows why, 2023

17) Nature, Papers and patents are becoming less disruptive over time, 2023

18) Nature, Large teams develop and small teams disrupt science and technology, 2019

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

첨부1 2023 바이오 미래유망기술 설명자료

기술명	**생체 내 면역세포 실시간 분석(*In situ* immune cell live imaging/sequencing)[6]**
기술 정의	▪ (정의) 다양한 면역세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 관련 유전자의 발현을 분석 ▪ (장점) 복잡한 면역반응과 질환별 면역세포의 다양한 기능을 분석하여 인체 면역 원리에 대한 이해를 높이고, 이를 통해 효과적인 치료제 개발에 활용

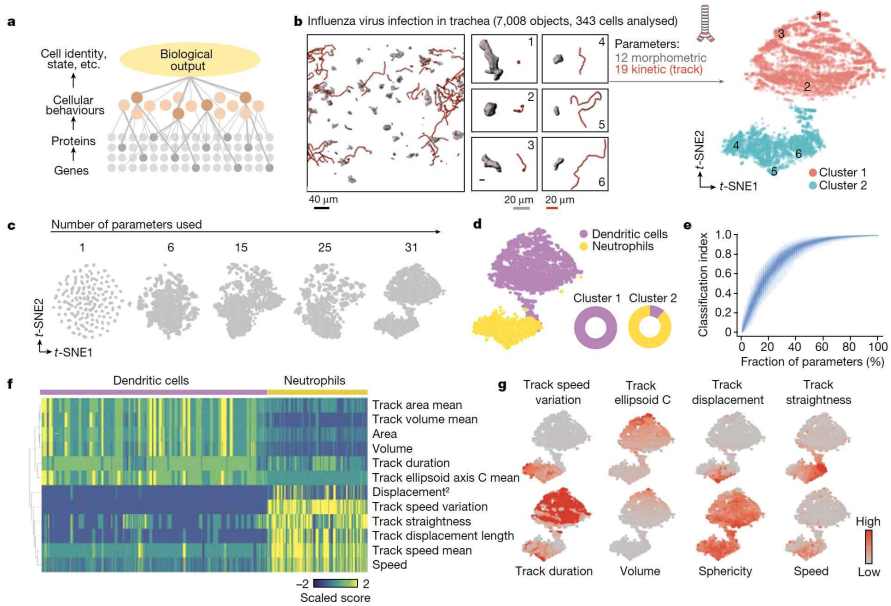
실현 시기

향후 5년	향후 10년
▪ 생체 내 장기들의 다양한 질환별 면역반응에서 면역세포의 기능과 형태 변화의 상관성을 실시간으로 이미징과 유전자 수준에서 통합	▪ 질환별 면역반응에서 면역세포 종류에 따른 기능과 형태 변화의 상관성을 실시간 3차원으로 규명하여, 질환별 면역반응 이해 및 치료제 개발에 활용

요소 기술

▪ (생체이미징) 살아 있는 동물모델에서 면역세포의 3차원 실시간 이미징 기술
- 이광자 생체이미징(two-photon intravital imaging) 또는 스피닝디스크 생체이미징(spinning-disk intravital imaging) 기술을 활용하여 살아있는 동물모델의 다양한 장기들에서 면역세포들의 이동 및 형태를 실시간으로 3차원 분석
- 면역세포 특이적 형광화 마우스 확립과 형광항체 및 형광물질 개발

▪ (유전체분석) Single cell RNA sequencing 기술
- 생체이미징 데이터를 기반으로 면역세포 형태-역학에 관여하는 다양한 유전자의 발현 상관성을 single cell RNA sequencing 기법을 활용하여 분석



* 출처: Crainicuc *et al* Nature (2022)

주요 이슈		▪ (기술적 니즈) 현재까지 전사체 또는 단백체 분석(transcriptional and proteomic profiling)은 건강한 조직과 질환 발생 조직을 세포 수준으로 비교하는 형태로 발전되어 왔으나, 실제적인 면역반응은 세포내 유전자 발현에 의한 생화학적 특성에 따른 형태-역학적 지표들의 상관성 분석이 요구되므로, 생체이미징 결과와 유전자 발현의 상관관계 분석이 필요 ▪ (경제적 니즈) 조직 또는 세포를 분리하여 in vitro 조건에서 면역기전을 해석하는 다른 연구기법으로는 관찰할 수 없는 실제적인 면역기전 규명과 이를 바탕으로 한 질환 특이적 면역치료 및 신약개발에 응용이 가능 ▪ (사회적 니즈) 최근 급격히 발전하는 NGS(next-generation sequencing) 기술을 활용한 유전체 분석과 생체이미징 기술로부터 획득 가능한 실시간 면역반응의 기능, 이동 및 형태의 통합 분석은 보다 정밀한 단일세포 수준의 면역기전을 바탕으로, 질환 특이적 개인 맞춤형 치료법 개발의 효율성 고양에 기여
기술 개발 동향	해외 동향	▪ 생체이미징 기술과 유전체 발현 분석 기술의 결합을 통한 면역반응의 해석은 2022년 미국 예일대학교 의과대학의 Andres Hidalgo 그룹이 Nature에 세계 최초로 발표 – 생체이미징 기술은 숙련된 연구자들이 수행하여 진입장벽이 매우 높은 상황으로, 그만큼 미충족 연구 수요가 매우 큰 상황 – 생체이미징을 활용하는 선도적인 연구 그룹들에서 유전체 분석기술과 생체이미징을 결합한 연구들이 빠르게 확장되고 있는 추세
	국내 동향	▪ 국내에서는 아직까지 생체이미징 기술과 유전체 분석을 결합한 연구 발표 사례는 전무한 상황
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 해당 기술은 면역세포들의 기능과 형태 및 이동에 관여하는 유전자 발현을 살아있는 동물에서 질환이 발병한 장기의 세포내 분자수준에서 3차원으로 실시간 규명이 가능하여, 면역기전 이해에 새로운 장을 열 수 있고, 신약개발의 효율성을 높이는 데 크게 기여할 것으로 예상 ▪ 질환 맞춤형 면역기전의 이해를 높여 건강수명 연장을 구현하기 위한 경제적 비용 절감 효과가 매우 클 것으로 평가
	사회적 효과	▪ 바이오의약분야의 국가 경쟁력 확보와 난치성 질환 치료법 개발에 크게 기여할 것으로 사료
필요 사항		▪ 생체 이미징 기술과 유전체 분석을 조합한 연구수행 및 결과 분석이 가능한 숙련된 연구 인력 필요 ▪ 질환 특이적 면역반응에 관여하는 면역세포들의 기능 관련 유전체 라이브러리 구축

6) 작성자: 연세대학교 의학과 현영민 교수

기술명	AI 기반 인공 단백질 설계(AI-based artificial protein design)[7]
기술 정의	▪ (정의) AI 기술을 활용하여 자연계에는 존재하지 않지만 유용한 기능을 보유한 인공 단백질을 설계 ▪ (장점) 실험적 접근 방식으로는 불가능했던 단백질을 인공적으로 설계하여 기존 단백질의 단점을 보완하고, 생산과 유통에 있어 획기적인 장점을 제공
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 단백질 의약품(항체, 펩타이드)과 신소재의 기능 개선 및 최적화 **향후 10년**: ▪ 신개념 의료용 인공 단백질 창출 및 인공 단백질 신소재 개발
요소 기술	▪ 골격 단백질 설계 – 적합한 골격 단백질은 기능성 단백질의 안전성 및 최적화에 중요 – 실험적 검증을 위해 라이브러리 스크리닝 시스템을 구축하여 선별 ▪ 단백질 안정성 설계 – 단백질 3차 구조 안정화를 유도하여, 내열성 및 활성, 물성을 향상시키는 설계 – 골격 단백질에 기능성 서열을 추가하여 효소, 항체, 펩타이드 기능 변화 가능 ▪ 결합 단백질 설계 – 자연계 결합 모티프를 이식할 수 있는 골격 구조를 선별하여 결합 모티프를 이식 – 기존의 결합 모티프가 존재하지 않는 경우, 표적 단백질의 결합 부위에 결합할 수 있는 아미노산 서열을 기반으로 설계 ▪ 막 단백질 설계 – 소수성 지질층 통과로 인한 표면 잔기의 위치 조정 및 위상을 고려하여 설계 ▪ 다량체 단백질 설계 – 단백질의 규칙적 배열을 유도하여 특정 형태를 유도하는 설계 – 약물 전달체 및 다중 항원 백신에 활용 가능한 케이지 단백질을 개발
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 고도화된 인공지능 모델이 단백질 디자인 분야에 적용되고 있어, 컴퓨터 기반이 없는 연구자들의 접근이 어려우므로 공개된 프로그램들을 사용할 수 있도록 사용자 친화적 중개 플랫폼 개발 필요 ▪ (경제적 니즈) 최근 타겟에 대한 맞춤형 단백질을 기반으로 항암제, 면역치료제, 신개념 백신 등을 개발하는 새로운 벤처 제약회사들이 생기며 수백억 규모의 투자를 받고 임상 연구 수행 ▪ (사회적 니즈) 미국에서는 인공 단백질 기반 벤처 회사들이 연이어 생기며 수백억 규모의 투자를 받으며 의료용 인공 단백질 개발에 연구가 집중되고 있어 신개념 인공 단백질 개발에 대한 신속한 국내 연구와 투자가 필요

기술 개발 동향	해외 동향	▪ 인공 단백질과 딥러닝 기반 단백질 구조 예측의 융합 – 로제타폴드를 개발한 David Baker 그룹에서는 로제타폴드 기반의 단백질 디자인 기술인 'RF design'을 개발 – 인공지능 확산 모델을 활용하여, 제너레이트 바이오메디슨은 'Chroma'를 워싱턴대학교는 'RF Diffusion'을 개발 – 제너레이트 바이오메디슨은 암젠과 연구를 제휴하여 5가지 임상 표적에 대한 인공 단백질 치료제를 개발 중 ▪ 임상 진행 중인 인공 단백질 – 인간면역결핍 바이러스(HIV)와 호흡기세포융합바이러스(RSV) 단백질 백신 디자인(Icosavax, 임상1상) – 글루텐의 PQ 펩타이드를 분해할 수 있으며, 위장 내 단백질 분해효소에 저항성을 갖는 인공 효소를 디자인(PvP Biologics, 임상 2상) ▪ 인공 단백질 기반 스타트업 – 신약 파이프라인을 기반으로 설립된 스타트업으로 PvP Biologics와 Neoleukin이 있음 – 단백질 디자인 서비스를 제공하거나, 디자인 기술 기반으로 협업을 진행하는 스타트업으로는 Arzeda, CYRUS Biotechnology가 있음
	국내 동향	▪ 인공 단백질 관련 연구는 시작 단계로 지금까지 국내 연구의 대부분은 컴퓨터를 이용한 펩타이드의 구조 분석, 저분자-단백질 구조 예측과 모델링에 집중 ▪ 최근 국내에서도 인공 단백질 기반 벤처 회사들이 설립 – '테라자인'은 카이스트 오병하 교수가 설립한 벤처 기업으로, 단백질 디자인 기술을 기반으로 차세대 면역치료제용 단일클론항체를 개발 – '갤럭스'는 서울대 석차옥 교수가 설립한 회사로, 카카오브레인으로 50억 원의 투자금을 유치하여 공동연구 진행
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 인공 단백질의 종류가 사실상 무한하다는 점에서 기존 구조생물학, 생화학, 세포생물학, 동물모델 연구와 높은 시너지 효과 창출 가능
	사회적 효과	▪ 단백질 신약, 합성생물학, 신소재 등 관련 분야의 우수한 결과물들을 인공 단백질을 기반으로 창출하여 바이오산업 전반에 걸쳐 패러다임 변화를 유발
필요 사항		▪ 명확한 목적을 중심으로 인공지능 분야에서 계산 모델을 개발하고, 바이오 분야의 생물학적 타당성과 실험적 검증을 제공하는 유기적 협업이 필수 ▪ 인공지능 모델 개발에 있어 체계화된 데이터베이스가 핵심적 요소이므로 단백질 구조, 실험적 검증 데이터를 활용하여 추가적인 학습 피드백이 가능한 시스템 필요

7) 작성자: 한국생명공학연구원 박광현 선임연구원

기술명	세포 역노화(Cell rejuvenation)[8]
기술 정의	▪ (정의) 세포 리프로그래밍 등을 통해 세포의 건강을 유지하고, 세포의 재생 능력을 복원 ▪ (장점) 세포 노화에 의해 발생하는 각종 퇴행성 질환을 근본적으로 치료 가능하게 할 뿐 아니라 건강수명 연장 및 노년 삶의 질을 향상
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 특정세포 대상 역노화 기술을 구현하고, 기술의 이론적인 배경 및 기전을 확립 **향후 10년**: ▪ 다양한 세포에 대한 역노화 기술 확보를 통해 노화 관련 질환의 치료 및 수명 연장에 도전
요소 기술	▪ 역노화 기술 – 유전자, 단백질, 저분자 물질 등 역노화를 유도하는 다양한 유도인자 발굴 기술 – 특정 세포 혹은 조직의 역노화 유도를 위한 유도인자 타겟팅 기술 – 주요 세포별 세포 리프로그래밍 기술 – 역노화 유도 합성생물학 기술 – 역노화 기술 검증을 위한 오가노이드 및 동물모델 기술 ▪ 역노화 기전 연구 기술 – 역노화를 좌우하는 핵심 유전자 혹은 단백질 발굴 – 역노화 과정의 전사체 및 후성유전체 특징 규명* * 역노화 과정에서 생기는 중간 단계 세포의 특징을 정의하고, 이로부터 유도 과정의 세포 운명의 변화를 규명 – 시스템생물학 및 단세포유전체학 기술 ▪ 역노화 조절 기술 – 암과 같은 부작용이 발생하지 않도록 역노화를 조절하는 기술 – 역노화유도 과정의 중간단계 세포의 특징 규명 기술(마커 확보) – 역노화 유도물질의 안정성 확보 기술 – 전분화능 세포 제거 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 시스템적인 접근을 통해 세포 전체의 운명을 젊은 세포로 변환시키는 새로운 기술로써 세포생물학 연구와 같은 기초 연구뿐 아니라 항노화 연구 및 노인성/퇴행성 질환 치료제 개발과 같은 이행 연구의 새로운 패러다임을 제공 ▪ (경제적 니즈) 노령화시대에 들어서면서 항노화 및 퇴행성질환 치료제에 대한 시장이 기하급수적으로 증가 ▪ (사회적 니즈) 노령화에 따른 사회적 의료비 지출을 절약할 수 있고, 건강수명을 연장하여 경제활동 인구의 폭을 넓힐 수 있어 지속가능한 사회 유지 가능

기술 개발 동향	해외 동향	▪ 미국 하버드 연구진은 유전자 돌연변이 없이 후성유전체 이상에 의해서 노화가 발생하고, 거꾸로 노화 생쥐에 역분화에 사용되는 야마나까 인자를 발현시키면 후성유전체의 변화를 복구하여 항노화에 이르게 된다는 것을 실험을 통해 증명(Cell, 2023) ▪ 영국 케임브리지대학 연구팀은 50대 성인의 피부세포를 부분 리프로그래밍하여 20대 초반의 피부세포로 만드는 데 성공(eLife, 2022, 71624) ▪ Calico Lie Science LLC연구팀은 부분 리프로그래밍 기술을 이용하여 노화된 세포에서 젊음 유전자 발현에 성공(Cell systems, 2022, v13, p574) ▪ 바이오스타트업 알토스랩스는 항노화 및 질환치료제 개발을 목표로 세포 역노화 프로그래밍을 연구하는 생명공학 회사로써 30억 달러의 투자를 유치
	국내 동향	▪ KAIST 및 아모레퍼시픽 기술연구원의 공동연구를 통해 피부세포를 역노화시키는 기술이 개발됨(Proc Natl Acs Sci USA 2020, v117, p31535) – 연구진은 노화된 피부세포를 젊은 피부세포로 되돌리는 데 필요한 핵심 인자를 발견함으로써, 역(逆)노화의 초기 원천기술과 검증 모델을 개발 ▪ 성균관의대 연구팀은 저분화 물질 조합을 사용하여 섬유아세포를 근육세포로 리프로그래밍 시키는 기술을 개발(Biomaterials 2019, v193, p30). – 세포 신호를 조절하는 여러 저분자물질을 처리하여 섬유아세포를 근육세포로 리프로그래밍함으로써 근육 재생에 성공하여, 손상이나 노화에 의해 감소된 근육을 회복시킬 수 있음을 증명
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 고령사회로 진입하면서 항노화 및 퇴행성질환 치료제 시장은 기하급수적으로 확대될 것으로 예상됨에 따라 본 기술을 통한 치료제 개발로 커다란 경제·산업적 효과가 전망
	사회적 효과	▪ 노령화에 따른 사회적 의료비 지출을 획기적으로 절약할 수 있을 뿐 아니라, 건강수명을 연장하여 경제활동 인구의 폭을 넓힐 수 있음
필요 사항		▪ 세포 역노화 기술은 선진국에서도 시작 단계에 있으므로 국제적으로 기술을 선점하여 경제적 및 사회적인 효과를 얻기 위해서는 국가 차원의 지원이 반드시 필요 ▪ 인력개발, 연구지원, 예산마련, 관련법령 개정 등 기술개발 및 기술을 이용한 역노화 및 노화 관련 퇴행성 질환 치료제 개발에 필요한 전주기 과정 지원 필요

8) 작성자: 성균관대학교 의학과 김경규 교수

기술명	개인 맞춤형 암백신(Personalized Cancer Vaccines)[9]
기술 정의	▪ (정의) 암환자별 특이적 항원에 대한 데이터 분석을 통해 개발된 다양한 형태(DNA, RNA, 펩타이드 등)의 암백신 ▪ (장점) 종양 항원에 대한 방대한 데이터로 암백신 라이브러리를 구축할 수 있으며, 이를 통해 치료용 암백신 및 예방용 암백신을 신속하게 개발하는 데 활용
실현 시기	**향후 5년** ▪ 암환자 특이적 항원 또는 네오항원*과 그 효능을 빠르게 탐지하고, 이를 표적하는 RNA 또는 단백질 백신의 최적/고속 설계 기술 * 면역이 경험해 보지 못한 변형된 새로운 항원 **향후 10년** ▪ 암환자 맞춤형 공유 암백신 라이브러리 구축을 통해 개인 맞춤형 암백신 치료제 신속 사용
요소 기술	▪ 종양특이 및 네오항원 탐지 기술 – NGS·Proteomics 기술을 통해 종양 특이적 변이, 이소체, 발현을 보이는 RNA 또는 단백질 항원 탐지 – 종양 특이적 변이, 이소체에서 유래되는 네오항원의 예측·동정과 MHC I/II class 결합 예측·검증 ▪ RNA 기반 암 백신 설계·생산 기술 – 종양 특이 네오항원을 발현하는 mRNA 구조체 최적 설계 – 종양 특이 네오항원에 특이 결합하는 암백신을 발현하는 mRNA 구조체 최적 설계 – 두 개 이상의 암백신을 발현하는 공유항원(Shared antigen) mRNA 구조체 설계 – 종양특이 mRNA 백신 전달 시스템 개발 ▪ 펩타이드 기반 암 백신 설계·생산 기술 – 암환자 종양 특이적 변이, 이소체에 유래되는 네오항원을 표적하는 펩타이드 백신 개발 – 종양 특이 네오항원에 결합하는 펩타이드 백신 최적 설계 – 종양 특이 네오항원에 특이 결합하는 펩타이드 백신 최적 설계 – 종양 특이 펩타이드 백신 전달 시스템 개발 ▪ 개인맞춤형 최적 백신 설계·생산·품질평가 플랫폼 구축 – 암환자 맞춤형 공유항원 RNA 암백신 설계 플랫폼 구축 – 최적 RNA, 펩타이드 암백신 생산 공정 자동화(ex, 바이오파운드리) – 암 백신 효능, 품질(안정성, 안전성) in-vitro/in-vivo 검증 ▪ 개인 맞춤형 암 백신 라이브러리 구축 – 암유전체 바이오 빅데이터 분석에서 Recurrent 종양 특이 항원, 네오항원 카탈로그 구축 – 카탈로그를 기반으로 한 암 백신 DNA, Virus 기반 라이브러리 구축
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 종양특이 항원, 네오항원을 표적하는 RNA/펩타이드 기반 암백신과 Multiplex 암백신의 최적 설계 기술의 도입 요구 ▪ (경제적 니즈) 암백신 설계 기술로 감염병 백신 및 비암질환의 백신 치료제 개발에 응용 가능 ▪ (사회적 니즈) 암환자 맞춤형 암백신 라이브러리 구축으로 개인 맞춤형 정밀의료 서비스 구현에 기여

<table>
<tr><td rowspan="3">기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ (종양특이 네오항원) 돌연변이, LINE 삽입, Frameshift, 융합 유전자, MSI-high, 번역 후 화학변형 등에 의해 생성되고, 일반적으로 생식세포에 발현되지 않음(Smith C. 2019; Roudko V., 2020; Engelhard V., 2020)
– 네오항원 표적 백신이 CD4+T와 CD8+T 세포의 항원 반응을 유도한 후, 면역관문저해제(ICI) 치료를 하는 경우 환자의 생존율을 높이고, 피부암 환자에 네오항원 펩타이드 항체가 실린 DC를 처리받은 환자에서 좋은 예후 보임(Carreno B, 2015)
▪ (공유항원 백신) 종양변이량(Tumor Mutational Burden)이 낮은 환자에 고품질 네오항원이 없는 경우
– 여러 개의 항원을 동시에 사용할 수 있는 리포좀 전달체 기반 mRNA 백신과 anti-PDL1 치료 병행이 Type1 IFN와 T 세포 확보를 유도(Sahin, U. 2020)
– 뇌종양을 치료하기 위한 APVAC1, PAVAC2 백신은 사전에 준비된 공유항원 라이브러리와 환자 특이 네오항원 라이브러리를 포함하고, 이러한 항원은 Polylysine 전달체와 GM-CSF adjuvant를 사용하여 CD8+, CD4+ T 세포가 많아지도록 유도함(Hilf, N. 2019)
▪ 암 백신 플랫폼에는 DNA, RNA, 인공 펩타이드로 구별되며, T 세포 반응과 치료효과에 따라 최적의 플랫폼을 사용함(Vormehr, M. 2019; Van der Burg, S. 2016)
▪ In situ vaccines(ISVs)은 종양세포를 사멸시켜 항원 생성을 증강하거나 선천면역을 통한 항종양 반응을 증강(예: TLRs, STING)(Pavlick, A. 2020; Ramanjulu, J. 2018)</td></tr>
<tr><td>국내 동향</td><td>▪ 국내 암 치료용 백신은 초기단계이지만 몇몇 기업에서 글로벌 임상시험 진행 중
– 제넥신은 자궁경부세포 전기천공법으로 플라스미드 DNA를 전달하는 방식의 DNA 백신의 임상 진행 중
– 애스톤사이언스는 최적화된 항원을 발굴하는 'Th-Vac Diocovery' 플랫폼을 활용해 총 7개의 파이프라인을 구축
– 파미셀은 자가골수 조혈줄기세포 이용 항원에 DC 세포를 노출시켜 생산하는 암치료용 백신 파이프라인 2건의 임상시험을 진행 중</td></tr>
<tr><td rowspan="2">기대 효과</td><td>경제·산업적 효과</td><td>▪ 약물치료제, 표적치료제에 이어 종양특이 네오항원을 표적하는 암 백신의 개발로 암환자의 생명연장, 의료산업과 경제에 큰 기여를 할 수 있는 기술로 발전</td></tr>
<tr><td>사회적 효과</td><td>▪ 난치성 암환자의 새로운 암백신 치료기법을 개인 맞춤형으로 신속하면서도 최적으로 적용할 수 있어서 사회적 비용의 감소</td></tr>
<tr><td>필요 사항</td><td colspan="2">▪ 암환자의 종양특이 항원, 네오항원을 신속히 탐지할 수 있는 분석 기술
▪ 합성생물학 기반의 최적의 암백신 설계 빅데이터 구축과 AI 기술
▪ Multiplex 암백신 기술의 효능성 검증</td></tr>
</table>

9) 작성자: 한양대학교 생명과학과 남진우 교수

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">임상 적용 가능 유전자편집기술(Clinical grade gene editing)[10]</td></tr>
<tr><td>기술
정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 빠르게 진전되고 있는 유전자편집기술을 활용하여 환자 치료 등 임상에 적용하기 위한 고도화 기술
▪ (장점) 높은 유전자편집 효율성과 안전성을 기반으로 유전자 돌연변이 등 다양한 희귀, 난치질환에 대한 임상적인 치료 가능성을 제고</td></tr>
<tr><td>실현
시기</td><td>향후 5년
▪ 유전적 혈액 장애를 치료하는 크리스퍼 유전자편집기술과 줄기세포를 활용한 임상 시험 허가</td><td>향후 10년
▪ 높은 안전성과 효율성을 가진 유전자 편집기술을 이용한 다양한 치료제 승인</td></tr>
<tr><td>요소
기술</td><td colspan="2">▪ 크리스퍼 넉인(CRISPR Knock-in) 시스템을 이용한 유전자 코딩 영역(CDS) 삽입 기술
- 돌연변이가 일어난 유전자 프로모터 뒤에 정상 CDS를 삽입시켜 망가진 유전자를 제외한 정상 CDS만 발현하는 기술
- 돌연변이의 종류 및 크기에 따라 유전자 편집 가능 여부가 결정되는 기존의 크리스퍼 기술과 달리 모든 유전적 돌연변이에 적용 가능한 기술
- 같은 질병이라도 돌연변이 개수나 위치가 달라 환자별 맞춤형으로 제작되어야 하는 기존의 한계를 극복할 수 있는 기술
▪ 리보핵단백질(Ribonucleoprotein, RNP) 시스템을 이용한 유전자 전달 기술
- 기존 Cas9의 mRNA를 전달하는 대신 이미 완성된 Cas9 단백질을 전달하여 일시적인 유전자 편집과 타겟 외(Off-target) 편집 확률을 낮춰 안전성을 높인 유전자 편집 기술
- 지질 나노 입자(lipid nano-particle, LNP) 기술을 이용하여 안정적으로 고분자 단백질을 세포 안으로 전달 가능
- 일시적인 유전자 편집 효과와 지질 막 융합 시스템을 이용한 전달 방식으로 임상 적용 가능
▪ 병든 세포를 실험관 내에서 배양시켜 유전자 치료 후 이식하는 Ex-vivo 기술
- 실험관 내에서도 배양 및 계대가 가능한 줄기세포를 이용하여 적은 샘플에서도 대량 생산이 가능하고 세포에 직접적인 유전자 편집이 가능한 기술
- 이식 전, 편집 및 여러 돌연변이 발생 부작용이 있는 세포를 선별하여 유전자 편집 효율이 높은 세포에만 이식 가능
- 환자 맞춤별 줄기세포 제작 및 이식 시 면역거부반응 회피 가능</td></tr>
<tr><td>주요
이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 크리스퍼 넉인(Knock-in) 기술 효율 개선과 정상 CDS를 바로 삽입할 수 있는 유전자별 CDS 라이브러리 기술 확보
▪ (경제적 니즈) 줄기세포를 이용한 세포치료제 및 유전자편집기술을 이용한 유전자치료제 시장의 고성장 전망
▪ (사회적 니즈) 유전자 편집된 세포를 세포치료제로 사용한다는 것에 대한 사회적 인식 및 윤리적 문제 개선</td></tr>
</table>

기술 개발 동향	해외 동향	▪ 높은 정확성과 낮은 부작용을 나타내는 유전자편집기술 개발 – 하버드 대학의 David Liu 그룹이 개발한 염기 교정기는 Cas9 효소에 디아미네이즈(deaminase)를 붙여 DNA의 한 종류 염기만 교정(Natrue, 2016) – 동일 연구 그룹에서 Cas9 효소에 역전사 효소를 붙여 사용자가 디자인한 대로 유전자 치료가 가능한 프라임 에디팅 기법을 발표(Nature, 2019) – 초기 CRISPR-Cas9의 유전자 교정 효율이 2% 미만에서 현재 높은 효율의 유전자 편집 효과와 1% 미만의 부작용을 증명 – 현재 염기 교정기의 퓨린 염기를 피라미딘 염기로 교정할 수 없다는 한계와 프라임 에디팅의 최대 80개 이상의 염기 돌연변이를 치료할 수 없다는 한계를 개선하기 위한 연구 진행 중 ▪ 프라임 에디팅의 유전자 편집 효율과 안전성을 개선하기 위해 새로운 가이드 RNA 및 프라임 에디팅 기술 개발 ▪ 정상 CDS를 삽입하는 기술을 활용하여 단풍단밀뇨증 마우스 모델 치료 성공
	국내 동향	▪ 연세대학교 김형범 교수 연구팀은 사람 세포를 이용한 프라임 에디팅의 유전자 편집 효율 예측 전산 모델을 개발(Nat Biotechnol, 2020) ▪ 서울대학교 배상수 교수 연구팀은 RNP 시스템을 이용하여 생체 내 유전자 편집을 전 임상 단계에서 성공(Science advances, 2021) ▪ 한양대학교 최동호 교수 연구팀에서 제1형 티로신혈증 마우스 모델의 *Ex-vivo* 기술을 활용한 성공적인 유전자 치료 입증(Cell stem cell, 2021)
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 유전자가 편집된 세포치료제 비용 절감 및 상업화 가능 ▪ 환자별 맞춤 디자인이 아닌 유전자별 맞춤 디자인으로 돌연변이의 종류, 위치 및 크기 상관없이 모든 환자에게 적용 가능
	사회적 효과	▪ 사회적으로 관심이 낮고 치료제 개발이 필요한 난치성 희귀병 환자들에 대한 치료 가능성 제고
필요 사항		▪ 유전자 편집 시장의 고효율의 Knock-in 기술 개발 ▪ 사람의 줄기세포를 다루는 것에 대한 윤리 문제 극복 ▪ 다양한 유전자에서의 유전자 편집 조건 확립 및 전임상시험으로 안전성 증명 ▪ 환자 맞춤이 아닌 유전자별 맞춤 유전자 치료의 임상시험 필요

10) 작성자: 한양대학교 의학과 최동호 교수

기술명	비침습적 신경조율기술(Non-invasive neuromodulation)[11]
기술 정의	▪ (정의) 인지기능 저하 등 뇌기능 문제를 부작용과 거부감 없이 회복, 향상시키는 새로운 접근방법 ▪ (장점) 비약물의 국소 신경망 자극을 통해 부작용과 거부감이 적고, 개인의 돌봄 접근성을 높임으로써 팬데믹 이후 증가 추세인 정신건강 문제해결에 기여

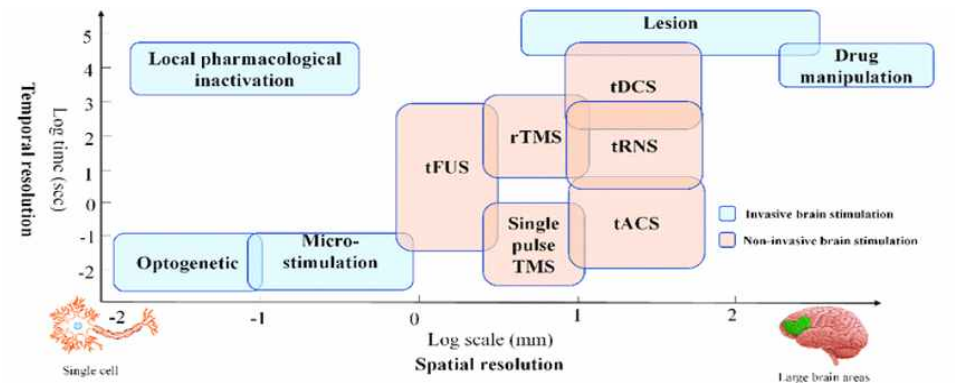
실현 시기	향후 5년	향후 10년
	▪ 국소 신경망 특이적 신경조율기법의 개발 및 작용 기전에 대한 이해	▪ 질병 특이적, 뇌세포 특이적 신경조율 기법을 통한 뇌기능 정밀 조율기술 활용

요소 기술

▪ 비약물/국소 신경망 선택적 자극 기술

– 높은 공간해상도와 뇌침투력 증강을 통한 뇌심부 자극 기술

〈 신경조율기법의 시간 및 공간적 해상도 〉



*출처 : Yang et al., Frontiers in Neuroscience, 2021

– 국소 신경망에 대한 선택적 자극(수~수백 μm)과 피질 및 뇌심부 신경조율을 위한 자극 기술 개발 및 관련 기전에 대한 연구기법 적용

– 신경세포 및 뇌세포 자극과 기능 규명을 위한 생물리학적 접근(시냅스 활동도, 세포 흥분성, 뇌파 등 전기신호 분석, 특정 수용체, 단백질, 뉴클레오타이드 분석)

▪ 생체, 뇌신호 분석 기술

– 일시적/한시적 효과가 아닌 중장기 신경조율 효과를 위한 신경계 가소성 연관기술

– 핵산 분석, 이온 통로, 수용체, 단백질, 시냅스 활동도, 세포 흥분성, 뇌파 등 전기 신호 분석 기술을 이용하여 신경 가소성 관련 정보 제공

▪ 세포 특이성 기술

– 단일세포 또는 특정 세포군에 대한 선택적 신경조율기법 적용을 위한 비침습적 유전체 정보 전달 기술을 접목

– 비침습적 자극 조건과의 연계를 통한 세포 특이적 흥분성 조절기술 구현

주요 이슈

▪ (기술적 니즈) 타겟 영역에 대한 높은 시공간 해상력과 함께 뇌심부로의 자극전달을 통한 지속적인 효과 유발을 가능하게 하는 장비 및 인지신경과학 기반 기술 제공

▪ (경제적 니즈) 에너지소재/의학/의료서비스 관련 분야에 대한 의학적 고부가 소재 및 기술

		개발로 다양한 응용분야와 산업에 활용 ▪ (사회적 니즈) 부작용과 거부감이 적고, 개인의 돌봄 접근성을 높임으로써 공중보건을 포함하여 의료서비스 전반으로의 확장
기술 개발 동향	해외 동향	▪ 뇌자극의 안정성이 확보된 경두개직류자극기법(tDCS)을 이용한 원격의료 및 돌봄 서비스 논의 및 개시 - DIY(Do-It-by-Yourself), NIBS(Non-Invasive Brain Stimulation) 개발을 위한 노력은 지속되고 있으나, 불충분한 신경과학적 이해와 위험요소로 인해 현재 관련 기술개발은 답보 상태(Neuroeng Rehabil, 2019) - “tele-monitored tDCS”와 같은 원격 돌봄을 통한 헬스서비스 및 임상시도 및 연구는 지속적으로 증가하는 추세(Brain Sci. 2018) ▪ 다양한 형태의 비침습적 전기적, 자기적, 초음파 기법을 통한 신경조율기법 및 기전에 대한 연구의 활발한 수행을 기반으로 다양한 의료기술이 개발되고 있음 - COVID-19으로 인한 신경계 기능 이상에 대한 비침습적 신경 툴 박스의 적용 (경두개 직류자극(tDCS), 경두개 자기자극(rTMS), 미주신경 자극(VNS))(Front. Neurol. 2020) - 비침습적 천골신경자극(Scacral nerve stimulation)을 통한 변비 치료(Front. Pediatr. 2020) 등 직접적으로 환자에게 도움을 줄 수 있는 새로운 치료기법 시도 - 우울증 환자를 대상으로 전두엽피질 MR 유도하 초음파 자극기법 적용 (Front. Psych. 2022)
	국내 동향	▪ 뇌신경재활을 위한 비침습적 뇌신경 및 뇌자극 클리닉의 시행 - 미주신경자극술(VNS), 외부 삼차신경 자극술, 경두개 자기자극술(rTMS), 경두개 직류자극(tDCS)를 이용한 외상후 스트레스 장애, 우울증, 편두통, 뇌졸중, 뇌손상, 퇴행성 뇌질환으로 인한 기억 및 학습 장애, 운동실조, 언어장애, 통증치료를 위한 시술시행(삼성서울병원, 분당서울대병원 등) - MR 유도하 집적 초음파 뇌수술(세브란스 병원) - 인공지능 기반의 경두개 집속초음파 치료보조시스템 개발(IEEE, 2022)
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 비침습적 신경조율기전의 이해를 위한 인지신경 바이오 분야 연구 활성화 및 소재 기술개발을 위한 인프라 육성 및 제조 산업에 기여
	사회적 효과	▪ 사회적 스트레스, 경도&중도 우울증, 외상후스트레스 장애, 팬데믹으로 인한 정신건강의학에 대한 관심 및 문제를 해결할 수 있는 기술개발 기대에 부응
필요 사항		▪ 관련기전에 대한 이해 및 신경조율 효과의 최적화와 장기화를 위한 시스템 구축과 기술개발 필요 ▪ 높은 시간해상 및 뇌심부와 특정 신경회로에 대한 선택적 자극을 위한 공간해상도 조절 기능과 장기적이고 지속적인 효과를 유발할 수 있는 새로운 패러다임 필요

11) 작성자: 기초과학연구원 박주민 책임연구위원

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">배양육/대체육 고도화(Advanced cultured meat/alternative meat)[12]</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 기후변화, 팬데믹 대응을 위해 동물세포 배양, 식물 유래 단백질 등을 통해 친환경, 고기능성 대체육류를 생산
▪ (장점) 축산업에 요구되는 자원과 공간, 온실가스 배출을 크게 감축하여 환경을 보호하며, 미래 식량 문제해결에 기여</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td>향후 5년
▪ 일반 육류 및 유제품으로 구성된 동물성 단백질 식품 시장 확대
▪ 생산 비용 절감을 통한 규모화, 제품 허가 상용화</td><td>향후 10년
▪ 대체육류(대체 해산물), 대체 달걀 제품 시장 성장</td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 압축성형공정 기술
– 무결정성 조직(amorphous structure)을 갖고 있는 식물성 단백질을 변형시켜 조직을 형성하기 위한 가공 기술
– 식물성 단백질을 물과 혼합 후 압출기 내에서 가열하면서 스크류의 회전에 의해 높은 압력으로 압출시키면 기계적 전단력 등 다양한 복합 작용에 의해 식육과 비슷한 가소성 및 신축성을 갖는 조직감 재현
– 수분 함량에 따라 고수분 압출(습식)과 저수분 압출(건식)로 분류
– 고수분 압출 방식은 조직이 팽화되지 않기 때문에 식물성 단백질로부터 육류와 같은 조직감을 구현하는 데 주로 사용
▪ 오믹히팅(Ohmic Heating) 기술
– 온도 상승이 빠르고, 온도 조절이 용이할 뿐만 아니라, 식품을 전체적으로 균일하게 가열시키는 기술
– 균일하고 신속한 가열 특성을 가진 오믹히팅 기술에 압력 정형 시스템을 적용함으로써 식물성 육류의 조직감을 구현하는 대체육을 제조
– 시료 내부에너지 발열을 통해 식물성 단백질의 결착력을 강화하고, 압력 시스템으로 육류의 조직감을 형성함으로써 식물성 대체육의 효율적 생산 가능</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 첨단기술로 무장한 거대 식품기업들의 합류로 대체육 시장의 성장은 더욱 가속화될 것으로 전망
▪ (경제적 니즈) 코로나19로 인한 주요 대형 육류 가공공장 조업 중단으로 발생한 육류 공급 부족 및 가격 인상이 대체육 산업의 성장을 촉발
▪ (사회적 니즈) 채식 위주의 건강 식단 선호가 증가 추세와 함께 일반 육류 생산과정에서 발생하는 가축 전염병, 생태계 파괴, 기후 변화 문제의 해결책 필요</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ 유럽: 높은 채식주의자 비율과 육류 대체 부문에 대한 높은 투자율로 인해 세계에서 가장 큰 대체육 시장을 형성
– 유럽 내 식물 기반 식품 소비자들의 70%가 일주일에 1회 이상 대체육을 섭취하고 영국, 독일, 프랑스, 이탈리아의 경우 대체육 소비 비중이 특히 더 높은 편(The Vegan Society 설문조사)</td></tr>
</table>

		▪ **미국**: 식물 기반 식품의 미국 소매 판매량은 2019년 기준 45억 달러 규모까지 성장했으며 이러한 성장 속도는 美소매 식품 시장의 2% 성장률의 5배에 달함(Good food Research 보고서 2020. 7) ▪ **태국**: 태국 인구 25% 이상이 육류 소비를 줄이고 있으며, 식물성 식단 또는 유연한 채식주의 식단(Flexitarian)으로 식사를 지향하며 큰 마켓으로 성장 – 2019년 TOA그룹의 대체육 브랜드인 LottoFood 자료에 따르면 태국의 대체육 시장 가치는 현재 270억 바트(약 한화 1조 149억 3,000만 원)규모이며, 2024년에는 510억 바트(한화 약 1조 9,170억 9,000만 원) 규모로 성장할 것으로 예상 ▪ **아시아 지역**: 인구 증가, 도시화와 함께 콩을 기반으로 한 음식에 대한 친숙함, 친환경 소비에 대한 욕구로 중요한 소비처로 떠오름
	국내 동향	▪ 롯데푸드와 농심은 각각 '엔네이트 제로미트'와 '베지가든' 등 자체 대체육 브랜드를 론칭 및 시판 ▪ 신세계푸드는 2021년 7월 자체 기술로 대체육 '베러미트(Better meat)'를 개발 ▪ 동원F&B는 2017년부터 미국의 '비욘드 미트' 제품을 수입하여 2021년 국내에서 12만 개 이상 판매. 2022년 4월 '넥스트미트'와 '그린미트'에 대한 상표권을 출원 ▪ SPC삼립은 '잇 저스트'(미국)와 파트너십을 체결하여 식물성 대체 계란 'Just Egg' (액상 및 사각형 오믈렛)제품을 제조 및 유통 ▪ CJ제일제당은 시스테인*을 비(非)전기 분해 방식으로 대량생산 기술을 확보 * 시스테인은 기능성 아미노산으로 항산화·해독·피부재생 등의 효과가 있고, 고기 향을 내는 소재 ▪ 풀무원은 콩에서 추출한 '식물성조직단백' 소재를 기술력으로 가공하여 식물성 고기의 맛과 형태의 '한국식 대체육' 제품을 시판 중이고, 비건 레스토랑 '플랜튜트'를 운영
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 대체육의 기존 시장 뿐 아니라 건강 기능성을 바탕으로 환자식, 케어식 등 더 다양한 시장으로 확장 가능 ▪ 대체육 생산과정의 대부분 원료 및 제품을 수입에 의존하고 있으나, 원료 생산부터 제품화까지 공정을 국내에 구축하여 수입대체 효과 기대
	사회적 효과	▪ 코로나 엔데믹 후 소비자들의 건강한 삶에 대한 관심과 더불어 육류 대체식품 시장에 대한 수요 충족
필요 사항	▪ 맛과 식감(질감, 색감) 등 품질 향상에 있어 실제 육류와 유사함을 나타낼 수 있는 기술 도입 요구	

12) 작성자: 한국생명공학연구원 이준 선임연구원

기술명	토양 마이크로바이옴(Biocrusts microbiome)[13]
기술 정의	▪ (정의) 생물지각 내 마이크로바이옴을 파악하고 개발하여 건강한 토양 생태계를 유지 ▪ (장점) 탄소, 질소 등의 생물지구화학적 순환과 토양 내 영양수준을 유지하여 토양 안정성, 동식물 보존 등 건강한 토양 생태계 보존 및 복원에 기여
실현 시기	**향후 5년**: ▪ 마이크로바이옴과 토양의 상호작용을 이해하고 마이크로바이옴-토양 모사시스템 구축 **향후 10년**: ▪ 마이크로바이옴 대규모 배양 및 대용량 배양 기술 개발과 토양 생태시스템 제어기술 확립
요소 기술	▪ 마이크로바이옴-토양 상호작용 기반 시스템 구축 기술 - 기후변화에 따른 마이크로바이옴-토양 상호작용의 이해 - 다양한 지리학적 특성을 갖는 토양 샘플로부터 세균 및 곰팡이 집락의 메타지놈, 화학, 바이오매스를 분석하는 기술 - 마이크로바이옴-토양 생애주기 안정성, 회복성 이해를 위한 메커니즘 연구 - 건강한 바이오 클러스터를 위한 유효 마이크로바이옴 발굴 및 마이크로바이옴-토양 모사시스템 구축 ▪ 마이크로바이옴 대규모 배양 및 대용량 배양 기술 - 배양 불가능 유효 미생물의 대규모 배양 기술 - 유효 미생물의 대용량 배양 및 저장 기술 - 마이크로바이옴 원료 제조를 위한 공정관리 기술 ▪ 마이크로바이옴을 통한 지구환경 및 토양 생태시스템 제어 기술 - 마이크로바이옴을 이용한 토양 생태시스템의 복원 기술 - 마이크로바이옴을 이용한 토양 생태시스템의 보존 기술(적절한 영양 상태, 침투수 수준 유지) - 마이크로바이옴을 이용한 토양 내 영양분 순환, 탄소 저장 및 순환, 질소 순환 (biogeochemical cycling) 제어 기술
주요 이슈	▪ (기술적 니즈) 마이크로바이옴 기반기술은 식품, 의약, 진단 제품, 작물의 생산성 증진과 병충해 예방, 동식물들의 건강 등과도 밀접한 관련이 있으므로 기반기술의 공통된 요소기술을 개발하면 관련 산업과 동반 성장 가능 ▪ (경제적 니즈) 마이크로바이옴 관련 글로벌 시장은 2023년 약 1천억 달러 이상 규모까지 성장할 것으로 전망 ▪ (사회적 니즈) 인간의 질병진단 및 치료법과 함께 지구 생태시스템의 보존과 복원을 위한 해결책 필요

기술 개발 동향	해외 동향	▪ 미국은 2007년부터 국립보건원(NIH) 주도로 휴먼 마이크로바이옴 프로젝트(Human Microbiome Project)를 통해 마이크로바이옴 관련 연구기반 구축 – 미생물을 구성하는 물질과 미생물이 만드는 다양한 대사물질뿐 아니라 서식환경까지 포함하는 등 마이크로바이옴의 의미가 확장되는 추세 – 2016년 국가 마이크로바이옴 이니셔티브(National Microbiome Initiative)를 발표하고 다양한 분야의 연구를 추진 – 최근 기후변화가 토양생태계에 미치는 영향과 마이크로바이옴-토양 상호작용을 이해하는 연구들이 발표됨(Nature Reviews Microbiology, 2020; ISME Coomunications, 2022; BMC Microbilogy, 2022)
	국내 동향	▪ 정부는 2023년부터 2033년까지 향후 10년간 1조원 이상을 투자하는 '국가 마이크로바이옴 이니셔티브' 추진계획을 발표 – 마이크로바이옴 분야에 대한 정부 투자는 2016년 217억원 규모에서 2020년 774억원 규모로 증가, 마이크로바이옴 분야를 특정하여 중점 육성하기 위한 정책에 따라 이루어진 것은 아니었고 산발적이고 분산적으로 투자가 이루어짐 – 국내 마이크로바이옴 연구는 개별 연구자의 기초연구 중심 – 토양 생태계 관련 마이크로바이옴 기술은 농촌진흥청을 중심으로 가축 생산, 작물 생장, 토양 개량에 유용한 미생물제제들이 개발되고 있음
기대 효과	경제·산업적 효과	▪ 마이크로바이옴 기술은 농업, 환경, 식품, 제약 등의 연관 사업의 성장에 크게 기여할 것으로 전망된다는 점에서 향후 과학기술의 핵심 분야로 산업 전분야로 확산될 기술로 평가
	사회적 효과	▪ 토양 마이크로바이옴 기반기술 개발을 통하여 기후변화 및 환경오염, 식량문제 해결에 기대
필요 사항		▪ 2023년부터 10년간 추진될 '국가 마이크로바이옴 이니셔티브' 기술개발을 위한 국가 차원의 근거 기반 객관적이고 구체적인 단계적 연구진흥 계획 ▪ 마이크로바이옴 데이터 구축과 표준 연구프로세스 정립을 위한 공공성 기반의 인프라 시스템 구축 ▪ 산업화를 위한 국제표준의 설정과 규제 개선 마련

13) 작성자: 차의과학대학교 바이오공학과 홍수린 교수

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">합성생물학 적용 미생물공장(Synthetic microbial factory)[14]</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 합성생물학에 의해 재설계된 생합성 경로를 미생물에 구현하여 천연물질, 화학합성 대체물질 및 유용 단백질을 생산
▪ (장점) 자연계에 존재하는 미생물에 비해 목표물질 생산 효율이 높으며, 다수의 대사반응 조합으로 복잡한 물질도 생산할 수 있어 바이오제조 역량 구축에 기여</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 항체 및 백신, 대체 단백질, 수산 사료, 기능성 식품첨가제, 화장품, 염료 등의 제약, 미용, 식품 등의 산업분야 적용</td><td>▪ 치료제, 감미료, 섬유, 바이오 가죽, 바이오 나일론, 바이오 플라스틱 등의 의료, 식품, 화학, 섬유, 바이오 연료 등의 산업 분야 적용</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 생합성 대사경로 발굴 및 미생물 내 발현 기술
– 타겟 물질의 생합성 대사경로의 예측 및 평가 알고리즘, 실현 가능한 최적 디자인을 위한 컴퓨팅 기술
– 정확성, 간편성, 신속성을 겸비한 대사경로 내 유전자 DNA 조립 기술
– 유전자 편집, 유전자 발현량 조절, 효소 개량, 물질대사 채널링 증대 등을 통해 대사물의 생산성을 높이는 대사경로 최적화 기술
– 바이오 의약품 재조합 단백질의 경우 인체 내에서 효과적이고 안정적인 효능을 위해 숙주세포 내 번역 후 변형 조절기술
▪ 바이오파운드리 기반 합성생물학 기술
– 정밀한 바이오 시스템 설계 기술(Design)
– 도출된 설계 논리에 따른 최종 바이오 시스템을 구현하기 위한 DNA 합성 및 조립기술(Build)
– 바이오 시스템 성능의 평가를 위한 고속·대용량 처리 시험기술(Test)
– 바이오파운드리 구동하는 자동화 소프트웨어, 바이오데이터 관리 시스템 개발 기술</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 전세계적으로 유행할 수 있는 감염병, 병원균 및 변종에 대한 진단 및 백신 개발 등의 신속히 대응 가능한 기술이 필요
▪ (경제적 니즈) 의학, 나노기술, 농업, 산업생명공학, 바이오연료, 바이오플라스틱 등 다양한 산업에서 합성생물학이 광범위하게 적용되면서, 고효율·고속화·대량화·저비용의 혁신적인 바이오제품을 통한 경제적 이익 창출
▪ (사회적 니즈) 국민 생활수준이 향상되면서 개인의 건강과 안전, 미래 인류를 위한 환경 보존에 대한 관심이 높아져 지속가능하며 환경 친화적인 바이오 제품·공정에 대한 요구 증가</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ Northwestern Univ외 연구팀은 폐 이산화탄소를 산업용 화학물질로 재활용하는 Clostridium autoethanogenum를 개발하여, 탄소 네거티브 접근방식을 통한 net-zero 배출경제에 기여할 방법을 제시(Nat. Biotechnol. 2022)
▪ 미국 바이오산업 제조혁신 연구소 BioMADE는 바이오산업 가속화를 위한</td></tr>
</table>

		글루카산, 아크릴산, 석신산 등의 지속적이고 친환경적인 바이오 산업 제조 관련 16개 프로젝트를 수행 중 ▪ MIT 연구팀은 합성생물학적 접근 방식으로 *Lactococcus lactis*에 β-락탐(항생제 분해효소)를 생산하도록 하여 항생제 처리 시 동시 투여함으로써 장내 미생물의 다양성을 유지하는 방법을 제시(Nat. Biomedical Eng. 2022) ▪ 일리노이대 연구팀은 광합성 시아노박테리아와 신진 효모 사이의 유전적으로 다루기 쉬운 인공 광합성 내부 공생 플랫폼을 설계 조작하여 세포 소기관 진화와 관련된 진화 연구와 합성생물 응용분야에 사용될 것으로 기대(Nat. commun. 2022)
	국내 동향	▪ 포항공대 정규열 교수 연구팀과 스페인 농업유전체학연구소의 공동연구로 대장균에서 인공효소를 생성하는 기술을 개발하여 제철소 부생가스로 바이오 플라스틱 소재(이타콘산) 대량 생산에 성공(Nat. commun. 2022) ▪ KAIST 이상엽 교수 연구팀은 미생물에서 화학물질을 생산하는 바이오 화학반응을 총망라한 웹 기반의 합성 지도를 완성하여 다양한 화학물질 생산으로 이어지는 생물학, 화학적 반응의 네트워크 분석 가능(Trends Biotechnol. 2023) ▪ 한국화학연구원 이주영 박사 외 연구팀은 미생물 세포로 고부가가치 의약품 소재의 고효율 생산에서부터 소재 맞춤형 저장까지 올인원 공정이 가능한 비스포크 인공세포 지질 방울 소기관 개발(Nat. Commun. 2022) ▪ KAIST 조병관 교수 외 국제 공동연구팀은 미생물 대사과정을 수도꼭지처럼 자유자재로 조절하는 차세대 대사 조절 밸브를 개발하여 기존에 알려지지 않았던 전사 종결 부위 특성 규명과 동시에, 고부가가치 바이오화합물 생산에 기여할 것으로 기대(Nucleic Acids Res. 2022)
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 혁신적인 제품과 새로운 공정을 개발하여 다양한 산업분야에 적용하므로 고속화·대량화·저비용화의 바이오경제 시대 실현 ▪ 원자재 가격, 환율, 국제적 정세 변화 등 글로벌 공급망의 위협에서 자유로운 바이오산업 공급망 및 새로운 시장 창출
	사회적 효과	▪ 기존 석유 기반의 원료에서 탈피하여 바이오 화학제품, 바이오연료 등을 생산하는 저탄소 환경 친화적인 공정 프로세스를 창출하여 깨끗하고 안전하며 지속 가능한 미래 구현에 기여
필요 사항		▪ 실험단계에서 유망한 기술의 낮은 산업 도입률을 극복하고 도입 시기를 단축하기 위하여 연구팀과 기업의 비즈니스 협력 포트폴리오 필요 ▪ 합성생물학 기술에 대한 미래의 긍정적 사회적 수용 유도를 위한 정책 제도 마련

14) 작성자: 한국생명공학연구원 이형관 선임연구원

<table>
<tr><td>기술명</td><td colspan="2">미세플라스틱의 건강 및 생체영향 평가(Microplastics biomonitoring)[15]</td></tr>
<tr><td>기술 정의</td><td colspan="2">▪ (정의) 미세플라스틱이 생체에 미치는 영향을 모니터링하고, 장기별 독성, 유해성 검증을 통해 건강에 미치는 영향을 평가
▪ (장점) 환경 유해인자로 심각성이 새롭게 대두되고 있는 미세플라스틱의 체내 유입량과 잠재적인 영향에 대한 평가를 통해 환경 및 건강 관리방안 마련에 활용</td></tr>
<tr><td>실현 시기</td><td colspan="2"><table><tr><th>향후 5년</th><th>향후 10년</th></tr><tr><td>▪ 미세플라스틱 오염원 및 생체 모니터링 기술 확보
▪ 노출방법에 따른 장기별 독성 및 유해성 평가 기술 개발</td><td>▪ 미세플라스틱 생체/인체 건강영향 평가 확립
▪ 신규 환경유해인자의 관리방안 마련</td></tr></table></td></tr>
<tr><td>요소 기술</td><td colspan="2">▪ 미세플라스틱 모니터링 기술
– 오염원(대기, 수계, 토양, 생활환경 등)별 미세플라스틱 정성적/정량적* 분석기술
* 정성적 분석은 μ-FTIR/Raman 등 분광분석, 정량적 분석은 py/TED-GCMS와 같은 열분석 기술 활용
– 오염원별 전처리 기술 및 모니터링 프로세스의 체계화 및 고도화
– 미세플라스틱의 생체(인체) 모니터링을 위한 조직 타겟별 전처리 기술 최적화
– 미세플라스틱 함유 유해물질 분석기술 적용
▪ 미세플라스틱의 건강영향 평가 기술
– 미세플라스틱 노출방법*에 따른 인체 조직별 건강영향 평가 기술
* 노출방법: 흡입, 섭취, 피부
– 인체 기관별(호흡기, 소화기, 신경계, 생식계, 피부/면역) 체내 분포, 독성 및 유해성 평가 기술
– 미세플라스틱의 생체 잠재적 영향 평가 및 예방 기술</td></tr>
<tr><td>주요 이슈</td><td colspan="2">▪ (기술적 니즈) 미세플라스틱의 모니터링 기술 고도화, 잠재적 독성 및 유해성 평가 기술 개발을 통한 미세플라스틱의 건강영향 평가 기술 확보 필요
▪ (경제적 니즈) 미세플라스틱 모니터링, 건강영향 평가를 기반으로 한 질환예방 및 치료기술 개발을 통한 보건의료 분야의 신산업 창출
▪ (사회적 니즈) 신규 환경유해인자인 미세플라스틱의 잠재적 영향에 대한 과학적 근거 마련과 관리방안 확립</td></tr>
<tr><td>기술 개발 동향</td><td>해외 동향</td><td>▪ 미세플라스틱 분석 및 모니터링 기술
– 미세플라스틱 분석 기술: 미세플라스틱은 크기, 성분, 형태 및 함유물질에 따라 다양한 분석기술이 적용되어야 하며, 오염원 및 샘플링에 따라 전처리 기술의 차별적 적용 필요(Chem. Rev. 2021)
– 인체 대기 미세플라스틱 검출 기술: 흡입에 의한 미세플라스틱 인체 노출의 정성적 분석을 위해 μ-FTIR 기술을 활용한 폐 위치별 미세플라스틱 크기, 성분, 형태 분석(J. Hazard. Mater. 2021)</td></tr>
</table>

		- 혈중 미세플라스틱의 정량 분석: 네덜란드 암스테르담 연구팀은 인간 전혈에서 열분해기술인 Py-GC/MS 분석기술을 통해 혈액 내 미세플라스틱의 정량분석에 성공(Environ. Int. 2022) ▪ 미세플라스틱의 노출과 잠재적 영향에 대한 종합적인 연구보고서가 WHO에서 발간(Dietary and inhalation exposure to nano- and microplastic particles and potential implications for human health, 2022, World Health Organization)
	국내 동향	▪ 생명연 정진영 박사 연구팀은 제브라피쉬 배아를 이용해 나노플라스틱의 체내 흡수 및 축적을 확인하고, 활성산소 증가와 미토콘드리아 손상을 유발하여 복합독성을 야기함을 밝힘(Nanoscale, 2019) ▪ 원자력의학원 김진수 박사 연구팀은 방사선 동위원소를 기반한 PET-CT 영상분석을 통해 이용해 마우스 체내에서의 나노플라스틱의 거동을 분석하고 미세플라스틱의 노출에 의한 자폐 스펙트럼 장애의 잠재적 가능성을 제시(Environ. Int. 2022) ▪ 생명연 이다용 박사 연구팀은 임신한 쥐의 나노플라스틱 섭취를 유도하여 모유를 통한 미세플라스틱의 세대 전이와 뇌를 포함한 장기 축적 확인 및 뇌 조직변화와 행동분석을 통해 인지능력 저하를 규명(J. Hazard. Mater. 2022) ▪ 대구카톨릭대 허용 교수팀은 장기별 인간 유래 세포주를 활용한 미세플라스틱의 세포독성을 통해 고농도의 미세플라스틱인 면역반응과 활성산소가 증가함을 확인(Sci. Total Enviornm. 2022)
기대 효과	**경제·산업적 효과**	▪ 미세플라스틱 모니터링 기술의 확대와 고도화를 통해 환경/보건의료 분야의 신산업 창출 가능 ▪ 미세플라스틱에 의한 건강영향평가를 활용한 질환예방 및 미세플라스틱 유도 질환 치료법 개발에 활용될 것으로 기대
	사회적 효과	▪ 미세플라스틱 모니터링 및 건강영향평가를 기반으로 한 정부와 민간 등 미세플라스틱 관리 방안 마련 ▪ 미세플라스틱의 발생, 저감, 제거 등 전주기 관리 체계 및 제도 마련에 기여
필요 사항		▪ 미세플라스틱 건강영향 평가 기술 개발을 위한 장기적 투자 및 지원 ▪ 다양한 오염원, 장기별 샘플링 확보 방안 마련 ▪ 환경, 소재, 분석, 보건, 생명과학 등 다양한 분야의 협업체계 구축 필요

15) 작성자: 한국생명공학연구원 정진영 책임연구원

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

2023 바이오 미래유망 후보기술(밑줄: 선정기술)

플랫폼바이오(Platform Bio, 기초·기반, 플랫폼)

- **생체 내 면역세포 실시간 분석(*In situ* immune cell live imaging/sequencing)**
  - 다양한 면역세포의 기능을 실시간으로 관찰하는 동시에 관련 유전자의 발현을 분석
- **고해상 막단백질구조 아틀라스(Membrane protein atomic structure atlas)**
  - AI 단백질 구조 예측기술발전에 힘입어 그간 분석이 힘들었던 막단백질구조의 전체상을 원자 수준에서 파악
- **AI 기반 인공 단백질 설계(AI-based artificial protein design)**
  - AI 기술을 활용하여 자연계에는 존재하지 않지만 유용한 기능을 보유한 인공 단백질을 설계
- **인간-기계 상호작용 제어기술(Human- machine interactions (HMIs))**
  - 인간과 기계 사이의 상호 작용을 매개하여 정확한 감지와 피드백 기능을 갖춘 장치 및 시스템
- **생체분자활용 나노기계소자(Biomolecular nanomachine component)**
  - 전기로 구동되고, 스스로 조립이 가능한 DNA 모터, DNA 트랙 위를 달리는 단백질 모터 등 미래의 초소형 기계에 적용 가능한 생체분자활용 기술
- **세포 역노화(Cell rejuvenation)**
  - 세포 리프로그래밍 등을 통해 세포의 건강을 유지하고, 세포의 재생 능력을 복원

레드바이오(Red Bio, 의약품 등 보건의료)

- **개인 맞춤형 암백신(Personalized Cancer Vaccines)**
  - 암환자별 특이적 항원에 대한 데이터 분석을 통해 개발된 다양한 형태(DNA, RNA, 펩타이드 등)의 암백신
- **임상 적용 가능 유전자편집기술(Clinical grade gene editing)**
  - 빠르게 진전되고 있는 유전자편집기술을 활용하여 환자 치료 등 임상에 적용하기 위한 고도화 기술
- **비침습적 신경조율기술(Non-invasive neuromodulation)**
  - 인지기능 저하 등 뇌기능 문제를 부작용과 거부감 없이 회복, 향상시키는 새로운 접근방법
- **영상정보학 기반의 정밀진단기술(Medical image-based precision diagnosis)**
  - AI기술 등을 도입하여 방대한 의료영상 빅데이터를 분석하고, 이를 기반으로 정밀한 진단에 활용
- **AI 기반 오픈소스 신약발굴기술(AI-based open source drug discovery)**
  - 공개된 신약개발 관련 빅데이터를 AI등 분석기술을 통해 의약물질의 신규작용점을 발굴하여 신약개발에 활용

○ **허혈손상 장기회복 기술(Ischemic injury organ recovery)**

- 심정지후 골든타임을놓친 세포와 장기를 보존하는 기술

그린바이오(Green Bio, 농림수축산·식품)

○ **배양육/대체육 고도화(Advanced cultured meat/alternative meat)**

- 기후변화, 팬데믹 대응을 위해 동물세포 배양, 식물 유래 단백질 등을 통해 친환경, 고기능성 대체육류를 생산

○ **토양 마이크로바이옴(Biocrusts microbiome)**

- 생물지각 내 마이크로바이옴을 파악하고 개발하여 건강한 토양 생태계를 유지

○ **야생종의 유전적 다양성 활용(Genetic diversity of wild-type ancestral crops)**

- 작물의 야생형 품종에서 질소 고정율을 높이는 등의 유용 유전자를 발굴하고 이를 작물에 도입하여 생산성을 향상

○ **외떡잎식물 접목 구현/응용(Grafting in monocots)**

- 그간 불가능했던 밀, 귀리, 바나나 등 외떡잎식물에서의 접목을 가능하게 하여 품종유지및 증식에 활용

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

○ **합성생물학 적용 미생물공장(Synthetic microbial factory)**

- 합성생물학에 의해 재설계된 생합성 경로를 미생물에 구현하여 천연물질, 화학합성 대체물질 및 유용 단백질을 생산

○ **미세플라스틱의 건강 및 생체영향 평가(Microplastics biomonitoring)**

- 미세플라스틱이 생체에 미치는 영향을 모니터링하고, 장기별 독성, 유해성 검증을 통해 건강에 미치는 영향을 평가

○ **원헬스 모니터링(One Health monitoring)**

- 환경, 인간, 동식물이 서로 연결되어 있다는 개념에서 감염병의국가/대륙 간 이동 등을 추적 및 감시

○ **바코드 미생물(Barcoded microbes)**

- 특정 DNA 서열(바코드)을 삽입한 미생물을 활용하여 식품 유통, 법의학 및 감염병추적을 위한 라벨링기술

◇ 본 보고서는 국가생명공학정책연구센터의 공식 견해가 아니며, 보고서의 내용을 인용할 인용할 경우에 출처를 반드시 명시하여 주시기 바랍니다.

◇ 본 보고서를 비롯하여 국가생명공학정책연구센터에서 발간한 다양한 보고서는 바이오인 사이트(http://www.bioin.or.kr)에서 다운로드 가능합니다.

♣ Acknowledgement : 바쁜 일정 속에서도 2023 바이오미래유망기술 도출 자문에 참여해주신 전문가 51분께 감사의 마음을 전합니다.

[자문 전문가 명단]

자문 전문가	소속
강동우	가천대학교
고혜원	한국생명공학연구원
권정우	한국생명공학연구원
김경규	성균관대학교
김경미	고려대학교
김경심	한국생명공학연구원
김계성	한양대학교
김기광	충남대학교
김두진	한국생명공학연구원
김민식	대구경북과학기술원
김병곤	아주대학교
김보경	한국생명공학연구원
김석호	동아대학교
김승현	연세대학교
김우식	한국생명공학연구원
김재호	부산대학교
김천아	한국생명공학연구원
김혜영	서울대학교
남진우	한양대학교
민도식	연세대학교
박귀덕	한국과학기술연구원
박옥현	한국생명공학연구원
박윤경	조선대학교
박주민	기초과학연구원

서영호	계명대학교
선웅	고려대학교
성낙균	한국생명공학연구원
송경섭	고신대학교
송봉석	한국생명공학연구원
안현주	충남대학교
윤철희	서울대학교
이경	동국대학교
이근화	한양대학교
이만열	순천향대학교
이미옥	한국생명공학연구원
이병일	한국광기술원
이은영	한국생명공학연구원
이정미	한국생명공학연구원
이주미	인제대학교
이준	한국생명공학연구원
이준식	조선대학교
이형관	한국생명공학연구원
이혜원	한국생명공학연구원
정윤기	한국과학기술연구원
정진영	한국생명공학연구원
조남혁	서울대학교
최동호	한양대학교
추현아	한국과학기술연구원
현영민	연세대학교
홍수린	차의과학대학교
황종연	한국화학연구원

※ 가나다 순

◐ 국가생명공학정책연구센터 총서 목록(최근 3년) ◑

총서 번호	보고서명	저자	발간일	공개 여부
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
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

총서 번호	보고서명	저자	발간일	공개 여부
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
308	2020년 바이오분야 국가연구개발사업의 포트폴리오 및 포지셔닝 분석	김무웅 김은중 조선자 홍지영	2022-03-22	비공개
309	2021년 하반기 BioINwatch Collection	김영철, 김무웅	2022-03-31	공개
310	2021 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	박성훈, 박수빈	2022-03-31	공개
311	Biotechnology in Korea 2022	이지현, 설민, 문성훈	2022-06-30	공개
312	2022년 상반기 BioINwatch Collection	김무웅	2022-08-30	공개
313	내 손 안의 바이오 통계	이송하 김무웅	2022-11-30	공개
314	2020년 기준 국내 바이오 중소·벤처기업 현황 통계	하선권 양준혁	2022-12-29	공개
315	2022년 하반기 BioINwatch Collection	이현희 김무웅	2023-02-07	공개
316	2022년 BioINpro 모음집	이현희 김무웅	2023-02-08	공개
317	2022년 BioINdustry 산업동향보고서	김무웅 외 7인	2023-02-09	공개
318	2023 바이오 미래유망기술	남연정 김무웅	2023-02-28	공개

♧ 국가생명공학정책연구센터 총서(비공개 제외)는 바이오인(http://www.bioin.or.kr)에서 다운로드하실 수 있습니다. ♧

필자	한국생명공학연구원
	남연정 국가생명공학정책연구센터 연구원 yjnam@kribb.re.kr / 042-879-8365
	김무웅 국가생명공학정책연구센터 책임연구원 moongkim@kribb.re.kr / 042-879-8375
	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

2023 바이오 미래유망기술 발굴

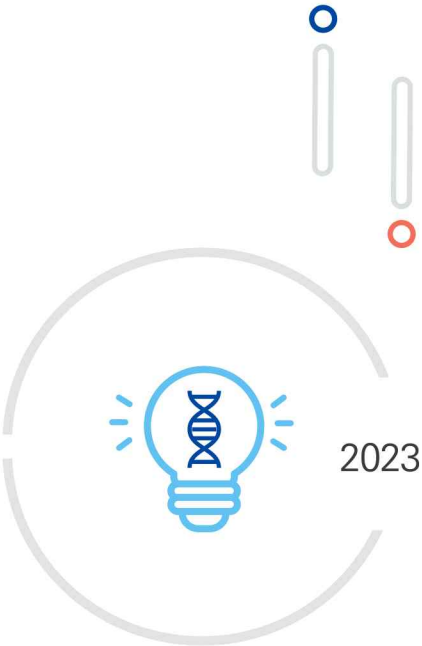
- Platform, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술 -

발 행 일 2023. 2. 28

발 행 인 김 장 성/한국생명공학연구원장

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

ISSN 2982-6284



2023 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

35
9 772982 628008
ISSN 2982-6284