

Biotechnology

2018
바이오 미래유망기술

2018. 1





<목 차>

1. 연구 배경 및 목적	1
가. 연구 배경 및 필요성	1
나. 국내·외 현황 및 사례	4
다. 연구 목적	9
2. 연구 범위 및 방법	10
가. 정의 및 추진방안	10
나. 단계별 연구 방법	12
3. 연구 결과	19
가. 2018 10대 바이오 미래유망기술 선정	19
나. 향후계획 및 기대효과	22
4. 참고문헌	23
[첨부] 2018 바이오 미래유망기술 설명자료.....	24

<표 목차>

[표 1] 바이오 미래유망기술 발굴 연구방법론 특징 비교	3
[표 2] 세계경제포럼 선정 10대 미래유망기술	4
[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술	5
[표 4] 주요 해외 미래유망기술 발표 현황	6
[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황	8
[표 6] 미래유망기술 파급효과 정의	10
[표 7] 미래유망기술 발굴을 위한 단계별 추진방안	11
[표 8] 참고문헌 분석을 위해 추출한 저널 목록 및 논문 개수	12
[표 9] 고인용성 분석을 위해 선정한 연구 분야 및 저널별 논문 개수	13
[표 10] 타분야 연관성 분석 기반의 혁신 시드(seed) 아이템(예시)	14
[표 11] 고인용성 분석 기반의 혁신 시드(seed) 아이템(예시)	14
[표 12] 미래유망 후보기술 도출 양식(예시)	14
[표 13] 2018 바이오 미래유망 후보기술	15
[표 14] 바이오 미래유망기술 설문조사 및 전문가 평가 결과	18
[표 15] 2018 10대 바이오 미래유망기술 주요 내용	19

<그림 목차>

[그림 1] 글로벌 바이오 시장의 급속한 성장	1
[그림 2] 바이오헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술	2
[그림 3] 바이오 미래유망기술 발굴 추진방안 변화	3
[그림 4] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교	9
[그림 5] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성	17
[그림 6] Core, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술	21
[그림 7] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안	22

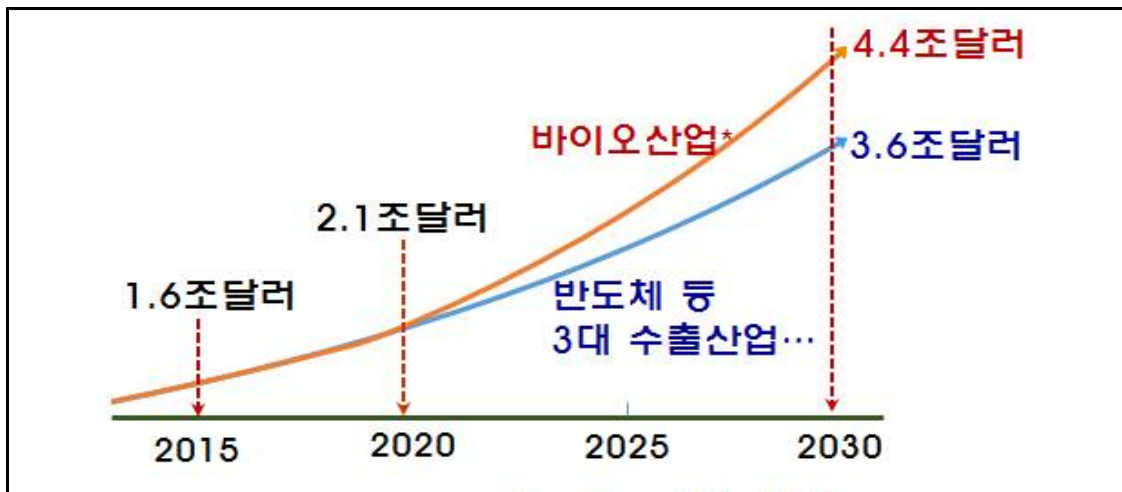
1. 연구 배경 및 목적

가. 연구 배경 및 필요성

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.

- Thomas Frey, *Communicating with the Future*, 2011

- 4차 산업혁명과 더불어 바이오기술을 이용하여 인류의 난제를 해결하고 경제성장을 이끌 새로운 경제 패러다임인 바이오경제시대¹⁾ 도래가 예상
 - 바이오기술은 고령화 대비, 질병 극복 등 건강한 삶을 유지하고, 풍요롭고 안전한 먹거리와 쾌적한 환경을 제공하여 인류의 복지와 경제성장을 동시에 달성할 것으로 전망
 - 향후 글로벌 바이오시장은 반도체, 자동차, 화학제품 등 국내 주요 3대 수출산업을 뛰어 넘어 시장 확대를 지속할 것으로 전망되며 이에 따라 바이오기술에 대한 수요가 증가할 것으로 예상



[그림 1] 글로벌 바이오 시장의 급속한 성장

출처 : 과학기술정보통신부, 제3차 생명공학육성기본계획 (2017)

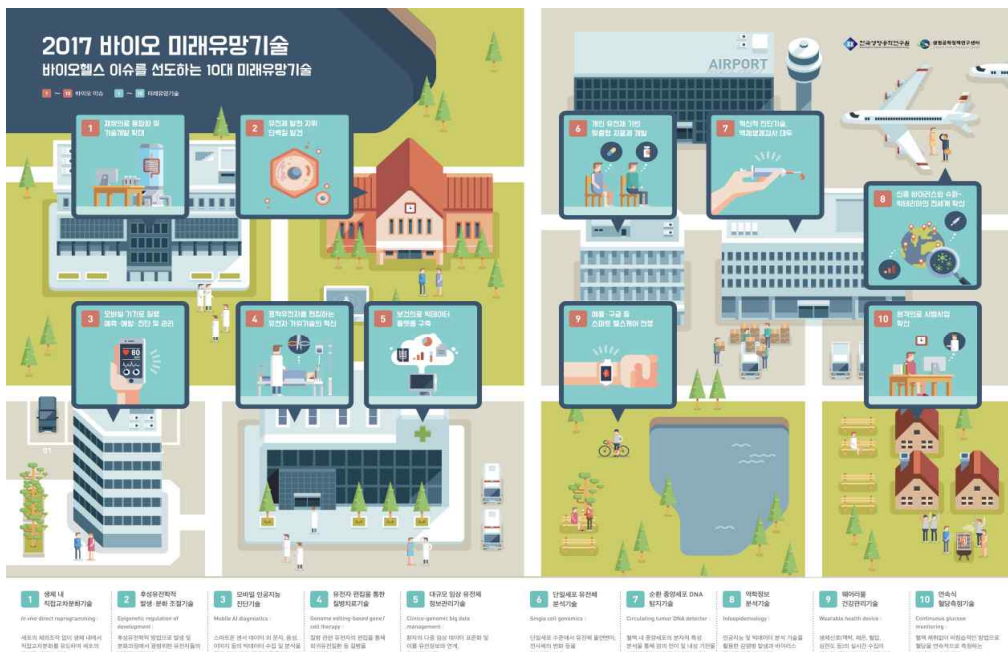
1) 바이오기술의 발전으로 신제품의 보급이나 서비스의 향상 등 글로벌 경제에 대규모 변화를 가져오고 이를 통해 인류에게 IT에 버금가는 편익을 가져다주는 다양한 경제활동을 포괄(OECD, *The Bioeconomy to 2030*, 2009)

□ 다가오는 바이오경제시대와 4차 산업혁명을 대비하여, 바이오 분야의 미래유망기술 발굴을 통해 국가경쟁력을 확보하는 것이 중요한 시점

○ 지난 해 생명공학정책연구센터는 미래환경, 메가트랜드 변화전망 속에서 국내이슈 분석에 따른 '바이오헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술' 발굴에 대한 연구결과를 발표

- 추격형 기술 보다 장기적 관점의 선도형 기술 발굴과 사회 이슈, 국내 경쟁력 등 현재 상황에 대한 고민을 위해 최근 바이오 뉴스 빅데이터 분석으로 이슈 도출

※ 과학기술적인 대응이 가능한 이슈에서 도출한 키워드를 활용하여 검색한 논문 키워드 분석을 통해 후보기술을 3배수로 도출, 기술성·경제성·이슈대응성을 고려하여 『바이오헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술』 선정



[그림 2] 바이오헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술

출처 : 생명공학정책연구센터, 2017 바이오 미래유망기술 발굴 (2016.12)

□ 생명공학정책연구센터는 지난 2015년부터 바이오 미래유망기술 발굴연구를 추진해오고 있으며, 세 번째 연구결과를 올해 발표

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

- 지난 2015년 미래유망기술 발굴방법은 기술융합형으로 추진하였으며, 2017년은 이슈대응형으로, 이번 2018년은 혁신발견형으로 정의하고 추진방법을 변화하여 연구 추진



[그림 3] 바이오 미래유망기술 발굴 추진방안 변화

[표 1] 바이오 미래유망기술 발굴 연구방법론 특징 비교

기술융합형	이슈대응형	혁신발견형
<ul style="list-style-type: none"> ▪ BT-ICT 융합 관점의 기술 선정 ▪ 타 기관과의 협력으로 긍정적 홍보 효과 및 차별성 확보 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오 뉴스 빅데이터 기반의 이슈 발굴 프로세스 확보 ▪ 대내외적인 이슈 기반으로 타당성 제시 가능 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미래 비전을 제시할 수 있는 혁신형 seed 발굴을 위한 분석 프로세스(타분야 연관성 및 고인용성) 확보 ▪ 현 시점의 이슈 중심이 아닌 향후 파급력을 가지게 되는 기술 발굴 가능

- 바이오 관련 핵심저널에 발표되는 중요 논문의 내용 분석 등 독창적, 기발한 최신 연구결과 모니터링 및 이의 파급력에 대한 전문가 심층 토론에 따른 미래유망기술 발굴 연구 방법론과 프로세스 수립
- 이를 위해 바이오 분야 최신 연구결과의 참고문헌 이종성 및 인용지수 분석을 진행하였으며, 분야별 전문가 대상의 심층 인터뷰를 통해 후보기술 도출
- 또한 후보기술에 대한 파급효과 평가를 위해 바이오정보 포털사이트인 바이오인(<http://www.bioin.or.kr>) 회원 등을 대상으로 설문조사 추진

나. 국내·외 현황 및 사례

- (국외) 세계경제포럼(WEF), MIT, 가트너(Gartner), 맥킨지(McKinsey), 테크캐스트(Techcast) 등에서 미래유망기술 또는 전략기술 발표
 - WEF²⁾는 가까운 미래에 삶을 개선시키고 산업을 변화시키며 지구를 보호할 수 있는 잠재력을 가진 것으로 전망되는 10대 기술 선정
 - 매년 10대 미래유망기술을 발표하며 연간 2~3개 정도의 바이오 관련기술을 포함
 - ※ 2016년부터 사이언티픽 아메리칸지와 공동으로 과학기술이 강조되고 있는 하계 다보스포럼과 연계해서 발표
 - 2017년 바이오 관련 미래유망기술 3개 : 액체 생체검사(Liquid biopsies), 인간세포 도감(The Human Cell Atlas), 게놈백신(Genomic vaccines)

[표 2] 세계경제포럼 선정 10대 미래유망기술

2015년	2016년	2017년
연료전지 자동차	나노센서와 나노 사물인터넷	액체 생검
차세대 로봇틱스	차세대 전지	물 획득 기술
재활용 가능한 열경화성 고분자	블록체인	시각 작업 딥 러닝
정밀한 유전공학 기술	2D소재	태양광이용 액체연료 제조기술
첨삭가공	자율주행자동차	인간 세포 도감
다가오는 인공지능	장기 칩	정밀농업
분산 제조업	페로브스카이트 태양전지	환경친화 이동수단 촉매
‘감지와 회피’ 드론	개방형 인공지능 생태계	게놈백신
뉴로모픽 기술	광유전학	공동생활권 디자인
디지털 게놈	시스템대사공학	양자컴퓨팅

출처 : 세계경제포럼, Top 10 Emerging Technologies

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

- 미국 MIT에서는 테크놀로지 리뷰(Technology Review)를 통해 경제, 정치에 영향을 미치며 의학을 향상시켜 우리 문화에 큰 변화를 가져올 수 있는 '2017년 10대 혁신기술' 발표
 - 2001년부터 매년 10대 혁신기술(10 Breakthrough Technologies)³⁾을 선정하여 발표
 - ※ 새로운 기술 출현의 마이크로 트렌드에 초점을 맞추어 전 세계적으로 연구가 진행되는 기술(IT, BT, ET 등) 중 향후 5년 안에 사회·경제적 파급효과가 큰 10대 기술을 선정
 - 2017년 바이오 관련 기술로는 마비역전기술(Reversing Paralysis), 유전자치료 2.0(Gene Therapy 2.0), 세포 지도(The Cell Atlas) 등 3개 선정

[표 3] MIT 선정 10대 미래유망기술

2015년	2016년	2017년
매직리프	면역공학	마비역전기술
나노 아키텍처	농작물 유전자 편집	자율주행 트럭
차량 간 소통기술	대화 인터페이스	얼굴인식 지불방법
프로젝트 룬	재사용 로켓	실용적인 양자 컴퓨팅
액체 생체검사	자율지능 로봇	360도 셀카
대규모 해수담수화	DNA 앱스토어	고온 태양전지
애플페이	솔라시티 '기가팩토리'	유전자 치료 2.0
뇌 오가노이드	업무용 메신저 '슬랙'	세포 지도
C4 광합성	테슬라 '자율 주행장치'	사물 봇넷
DNA 인터넷	공기 전력 공급	강화 학습

출처 : MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies

- (기타) 그 외 주요 해외 미래유망기술에 대한 발표 현황
 - 나라별, 지역별, 산업별 등 다양한 분야에 대해서 미래유망기술을 발표하는 추세이나 바이오 분야에 특화된 미래유망기술을 파악하여 발표하는 기관은 부재

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

[표 4] 주요 해외 미래유망기술 발표 현황

기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
세계경제 포럼 (WEF)	▪ [The list of Emerging Technologies] 삶의 질을 개선하고 풍요로운 삶을 영위하게 할 수 있으며 지구환경을 보호하는 잠재력이 있는 기술	2012년	1년
MIT	▪ [10 Breakthrough Technologies 2017] Technology Review를 통해 '2017 10대 혁신기술'을 발표	2011년	1년
유네스코 (UNESCO)	▪ [UNESCO Grand Prix (Netexplo Award)] 디지털 혁신의 최신동향에 대해 기술 선정 후 시상	2011년	1년
가트너 (Gartner)	▪ 미래 디지털 비즈니스와 생태계를 위한 기초 기술에 초점 (2018년)	2004년	1년
IDC	▪ [Worldwide Enabling Technologies and Semiconductors 2017 Top 10 Predictions] 글로벌 경영 전략 및 제품관리와 반도체 관련 기술 예측	2017년	
딜로이트 (Deloitte)	▪ [2018 Deloitte Global Technology, Media and Telecommunication Predictions] 본격적인 기계학습 도입에 대한 대한 전망과 기술	2000년	1년
Mashable	▪ [Huge Tech Trends to Watch] CES2018에서 발표되는 여러 가지 신기술	2011년	1년
IEEE	▪ [Top 10 Technology Trends for 2018] 지역사회에 정보를 제공하고 미래의 변화하는 기술환경에 대비하는 새로운 컴퓨팅 및 메모리기술	2014년	1년
테크스팟 (techspot)	▪ [7 Tech Predictions for 2018] 2018년 산업에서 중요한 발전을 가져올 것으로 기대되는 핵심 기술	2014년	1년
미국 NMC	▪ [2017 K-12 Edition] 향후 5년동안 테크놀로지 채택을 가속화할 핵심 트렌드 및 K-12 교육에 영향을 끼칠 중요 교육 기술	2014년	1년
WT VOX	▪ [Top 6 New Technology Comebacks In 2016] 선택 받지 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	
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 하고있는 회사와 기술 소개	2010년	
Verizon	▪ [7 trends driving enterprise IT transformation in 2018] IT 기반 글로벌브랜드, 정부기관이 더 나은 고객서비스를 제공하기 위한 기술 및 차별화 전략	2017년	
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 미래성장동력이 될 수 있는 8대 기술	2013년	

출처 : KISTEP, 2017년 KISTEP 10대 미래유망기술 선정에 관한 연구(2017.3)

□ (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 다양한 주제를 선정하고 우선순위 평가를 통해 미래유망기술을 발표
 - 2017년에는 내·외부 전문가 검토 과정을 거쳐 한국사회의 핵심이슈로 ‘생활공해와 환경오염’의 증가를 선정
 - ※ ‘지속가능한 발전을 위한 공해·오염 대응 10대 미래유망기술’ 발표
 - 바이오 관련 기술로는 크게 환경오염 이슈에서의 친환경 녹조·적조 제거 기술, 미생물 활용 환경복원 기술이 포함

- KISTI에서는 국내·외 유망기술에 대한 정보를 수집, 빅데이터 분석을 통해 주제에 걸맞는 우선순위 도출 및 유망기술 선정
 - 2017년에는 '4차 산업혁명과 미래유망기술'의 주제로 4차 산업혁명에 대응하기 위해 중소·중견기업이 주목해야할 미래유망기술을 발표
 - 바이오 관련 기술로는 바이오프린팅 분야 바이오잉크 기술 및 3D 바이오프린팅으로 제작된 인공장기와 조직 기술, 첨단 유전학 분야 휴먼 마이크로바이옴 분석기술 및 개인 유전자 분석 서비스 기술이 포함

[표 5] 주요 국내 미래유망기술 발표 현황

기관명	주요 내용	최초 발표	발표 주기
한국과학기술 기획평가원 (KISTEP)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ [2017년 KISTEP 10대 미래유망기술] 지속가능한 발전을 위한 공해·오염 대응 10대 미래유망기술 	2009년	1년
한국과학기술 정보연구원 (KISTI)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ [KISTI 미래유망기술] 4차 산업혁명과 미래유망기술 	2006년	1년
한국전자통신연구원 (ETRI)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ [ECOsight 2017: Socio-Tech 10대 전망] 기술과 사회의 구성 요소들 간의 충돌가능한 10대 이슈 선정 	2014년	1년
한국정보화진흥원 (NIA)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ [2017년 전자정부 10대 기술트렌드] 첨단기술 융합으로 지능화를 더하는 기술트렌드 	2015년	미정
한국생명공학연구원 (KRIBB)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2017 바이오헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술 	2015년	1년
한국전력공사 (KEPCO)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미래 유망전력 기술 후보 발표 	2014년	1년
중소벤처기업부 (구 중소기업청)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 중소·중견기업 기술로드맵 2017-2019 	2014년	1년
한국산업기술 평가관리원 (KEIT)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기술이슈 발간 (PD이슈리포트, 2017) 	2009년	상시
국립전파연구원 (RRA)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2025년 미래전파 기술수요 예측조사 	2013년	
특허청 (KIPO)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 특허 빅데이터로 찾은 미래 먹거리 기술 (2015) 	2006년	미정

출처 : KISTEP, 2017년 KISTEP 10대 미래유망기술 선정에 관한 연구(2017.3)

다. 연구 목적

- 차세대 성장동력 및 미래산업으로 인식되고 있는 바이오 관점의 미래유망기술 발굴 프로세스 구축 및 이를 활용한 미래유망기술 발굴
 - 국내외 주요 기관별 사례를 살펴보면 대상 기술은 과학기술 전분야 또는 ICT를 대상으로 하고 있으며 BT만을 대상으로 하는 사례는 전무
 - 주요국은 국가차원의 바이오경제 청사진을 마련하고, 유망 혁신기술의 선점과 시장 선도를 위한 경쟁이 이미 본격화

구분	KISTI	KISTEP	MIT	Gartner
대상기술	과학기술 전분야	과학기술 전분야	과학기술 전분야	ICT
선정방법	복합 (자체DB분석 + 전문가평가)	복합 (빅데이터 + 전문가평가)	미공개 (전문가 델파이로 추정)	전문가 리뷰
출현시기	장기 (10년)	단기 (3년)	중기 (5년)	단기 (3년)
특징	트렌드 관점 (국가적 미래상, 사회 메가트렌드, 기술 메가트렌드)	메가트렌드 관점 (사회 주요 이슈 해결 기술)	신기술 관점 (한번 등장한 기술은 다시 언급되지 않음)	시장 관점 (Hype curve 이용 제품의 수명주기 고려)

바이오 관점의 미래유망기술 도출 프로세스 구축을 통한 미래유망기술 발굴 필요

[그림 4] 미래유망기술 발표 국내·외 주요 기관별 비교

- 이에 본 연구에서는 바이오 분야의 연구개발을 선도할 수 있는 미래유망기술 도출 방법을 정립하고, 이를 통해 사회·경제적 혜택을 극대화할 수 있는 바이오 미래유망기술 발굴에 목적
 - 이를 통해 바이오 분야의 떠오르는 연구테마 및 신규 사업 아이템을 발굴하는 객관적인 방법론을 개발하여 국내 바이오 R&D의 추진방향 등 아이디어를 제공
 - 1차적으로 정책 입안자에게 한정된 BT분야 예산을 효율적으로 투입하여 성과를 극대화할 수 있는 유용한 정보를 제공
 - 2차적으로는 연구자들에게 미래니즈에 기반하여 기술개발에서 제품 및 서비스 연계까지 핵심기술 개발의 단초를 제공

2. 연구 범위 및 방법

가. 정의 및 추진방안

□ 2018 바이오 미래유망기술 정의

- BT를 기반으로 하여 향후 5~10년 이내에 기술적 실현이 가능하며 기술적 혁신성, 산업적 혁신성에 대한 파급효과가 높게 전망되는 기술
 - (바이오) 생명현상 연구(생명과학)를 기반으로,
 - (미래) 향후 5~10년 이내에 문제해결 또는 유용제품 생산에 활용되는 기술적 실현이 가능하며,
 - (유망기술) 기술적 혁신성, 산업적 혁신성에 대한 파급효과가 높게 예측되는 기술

[표 6] 미래유망기술 파급효과 정의

구분	정의
기술적 혁신성	▪ 관련분야의 기술발전을 혁신하거나 기술적 문제해결에 영향력 발휘
산업적 혁신성	▪ 관련분야의 산업발전을 혁신하거나 광범위한 산업적 영향력 발휘

참고 : 미래기술은 “예측활동”, (미래)유망기술은 “발굴활동”

◆ 아래의 구분에 따라 본 연구는 미래유망기술을 발굴하는 활동으로 정의

분야	미래기술	(미래)유망기술
정의	미래사회 패러다임 변화의 근간을 형성하는 기술(기술개발주체의 주관적 관점 없음)	기술개발주체에게 특정 미래시점에서 기회와 기대를 제공할 수 있는 기술
활동의 표현	“예측 활동”이라 불림	“발굴 활동”이라 불림
활동의 형태	이벤트성 활동이 많음	상시적인 정보 모니터링이 매우 중요
활동의 주체	주로 국가 단위	국가, 기업, 컨설팅업체 등 다양
미래 관점	최소 5년 후	내일부터

출처: KISTI, Technology Intelligence와 유망기술 센싱전략 발표자료(2014)

□ 2018 바이오 미래유망기술 발굴을 위한 추진방안 수립

- 혁신적 연구성과 분석을 통한 시드(seed) 아이템 추출 단계와 전문가 자문, 심층 인터뷰를 통한 미래유망 후보기술 도출 및 선정 단계로 구분하여 진행
 - (타분야 연관성) 의외(novel)의 지식조합에 의한 논문이 과학적인 영향력과 파급효과가 높다는 연구결과*를 참고, 이를 활용하여 혁신적인 연구성과 분석 방법을 수립
 - * Brian, U. *et al.*, Atypical Combinations and Scientific Impact. *Sci.* 342,468-472 (2013)
 - (고인용성) 최근 발표된 논문 중 피인용이 급격하게 증가한 논문 내 혁신적인 연구성과 모니터링

[표 7] 미래유망기술 발굴을 위한 단계별 추진방안

1단계 혁신적 연구성과 모니터링 (혁신형 seed 발굴)	[타분야 연관성] 주요 저널 논문의 참고문헌 이중성 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오분야 Nature 자매지 논문 추출 및 참고문헌 분류 (2016 ~ 2017.5) ↓
	[고인용성] Hot paper의 인용도 트렌드 분석	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오 관련 카테고리에 속해있는 비율 분석, 상위 논문을 선정하여 혁신형 시드(seed) 아이템 추출 ↓
2단계 미래유망기술 최종 선정 (설문조사 및 평가)	미래유망 후보기술 도출	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 분야별 전문가 자문회의 및 심층 인터뷰를 통해 미래유망 후보기술 도출 ↓
	미래유망 후보기술 1차 평가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오인 고객 대상 1차 설문조사 수행 ↓
	미래유망 후보기술 2차 평가	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1차 설문조사 결과를 참고하여 전문가 대상 2차 설문조사 수행 ↓
	미래유망기술 최종 선정	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1, 2차 평가결과 분석으로 미래유망기술 최종 선정

나. 단계별 연구 방법

1) 1단계 : 혁신적 연구성과 모니터링

- (타분야 연관성) 주요 바이오 저널에 발표된 논문의 참고문헌 이중성 분석을 통한 혁신 시드(seed) 아이템 추출
 - (분석 대상) 바이오 관련 Nature 자매지를 주요 바이오 저널로 설정하여 이들 저널에 발표된 논문을 대상으로 분석
 - Web of Science 데이터베이스를 이용하여 다양한 과학기술 분야를 포함하고 있는 Nature 자매지 가운데 바이오 관련 저널에 발표된 논문 (16.1~17.5, 1,640건)을 추출

[표 8] 참고문헌 분석을 위해 추출한 저널 목록 및 논문 개수

Nature 자매지 저널명	논문 개수	Nature 자매지 저널명	논문 개수
NATURE BIOTECHNOLOGY	143	NATURE IMMUNOLOGY	176
NATURE CELL BIOLOGY	160	NATURE MEDICINE	213
NATURE CHEMICAL BIOLOGY	232	NATURE NEUROSCIENCE	243
NATURE GENETICS	291	NATURE STRUCTURAL & MOLECULAR BIOLOGY	182
총 합계		1,640	

- (참고문헌의 이중성 분석) 추출된 논문의 참고문헌 이중성 분석을 통해 타분야 연관성이 높은 논문 선별
 - Web of Science 데이터베이스에 있는 전체 저널들을 바이오 분야(5,105개) 및 비(non)-바이오 분야(4,402개)로 구분
 - 추출한 논문의 참고문헌에 대한 바이오 분야 및 비(non)-바이오 분야 비율 산출

※ 산출식 :
$$\frac{\text{Non-Bio category 안 journal 개수}}{\text{Bio category 안 journal 개수} + \text{Non-Bio category 안 journal 개수}}$$

- (분석논문 선정) 저널별로 참고문헌의 비(non)-바이오 분야 비율이 높은 논문 상위 10개 선정
 - 참고문헌의 비(non)-바이오 분야의 비율이 10% 이상이 되는 논문 중 상위 10개를 추출하여 분석 진행
 - ※ 10개가 되지 않는 논문들은 해당하는 논문만 선별

□ (고인용성) 최근 발표된 논문 중 피인용이 급격하게 증가한 논문 내 혁신적인 연구성과 분석을 통한 혁신 시드(seed) 아이템 추출

○ (분석 대상) 2016~2017년 New Hot paper* 논문(2017.4 기준)

* Web of Science에서 최신 2년간 22개 분야의 상위 0.1% 인용도를 가지는 논문을 두 달에 한 번 조사해 선정

- Web of Science essential science indicators의 전체 분야 중 바이오 연관분야(15개)에 해당하는 논문(1,030개) 추출

[표 9] 고인용성 분석을 위해 선정한 연구 분야 및 저널별 논문 개수

저널 분야	논문 개수	저널 분야	논문 개수
AGRICULTURAL SCIENCES	28	MATERIALS SCIENCE	75
BIOLOGY & BIOCHEMISTRY	62	MICROBIOLOGY	18
CHEMISTRY	163	MOLECULAR BIOLOGY & GENETICS	47
CLINICAL MEDICINE	241	MULTIDISCIPLINARY	8
COMPUTER SCIENCE	36	NEUROSCIENCE & BEHAVIOR	45
ENGINEERING	147	PHARMACOLOGY & TOXICOLOGY	38
ENVIRONMENT/ECOLOGY	54	PLANT & ANIMAL SCIENCE	45
IMMUNOLOGY	23	총 합계	1,030

○ (분석논문 선정) Hot paper에서 혁신 시드(seed) 아이템 도출을 위해 분야별 피인용횟수가 높은 상위 10개 논문 선정

- 추출한 논문의 피인용횟수를 확인, 분야별 상위 10개를 추출하여 분석 진행

※ 10개가 되지 않는 논문들은 해당하는 논문만 선별

□ (혁신 시드 도출) 타분야 연관성과 고인용성으로 선별한 논문분석을 통해 혁신 시드(seed) 아이템 도출

○ 분야별 전문가, 시니어 사이언티스트 등 전문가와의 논의를 통해 미래유망 후보기술 도출의 아이디어로 활용될 수 있는 혁신 시드(seed) 아이템 도출

[표 10] 타분야 연관성 분석 기반의 혁신 시드(seed) 아이템(예시)

Journal 분야	논문 제목	혁신 시드(seed) 아이템
Nature Neuroscience	A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity	neuromarker, neuroimaging techniques
Nature Chemical Biology	Structural and functional insights into asymmetric enzymatic dehydration of alkenols	Bio-enzyme, Enzyme chain
Nature Biotechnology	Comprehensive analysis of protein glycosylation by solid-phase extraction of N-linked glycans and glycosite-containing peptides	Fast profiling of glycoproteins

[표 11] 고인용성 분석 기반의 혁신 시드(seed) 아이템(예시)

연구 분야	논문 제목	Journal 명	혁신 시드(seed) 아이템
Molecular Biology & Genetics	<i>in vivo</i> genome editing improves muscle function in a mouse model of duchenne muscular dystrophy	SCIENCE	<i>in vivo</i> genome editing , short palindromic repeats (CRISPR) - Cas9 system
Environment/ Ecology	Biophysical and economic limits to negative CO2 emissions	NAT.CLIM. CHANGE	climate change, CO2 estimation
Multidisciplinary	ZIKA virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids	SCIENCE	brain organoid, canceroid

2) 2단계 : 미래유망 후보기술 도출 및 미래유망기술 최종 선정

□ (미래유망 후보기술 도출) 분야별 전문가 자문회의 및 심층 인터뷰를 통해 미래유망 후보기술 도출

○ 분야별 전문가(내/외부) 및 시니어사이언티스트로 구성된 총 3개의 전문가 집단을 선정하여 전문가 자문회의를 개최

- 논문에서 도출한 혁신 시드(seed) 아이템 및 내용에 대해 기술적 혁신성과 산업적 혁신성을 평가하여 미래유망 후보기술을 도출

[표 12] 미래유망 후보기술 도출 양식(예시)

논문명	후보기술명	효과평가(1~10점)		활용영역
		기술적 혁신성	경제적 혁신성	
A neuromarker of sustained attention from whole-brain functional connectivity	신경/정신질환 맞춤형 뇌영상	9	3	심리학, 뇌과학
<i>in vivo</i> genome editing improves muscle function in a mouse model of duchenne muscular dystrophy	생체 내 유전자편집기술	7	7	유전자치료
ZIKA virus impairs growth in human neurospheres and brain organoids	오가노이드기반 생체모사기술	6	7	<i>in vivo</i> 검증

- 전문가 심층 인터뷰를 통해 각 분야별 2배수의 미래유망 후보기술 도출
 - 제3차 생명공학육성기본계획*의 바이오 분야별 분과와 연계, 코어 바이오(Core Bio), 레드바이오(Red Bio), 그린바이오(Green Bio), 화이트바이오(White Bio)로 구분**하여 후보기술을 각각 도출
 - * 생명공학육성법에 의거하여 관련 부처의 생명공학 육성계획을 총괄한 최상위 법정계획('17~'26)으로, 기본계획의 분과는 생명과학, Red바이오, Green바이오, White 바이오, 산업화(융합 신산업), 규제/인문 분야로 구분
 - ** 기본계획의 분야를 참고하여 기술의 특징별로 CoreBio(기초·기반, 플랫폼), Red Bio, Green Bio, White Bio로 구분하여 후보기술 도출기준 수립
 - 각 분야별로 코어바이오 6개, 레드바이오 6개, 그린바이오 4개, 화이트바이오 4개 총 20개의 2배수 미래유망 후보기술을 도출

(코어바이오, Core Bio) 기초·기반, 플랫폼 생명과학, (레드바이오, Red Bio) 의약품 등 보건의료, (그린바이오, Green Bio) 농림수축산·식품 및 바이오농업, (화이트바이오, White Bio) 산업공정/환경·해양 및 에너지, 소재 등 바이오화학

※ 융합개념을 포괄하여 각 분야별 바이오 미래유망기술을 도출

[표 13] 2018 바이오 미래유망 후보기술

코어바이오(Core Bio, 기초·기반, 플랫폼)
<ul style="list-style-type: none"> ○ 고속/대량 당쇄 합성 (High throughput glycomimics) <ul style="list-style-type: none"> - 인체 유래 당단백질의 구조와 동일한 형태의 당쇄를 고속/대량으로 합성하여 제작하는 기술 ○ 단일 뉴런 분석기술 (Single neuron analysis) <ul style="list-style-type: none"> - 단일뉴런의 유전자 발현, 단백질 결합, 연결성, 신경활성 변화 등을 종합하여 신경 조직 간 네트워킹을 파악하는 기술 ○ 대사체 재설계 분석 (Metabolomic reprogramming) <ul style="list-style-type: none"> - 체세포 리프로그래밍 등을 통해 인공적으로 생식세포(난자, 정자) 및 배아를 제작하는 기술 ○ 막단백질 구조 지도 (Membrane proteome structure map) <ul style="list-style-type: none"> - 항체의 주요 타겟이지만 정제가 어려워 많은 연구가 필요한 막단백질 구조의 전체상을 파악하는 기술 ○ 유전자 복원기술 (Genetic remediation) <ul style="list-style-type: none"> - 생태계 및 시스템 내에서 원치 않는 유전자 변이를 제거하여 유전적 기준선(genetic baseline states) 상태로 복원하는 기술 ○ 합성 배아 (Synthetic embryo) <ul style="list-style-type: none"> - 줄기세포를 이용하여 인공적으로 배아 및 배아성장에 필요한 태반과 유사 구조체를 제작하는 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 의약품질의 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

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 고부가가치를 생산하는 기술
- 환경오염물질 분해 마이크로바이옴 (Xenobiotics microbial ecosystem)
 - 박테리아, 나방 등의 분해효소를 활용하여 플라스틱, 비닐 등 환경 오염물질을 해결하는 기술

□ (미래유망 후보기술 평가) 설문조사 및 전문가 평가를 통해 20개 후보기술에 대한 평가

○ 바이오인 고객 대상으로 20대 후보기술에 대한 1차 설문조사 수행

- 각 기술별 기술적 혁신성, 산업적 혁신성에 대한 평가를 위해 설문조사를 진행

※ 설문조사는 바이오인 고객 대상으로 진행

2018 바이오 미래유망기술 발굴을 위한 설문조사

11 Core 바이오 분야 (기초·기반, 플랫폼 생명과학)

후보기술 및 기술설명	기술적 혁신성	혁신성 평가 (①:낮음 → ⑤:높음)				
		①	②	③	④	⑤
1. (후보기술) 인공배아 (Artificial human embryo) (기술설명) 줄기세포, 배세포 리프로그래밍 등을 통해 인공적으로 배아 및 배아성장체 필요한 태반 등을 제작하는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○
2. (후보기술) 막단백질 구조 지도 (Membrane proteome structure map) (기술설명) 항체의 주요 타겟이지만 정체가 어려워 많은 연구가 필요한 막단백질 구조의 정해상을 파악하는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○
3. (후보기술) 유전자 복원기술 (Genetic remediation) (기술설명) 시스템 내에서 원치 않는 유전자 조작을 제거하고 유전적 기준선 (genetic baseline states)로 복원하는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○
4. (후보기술) 고속/대량 당체분석 (High throughput glycomics) (기술설명) 생체 유래 당단백질의 구조와 동일한 형태의 당체를 고속/대량으로 합성하여 제작하는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○
5. (후보기술) 단일 뉴런 분석기술 (Single neuron analysis) (기술설명) 단일 뉴런의 유전자 발현 프로파일, 단백질 결합양상, 신경활성 변화 등을 분석하여 신경조직 간 네트워크를 파악하는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○
6. (후보기술) 대사체 재설정 분석 (Metabolic reprogramming) (기술설명) 세포 내 대사체 변화에 따른 세포기능 변이를 분석하고, 이를 토대로 세포 재설정 (운행전환)까지 유도할 수 있는 기술	기술적 혁신성 산업적 혁신성	○	○	○	○	○

[그림 5] 바이오인 고객 대상 설문조사 내용 구성

- 1차 설문조사 결과를 참고하여 전문가 대상 2차 설문조사 수행
 - 1차 설문조사 결과를 제시한 상태에서 미래유망 후보기술 도출에 참여한 전문가 집단을 대상으로 2차 설문조사를 수행
- (미래유망기술 선정) 1, 2차 설문조사를 통해 미래유망기술 최종 선정
 - 바이오인 고객 대상 1차 설문조사 결과와 전문가 집단 대상 2차 설문조사 결과를 합산하여 최종 10대 바이오 미래유망기술 선정

[표 14] 바이오 미래유망기술 설문조사 및 전문가 평가 결과


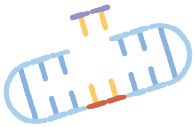
분야	후보기술명	기술적 혁신성	산업적 혁신성	평균
코어 바이오 Core Bio	유전자 복원기술 (Genetic remediation)	3.96	4.04	8
	합성배아 (Synthetic embryo)	4.02	3.53	7.55
	단일 뉴런 분석기술 (Single neuron analysis)	3.95	3.48	7.42
	대사체 재설계 분석 (Metabolomic reprogramming)	3.79	3.5	7.3
	막단백질 구조 지도 (Membrane proteome structure map)	3.56	3.32	6.88
	고속/대량 당쇄 합성 (High throughput glycomimics)	3.36	3.51	6.87
레드 바이오 Red Bio	생체 내 유전체 편집기술 (in vivo Genome editing)	4.25	4.19	8.44
	차세대 항암백신 (Next generation cancer vaccine)	3.65	4.26	7.91
	오가노이드 기반 생체모사기술 (Organoids-based biomimetics)	3.78	3.69	7.47
	신경/정신질환 맞춤형 뉴로이미징 (Neuroimaging for psychiatry)	3.54	3.68	7.22
	약물전달 3D 프린팅 기술 (3D-printed drug delivery system)	3.19	3.71	6.91
	오픈소스 신약발굴기술 (Open source drug discovery)	3.35	3.41	6.76
그린 바이오 Green Bio	유전체 편집 기반 양적형질 조절기술 (QT engineering by genome editing)	3.64	3.69	7.34
	식품 유해성분 동시검출 센서 (Simultaneous detecting sensor)	3.19	3.8	6.99
	식물공장형 그린백신 (Plant-based vaccine production in plant factory)	3.32	3.65	6.97
	인공육류 생산기술 (Artificial meat production)	3.01	3.22	6.22
화이트 바이오 White Bio	탄소자원화 광합성세포공장 (Carbon utilizing photosynthetic cell factory)	3.55	4	7.55
	인공효소 체인 (Artificial enzyme chain)	3.71	3.8	7.52
	환경오염물질 분해 마이크로바이옴 (Xenobiotics microbial ecosystem)	3.53	3.96	7.49
	유전자 드라이브기술 (Gene drive)	3.55	3.28	6.83

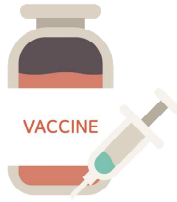


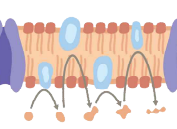
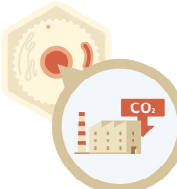
3. 연구 결과

가. 2018 바이오 10대 미래유망기술 선정

- 바이오 전 분야를 선도한다는 관점에서 Core, Red, Green, White Bio 분야별 미래유망기술 도출

[표 15] 2018 10대 바이오 미래유망기술 주요 내용

분야	미래유망기술 주요 내용	
코어 바이오 Core Bio	단일뉴런 분석기술 (Single neuron analysis)	
		<ul style="list-style-type: none"> ▷ 단일뉴런의 유전자 발현, 단백질 결합, 연결성, 신경활성 변화 등을 종합하여 신경조직 간 네트워킹을 파악하는 기술 ▷ 개별뉴런을 표식하고 각각의 활동양상을 분석할 수 있는 틀을 제공하여 복잡한 뇌 기능 이해 및 활용에 기여
	유전자 복원기술 (Genetic remediation)	
		<ul style="list-style-type: none"> ▷ 생태계 및 시스템 내에서 원치 않는 유전자 변이를 제거하여 유전적 기준선(genetic baseline states) 상태로 복원하는 기술 ▷ 유전자 편집기술의 과용 및 오용으로 유발될 수 있는 유전자 풀(pool)의 비의도적 변화를 막고 보다 안전한 유전자 편집 시스템 활용 가능
	합성배아 (Synthetic embryo)	
		<ul style="list-style-type: none"> ▷ 줄기세포를 이용하여 인공적으로 배아 및 배아성장에 필요한 태반과 유사 구조체를 제작하는 기술 ▷ 실제 배아를 사용하지 않고 발생과정을 연구할 수 있는 실험체를 제작하여 발생 및 불임 연구 가능
레드 바이오 Red Bio	생체 내 유전체 편집기술 (in vivo Genome editing)	
		<ul style="list-style-type: none"> ▷ 유전자 가위기술을 이용하여 개체 내 세포를 대상으로, 그 내부의 특정 유전자를 편집하여 질병을 치료하는 기술 ▷ 근본적인 해결책이 없는 희귀유전질환이나 치료효율이 낮은 난치질환에 대해 효과적인 치료법 제공
	오가노이드 기반 생체모사기술 (Organoids-based biomimetics)	
	<ul style="list-style-type: none"> ▷ 줄기세포, 3D 프린팅기술 융합 등을 통해 제작된 오가노이드를 이용하여 복잡한 생체시스템(순환계, 신경계, 소화계, 개체 전체 등)을 모사하는 기술 ▷ 기초연구, 신약개발, 장기대체 치료법에 이르기까지 인간화 모델 시스템에서의 효과적인 연구 가능 	

	<div data-bbox="363 275 1286 331" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 차세대 항암백신 (Next generation cancer vaccine) </div> <div data-bbox="363 338 571 609" style="text-align: center;">  <p>VACCINE</p> </div> <div data-bbox="576 338 1359 609"> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 활성이 없는 다양한 암 유발 바이러스 인자들의 동정과 분석에 관한 빅데이터를 통해 고효율의 암 발생 예방 및 치료적 접근이 가능한 백신물질을 개발하는 기술 ▷ 다양한 바이러스 유래의 암 발생을 근본적으로 차단하고, 발생된 암에 대한 면역증강을 통해 항암제 유래의 부작용 감소 가능 </div>
그린 바이오 Green Bio	<div data-bbox="363 629 1286 685" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 식품 유해성분 동시검출 센서 (Simultaneous hazards-detecting sensors) </div> <div data-bbox="363 692 571 907" style="text-align: center;">  </div> <div data-bbox="576 692 1359 907"> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 식품 내 미량 포함된 인공색소, 중금속, 마이코톡신, 환경 호르몬 등을 동시에 검출하는 기술 ▷ 식품의 보관·운송·판매 단계에서 손쉽게 다양한 유해물질의 정량측정을 가능하게 하여 안전한 먹거리 검증에 기여 </div> <div data-bbox="363 913 1286 969" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 유전체 편집 기반 양적형질 조절기술 (QT engineering by genome editing) </div> <div data-bbox="363 976 571 1281" style="text-align: center;">  </div> <div data-bbox="576 976 1359 1281"> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 양적형질(quantitative traits)*에 관여된 여러 개의 타겟 유전자를 동시에 편집하여 동·식물의 형질을 강화/개량하는 기술 * 무게, 길이, 생산성 등의 형질에 여러 개의 유전자가 관여하여 각 유전자의 기능이 잘 드러나지 않는 형질 ▷ 혁신적으로 육종기간이 단축될 수 있고, 전통적인 방법으로 불가능했던 형질 도입이 가능 </div>
화이트 바이오 White Bio	<div data-bbox="363 1301 1286 1357" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 인공효소 체인 (Artificial enzyme chain) </div> <div data-bbox="363 1364 571 1615" style="text-align: center;">  </div> <div data-bbox="576 1364 1359 1615"> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 세포 내 연쇄반응인 생합성 대사경로를 이용, 인공적으로 합성한 체인형식의 효소 연쇄반응 공정을 통해 바이오연료 및 다양한 소재 생산효율을 극대화하는 기술 ▷ 분리정제가 필요 없는 다중효소반응으로 생산공정의 효율성과 생산성을 획기적으로 향상하는 데에 기여 </div> <div data-bbox="363 1621 1286 1677" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> 탄소자원화 광합성 세포공장 (Carbon utilizing photosynthetic cell factory) </div> <div data-bbox="363 1684 571 1906" style="text-align: center;">  </div> <div data-bbox="576 1684 1359 1906"> <ul style="list-style-type: none"> ▷ 이산화탄소 저감 및 탄소자원화 능력을 갖는 광합성 세포공장 시스템을 구축, 이를 활용하여 고부가 소재를 생산하는 기술 ▷ 급변하는 기후변화에 대응하여 지속가능한 차세대 바이오 연료 및 탄소자원 공급원으로 활용 가능 </div>

※ 각 분야에 대한 융합개념을 포괄하여 미래유망기술을 도출

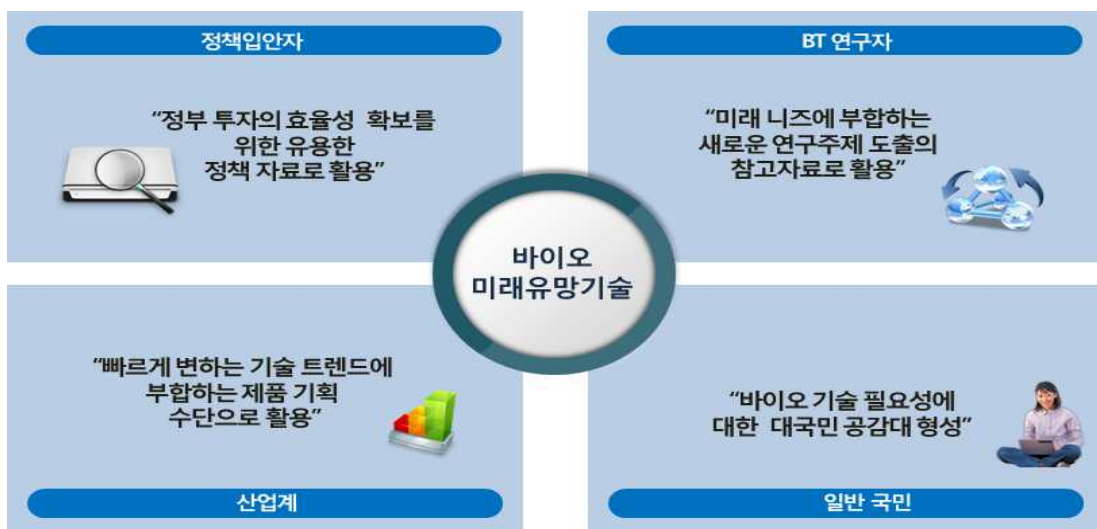
- Core, Red, Green, White Bio로 살펴본 2018 바이오 미래유망기술의 인포그래픽
 - 세포의 이미지를 형상화하여 기초·기반/플랫폼에 해당하는 Core Bio는 세포의 핵과 같이 표현
 - 다양한 산업적 활용범위를 보이는 Red, Green, White Bio는 세포의 핵 외부를 둘러싸며 상호연계되는 의미로 표현



[그림 6] Core, Red, Green, White Bio로 살펴본 10대 미래유망기술

나. 향후계획 및 기대효과

- 글로벌 바이오경제 주도권 확보를 위해 미래수요를 분석하는 데 필요한 바이오 미래유망기술 연구방법론 구축과 그 연구결과로서 바이오 미래유망기술을 제시하고자 노력
 - 이를 위해 생명공학정책연구센터는 바이오 분야의 미래유망기술 발굴에 있어 다양한 접근방법을 통해 연구를 추진하고자 계획
 - 이번 연구에서는 소주제로 분야를 구분해서 기술을 선별하는 방법론을 적용하였으며, 차기 소주제를 선정하는 부분에 있어서도 선도적인 R&D를 진행할 수 있는 방향으로 검토할 예정
 - 다양한 의견을 수렴하기 위한 바이오인 고객 대상 설문조사 및 전문가 평가에서도 향후 연구에서는 규모를 확대시키고 더 발전적인 방법으로 개선 예정
 - 위와 같은 보완사항을 차기 연구방법에 반영하여 연구목적에 부합하는 결과를 확보하기 위해 지속적으로 연구를 추진할 계획
- 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과는 바이오경제시대가 가져올 혁신 패러다임에 대응하기 위한 R&D 연구개발 방향 제시에 유용하게 활용될 수 있기를 기대
 - 더 나아가 새로운 연구주제 도출 및 기술개발 육성, 사업 기획, 대국민 공감대 형성 등 다양한 곳에서 활용될 수 있을 것으로 예상



[그림 7] 바이오 미래유망기술 발굴 연구결과의 활용방안

4. 참고문헌

- 1) Thomas Frey, *Communicating with the Future*, 2011
- 2) OECD, *The Bioeconomy to 2030 : Designing a Policy Agenda*, 2009
- 3) 과학기술정보통신부, 제3차 생명공학육성기본계획, 2017
- 4) 생명공학정책연구센터, 2015 바이오 미래유망기술 발굴, 2015
- 5) 생명공학정책연구센터, 2017 바이오 미래유망기술 발굴, 2017
- 6) World Economic Forum, *Top 10 Emerging Technologies*, 2017
- 7) MIT Technology Review, *10 Breakthrough Technologies*, 2017
- 8) KISTEP, 2017년 KISTEP 10대 미래유망기술 선정에 관한 연구, 2017
- 9) KISTI, *Technology Intelligence와 유망기술 센싱전략 발표자료*, 2014

첨부 **2018 바이오 미래유망기술 설명자료**

기술명	단일 뉴런 분석기술 (Single neuron analysis)					
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 단일 뉴런의 유전자 발현 프로파일, 단백질 결합양상, 연결성, 신경활성 변화 등을 종합하여 신경조직 간 네트워킹을 파악하는 기술 ▪ (장점) 개별 뉴런을 표식하고 각각의 활동 양상을 분석할 수 있는 틀을 제공, 복잡한 뇌 기능을 이해하고 활용하는데 기반이 됨 					
실현 시기	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="background-color: #e0e0e0; text-align: center;">~2023년(향후 5년)</th> <th style="background-color: #e0e0e0; text-align: center;">~2028년(향후 10년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자/단백질 수준에서의 발현 프로파일링 완료 ▪ 개별뉴런 표지법, 활성 분석법 대두 </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 뉴런연결성 파악 기술 확립 ▪ DB구축으로 개별뉴런 수준 뇌기능 파악 기반 마련 </td> </tr> </tbody> </table>		~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자/단백질 수준에서의 발현 프로파일링 완료 ▪ 개별뉴런 표지법, 활성 분석법 대두 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 뉴런연결성 파악 기술 확립 ▪ DB구축으로 개별뉴런 수준 뇌기능 파악 기반 마련
~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자/단백질 수준에서의 발현 프로파일링 완료 ▪ 개별뉴런 표지법, 활성 분석법 대두 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 뉴런연결성 파악 기술 확립 ▪ DB구축으로 개별뉴런 수준 뇌기능 파악 기반 마련 					
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 단일뉴런 유전자 프로파일링 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 전체뉴런의 유전자 발현 프로파일링 및 정보 분석기술 ▪ 단일뉴런 표지 및 활성 측정기술 <ul style="list-style-type: none"> - 기능성 단일뉴런 표지기술 및 신규 동물모델 개발기술 ▪ 단일뉴런 신경연결망 분석기술 <ul style="list-style-type: none"> - 개별뉴런 수준에서의 바코드 기법 및 신경연결성-유전자 통합정보 구축기술 ▪ 단일뉴런 정보 통합 네트워크 분석기술 <ul style="list-style-type: none"> - 단일뉴런 활성 및 신경연결망 정보 통합기술 - AI 등을 활용한 뇌 전체의 네트워크 활성 분석기술 					
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 복잡한 뇌의 기능을 단일세포 수준에서 이해하는 것은 뇌의 작동원리를 밝히는 근원적 정보를 제공할 것으로 예상 <ul style="list-style-type: none"> - 뇌 모사 AI 개발, 네트워크 이론 확립 등 기술적 진전 요구 ▪ (경제적 니즈) 뇌기능의 이해와 정밀한 뇌연결성 정보 획득은 전자약과 같은 신개념 뇌질환치료에 활용될 가능성 농후 ▪ (사회적 니즈) 뇌 정밀의학의 발전으로 사회적 문제 해결에 직접적으로 기여 <ul style="list-style-type: none"> - 뇌의 기능에 대한 정밀한 이해를 통한 뇌 code(유전자 code)의 규명을 통해 사회적 변화를 일으킬 것으로 예상 					
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 단일세포 유전자 프로파일링 기술의 적용을 통하여 세계 여러 그룹에서 뇌 일부 부위를 구성하는 전체 뉴런의 유전자발현 분석 성공 ▪ 3개 유전자 발현의 통합 조절을 통하여 소그룹의 뉴런을 표지하는 기법이 마우스 모델에서 성공 ▪ 바코드 기술을 활용한 개별뉴런 신경연결망에 대한 분석은 실험적으로 증명된 바 없으나, 개념 수준에서의 제안은 이루어진 상태 				

	<p>국내 동향</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내에서 단일뉴런 수준의 분석을 시도하는 연구진은 존재하나, 뚜렷한 업적이 도출된 세계적인 팀 부재 ▪ KIST의 기능커넥텀 연구센터, 한국뇌연구원 등이 뇌지도 구축을 위한 국내 센터로서 관련 연구를 주도
<p>기대 효과</p>	<p>경제·산업적 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 신경변성질환 시장은 '12년 88억 달러(약 9.6조 원)에서 '18년에는 110억 달러(약 12조 원)로 성장할 것으로 전망 * 출처 : ETRI, ECOsight 3.0: 미래기술 전망, 2015 ▪ 뇌신경계 질환으로 인한 경제적 부담은 암의 7배, 당뇨병의 10배에 해당 - 뇌신경계 의료시장 규모는 총 1,305억 달러(약 150조원) 규모로 확대 추세 * 출처 : ETRI, ECOsight 3.0: 미래기술 전망, 2015
	<p>사회적 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 뇌의 작동원리 이해는 궁극적으로 인간의 '마음'에 대한 과학적 해명이 될 것이며, 이는 진화론 이래 과학적인 발견이 시대정신에 반영되어 역사를 바꾸는 대표적인 사건이 될 것임
<p>필요 사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개별 뉴런의 정보를 DB화해야 하므로 기술 개발 자체는 창의성 높은 연구에 의해 발전하나, 궁극적으로는 거대 글로벌 연구콘소시엄의 구축이 필요 ▪ 개별 뉴런의 정보 통합을 위한 정보과학의 발전이 요구 	

기술명	유전자 복원기술 (Genetic remediation)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 생태계 및 시스템 내에서 원치 않는 유전자 변이를 제거하여 유전적 기준선(genetic baseline states) 상태로 복원하는 기술 ▪ (장점) 유전자 편집기술의 과용 및 오용으로 유발될 수 있는 유전자 풀(pool)의 비의도적 변화를 막고 보다 안전한 유전자편집 시스템 활용이 가능 	
실현 시기	<p style="text-align: center;">~2023년(향후 5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gene drive기술을 통해 개발된 모기의 환경영향평가 지속 ▪ 유전자편집 스위치 기술 개발 	<p style="text-align: center;">~2028년(향후 10년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Gene drive 기술을 활용해 병해충을 막을 수 있는 다양한 개체의 개발 및 상용화 ▪ 유전자 복원을 통해 노화 및 암 발생을 줄일 수 있는 기술의 등장
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스위치형 유전자가위 기술 <ul style="list-style-type: none"> - anti-CRISPR을 활용한 유전자편집능의 제어, 유전자가위의 시공간적 (spatiotemporal) 조절 기술 - 가역적 유전자편집 시스템 및 복구 시스템 ▪ 초정밀 유전자분석 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 단일세포/단일분자 유전자분석 시스템 - 착상전 유전검사 (Pre-implantation genetic test) ▪ 오프타겟 조절기술 <ul style="list-style-type: none"> - 의도되지 않은 타겟의 유전자편집을 측정하고 조절하는 기술 - eSpCas9, HF-Cas9 등 zero-오프타겟형 유전자가위 및 유전자 돌연변이 모니터링 시스템 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 유전자가위의 오프타겟 효과에 의한 의도되지 않은 유전자변형체 발생의 통제 필요 대두 - 유전자가위 활성 조절 실패 및 불확실성으로 인한 키메라(chimera)의 탄생 ▪ (경제적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 노화 및 발암을 막거나 지연시킬 수 있는 신개념 기술 등장에 대한 요구 - 유전자 보존에 대한 보다 효과적인 기술 등장 필요성 대두. ▪ (사회적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 유전자변형에 대한 사회적 거부감의 존속 및 확대와 보다 안전하고 깨끗한 환경에 살고자하는 욕구의 확대 - 생물다양성 보존을 통해 인간과 자연이 공존하는 사회의 형성 필요성 대두 	
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 2003년 영국 진화생물학자인 Austin Burt에 의해 gene drive의 개념 제시 <ul style="list-style-type: none"> - 크리스퍼 개발 초기 연구팀 (7개팀)은 “Safe Genes”프로그램을 통해 유전자편집 기술의 무분별한 사용과 이로 인한 생태계 교란 및 위험성을 막기 위한 연구개발 돌입 ▪ 동물종 및 식물을 대상으로 하는 유전자편집의 시행 <ul style="list-style-type: none"> - Rat, 개, 고양이, 돼지, 원숭이 등 거의 모든 동물종을 대상으로 하는 유전자편집기술 개발 돌입

		<ul style="list-style-type: none"> - 버섯, 사과, 토마토 등 유전자 편집된 농산물 미국 농무부에 의해 상업적 승인 ▪ 2013년 개발된 크리스퍼 기술에 의해 gene drive 기술이 구현될 수 있음이 2016년 Nature Biotechnology에 소개 - Esvelt연구팀, 수학적모델을 통해 크리스퍼 기술에 의해 변종이 일어날 가능성 높다는 결과를 'biorxiv'에 공개 - 2016년 미 국가정보국, 유전자 드라이브와 같은 유전자 편집기술을 '대량살상무기 위협군'에 포함
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Digenome-seq 기술을 통해 off-target을 측정할 수 있는 기술 개발 (IBS) ▪ 2015년 과기정통부 주도로 유전자편집기술을 대상으로 한 기술영향 평가 수행 - Gene drive가 사회, 경제, 산업에 미치는 영향에 대한 고찰 포함 ▪ GMO에 의한 Gene drive를 막기 위해 아시아·태평양 9개 전문가회의 개최 * 바이오안전성정보센터 주최
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 글로벌 크리스퍼 시장은 2014년 약 2억 달러(0.2조 원) 규모에서 2022년에는 23억 달러(2.5조 원) 규모로 확대될 전망 * 출처 : 생명공학정책연구센터, 글로벌 크리스퍼 시장 현황 및 전망, 2016 ▪ 2010년도부터 2014년도까지 유전자 가위기술의 평균연간성장률은 41%이며 3세대 기술의 경우 136%로 가장 높은 것으로 보고 * 출처 : Boston Consulting Group, Rewriting The Book Of Life: A New Era in Precision Gene Editing, 2015
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자편집 기술에 대한 신뢰성 제고의 기회가 됨 ▪ 보다 깨끗하고 안전하며 다양한 생물체가 공존하는 환경 구현에 도움
필요 사항		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 애플라, 지카 바이러스 등에 의한 감염을 현장에서 파악할 수 있는 유전자 편집기반 분자진단 기술 개발 투자 필요 ▪ Gene drive에 대한 국내 전문 연구그룹의 형성 및 통제된 환경에서의 영향 평가 수행 필요

기술명	합성배아 (Synthetic embryo)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 줄기세포를 이용하여 인공적으로 배아 및 배아성장에 필요한 태반과 유사 구조체를 제작하는 기술 ▪ (장점) 실제 배아를 사용하지 않고 발생과정을 연구할 수 있는 실험체를 제작하여 발생 및 불임 연구 가능 	
실현 시기	<p style="text-align: center;">~2023년(향후 5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 배아의 초기 발생과정을 실험실 환경에서 모사 가능 ▪ 신약의 발생독성을 확인하여 보다 안전한 약물을 개발 가능 	<p style="text-align: center;">~2028년(향후 10년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 배아의 성장을 실험실 환경에서 구현 ▪ 초기발생수준의 특정장기 생성
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인공배아 제작기술 <ul style="list-style-type: none"> - 만능줄기세포 배양, 3차원 구조체로의 분화기술 및 영양막 줄기세포 (trophoblast stem cells) 분화기술 - 3차원 구조체 배양을 위한 기질 제작 기술과 인간 인공배아 제작 기술 ▪ 초기발생 제어 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 유전자조작을 통해 특정 초기발생단계 세포로 분화를 조절하는 기술 - 인공배아의 분화방향을 조절하는 기술 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 최근 소형화된 장기유사체를 만들 수 있는 기술이 각광받고 있으며, 인간발생에 대한 근본적인 연구에 대한 필요성 대두 ▪ (경제적 니즈) 인공배아의 연구를 통해 임신과 출산과 관련된 문제 및 재생 의학적 치료에 대한 장기 개발에 대한 필요성 급증 ▪ (사회적 니즈) 사회가 고령화되고 출산의 시기가 늦어지면서 임신과 출산에 대한 어려움을 겪는 환자 증가 	
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 영국 캠브리지 연구팀은 생쥐의 배아줄기세포와 영양막줄기세포를 3차원 기질하에서 결합하여 초기발생과정을 관찰 ▪ 미국 록펠러 대학 연구팀은 상기의 생쥐에서의 연구를 인간세포로 재현하기 위한 연구를 수행 중 ▪ 미시간대학교 팀은 인간만능줄기세포를 이용하여 양막의 형성과 배반엽상층 (epiblast)의 형성과정을 관찰
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현재까지 국내에서 인공배아에 대한 연구결과 부재
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 글로벌 줄기세포 시장은 2017년 628억 달러(약 68조 원) 규모를 형성, 향후 빠르게 성장하여 2025년 3,944억 달러(약 429조 원) 규모로 성장할 전망 - 줄기세포 기술 관련 임상시험 증가, 줄기세포 기반 신약개발 활성화 등의 추세로 연평균 성장률 25.8%('17~'25)로 꾸준히 확대될 전망 <p>* 출처 : 생명공학정책연구센터, 글로벌 줄기세포 시장 전망 2017-2025 (하), 2017</p>

	<p>사회적 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인간 초기발생에 관련된 연구를 가능하게 하는 새로운 방법론을 제시함으로써 임신 및 발생결함으로 인한 문제를 극복할 수 있는 가능성 제시 ▪ 각종 신약들의 발생독성을 확인할 수 있는 도구로 활용되어 신약의 안전성을 증진 ▪ 특정한 방향으로 발생 및 분화를 조절함으로써 재생의학적으로 필요한 장기를 개발할 수 있는 가능성 제시
<p>필요 사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 인공배아를 만들어 낼 수 있는 줄기세포 기술 및 기질 제작기술이 필요 ▪ 인공배아와 실제 배아의 유사성 및 가능한 윤리적 이슈 논의가 필수적으로 요구 	

기술명	생체 내 유전체 편집기술 (<i>in vivo</i> genome editing)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 유전자 가위기술을 이용하여 개체 내 세포를 대상으로, 그 내부의 특정 유전자를 편집하여 질병을 치료하는 기술 ▪ (장점) 근본적인 해결책이 없는 희귀유전질환이나 치료효율이 낮은 난치질환에 대해 효과적인 치료법 제공 	
실현 시기	<p style="text-align: center;">~2023년(향후 5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 최초의 <i>in vivo</i> 치료 임상시험인 Hunter증후군 치료제의 임상완료 ▪ 간질환, 근육질환, 청각장애 등에 대한 임상시험 실시 ▪ 다양한 유전질환에 대한 전임상 시도 	<p style="text-align: center;">~2028년(향후 10년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ <i>in vivo</i> 치료제 5건 이상 임상승인 ▪ 유전자교정 아기의 탄생 (단, 법적 문제가 해결될 경우)
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 효과적인 유전자가위 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 ZFN, TALEN, CRISPR 기술의 유전자편집 효율 및 HDR을 이용한 유전자 교정 효율의 향상 - 새로운 차세대 유전자가위 기술의 개발 ▪ <i>in vivo</i> gene delivery 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 다양한 serotype의 AAV 계열 벡터를 이용한 유전자삽입 및 유전자 전달 - 효과적인 packaging을 위한 유전자가위 소형화 기술 - non-viral delivery 기술 개발 (lipid, electroporation, hydrodynamics, chemicals 등) ▪ Off-target 조절기술 <ul style="list-style-type: none"> - eSpCas9, HF-Cas9 등 엔지니어링된 유전자가위 - Base editor를 사용하여 DNA 절단없이 특정 염기만을 교정하는 기술 * 의도되지 않은 타겟의 유전자편집을 막는 치료제의 안전성 확보 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 치료책이 없거나 대증요법에 의존하고 있는 희귀유전질환에 대한 근본적인 치료법 요구 증가 - 기존 약물치료 방법으로는 큰 효과를 보기 어려운 난치성질환*에 대해 보다 높은 치료효과를 보이는 치료제의 요구 상존 * 말기암 등 - 보다 안전한 유전자가위 기술에 대한 요구와 기술적 발전 필요성 대두 ▪ (경제적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 혈우병, 유전성 빈혈 등 비교적 발생비율이 높은 유전성 질환을 중심으로 큰 시장이 확보 - 유전자가위 기술 조기 상용화가 관련 시장을 선점할 수 있는 기회 ▪ (사회적 니즈) <ul style="list-style-type: none"> - 희귀유전질환 및 난치질환에 대한 해결책 제시를 통해 보건의료 취약 계층의 삶의 질 제고와 보건 향상에 기여 - 유전질환의 되물림을 막을 수 있는 기회로 인식 	

기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세계적으로 다양하게 유전자편집기술에 대한 임상시험계획을 진행 <ul style="list-style-type: none"> - (미국) Sangamo사에서 ZFN을 활용한 최초의 in vivo치료 임상진행 (Hunter증후군), NIH에서 3세대 유전자가위기술 CRISPR 기반 임상 시험 계획 승인 - (중국) PD1유전자 편집된 T-Cell로 임상연구 진행 중 - 유전성 빈혈치료 전임상 결과가 긍정적이며 향후 임상진입 계획 ▪ 유전자가위 기술과 관련하여 다양한 연구를 진행, 관련 이슈 제기 <ul style="list-style-type: none"> - 기술의 off-target 정도를 측정하고 개선하여 치료제 안전성을 확보하려는 연구 진행 - 최초 생식세포 대상 유전자교정 연구 발표 (Nature, '17.8.) - 병해충을 박멸할 수 있는 Gene drive기술의 개발 및 논란
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자가위 기술의 혈우병 치료 가능성 제시 ▪ 김진수 교수팀이 CRISPR기술의 국내 특허권을 확보하였으며, 새로운 4세대 유전자가위 기술의 국내, 국외 특허권 확보 (생명연) ▪ 생명윤리법 개정을 통해 유전자편집 기반 치료제 개발 움직임
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자 가위기술 적용 치료제를 포함한 유전자치료제 시장은 연평균 64.7%의 성장률을 기록, 그 성장속도가 폭발적일 것으로 전망 <ul style="list-style-type: none"> * 출처 : Global industry Analysts, Gene Therapy, 2012 ▪ 상가모 테라퓨틱스(Sangamo Therapeutics)사는 헌터증후군 환자 대상 인체 내 유전자 편집 치료제를 주입하는 임상시험을 실시 <ul style="list-style-type: none"> - 환자의 체내에서 직접적으로 세포 내 DNA를 정확하게 편집(in vivo gene editing)하기 위한 기술이 최초로 이뤄진 것으로, 새로운 형태의 유전자 치료제 개발 가능성 제안 - 치료법의 효능이 입증되고 심각한 부작용이 없는 것이 확인되면 삽입되는 유전자를 교체하여 다른 질환에도 적용할 수 있을 것으로 기대 <ul style="list-style-type: none"> * 출처 : 생명공학정책연구센터, 세계 최초의 인체 내 유전자 편집 임상시험, 2017
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 치료 소외 계층에 대한 새로운 치료의 기회 부여로 국민 보건 향상 및 치료 민주화 선도 ▪ 글로벌화와 고령화로 확대되고 있는 감염성 질환과 난치성질환에 대한 치료제공으로 전체적인 삶의 질 향상에 기여
필요 사항		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생식세포 또는 배아교정에 관한 법의 미비로 인한 혼란이 가중되고 있으며, 이에 대한 윤리적, 법적, 사회적 논의의 확대와 관련법 제정 필요성 증대 ▪ 아직 현저히 낮은 유전자가위 기술 투자에 대한 확대 ▪ 유전자가위 기술과 더불어 in vivo delivery를 위한 다양한 유전자전달기술의 동반 발전이 필요

기술명	오가노이드 기반 생체모사기술 (Organoids-based biomimetics)					
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 줄기세포, 3D 프린팅기술 융합 등을 통해 제작된 오가노이드를 이용하여 복잡한 생체시스템(순환계, 신경계, 소화계, 개체 전체 등)을 모사하는 기술 ▪ (장점) 기초연구, 신약개발, 장기대체 치료법에 이르기까지 인간화 모델 시스템에서의 효과적인 연구 가능 					
실현 시기	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">~2023년(향후 5년)</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">~2028년(향후 10년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 조직/기관-특이적 인체 모방 오가노이드 제작 기술 </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 오가노이드 기반 복합/다장기 생체시스템 모사 기술 </td> </tr> </tbody> </table>		~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 조직/기관-특이적 인체 모방 오가노이드 제작 기술 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 오가노이드 기반 복합/다장기 생체시스템 모사 기술
~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 조직/기관-특이적 인체 모방 오가노이드 제작 기술 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 오가노이드 기반 복합/다장기 생체시스템 모사 기술 					
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 오가노이드 핵심 원천/기반 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 줄기세포의 자기조직화/분화 유도 기술 및 인체 유사도가 높은 오가노이드 성숙화 기술 - 오가노이드 장기 배양기술 및 기능평가/특성분석 기술 ▪ 오가노이드 3D 제작/배양 플랫폼 <ul style="list-style-type: none"> - 오가노이드 3D 형성 및 기능/활성 향상 생체재료 개발 기술 - 3D 프린팅 기반 오가노이드 제작기술 ▪ 오가노이드 기반 생체시스템/개체 모사 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 오가노이드 기반 다장기 모델링 기술 - 생체시스템 모방형 순환 배양 기술 ▪ 오가노이드 기반 활용 기술 및 실용화 플랫폼 <ul style="list-style-type: none"> - 인체 특정 장기 및 인체 모델링을 통한 생체 시스템 및 질환 모델링 기술 - 오가노이드 기반 생체모사 시스템 활용 약물 안전성 및 유효성 평가 기술 - 오가노이드의 재생의학적 활용 기술 					
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 인체 조직/장기의 기능을 대체하거나 생체모방 모델을 구현할 수 있는 오가노이드의 생체 유사도 증대 기술이 필요하며, 관련 평가·활용 방안 필요 ▪ (경제적 니즈) 동물실험 대체 및 신약개발 효율화를 위한 글로벌 제약 회사들의 인체 장기 모델 활용 확대 추세이며 향후 기술발전 및 활용 범위 확대에 따라 관련 산업에 주요한 성장요인으로 적용 ▪ (사회적 니즈) 희귀난치질환 발명물 및 노령인구 증가 등 사회적 변화 기반 인체 조직/장기 손상 혹은 기능저하 사례가 점차 증가함에 따라 조직재생, 인공장기 개발에 활용될 수 있는 오가노이드 기술에 대한 니즈 확산 					
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미국, 일본, 유럽을 중심으로 줄기세포 분화를 통한 인체 유사 장기 모델 관련 연구가 활발히 진행 - 2013년 미니 뇌가 제작된 후 오가노이드 제작 연구가 활발하게 진행, 이후 미니 신장, 갑상선, 간 등 다양한 오가노이드 개발 성과 도출 				

		<ul style="list-style-type: none"> - 2015년 7월, 미국 연구팀은 유도만능줄기세포를 이용해 스스로 박동하는 3차원 미니 심장 제작 성공 ▪ 오가노이드 제작을 위한 3차원 배양 시스템 구현에 있어 세포의 증식·분화에 시너지 효과를 미칠 수 있는 생체재료 개발과 미국을 선두로 한 3D 프린팅 연구가 전 세계적으로 활발하게 연구
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 정부 출연연, 대학, 병원을 중심으로 줄기세포-유래 조직/기관-특이적 오가노이드 제작, 배양 기술의 연구가 일부 진행 ▪ 생체시스템을 대체할 만한 수준의 기능화 된 오가노이드 개발 측면에서는 아직까지 초기 연구단계 수준
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (3차원 세포배양 기술) 국내 시장은 16년 940만 달러(약 102억 원)에서 21년 2,700만 달러(약 293억 원) 규모로, 세계 시장은 4.7억 달러(약 0.5조 원)에서 13.5억 달러(약 1.5조 원) 규모로 성장할 것으로 예측 * 출처 : Markets and Markets, 3D Cell Culture Market, 2016 ▪ (3차원 오가노이드·조직 이미징 장비 관련 기술) 현미경 시장은 연평균 7.2% 성장률을 보이며 2019년까지 약 6조 원 정도의 성장을 보일 것으로 예측 * 출처 : Markets and Markets , Microscopy Market by Product, Application & by End User - Global Forecast to 2019 , 2014
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 혁신적 생체모사 기술개발을 통해 현대사회의 장기 이식 문제해결, 희귀·난치성 질환에 대한 환자 맞춤형 신약개발 및 재생의료 실현화 시기단축 가능 ▪ 오가노이드 핵심 원천기술 확보를 통한 관련 기술 분야의 선제적 우위 점유 및 사외 전반적인 건강 지수 향상 가능
필요 사항		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 오가노이드 기반 생체모사기술의 실용화를 활성화하기 위해 정부에서 중장기적 로드맵 구상 필요 ▪ 중점 선도그룹 육성 및 오가노이드 핵심원천기술 연구 지원 강화 필요 ▪ 오가노이드 활용/실용화 기술을 위한 융합연구 전략적 지원

기술명	차세대 항암백신 (Next generation cancer vaccine)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 활성이 없는 다양한 암 유발 바이러스 인자들의 동정과 분석에 관한 빅데이터를 통해 고효율의 암 발생 예방 및 치료적 접근이 가능한 백신물질을 개발하는 기술 ▪ (장점) 다양한 바이러스 유래의 암 발생을 근본적으로 차단하고, 발생된 암에 대한 면역증강을 통해 항암제 유래의 부작용 감소 가능 	
실현 시기	~2023년(향후 5년) <ul style="list-style-type: none"> ▪ 여러 암 종별 백신 마커 개발 ▪ 다양한 면역세포의 면역치료 기술의 활성화 	~2028년(향후 10년) <ul style="list-style-type: none"> ▪ 개발된 다양한 백신 마커의 예방 및 치료의 상용화
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 암 종별 항암 백신용 바이오마커 스크리닝 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 외부 요인 혹은 유전자 변이로 인한 암 발생 시 고효율의 면역세포 활성화를 유도할 수 있는 타겟 마커 스크리닝 기술의 요구 - 암세포 특이적인 면역세포 활성 조절 기술의 요구 ▪ 고효율의 항원보강제(immuno-adjutant) 개발 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 개발된 백신 물질과 함께 면역 증강을 유도하는 안정하고 고효율의 보강제 연구 필수 ▪ 환자 맞춤형 백신 개발 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 암종/환자별 최적화된 면역세포 연구 및 관련 백신 개발 기술 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 여러 외부요인에 의한 암 발생을 근본적으로 제어할 수 있는 기술로서 중요한 가치가 있으며, 종양의 면역회피 및 면역세포 조절 기능 분석을 통한 암 예방 및 치료의 새로운 패러다임 도출 ▪ (경제적 니즈) 현재 국내·외에서 자궁경부암과 같은 항암예방백신을 국민들에게 공급하고 있으며, 이러한 수요 급증으로 인한 항암예방백신 시장이 매우 크게 증가할 것으로 예상 ▪ (사회적 니즈) 매년 증가하는 암환자의 수에 따른 새로운 암의 예방 및 치료법의 요구가 증가함에 따른 사회적 필요성의 대두 	
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 최근 암 발생의 원인이 바이러스에 의해 유도됨을 이용하여 항암예방 백신 개발을 위한 당단백질의 바이오마커 스크리닝 기술 개발 시도 ▪ 항암 백신 기반 암 치료 전략을 위해 면역세포 기반 고효율의 암특이적 인지·면역 반응 개선 연구를 통한 항암 백신 기술 개발에 주력 ▪ 미국 질병통제예방센터(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)는 자궁경부암 백신 가다실9를 2020년까지 접종률 80%까지 끌어올리겠다고 보고

	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 국내외 항암백신 관련 연구 개발은 미비한 상태이며, 항암백신 예방·치료 관련 국내 기술의 경쟁력을 키우기 위해 관련 기술 연구 필요 * 일부 연구팀이 임상 시험을 진행 중 ▪ 집중적인 투자와 기술 개발을 통해 경쟁력이 있는 특허 및 제품 창출을 통한 세계와의 경쟁력 제고 요구
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 글로벌 항암 백신 시장은 2015년 25억 달러(약 3조 원)에서 연평균 17%의 높은 성장률을 보이며 2022년 75억 달러(약 8.9조 원) 규모로 성장할 전망 - 의료용 백신은 암 환자의 생존율을 증가시켜 더 많은 치료 기회를 제공할 수 있어 항암 백신 시장의 성장을 견인할 것으로 전망 * 출처 : 생명공학정책연구센터, 2022년 글로벌 항암백신 시장 전망, 2017
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 암의 유발을 근본적으로 억제하여 암환자의 수를 줄이고 부작용이 없는 암치료법 제시를 통한 사회적 비용 절감 및 삶의 질 개선 가능
필요 사항	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 각각의 백신에 대한 안정성 및 부작용 테스트를 통한 안전한 백신 개발 요구 ▪ 단순히 바이러스에 기인되는 백신뿐만 아니라 여러 요인에 의한 치료제로의 가능성도 관련된 추가 연구도 고려 대상 	

기술명	식품 유해성분 동시검출 센서 (Simultaneous Hazards-detecting Sensors)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 식품 내 미량 포함된 인공색소, 중금속, 마이코톡신, 환경호르몬 등을 동시에 검출하는 기술 ▪ (장점) 식품 보관·운송·판매 단계에서 손쉽게 다양한 유해물질의 정량측정을 가능하게 하여 안전한 먹거리 검증에 기여 	
실현 시기	<p style="text-align: center;">~2023년(향후 5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 중금속, 인공색소, 마이코톡신, 환경호르몬 검출센서의 통합 ▪ 다양한 검출원리에 대한 지속적인 탐색 (광학적 방법 vs. 전기적 방법) 	<p style="text-align: center;">~2028년(향후 10년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 식중독균/바이러스 검출 시스템과 저분자 화합물 시스템의 통합 ▪ 통합 검출센서 모듈의 경량화/민감도 제고
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 유해물질의 물리화학적인 근원에 공통적으로 적용할 센서 플랫폼 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 전기화학적 방법, 전기적 방법, 광학적 방법 등 - 중금속, 인공색소(저분자화합물), 농약, 독성 대사산물(마이코톡신), 식중독균(세균), 바이러스 등등을 공통으로 검출하는 저분자 화합물, 압타머, 항체 등을 이용한 공통의 검출 플랫폼 개발 ▪ 연속적인 모니터링을 위한 감지층(센싱 레이어, 저분자 화합물, 압타머, 펩타이드, 항체)의 구조적/화학적 안정화 기술 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 식품이나 생활환경의 시료를 기준으로 연속측정을 위해 다양한 물리화학적 환경*에서 분해되거나 변형되는 것을 방지하기 위한 표면처리 기술의 개발 * pH, 이온농도, 불순물의 존재 등 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 식품산업의 세계화에 따라 식품의 유통/소비 단계에서 발생하는 다양한 유해물질*의 농도를, 단일한검출장비를 통해서 검출하여 경보를 울릴 수 있는 플랫폼 필요 <ul style="list-style-type: none"> * 저분자화합물, 대사물, 식중독균, 바이러스 등 ▪ (경제적 니즈) 식품의 유해물질 혹은 제한이 필요한 물질의 수가 기하급수적으로 늘어가면서 실제 소비자의 입장에서 경보를 발할 수 있는 기기 필요 ▪ (사회적 니즈) 국민의 보건/건강에 대한 관심 증대에 따라 식중독균 집단감염 및 일상생활의 화학물질에 대한 경각심 증대 	
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 전기화학적 방법, 전자코/전자혀, 분광학적 방법, 나노입자의 발색반응, 형광 프로브를 이용한 방법들을 이용해 식중독균/바이러스, 특신류(Shiga toxin), 저분자 화합물 등의 검출 방법에 대한 총설 <ul style="list-style-type: none"> * Sensors, 2015, Special Issue "Sensors for Food Safety and Quality" ▪ 해외의 선진 연구그룹에서도 세균/바이러스와 중금속을 포함한 저분자 화합물을 포괄하는 센서 플랫폼을 개발 진행 중
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 식품산업과 유통시장의 확대에 따라 소비자의 접근이 가능한 고신뢰성 식품안전 모니터링시스템 수요 증가

		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미생물과 저분자 화합물의 동시 검출 기술 대두하였으며, 식품 저장 및 물류 시스템과의 연계하여 사회적인 파급력이 큰 식중독균·바이러스와 중금속, 농약의 동시 검출 진행 ▪ 다중 검출 감도 향상 및 검출 시간 감축 요구 * 100 cfu/ml/1hr ('16)→ 100 cfu/ml/1분 ('25 추정치)
<p style="text-align: center;">기대 효과</p>	<p style="text-align: center;">경제·산업적 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 바이오센서의 경우 '14년 102억 달러(약 11조 원)에서 연평균 10.4%의 성장률을 보이며 '19년에는 169억 달러(약 18조 원)의 규모로 성장할 전망 * 출처 : 중소벤처기업부, 중소기업 기술로드맵 2018-2020, 2017 ▪ 식품 유해화합물 검사시장은 2018년 기준 2.6조원에 달할 것으로 예상, 안전검사 글로벌 시장규모는 11.5%의 성장률을 보이며 2020년에 약 51억 4천만 달러(약 5.6조 원)로 성장 전망 * 출처 : 중소벤처기업부, 중소기업 기술로드맵 2018-2020, 2017
	<p style="text-align: center;">사회적 효과</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 직접적인 피해 이외에 간접적인 사회적인 불안에 따른 손실이 막대하므로, 식품 안전에 대한 사회체계를 완비하여 수조 원에 이르는 사회적 비용의 감소와 통합에 기여 * 조류 인플루엔자, 메르스의 유행, 가습기 살균제 사태
<p style="text-align: center;">필요 사항</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 센서 플랫폼 검토를 거쳐 크게 광학적인 방법, 전기화학적 방법으로 다양한 표적의 유해물질을 검출하는 통합시스템에 대한 선행 평가 요구 ▪ 시료의 전처리 기술과 Lab-on-a-chip (or MEMS) 기술의 통합이 필수 	

기술명	유전체 편집 기반 양적형질 조절기술 (QT engineering by genome editing)					
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 양적형질(quantitative traits)*에 관련된 여러 개의 타겟 유전자를 동시에 편집하여 동·식물의 형질을 강화/개량하는 기술 * 무게, 길이, 생산성 등의 형질에 여러 개의 유전자가 관여하여 각 유전자의 기능이 잘 드러나지 않는 형질 ▪ (장점) 혁신적으로 육종기간이 단축될 수 있고, 전통적인 방법으로 불가능했던 형질 도입이 가능 					
실현 시기	<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <th style="width: 50%;">~2023년(향후 5년)</th> <th style="width: 50%;">~2028년(향후 10년)</th> </tr> <tr> <td style="text-align: left;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 개선된 동·식물에 대한 다양한 연구성과 보고 </td> <td style="text-align: left;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 조절된 동·식물이 시장에 유통되고 유전자편집기술이 적용된 작물 상용화로 인한 식량부족 해결 </td> </tr> </table>	~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 개선된 동·식물에 대한 다양한 연구성과 보고 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 조절된 동·식물이 시장에 유통되고 유전자편집기술이 적용된 작물 상용화로 인한 식량부족 해결 	
~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 개선된 동·식물에 대한 다양한 연구성과 보고 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 양적형질이 조절된 동·식물이 시장에 유통되고 유전자편집기술이 적용된 작물 상용화로 인한 식량부족 해결 					
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ CRISPR/Cas9을 이용한 동식물 유전자 편집 기술, 다수의 유전자를 동시에 편집할 수 있는 기술과 더불어 유전자 조절인자 편집 기술 필요 - 유전체 정보 및 동식물 유전자 지도 및 QTL 지도 작성 기술 ▪ 기반이 될 수 있는 동·식물에 대한 regeneration 기술 					
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 동식물의 주요 형질은 대부분 양적형질로 기존 방법을 이용한 개량은 한 번에 하나의 형질 도입 및 개량하는 방법으로서 시간이 많이 소요 - 개량이 불가한 경우도 다수 존재하여 빠른 시간에 개량할 수 있는 방법 필요 ▪ (경제적 니즈) 동식물의 수량 및 품질 관련 양적형질들을 개량하여 고부가가치 농·축산물 개발 필요 ▪ (사회적 니즈) 식량 위기, 기후변화에 대한 효율적인 대응 방법으로서 관련 형질들을 빠른 시간에 정확하게 개량할 수 있는 방법 필요 					
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 한 번에 여러 유전자를 편집할 수 있는 기술을 발표하며 실제 작물 육종에 활용하는 연구를 진행 - (미국) 토마토의 조절인자 편집을 통해 수량과 관련된 열매의 크기, 개수, 식물체의 가지 수 등 양적 형질을 조절하는 결과를 발표 ▪ 거대자본의 다국적 종자기업이 선도적으로 작물을 개량하는데 기술을 사용 - (미국) 외래유입 DNA가 존재하지 않는 경우 개발된 작물을 GMO 규제대상에서 제외하여 승인, 실용화 촉진 				
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전자 편집 기술에 대한 성공 사례는 있으나 연구용이며 실용화 사례는 아직 없음 - 더군다나 QTL 형질 관련된 유전자 편집 기술의 활용을 통한 작물 개량 연구는 미비 ▪ 농진청이 주도적으로 이 기술과 유전자편집 기술을 육종에 활용하는 내용의 연구사업을 기획 중 				

기대 효과	경제· 산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 식량수요는 인구증가, 경제성장, 식단변화 등에 따라 2030년까지 2008년 대비 50% 증가 전망 * 출처 : 한국정보화진흥원, 농업 가치 제고를 위한 ICT 역할과 과제, 2013 ▪ 현재 전세계 시장의 80% 이상을 점유한 기업인 몬산토에 툴젠의 유전자가위 기술을 제공하는 라이선싱 계약을 체결, 향후 안전하고 효율적인 품종개발이 가능할 것으로 기대 * 출처 : 조선비즈, 툴젠, 세계1위 종자기업 몬산토에 크리스퍼 유전자가위기술 제공, 2017
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 기존 방법으로 도입 또는 개량이 어렵거나 오래 걸리는 육종을 획기적으로 단축하고, 정확하게 개량 가능 - 사회적 국민적 요구에 맞는 기후변화 대응, 식량위기 극복, 고영양가지 작물 개발 등 ▪ 기존 GM방법에 의한 작물 개량과는 다른 규정과 인식을 받을 가능성이 높아 GMO에 대한 사회적인 우려 경감 가능
필요 사항	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 작물개량에 활용을 위해서는 실용작물의 재분화 기술 확립이 필요 ▪ 국내 작물 개량을 위해서는 국내 재배환경과 품종에 맞는 다수의 QTL mapping 정보 및 유전체 정보 구축 ▪ 육종과 생명공학과와의 연계가 필요 	

기술명	인공효소 체인 (Artificial enzyme chain)					
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 세포 내 연쇄반응인 생합성 대사경로를 이용, 인공적으로 합성한 체인형식의 효소 연쇄반응 공정을 통해 바이오연료 및 다양한 소재 생산효율을 극대화하는 기술 ▪ (장점) 분리정제가 필요 없는 다중효소반응에 의한 생산 공정의 효율성과 생산성을 획기적으로 향상하는데 기여 					
실현 시기	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th style="width: 50%; text-align: center;">~2023년(향후 5년)</th> <th style="width: 50%; text-align: center;">~2028년(향후 10년)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 합성효소체인 기술 개발 </td> <td style="vertical-align: top;"> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업현장의 생산 공정에 적용하여 효율성 및 생산성 향상의 가시적 실현 </td> </tr> </tbody> </table>		~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 합성효소체인 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업현장의 생산 공정에 적용하여 효율성 및 생산성 향상의 가시적 실현
~2023년(향후 5년)	~2028년(향후 10년)					
<ul style="list-style-type: none"> ▪ 다양한 합성효소체인 기술 개발 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업현장의 생산 공정에 적용하여 효율성 및 생산성 향상의 가시적 실현 					
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 스캐폴드 단백질(protein scaffold) 엔지니어링 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 스캐폴드 단백질은 생체 내에서 다수의 단백질과 결합 또는 상호작용을 통해 단백질복합체를 형성하도록 유도 - 다수의 효소단백질이 기질 채널링이 가능하도록 엔지니어링하여 인공효소체인을 유도하는 기술 ▪ 유전자 발현기술 <ul style="list-style-type: none"> - 다수의 효소단백질이 체인을 형성하기 위해 스캐폴드단백질과 효소단백질들이 같은 비율로 발현되어 다중효소중합체(multi-enzyme cascade)가 형성되도록 유도하기 위한 정교한 유전자 발현기술 필요 - 기존의 다양한 유전자 발현기술을 종합하고 개선하여 even expression이 가능한 기술 ▪ 게놈엔지니어링 기술 <ul style="list-style-type: none"> - 대사산물에 따른 숙주세포의 유전적 백그라운드를 최적화하기 위한 게놈에디팅 기술 - 생산환경에 따른 숙주세포의 선택과 개량이 가능한 기술 					
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 현재 대사공학적 접근을 통해 달성될 수 있는 대사산물 생산 공정의 생산성의 증대가 한계에 다다르고 있어 혁신적인 기술의 개발 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 기업의 경쟁력제고를 위한 효율성과 생산성 증대에 대한 니즈 지속적 발생 ▪ (경제적 니즈) 대사산물 생산공정의 경쟁력 확보유지 및 시장점유 지속을 통한 경제적 가치 달성 ▪ (사회적 니즈) 약용식물로부터 다량의 유용생물소재를 추출하면서 환경문제 및 소재의 고갈로부터 환경친화적인 생산수단의 개발이 요구 <ul style="list-style-type: none"> - 복잡한 2차대사산물의 발효생산이 가능함에 따라 친환경 생물소재생산 방법에 대한 개발 니즈 증대 					
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 합성단백질구조체 (synthetic protein scaffold)를 활용한 합성효소 메타볼론 형성 <ul style="list-style-type: none"> - 3개의 연속반응효소 합성단백질구조체를 활용하여 세포 내에 연속적으로 고정화시킴으로서 대사산물의 최종 농도를 77배 향상, 생산성 증가 <p>* Nat. Biotech. 27(8), 753-759(2009), UC Berkeley(미국)</p>				

		<ul style="list-style-type: none"> - (미국) 다중효소의 분리정제와 효소복합체를 동시에 해결할 수 있도록 초기 반응속도 48배·38배 증가한 합성 스캐폴드단백질 사례 제시 * ACS Synth. Biol. 2013, 2, 102–110, Virginia Tech
국내 동향		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 세포내 봉합체(inclusion body)를 활용한 다중효소복합체 형성 - 다중효소반응계의 대사과정을 세포내 봉합체에 집중될 수 있는 효소 체인을 인공적으로 구축하여 1-butanol 생산성 7.9배 향상 * Met. Eng. 40 (2017) 41 - 49, 한국생명공학연구원
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현재 글로벌 산업용 효소 시장 규모는 약 42억 달러(약 4.6조 원) 규모이며, 연평균 5.6% 성장할 것으로 전망 * 출처 : 이코노믹리뷰, 4차산업의 꽃 '효소' 잠재 시장 무궁무진, 2016 ▪ 산업용 효소시장은 영업 중인 20~30 여개 사 중 상위 3개 사가 시장의 74%를 장악하고 있기 때문에, 생산공정에 활용될 수 있는 효소를 개발할 시 경쟁우위 확보 가능 * 출처 : 바로투자증권, 제노포커스, 2017
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 개념정립단계를 지나 원천기술 개발과 활용촉진단계로 진화 중 - 이론적으로 기질채널링효과가 있을 것으로 추측하거나 계산적으로 가능성이 있다고 주장 - 생산성과 효율성이 크게 증가한 사례보고가 급속히 증가
필요 사항		<ul style="list-style-type: none"> ▪ 산업현장에 적용하기 위한 혁신적 기술개발이 필요 - 대부분 대사산물의 산업적 생산*은 특정 생합성 대사경로를 활용하기 때문에 인공효소체인 기술의 산업적 적용은 기업의 경쟁력 확보에 매우 중요 * 아미노산, 비티민, 카로티노이드 등

기술명	탄소자원화 광합성 세포공장 (Carbon utilizing photosynthetic cell factory)	
기술 정의	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (정의) 이산화탄소 저감 및 탄소자원화 능력을 갖는 광합성 세포공장 시스템을 구축하여 이를 활용한 고부가 소재를 생산하는 기술 ▪ (장점) 급변하는 기후변화에 대응하여 지속가능한 차세대 바이오연료 및 탄소자원 공급원으로서의 활용 가능 	
실현 시기	<p style="text-align: center;">~2023년(향후 5년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 경구용 백신, 카로테노이드 색소 생산용 미세조류 세포공장 구축 	<p style="text-align: center;">~2028년(향후 10년)</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ 미세조류 기반 의약단백질 개발 및 대량 생산시스템 구축
요소 기술	<ul style="list-style-type: none"> ▪ GRAS 미세조류 맞춤형 형질전환 시스템 개량 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 모델 균주기반 형질전환 기술을 GRAS 균주에서 활용 가능한 수준으로 개량 및 최적화, 안정성 높은 형질전환체 제작가능한 형질전환법 확보 ▪ 의약단백질 후보물질 발굴 및 단백질 생산 미세조류 세포공장 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 미세조류가 기존에 동물 사료로 활용되고 있는 점을 감안했을 때 어류 양식용 경구 투여 백신 및 야생동물용 미끼형 백신 등의 생산이 가능 - 경구용 백신을 고효율로 생산할 수 있는 미세조류용 발현 시스템으로 형질 도입하여 미세조류 기반 세포공장 개발 ▪ 미세조류 기반 의약단백질 대량생산 및 시험·평가 <ul style="list-style-type: none"> - 광생물반응기(PBR) 기반의 대량 생산 시스템을 구축하고 백질 생산 조건을 최적화하여 의약 단백질의 독성 및 효능 시험 평가 수행 	
주요 이슈	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (기술적 니즈) 미세조류의 경우 식물과 분류학적 유사성이 높고, 저비용 고효율로 배양 및 생산이 가능하기 때문에 기존 식물 기의 고부가 물질 생산 기술의 한계점을 극복 <ul style="list-style-type: none"> - 안정성 및 기술선점의 측면에서 활용 가치가 높은 GRAS 종 맞춤형 관련 기술 개발 필수 ▪ (경제적 니즈) 미세조류 기반 바이오디젤의 최소 판매가능가격은 10~20 \$/gal로 가격 경쟁력이 떨어지므로 고부가 소재 동시 생산을 통해 가격경쟁력 확보 가능 ▪ (사회적 니즈) 지구 온난화에 따른 심각한 기후 변화와 이에 따른 온실가스 저감형 사회로의 전환이 필요 <ul style="list-style-type: none"> - 이는 온실가스 감축 의무화, 탄소배출권 거래제 등의 글로벌 트렌드에 따른 이산화탄소 저감 정책에도 부합 	
기술 개발 동향	해외 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ (미국) 현재 기술수준에서는 바이오연료로 직접 활용이 어렵지만 향후 균주 개량, 고부가 소재 동시생산 등을 통해 차세대 에너지원으로서 높은 가치가 있는 것으로 평가 * Sustainable development of algal biofuel, DOE ▪ (일본) 핵심 R&D 분야의 하나로 미세조류를 활용한 연료 개발 계획을 발표

		<ul style="list-style-type: none"> - 3E (환경 적합성, 경제성, 공급 안정성)의 시점에 기초해 미세조류 연료의 생산 시스템 기술 개발, 해외 배양을 위한 협력 체제 구축 등의 지원 확대 ▪ (독일) 바이오피파이너리 로드맵을 제시 - 미세조류 기반 지질 리파이너리 기술에 대해 높은 광합성 효율을 제공하고 천적관계에서 비교적 자유롭기 때문에 전통적인 농작물보다 바이오매스 원료로서 주목받을 수 있다고 평가
	국내 동향	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 파리기후협정에 따라 우리나라의 NDC를 2030년까지 배출전망치 (BAU) 대비 37% 감축하는 것으로 목표를 설정 - 2015년부터 탄소배출권 거래제를 시행 ▪ 장기적인 글로벌 경쟁력을 위한 지속적인 투자 계획을 시사 - (과기정통부) 6대 핵심 분야*로 이산화탄소 포집 및 처리 기술 (CCS)과 바이오에너지를 선정 * (6대 핵심 분야) 태양전지, 연료전지, 바이오에너지, 이차전지, 전력 IT, 이산화탄소 포집 및 처리 기술 (CCS) - (산자부) 新기후체제 선제대응을 위한 ‘2030 에너지 신산업 확산전략’ 발표 ▪ 한국생명공학연구원, KAIST, 한국에너지기술연구원, 한양대, 인하대 등 유수의 연구기관 및 대학에서 토착 미세조류 발굴 및 활용을 위한 기술개발에 노력을 기울이고 있지만, 균주은행, 형질전환 기술, 대량배양 등 기반 인프라 구축이 미흡한 수준임
기대 효과	경제·산업적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 현재 정부의 탄소자원화 전략프로젝트에서 탄소전환 기술을 통해 '25년 기준 연간 450만 톤의 온실가스 감축과 3.7조 원의 경제적 효과를 창출할 수 있을 것으로 기대 * 출처 : 미래부, 정부 「탄소자원화 국가전략프로젝트 실증 로드맵」 발표, 2016 ▪ CO₂ 저감 관련 시장은 연평균 7.4% 증가하여 2021년에는 243억 달러 (약 26.5조 원)로 성장할 것으로 전망 * 출처 : 한국에너지기술평가원, CO₂ 저감 및 자원화 기술 : 미국의 CCUS 산업 동향 분석, 2015
	사회적 효과	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 미세조류 대량배양시스템 구축을 통한 온실가스감축 및 환경정화 효과 기대 ▪ 기존 해양수산 질병 관리의 노동 집약적 한계점을 극복하고, 원활한 수산 양식 관리 가능
필요 사항		<ul style="list-style-type: none"> ▪ LMO 이슈 해결을 위한 폐쇄형 생산 및 세포 불활화 공정 필요 ▪ 미세조류 고농도 대량 배양 시스템 구축 필요 ▪ 유엔 미래포럼은 2020년 이후 미래사회의 최대 부상산업으로 기후에너지 및 건강식품 산업을 각각 1위, 2위로 예측 - 미세조류는 두 산업 모두에서 핵심 소재로 활용될 가능성이 높으며, 국제적인 기술 및 지식 재산권 선점을 위해 미세조류 기반 원천 기술 및 상용화 기술 개발이 시급

- ◇ 본 자료의 내용은 생명공학정책연구센터의 공식 견해가 아니며, 자료의 내용을 인용할 시에는 출처를 반드시 밝혀 주시기 바랍니다.
- ◇ 본 자료는 생명공학정책연구센터 사이트(<http://www.bioin.or.kr>)에서 다운로드가 가능하며, 자료의 내용을 인용할 경우에 출처를 명시하여 주시기 바랍니다.

● 생명공학정책연구센터 총서 목록(최근 3년) ●

총서 번호	보고서명	담당자	발간일	공개 여부
220	2014년 BioIndustry 산업동향 보고서	김무웅	2015-01-12	공개
221	Biotechnology in Korea 2014 -2014 한국 바이오의 현황 및 소개	오민정	2015-01-05	공개
222	2015 바이오 통계 브리프	김무웅 홍윤정	2015-06-02	공개
223	2015년 바이오 미래유망기술 발굴(ICT융합 바이오헬스 10대 미래유망기술)	김무웅 우창우	2015-07-23	공개
224	2015년도 생명연구자원관리시행계획	김영철	2015-08-15	공개
225	2015년 상반기 BioInWatch Collection	김무웅 김민정	2015-08-31	공개
226	2015년도 생명공학육성시행계획 (줄기세포연구시행계획 포함)	양준혁 김무웅 김민정	2015-09-01	공개
227	2015년 BioIndustry 산업동향 보고서	김민정 홍윤정	2015-12-30	공개
228	2014년 바이오분야 국가연구개발사업의 포 트폴리오 및 포지셔닝 분석	김무웅 김민정	2015-12-28	비공개
229	2015년 하반기 BioInWatch Collection	김무웅 우창우	2015-12-29	공개
230	2015 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	박성훈	2015-12-31	공개
231	2015 정부 BT 정책 보도자료 모음집	박성훈	2015-12-31	공개
232	2015 생명공학백서	문성훈 이지현	2015-12-31	공개
233	2015 BioInPro 모음집	박미정	2015-12-31	공개
234	미국 바이오 산업 생태계 벤치마킹	민현준	2016-04-29	공개
235	제2차 생명연구자원관리 기본계획('16~'20)	김영철 박미정	2016-06-30	공개
236	2016년도 생명연구자원관리시행계획	김영철 박미정	2016-06-30	공개
237	2015년 국내 바이오 중소·벤처기업 현황 통계	김무웅 홍윤정	2016-07-18	비공개
238	2016년 상반기 BioInWatch Collection	김무웅	2016-08-07	공개
239	Biotechnology in Korea 2016	문성훈 이지현	2016-08-09	공개
240	2016 바이오 통계 브리프	김무웅 홍윤정	2016-11-30	공개
241	2016년 BioIndustry 산업동향 보고서	김민정 홍윤정	2016-12-23	공개
242	2017 바이오 미래유망기술 발굴 - 바이오 헬스 이슈를 선도하는 10대 미래유망기술	김무웅 우창우	2016-12-23	공개
243	2015년 바이오분야 국가연구개발사업의 포 트폴리오 및 포지셔닝 분석	김무웅 김민정	2016-12-30	비공개
244	2016 BioInPro 모음집	박미정	2016-12-31	공개

245	2016년 하반기 BioINwatch Collection	김무웅	2017-01-06	공개
246	2016 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	박성훈	2017-01-10	공개
247	2016 정부 바이오 정책 보도자료 모음집	박성훈	2017-01-20	공개
248	2017년도 생명연구자원관리 시행계획	김영철 우창우	2017-03-31	공개
249	바이오헬스 미래 신산업 육성전략-바이오 미래전략 I (바이오의약품)	문성훈 김무웅 김민정 민현준	2017-05-01	공개
250	바이오헬스 미래 신산업 육성전략-바이오 미래전략 II(의료기기)	문성훈민현준	2017-05-01	공개
251	바이오 창조경제10대 활성화 프로젝트	문성훈 조선자	2017-05-01	공개
252	2017년 상반기 BioINwatch Collection	김무웅 홍윤정 홍지영 조선자	2017-07-21	공개
253	2016년 국내 바이오 중소·벤처기업 현황 통계	김무웅 홍윤정	2017-11-22	공개
254	2017 생명공학백서	문성훈 이지현	2017-12-31	공개
255	2017 바이오 통계 브리프	김무웅 홍윤정	2017-12-29	공개
256	2017 BioINpro 모음집	박미정	2017-12-31	공개
257	2017년 BioINdustry 산업동향 보고서	김무웅 홍윤정 조선자 홍지영	2017-12-31	공개
258	2016 정부 BT 연구성과 보도자료 모음집	홍지영 조선자 박성훈	2018-01-31	공개
259	2017년 하반기 BioINwatch Collection	김은중 홍지영 조선자 홍윤정 김무웅	2018-01-21	공개
260	2016 정부 바이오 정책 보도자료 모음집	홍지영 조선자 박성훈	2018-02-02	공개
※ 총서 발간자료는 BioIN정보포털사이트(http://www.bioin.or.kr)에서 다운받으실 수 있습니다.				

저자 소개

- ◆ 홍 지 영 - 생명공학정책연구센터 연구원
- 전화 : 042-879-8389
- e-mail : jyhong@kribb.re.kr

 - ◆ 김 무 응 - 생명공학정책연구센터 책임연구원
- 전화 : 042-879-8375
- e-mail : moongkim@kribb.re.kr

 - ◆ 김 흥 열 - 생명공학정책연구센터 센터장
- 전화 : 042-879-8370
- e-mail : yeolhee@kribb.re.kr
-

2018 바이오 미래유망기술 발굴

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

2018年 2月 6日 印刷

2018年 2月 8日 發行

著 者 홍 지 영, 김 무 응, 김 흥 열
發 行 人 장 규 태/한국생명공학연구원장
發 行 處 생명공학정책연구센터
 대전광역시 유성구 과학로 125
 한국생명공학연구원 자생동 3층
 대표전화 : (042) 879-8377

ISBN 978-89-6709-108-8

© 생명공학정책연구센터 2017

非賣品

BioINsay
(BioIN+Essay)

No. 27



305-806 대전광역시 유성구 과학로 125
Tel 042 879 8377 Fax 042 879 8369
www.bioin.or.kr

비매품/무료



9 788967 091088
ISBN 978-89-6709-108-8
ISBN 978-89-93675-47-4 (세트)