

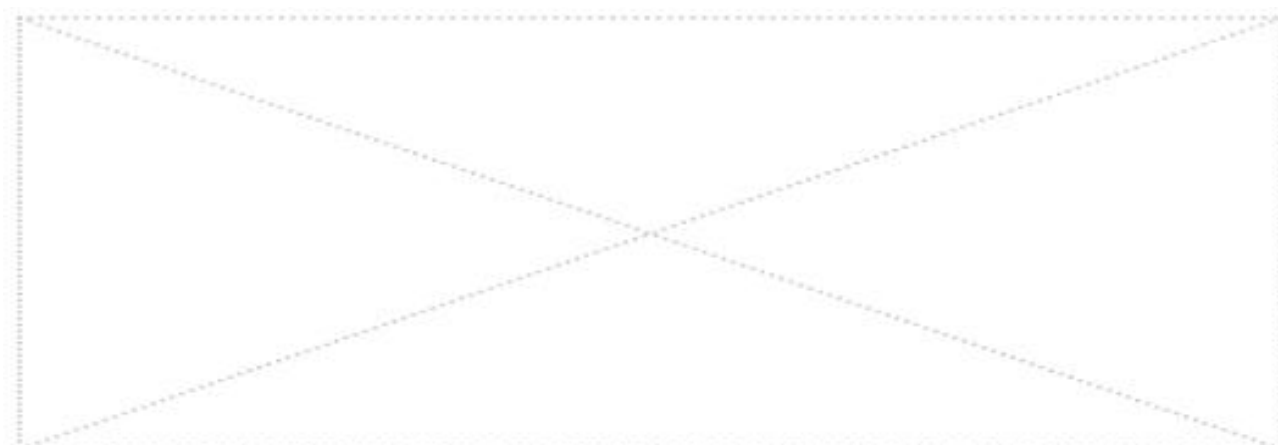
[별지 제4호 서식, 별책]

최종보고서 초안 제출양식

한국연구재단이사장 귀하

“ 디지털 바이오 육성 전략 수립을 위한 기획 연구 ”에 관한 연구의 최종보고서(초안)를 별첨과 같이 제출합니다.

2023 . 3 . 29 .



최종보고서 제출양식

겉표지 양식 : (4×6배판(가로19cm×세로26.5cm))

(뒷면)

(옆면)

(앞면)

	디지털 바이오 육성 전략 수립을 위한 원위 기획 연구 과학기술정보통신부	2000 - 00 디지털 바이오 육성 전략 수립을 위한 기획 연구 (A Study for the Establishment of Fostering Strategy for Digital Bio) 연구기관 : 한국생명공학연구원 연구책임자 : 김홍열 2023. 3. 29 과학기술정보통신부
--	---	---

안 내 문

본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의
개인적 견해이며 과학기술정보통신부의 공식견해가
아님을 알려드립니다.

과학기술정보통신부 장관 이 종 호

제 출 문

과 학 기 술 정 보 통 신 부 장 관 귀 하

본 보고서를 “ 디지털 바이오 육성 전략 수립을 위한 기획 연구 ”의 최종보고서로 제출합니다.

2023 . 3 . 29 .

연구기관명 : 한국생명공학연구원

연구책임자 : 김홍열

연 구 원 : 설 민

연 구 원 : 문성훈

연 구 원 : 이지현

연 구 원 : 이지연

<목 차>

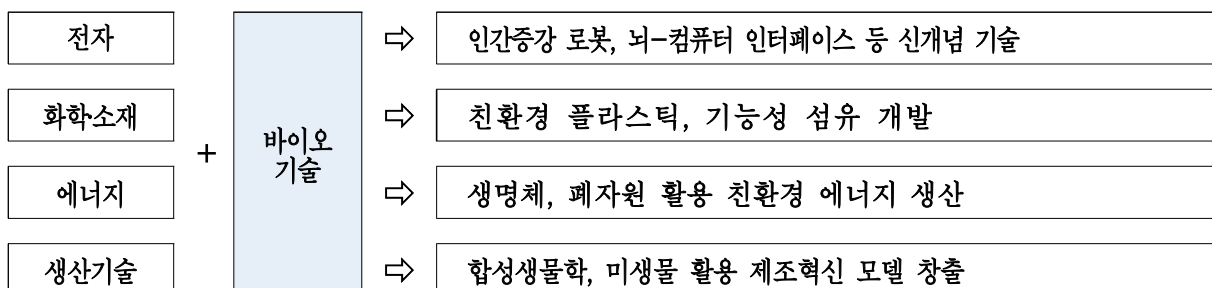
1. 연구개발과제의 개요	1
가. 연구과제 필요성	1
나. 연구과제 주요 내용	4
2. 연구개발과제의 수행과정 및 수행 내용	5
가. 추진 전략 및 내용	5
나. 추진 절차	10
3. 연구개발과제의 수행결과 및 목표 달성 정도	11
가. 연구개발과제 수행결과	11
(1). 개요	11
(2). 디지털바이오 트렌드 분석	12
(3). 전문가 의견수렴	30
(4). 디지털바이오 혁신전략	32
(5). 국가바이오 혁신전략 _ 디지털 바이오	55
나. 목표달성도	64
4. 기대효과	65
5. 참고 문헌	67
6. 부록	69
가. 전략 프레임에 관한 의견서	69
나. 디지털바이오 정의 및 범위에 대한 의견서	77
다. 네이처 다이멘션 분석 결과	79

1. 연구개발과제의 개요

가. 연구과제 필요성

- 팬데믹으로 인한 불확실한 미래에 대한 적극적인 대응책이 요구되는 등 사회문제 해결을 위한 바이오 기술의 중요성 가중
 - 고령화, 감염병, 안전한 먹거리확보 등 글로벌 도전 난제를 해결하고, 급속한 디지털 전환 기술 (Digital Transformative technologies) 변화를 적극 반영할 수 있는 전략 수립 요구
 - ※ 빅데이터 기반 디지털 농업연구 등 패러다임 전환형 원천기술 확보 및 지속가능한 바이오산업 전략 필요
 - 바이오산업은 기술의 중요성을 넘어 기술 경쟁력 확보와 기술 자립을 통한 제약·바이오 주권 확립 필요
 - ※ 미·중 기술패권 경쟁과 일본 수출규제 등을 통해 바이오 소부장 등 중점분야에 대한 전략적 육성 요구
- 다양한 분야와 산업에 확장·적용될 수 있는 기반기술로서 새로운 혁신을 선도할 바이오 플랫폼 기술의 관심 증대
 - 마이크로바이옴, 유전자 편집기술 등과 같은 바이오 플랫폼 기술은 질병 치료, 종자 개량 등 다양한 분야에 적용 중
 - ※ 마이크로바이옴 글로벌 시장규모는 '19년 811억 달러로 바이오헬스, 농축산 및 환경 등 다양한 산업분야로 확대·성장 중(연평균 7.6%)
 - 일부 빅파마는 (화이자 등) 플랫폼 기술을 통해 팬데믹 발생 후 1년 안에 백신을 개발하여 전세계 공급 및 주도권 확보
 - ※ 신·변종 감염병 대응 기술에 대해 한국의 기술수준은 선진국 대비 70%로 일본(80%), 중국(75%)보다 낮음

< 타 산업분야 바이오기술 접목 예시 >



□ 인공지능(AI), 빅데이터 등 디지털 기술의 급진적 발전에 바이오가 긴밀히 결합되어 새로운 가치사슬과 성장 기회 형성

○ 디지털 사고방식 및 디지털 전환기술의 도입으로 바이오 연구개발 방식의 혁신 (Research and Innovation) 으로 생산성 및 규모효과 증대

※ 인공지능을 활용하여 46일 만에 새로운 신약후보물질 발굴('19), △바이오의약 제조 프로세스를 실시간 분석, 모델링, 최적화 하는 디지털 트윈(Digital Twin) 개발('19)

※ EU는 머신러닝 기반 'MELLODDY(Machine Learning Ledger Orchestration for Drug Discovery)' 프로젝트를 구축하여 제약사들 간 새로운 방식의 협력 모델을 제시함으로써 신약개발 가속화 및 효율성 제고('19)

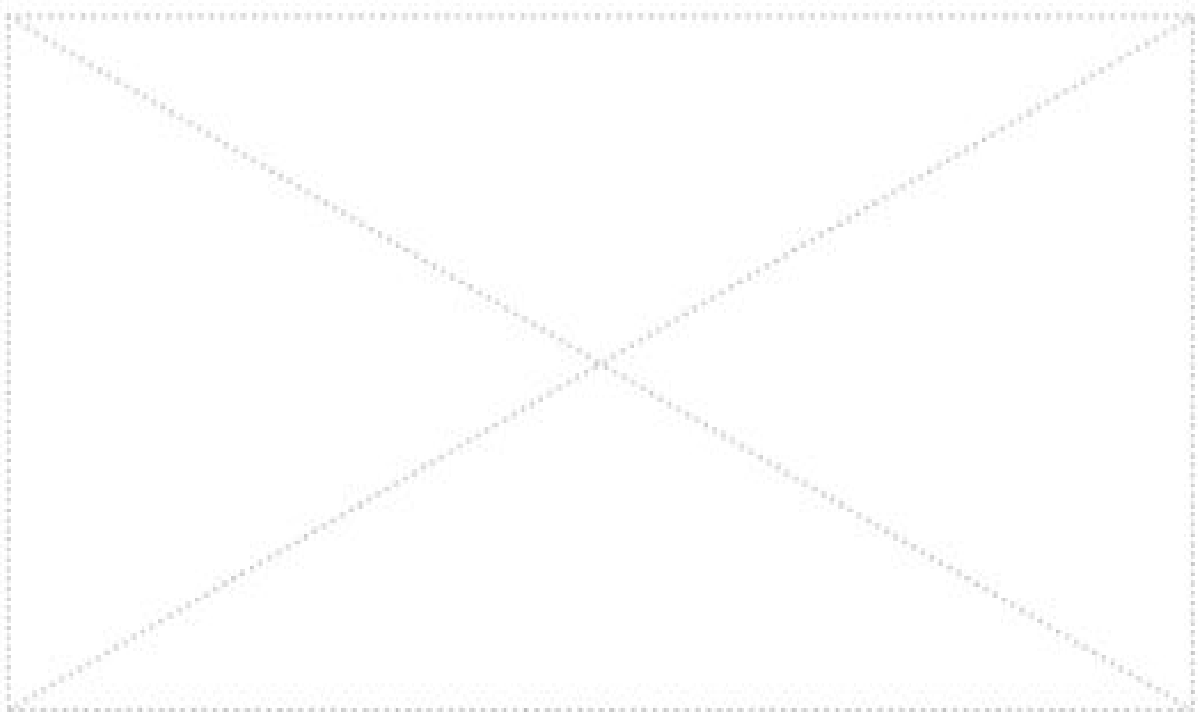
※ 바이오분야의 디지털 전환을 촉진하는 선도 기술로, 인공지능, 로봇, 가상진료, 유전체학, 데이터 기반 정밀의학 등 제시 (Deloitte, 2019 Global life science outlook)

○ 해외 선도국은 국가 차원에서 강화해야 할 필수전략기술로 합성생물학, 뇌신경기술 등 디지털 융합 바이오기술을 선정하며 전폭적인 지원 중

※ (미국) 혁신경쟁법('21.6)을 통해서 합성생물학을 10대 핵심기술로 지정하며 바이오경제연구개발을 위한 융합연구, 인력양성 등을 위한 투자 확대

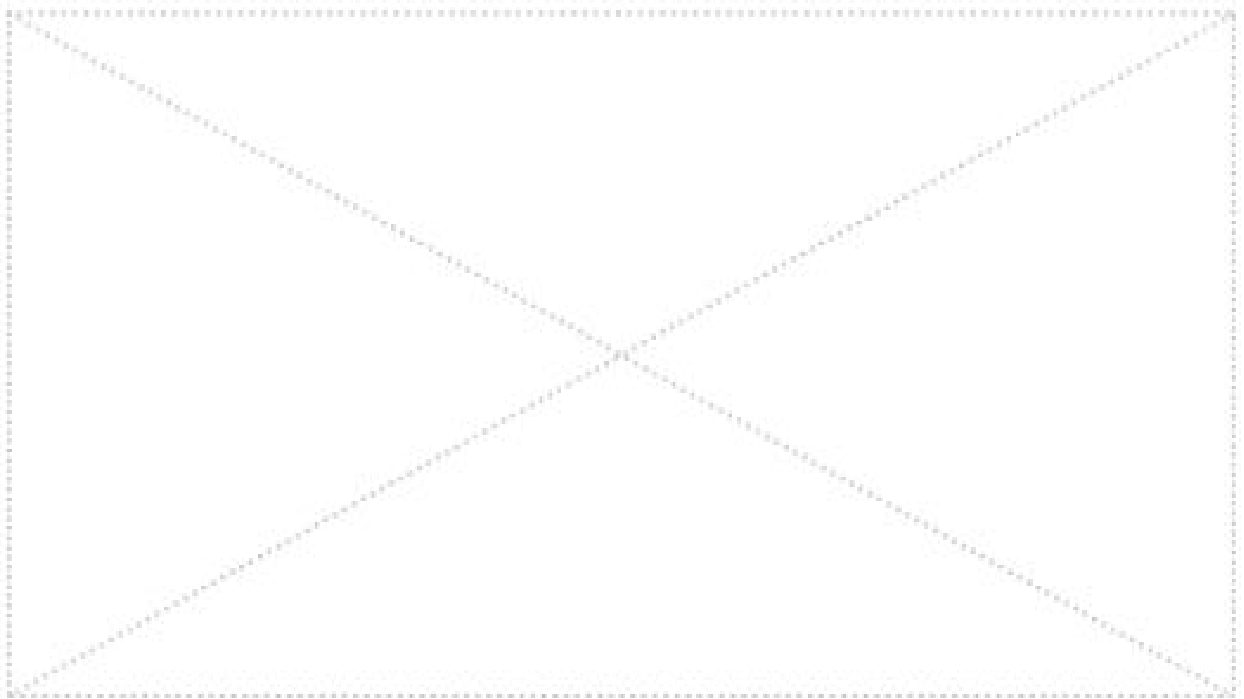
※ (일본) 바이오-디지털 융합을 통한 데이터 전략을 강조한 '바이오전략 2020'을 발표하고 ('20.6), 바이오 데이터 구동형 기술개발 추진 중

< 생명공학연구 및 의료 패러다임의 변화>



※ 출처 : 한국과학기술한림원, 4차 산업을 이끄는 디지털 생명과학, 2021.10

< 인공지능 활용 신약 후보물질 도출 소요시간 >



※ 출처 : Nature biotechnology, Deep learning enables rapid identification of potent DDR1 kinase inhibitors, 2019, 37(9), 1038-1040. 생명공학정책연구센터 재가공

- 디지털전환 시대 환경변화에 따른 바이오 분야의 민첩한 대응역량 강화 및 디지털 바이오 핵심 전략 기술 육성을 위한 국가 차원의 추진방향 정립 및 연구기반 마련 시급
- 바이오는 대표적인 고위험/고수익 연구 (High-Risk/High-Reward) 로 전통적인 연구방식의 한계점을 극복할 수 있는 임무지향적 (Mission-oriented Policy) 접근이 요구
 - ※ (미국) 보건의료 분야 혁신 연구를 위한 ARPA-H(Advanced Research Projects Agency for Health) 설립 및 예산(500억 달러) 지원 ('22.3)
- 전략적 예측 연구를 통한 디지털 바이오의 미래 전망 및 핵심 전략기술 육성 체계 마련

나. 연구과제 주요 내용

□ 국내외 환경분석 및 국내 디지털 바이오 역량 진단

- 디지털 바이오 글로벌 트렌드 분석
- 국내외 디지털 바이오 현황 및 역량 비교·분석

□ 미래 전략적 디지털 바이오 정의 및 핵심 전략기술 육성 방안 마련

- 미래 패러다임 변화를 반영한 디지털 바이오의 정의와 범위 설정
- 미래 유망 디지털 바이오 기술의 종합적 지원을 위한 기술관리 모델 제시

□ 디지털 바이오의 종합적 관리를 위한 거버넌스(안) 제시

- 국내외 디지털 바이오 기술관련 거버넌스 현황 분석 및 개선방안 마련
- 민-관 협동 (가칭)디지털 바이오 발전 위원회 구성 및 운영 계획(안) 마련

□ 미래 지속가능한 디지털 바이오 전략 등 도출

- 글로벌 트렌드 및 수요를 고려한 디지털 바이오 연구개발 혁신 전략 도출
- 바이오 연구데이터의 공유와 활용도를 제고할 수 있는 추진과제 마련
- 우수 융합인재 양성 및 연구자 역량 강화 방안 제시
 - ※ 빅데이터, AI 등 인력 이슈들을 발굴 및 분석하여 관련 과제안 도출 계획
- 디지털 바이오 육성을 촉진하기 위한 법·제도 지원체계 마련

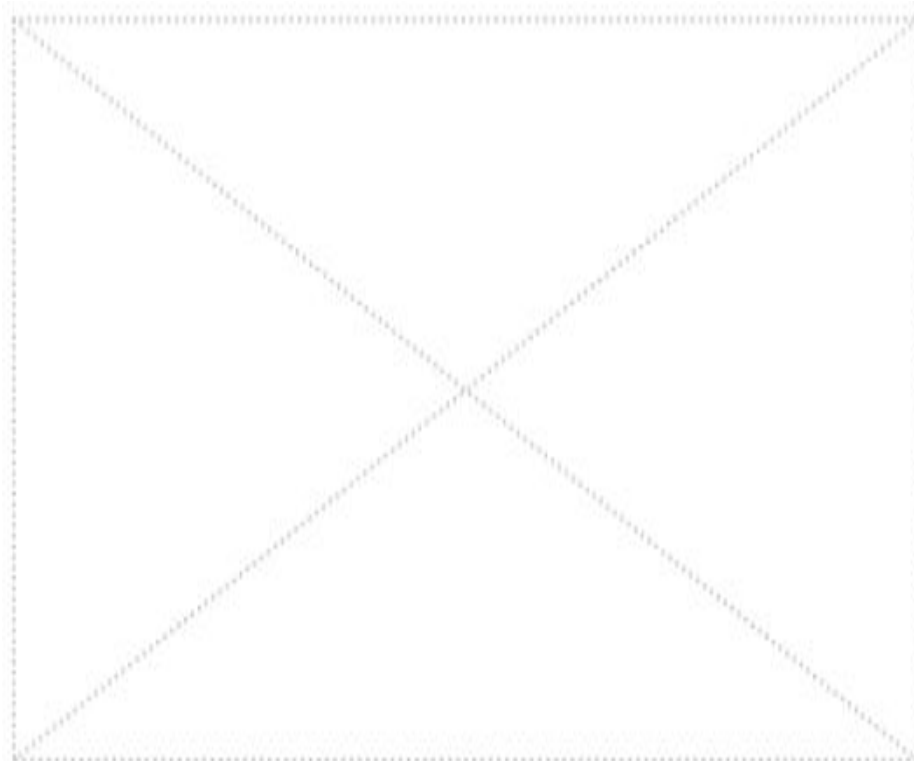
2. 연구개발과제의 수행과정 및 수행 내용

가. 추진 전략 및 내용

□ 트렌드 및 주요 이슈 분석

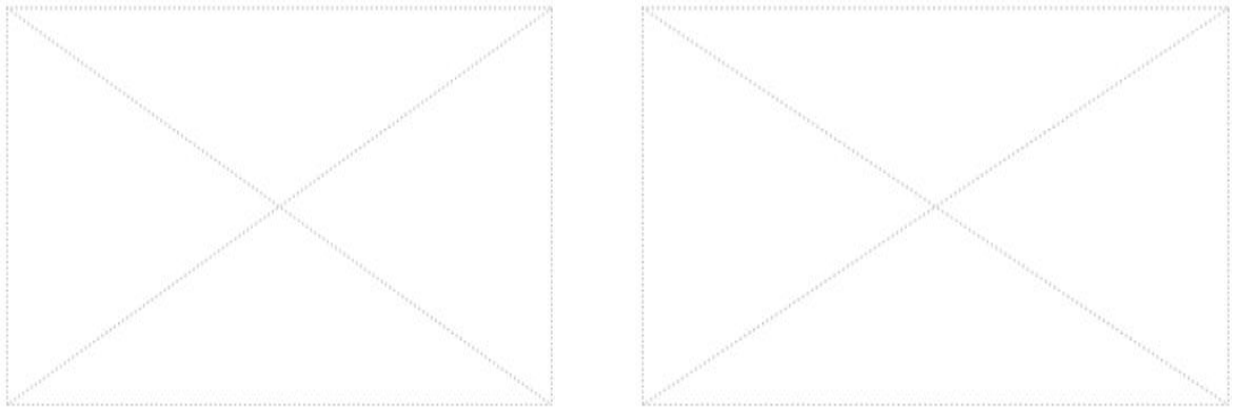
- 최근 발표된 주요국의 바이오 대전환의 3가지 방향 (디지털화, 플랫폼화, 전략기술화)관련 자료를 분석하고, 트렌드와 이슈 도출
 - (디지털화) 빅데이터와 인공지능 등 디지털기술과의 융합으로 과거에는 불가능했던 新연구新산업 창출
 - (플랫폼화) 바이오 쏠영역에 활용성 높은 플랫폼기술을 통해 연구 생산성, 비용, 시간을 획기적으로 절감
 - (전략기술화) 기술적 혁신성뿐만 아니라 안보, 통상, 공급망 관점의 중요 바이오 전략기술에 대한 글로벌 경쟁력 강화
- 학계·연구계·산업계 전문가 그룹을 구성하여 해외사례 공유, 디지털바이오 핵심이슈 발제 및 토론 추진

< 바이오 대전환의 3대 패러다임 변화 >



※ 출처 : 연구진 작성

< 제약바이오 산업의 디지털 전환 수준 >



※ 출처 : IQVIA, 2022

□ 현황 및 역량 비교 분석

- 생명공학육성 시행계획 등을 참고하여 디지털바이오에 대한 국가적 투자, 정책, 인프라, 제도 등 현황 분석
 - KISTEP의 기술수준평가 자료 등을 활용하여 디지털바이오 관련 기술에 수준 분석
 - 생명공학정책센터, KISTI 등의 국내 미래유망기술과 해외 MIT, WEF 등에서 선정된 유망 바이오기술을 종합하여 전문가 의견수렴으로 선정된 기술에 대한 국내외 역량을 비교할 예정
- ※ △기술수준, △시장성, △투자규모 등 정량적 지표에 따른 평가와 전문가 심층 토론

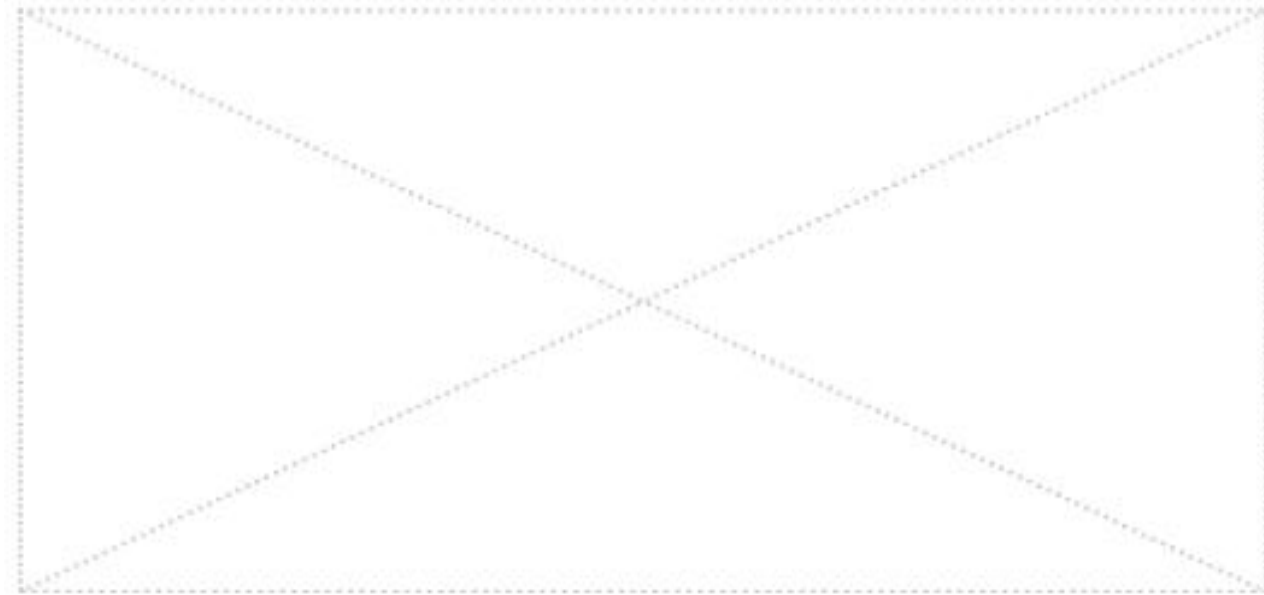
□ 미래 디지털바이오 정의 및 범위 설정

- 트렌드 분석으로 도출된 이슈와 미래 패러다임 변화를 반영하여 디지털바이오의 R&D 및 활용 영역에 대한 정의와 범위를 선정하고 이에 대한 전문가 의견수렴 수행
 - 디지털바이오에 대한 제한적 키워드 (예: 인공지능, 빅데이터 등)를 검색식으로 사용한 논문, 특허 분석

< 디지털 바이오 정의 및 범위(안)>

- (정의) 바이오에 디지털기술(데이터, 네트워크, 인공지능, 전자기술 등)을 접목하여 틀을 바꾸는 새로운 연구*와 산업의 생태계** 형성으로 기존바이오연구의 패러다임을 변혁시키는 영역
- (범위) 바이오의 정보 전산화, 연구방식의 디지털화 그리고 타 분야와의 디지털전환으로 과거에는 불가능했던 연구(미지의 영역 포함)가 가능해지면서 새로운 바이오 연구·산업을 창출할 수 있는 모든 분야

< 디지털 바이오범위(안)>



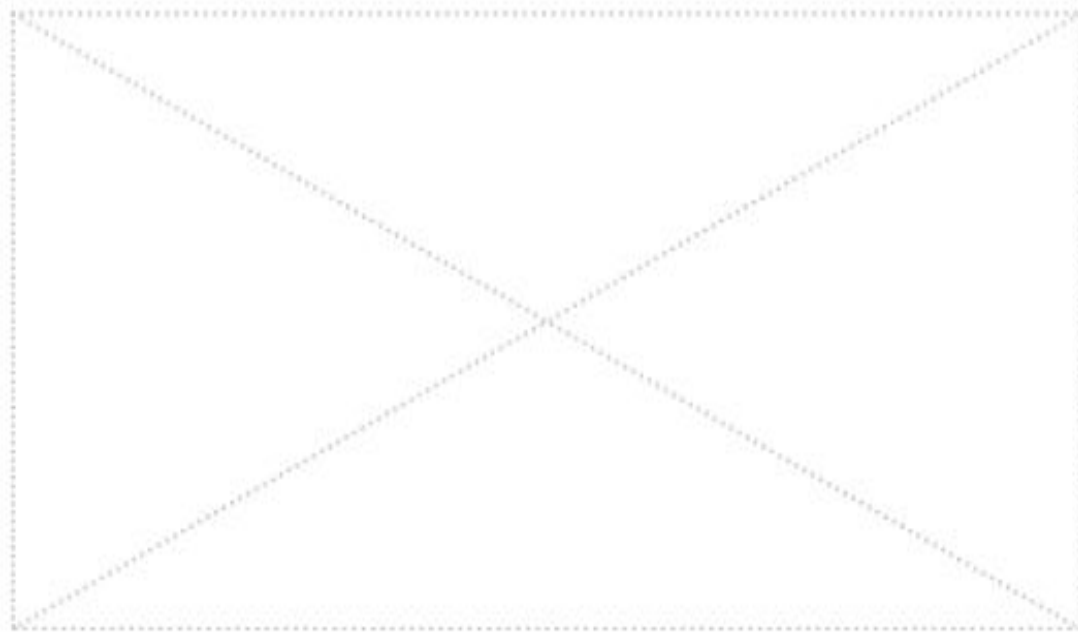
구분	내용
①정보 전산화 (Digitization)	바이오데이터의 공유·연계·활용을 가능하게 하는 바이오정보의 디지털화하는 과정 - 정보(연구정보, 소재정보 등)의 디지털화, 데이터 표준화, 데이터 분석플랫폼 등
②연구방식의 디지털화 (Digitalization)	디지털화된 바이오데이터를 활용하는 새로운 연구방식으로 연구생산성 (정확성·효율성 등)을 높이는 과정 - (예) AI 기반 신약개발 프로세스, Cryo EM활용한 신규타겟 발굴 등
③디지털 전환 (Digital Transformation)	새로운 R&D 영역 창출과 완전히 새로운 종류의 산업 창출이 가능한 영역 - (예) 뇌-컴퓨터 인터페이스, 3D 프린트, 바이오트윈, 원격의료 등

※ 출처 : 연구팀 작성

디지털바이오 기술 연구개발 지원체계(안) 마련

- 전문기관(연구재단)과의 협업을 바탕으로 선행 사업과의 연계성 및 차별화를 통한 디지털 바이오 기술 연구개발 지원체계(안) 마련 및 기술관리 모델 제시

< 디지털 바이오 기술 관리 모델(안) 예시 >



※ 출처 : 연구팀 작성

□ 디지털 바이오 육성을 위한 세부 전략안 도출

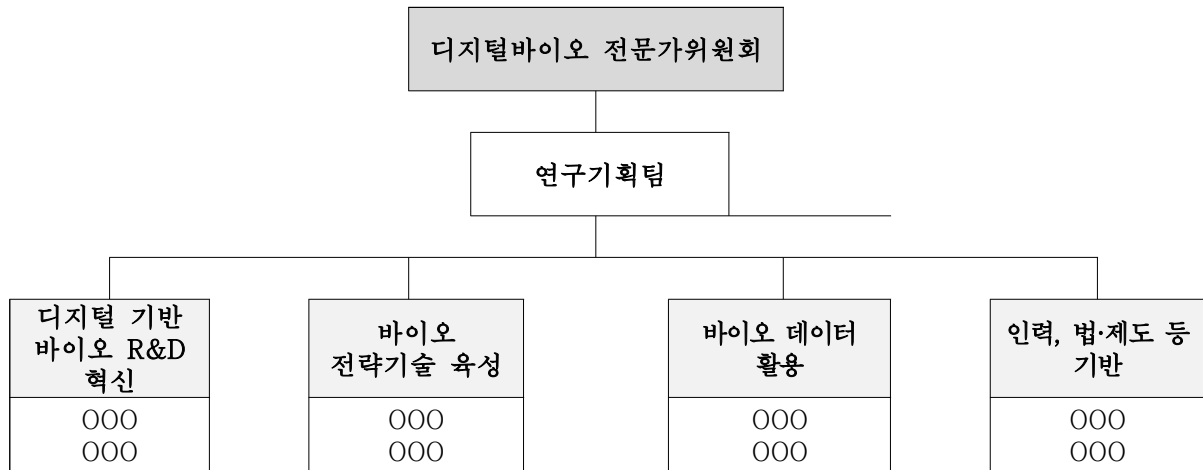
- 연구산업 현장에서의 이슈 도출 및 핵심이슈 선별 등을 통한 스토리라인을 작성하고, 이를 기반으로 세분 전략안 마련

구분	주요 이슈안 (예시)
<p>① 디지털 바이오 연구 혁신 및 플랫폼 구축 확대</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 디지털 바이오 관련 플랫폼 기술 및 핵심전략기술 발굴 등 <ul style="list-style-type: none"> ※ 마이크로바이옴, 유전자편집기술 등 ▶ 디지털활용 연구 역량 강화 방안 도출 등 ▶ 바이오-디지털 융합을 통한 신연구, 신산업 영역 창출 방안 마련 등 <ul style="list-style-type: none"> ※ 레드, 그린, 화이트 바이오와 디지털 융합을 통한 활용 등 ※ 미래유망 분야(AI활용 신약개발, 바이오파운드리 등) 육성을 위한 세부 전략 제시 등
<p>② 바이오 연구데이터 활용 고도화</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ ‘국가 바이오 데이터 스테이션’의 활용방안 도출 <ul style="list-style-type: none"> ※ 데이터 수집 및 공유 등 ▶ AI 활용을 위한 데이터 표준화 방안 도출 등
<p>③ 지속가능한 생태계 구축</p>	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 민관 합동 디지털바이오 발전 위원회 구성 및 운영(안) 마련 ▶ AI 개발 역량을 갖춘 석박사 전문인력 양성 ▶ 뇌연구촉진법 개정 등 관련 법·제도 기반 마련

□ 디지털 바이오 핵심이슈를 전달할 수 있는 학계·연구계·산업계 전문가 10인 내
외로 구성 및 운영

- 서면/화상회의 등을 통한 상시의견교류와 5~6차례 그룹 회의를 통한
기획연구 진행과정 검토 등 집중 토론을 추진
- 분야별 연구수행 방안, 활용전문가 집단 등 맞춤형 기획연구 추진
 - 기획연구 참여 전문가들을 Hub&Spoke 모델로 활동하는 학회/커뮤니티를 통해 다양한
의견을 수렴하여 이를 반영할 예정

<기획연구 추진체계(안)>



※ 분과명은 세부전략안에 따라 추후 결정계획

※ 기획연구 추진 시, 부처의견 및 전문가 일정 등을 고려하여 참여여부 결정 계획

< 분야별 연구수행방법(안)>

분야별	연구수행방안	활용전문가집단	비고
국내외 환경분석	디지털 바이오 관련 보고서 등	산학연병 전문가 협의	-
디지털 바이오 역량진단 및 선행사업 분석	NTIS 과제 및 생명공학육성 시행계획 분석 등	과기정통부, 연구재단(국책 기획팀)과의 협업	필요시 설문조사 추진 (연구재단 협의)
바이오 데이터 활용방안 모색	바이오 데이터관련 실무자 인터뷰 등을 통한 심층분석	KOBIC 관계자와 협의	-
디지털바이오 발전위원회 구성 및 운영(안) 마련	바이오관련 위원회 현황 및 문제점 비교분석	과기정통부, 실무단 논의	
디지털 바이오 육성 전략 도출 등	이슈 발굴 및 정제, 선별 등을 통한 전략안 도출	과기정통부, 연구재단 등 실무단 논의	-

나. 추진 절차

- 부처- 정책센터 사전 실무회의('22. 5. 12.)
 - 디지털바이오 혁신 전략 추진계획안 논의
 - 기획 위원회 구성 논의
- 전문가 Kick-off 화상회의('22. 7. 6.)
 - 디지털바이오 혁신 전략 추진계획안 공유
 - 디지털바이오 추진과제(안) 논의
- 디지털바이오 혁신 전략 프레임(안) 서면 회의('22. 7. 18.)
 - 전략프레임(안)에 대한 의견 수렴
 - 디지털바이오의 정의 및 개념과 범위
- 부처- 정책센터 2차 실무회의('22. 7. 28.)
 - 전문가 의견수렴 내용 검토 및 반영
 - 디지털바이오 주요 기술별 국내외 역량 비교 분석 검토
- 디지털바이오 전문가 간담회('22. 8. 10.)
 - 디지털기술을 활용한 국내·외 바이오 R&D 및 산업 동향 공유
 - 과기정통부 향후 지원 방향·전략에 대한 건의사항 청취
- 부처- 정책센터 3차 실무회의('22. 10. 27.)
 - 안건 초안에 대한 마무리 워딩작업
 - 분과 목표 및 정량적 성과목표에 대한 근거 작성
- 디지털바이오 혁신전략 현장 발표회('22. 12. 7.)
 - 디지털바이오 혁신 전략에 대한 현장 의견 수렴
 - 디지털바이오 관련 사례 공유

3. 연구개발과제의 수행결과 및 목표 달성 정도

가. 연구개발과제 수행결과

(1). 개요

① 바이오 대전환 시대

- 과학기술이 안전과 번영을 담보하는 팩스 테크니카(Pax Technica) 시대 대표 분야로 바이오 부상, 기술혁신이 신산업으로 연결
- AI·빅데이터 등 디지털 기술 도입으로 기존 바이오 한계였던 고비용, 장기간 소요, 낮은 성공률이 극복되는 '바이오 대전환' 시대 도래
- 바이오가 디지털과 융합되면서 바이오 혁신기술의 조기 확보와 새로운 산업의 등장이 가속화

② 국내외 현황 분석

- 공급망·통상 안보 관점의 국가 전략기술로서 바이오의 중요성이 재인식되면서 기술패권 경쟁 및 기술블록화의 중심으로 대두
 - 미국은 '바이오 이니셔티브' 행정명령('22.9)을 통해 바이오 분야를 반도체·배터리 수준 글로벌 기술패권 경쟁분야로 본격 관리
 - 중국도 '바이오경제계획'('22.5)을 통해, '35년까지 바이오경제 역량을 선진국 수준으로 제고한다는 의지 표명
 - 적극적인 정부와 민간의 R&D투자로 국내 기술수준은 지속 향상되었으나, 여전히 미국 등 바이오 선도국을 추격하는 입장
- * ('20년) 바이오기술 정부 R&D는 4.1조원(전체 정부 R&D 투자의 17% 차지, 최근 10년간 연평균 6% 증가), 민간 R&D는 4.7조원('19년부터 정부 투자액 추월)
- * 최고국(미국) 대비 바이오 기술격차 : ('14)4.3년 → ('18)3.5년 → ('20)3.1년

(2). 디지털바이오 트렌드 분석

① 국내외 정책 동향

□ 바이오 연구 전반(Red, Green, White)에 걸쳐 활용되는 공통기반기술 확보와 인프라 구축을 통한 R&D 생산성 및 효율성 제고

○ 범용적으로 활용 가능한 플랫폼 기술을 적극 도입하여 연구개발 속도 단축 및 성공가능성 확대 중

* 후보물질 발굴 및 검증까지 46일(기존 8년 이상)로 단축할 수 있는 인공지능 및 바이오의 약 제조 프로세스를 실시간 분석, 모델링, 최적화 하는 디지털 트윈(Digital Twin) 개발('19)

* 일부 빅파마는 플랫폼 기술을 통해 팬데믹 발생 후 1년 안에 백신을 개발하여 전세계 공급 및 주도권 확보 (예: 모더나는 '21년 상반기 매출액 7.2조원으로 전년 동기 대비 84배 달성)

* Lifetime Initiative(유럽)는 머신러닝 및 AI, DNA 시퀀싱, 단일세포분석을 통한 멀티 오믹스 기술 및 바이오 이미징 기술에 대한 연구와 함께 장비, 제품, 서비스를 개발('20~)

○ 단일세포 이미징·분석, 유전자 시퀀싱 등의 기반기술과 극저온 전자현미경, 가속기 등 기반인프라가 바이오 연구의 질을 좌우

* 기존 화합물 합성 대비 5백만 배 이상 경제적인 DEL (DNA encoded Library, 유전자암호화라이브러리)기술을 영국(GSK)은 '07년부터 활용하고 있으며, 중국(Hitgen, Wuxi 등)은 수요자 요구에 맞는 DEL 스크리닝 기술서비스 플랫폼을 제공 중

* 이스라엘, 'R&D를 위한 국가인프라포럼(National Infrastructure Forum for Research and Development)의 일환으로 1억 2,700만 달러 규모의 5개년 국가 계획 '바이오 융합(Bio-Convergence)' 프로젝트에 착수했으며, 한국과 400만 달러 규모의 공동 연구 진행 중('21~)

* Cryo-EM으로 코로나19 바이러스와 인체세포 수용체 결합 구조분석(Science, '20.3)

□ 디지털기술과의 융합으로 바이오 연구개발 방식의 혁신 (Research and Innovation)을 통한 新연구 및 新산업 창출을 위한 지원 중

○ 빅데이터 기반 AI, 블록체인 등 첨단디지털 기술을 활용하면서 데이터와 SW로 연구로 하는 새로운 바이오 연구의 지평이 열림

* EMBL(유럽)은 2017-2021의 주제로 'Digital Biology' 선정했으며, 맨체스터대학(영국)과 뮌헨공과대학(독일)은 각각 'Digital Biology' 석사과정 및 연구 클러스터 운영 중

* 일본 문부과학성은 연구데이터의 수집·공유 강화 및 연구시설·장비의 원격화·스마트화를 위한 '연

구 디지털 전환 전략 추진 ('21~)

- * 사이언스紙 2021년 과학계 최고 연구성과로 AI 로제타폴드*의 단백질 구조 예측 모델 선정

○ 전자, 에너지, 화학·소재 등 타 산업의 디지털바이오 기술 접목을 통해 기존의 성능을 뛰어넘는 획기적 신기술·신제품 창출

- * 일본은 생물 기능, 디자인, 활용을 지원하는 스마트셀 프로젝트에 총 86억 엔(약 860억 원) 투자, 2030년 기준 연간 7조엔(약 71조원) 상당의 시장형성 기대
- * Policy Horizons Canada는 생물학적 시스템과 디지털 시스템의 융합에 따른 미래예측 'Exploring Biodigital Convergence' 발표('20)
- * '18년 기준 제약바이오산업과 이종산업 간 M&A 건수는 966건(전체 67.2%)이며, 거래액도 1,751억 달러 (전체 51.6%)

□ 최근 마중 기술패권 경쟁 및 기술블록화 본격화에 따라 공급망, 통상, 안보 관점에서 바이오의 국가전략기술로서의 중요성 재인식

○ 바이오는 대표적인 고위험/고수익 (High-Risk/High-Reward) 분야, 사업화 목표로 임무지향적 (Mission-oriented) 전략적 기술투자 요구

- * (미국) 혁신 연구의 산실인 DARPA 모형을 벤치마킹한 ARPA-H(Advanced Research Projects Agency for Health)를 신설해 기초연구를 넘은 혁신적인 기술개발 촉진 선언
- * (일본) 바이오-디지털 융합을 통한 데이터 전략을 강조한 '바이오전략 2020'을 발표하고 ('20.6), 바이오 데이터 구동형 기술개발 추진 중
- * (호주) 자국의 혁신 지원과 기술동맹 체제 구축을 통한 기술주권을 확보하고자 전략기술 컨트롤 타워(CTPCO, Critical Technologies Policy Coordination Office) 설립

< 美 백악관 국가핵심 신흥 기술 목록

대분류	세부 기술
Advanced Computing	
Advanced Engineering Materials	
Advanced Gas Turbine EngineTechnologies	
Advanced Manufacturing	
Advanced and Networked Sensing and Signature Management	
Advanced Nuclear Energy Technologies	
Artificial Intelligence	
Autonomous Systems and Robotics	
Biotechnologies	<ul style="list-style-type: none"> • Nucleic acid and protein synthesis (핵산 및 단백질 합성) • Genome and protein engineering including design tools (디자인 도구를 포함한 게놈 및 단백질 공학) • Multi-omics and other biometrology, bioinformatics, predictive modeling, and analytical tools for functional phenotypes (기능적 표현형에 대한 멀티오믹스 및 기타 생체측정학, 생물정보학, 예측 모델링 및 분석 도구) • Engineering of multicellular systems (다세포 시스템 엔지니어링) • Engineering of viral and viral delivery systems (바이러스 및 바이러스 전달 시스템 엔지니어링) • Biomufacturing and bioprocessing technologies (바이오제조 및 바이오프로세싱 기술)
Communication and Networking Technologies	
Directed Energy	
Financial Technologies	
Human-Machine Interfaces	<ul style="list-style-type: none"> • Augmented reality (증강 현실) • Virtual reality (가상 현실) • Brain-computer interfaces (뇌-컴퓨터 인터페이스) • Human-machine teaming (인간-기계 팀 구성)
Hypersonics	
Networked Sensors and Sensing	
Quantum Information Technologies	
Renewable Energy Generation and Storage	
Semiconductors and Microelectronics	
Space Technologies and Systems	

출처 : 미국 백악관, 2022.2

※ 바이오관련 기술 파란색 음영 표기

< 호주의 국가 전략기술 목록 및 산업별 응용 방안 >

		대분류	세부 기술
기술		선진 재료 및 제조	적층제조(3D 프린팅), 고급 복합재료, 고급 폭발물 및 에너지 재료, 고급 자석 및 초전도체, 고급 방어복, 연속 유동 화학 합성물, 코팅, 주요 광물 추출·가공, 선진 가공공장, 나노재료·제조, 신물질 신재료
		인공지능·컴퓨팅·통신	고급 데이터 분석, 고급 집적회로 설계 및 생산, 고급 광통신, 고급 무선 통신(5G·6G), 고급 인공지능 알고리즘 및 하드웨어, 분산 원장,
		바이오·유전학·백신	고성능 컴퓨터, 기계학습, 자연어처리, 방어적 사이버보안 기술, 바이오 생산, 바이오 재료, 유전 공학, 게놈·유전자 시퀀싱 및 분석, 나노 바이오 기술, 나노 로봇, 신경 공학, 신항생제 및 항바이러스제,
		에너지 및 환경	핵의학 방사선 치료, 합성생물학, 백신 및 의료 대응 제품
		양자	바이오 연료, 지향성 에너지 기술, 배터리, 수소·암모니아, 원자력·핵 폐기물 관리 및 재활용, 태양광, 슈퍼커패시터
		센서·타이밍·네비게이션	양자 암호, 양자 통신, 양자 컴퓨팅, 양자 센서
		교통·로봇·우주	고급 이미징 시스템, 원자 시계, 중력 센서, 관성 항법 시스템, 자기장 센서, 소형 센서, 다중 스펙트럼 초분광 이미징 센서, 광학 센서, 레이더, 위성 항법·네비게이션, 센서 네트워크, 음파·음향 센서
산업		활용 기술	응용 분야
		바이오 소재 기술	고관절 세라믹 제품 개발
		컴퓨팅 화학기술	화합물의 효과를 예측할 수 있는 시스템을 통해 새로운 의약품 개발
		진단 및 자동 생화학 분석 기술	실시간 혈액 분석 및 질병 모니터링을 활용한 약물 투여량 최적화
		유전 기술	새로운 백신개발
		의료 대응 제품	추출하기 어려운 생물학적 화합물의 합성 생산물 개발
		분자 로봇 기술	신체의 특정 세포를 표적으로 삼고 제거하는 나노 규모 시스템
		신경학기술	사람의 뇌파를 이용해 휠체어를 제어할 수 있는 시스템 개발
		핵의학 및 방사선 요법	이전에 사용하지 않은 많은 양의 방사성 동위원소를 사용하여 치료 성공률이 낮은 암에 대한 새로운 치료법 개발
		정밀 의약품	부작용을 최소화하기 위한 의약품에 대해 특정 용량 요구 사항을 결정할 수 있도록 환자의 조직 분석체계 개발
		인공지능	고속 절단 기술
		자율주행·드론, 로봇 기술	자율 종자 파종, 살충제 살포
		바이오 복합재	바이오 복합재 기술을 통해 새로운 작물 시장 개척
		바이오 센서	검역 시행생물학적 검출
		컴퓨팅 화학 기술	컴퓨터 설계를 통해 비료 및 살충제 투입 관리 체계
		소형 위성 및 소형 센서	화재 관리
		유전 기술	작물의 성장 속도 조절, 질병 저항 및 충격 감소, 토양 오염 관리
	글로벌 포지셔닝 시스템(GPS)	수확 시스템	

출처 : STEPI, 글로벌 기술패권 경쟁에 대응하는 주요국의 기술주권 확보 전략과 시사점, 2021

※ 바이오관련 기술 파란색 음영 표기

< 영국 국가핵심 신흥 기술 목록 >

핵심전략기술	내용
Advanced Materials and Manufacturing	
AI, Digital and Advanced Computing (AI, 디지털 및 고급 컴퓨팅)	<ul style="list-style-type: none"> 고성능 컴퓨팅을 이용한 데이터 분석 및 조작과 디지털 트윈 등 응용 프로그램을 활용한 데이터 기반 의사 결정 및 문제 해결 가능 인공지능을 활용한 의진단, 약물 발견 및 AR/VR 기술
Bioinformatics and Genomics (생물정보학 및 유전체학)	<ul style="list-style-type: none"> 대규모 유전체학은 컴퓨터 프로그래밍과 소프트웨어 도구를 사용하여 크고 복잡한 생물학적 데이터 세트를 이해하고 다양한 종의 유전체에 대한 심층 정보를 도출하는 정교한 생물정보학과 결합 (예) 항생제 내성을 극복할 미생물 계층의 광대한 '암흑 물질', 지속가능한 순환 경제를 위한 새로운 효소와 바이오프로세싱 등
Engineering Biology (합성생물학)	<ul style="list-style-type: none"> 합성생물학은 물리학과 공학의 융합으로 생물학적 구성 요소 및 시스템의 설계 및 제작에 엔지니어링 기술과 원리를 적용 책임있는 개발을 위한 규제 프레임워크와 지속적인 투자 필요
Electronics, Photonics and Quantum	
Energy and Environment Technologies	
Robotics and Smart Machines	

출처 : 영국정부, UK Innovation Strategy, 2021

※ 바이오관련 기술 파란색 음영 표기

< 프랑스 국가핵심 신흥 기술 목록 >

핵심전략기술	내용
Microfluidic chips (미세유체칩)	혈액에 포함된 마커(암, 당뇨병 등)를 통해 다양한 질병을 감지할 수 있어 '헬스리포트'처럼 정기적으로 사용 가능
gene therapy (유전자치료)	기능적 유전자를 신체에 도입하여 비정상을 교정하고 심각한 장애를 일으키는 유전 질환을 치료
regenerative medicine (재생의료)	바이오 프린팅은 손상된 인간 장기와 조직을 재구성하는 가능
the creation of digital duplicates using artificial intelligence (인공지능 활용 디지털 복제본 생성)	덜 침습적인 검사를 허용하여 혈류와 같이 육안으로 볼 수 없는 데이터를 기반으로 훨씬 더 정확한 진단을 생성 가능
molecular medicine (분자 의학)	특정 박테리아에 '분자 가위'를 사용하여 매우 국소적인 방식으로 작용할 수 있도록 각 개인 맞춤형 치료 가능
connected devices to monitor diabetic patients remotely (당뇨병 환자 원격 모니터링 장치)	I형 당뇨병에 대한 인슐린 조절 가능
smart prostheses (스마트 보철물)	인공지능 활용 보철물의 제어와 환자의 의도 사이의 격차를 해소하기 위해 환자의 움직임 예측

출처 : 프랑스정부, Healthcare innovation 2030, 2021

※ 바이오관련 기술 파란색 음영 표기

< 이스라엘의 바이오융합 분야 >

바이오 융합 기술	내용
Drug discovery (약물 후보물질발견)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 혁신적인 엔지니어링 솔루션을 통해 신약 개발 비용을 합리화, 가속화 및 비용절감으로 개인 맞춤형 의료 가능 ▪ 생물학과 첨단 공학 기술이 결합한 미세 생리학적 시스템은 신약 테스트를 가능하게 하여 초기 단계부터 인간 조직에 적용되어 인간의 질병 발병 진행 상황을 시뮬레이션함으로써 효율적인 약물을 식별하고 실험 동물의 사용을 크게 줄일 수 있음
Nanorobotics for drug delivery (약물 전달을 위한 나노로봇)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 생물학적 시스템(DNA, 세포 또는 박테리아 등)에서 표적 세포로 약물 전달을 위해 설계된 나노 로봇은 다른 약물 및 물질을 내부에 저장할 수 있고 외부 환경에 반응하여 약물 언로딩 신호를 식별할 수 있으며, 적절한 시간과 장소에 통제된 방식으로 배포
Regenerative medicine - tissue printing, cyborg tissue (재생 의료 - 조직공학, 사이보그 조직)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 새로운 나노물질을 사용하여 개별 세포 해상도에서 새로운 장기를 구축할 수 있는 혁신적인 3D 조직 바이오 프린팅 기술 ▪ 생물학적 재료와 조직에 통합되는 전자 부품(사이보그 조직)으로 만들어진 "스마트" 하이브리드 임플란트의 생산을 결합 ▪ 손상된 장기와 조직을 향상된 품질을 지닌 새로운 조직으로 교체할 수 있음
Diagnostics and biological sensors (진단 및 생물학적 센서)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 항생제에 내성이 있는 박테리아의 진화를 제한하기 위해 항생제 사용을 줄이기 위해 세균 감염과 바이러스 감염을 구별하는 개선된 능력이 필요 ▪ 생물학적 감지는 생명 공학과 나노 기술을 결합한 새로운 기술로 항체, 효소 및 핵산과 같은 생물학적 분자와 박테리아를 사용하여 특정 물질을 발견하고 식별 ▪ 바이오센서는 센서와 보고 시스템 사이의 융합을 구성하는 유전자 조작된 생물학적 분자로서 재료에 대한 식별 구성 요소를 생성
Optogenetics (광유전학)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 유전공학과 빛의 고속정밀 펄스, 광섬유 사용 등 물리학 세계의 기술을 결합한 혁신적인 기술로 빛을 이용하여 뇌의 특정 뉴런을 정확하게 활성화하는 것을 목표로 함
Bioelectronics (생체전자공학)	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 화학, 생물학, 물리학, 나노기술 및 재료과학의 요소를 결합한 학제간 연구 분야로 광범위한 기능 장치를 개발하기 위해 생체 분자를 전자와 결합할 수 있는 새로운 기술 능력을 활용
Engineered "living materials" (엔지니어링된 "살아있는 재료")	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 재료 자체를 만들거나 구성하거나 기능적 성능을 조절하는 살아있는 세포로 구성된 공학 재료 ▪ 예: 복제, 자가 치유 및 조절, 주변 환경에 대한 반응 및 자가 지속 가능성과 같은 생물학적 시스템의 특성을 가진 "살아 있는" 재료(의료 기기 및 기타 요구 사항용)를 만드는 것이 가능

출처 : 이스라엘정부, Bio-convergence, 2019

< 바이오디지털의 융합의 예시 >

구분	새로운 기능	관련 바이오와 디지털 기술의 조합	현황 및 예시
인간을 변화시키는 새로운 방법 - 몸, 마음, 행동	인간 핵심 생물학적 속성 및 특성인 유전자 변형	<ul style="list-style-type: none"> • CRISPR/Cas9와 같은 유전자 시퀀싱 및 편집 • 기계 학습 활용 편집 대상 유전자 예측 	<ul style="list-style-type: none"> • 세계 최초 유전자 편집 아기 • 컴퓨터 과학 도구로 강화된 분자 생물학
	인간의 생각과 행동을 모니터링, 변경 및 조작	<ul style="list-style-type: none"> • 신경 기술 활용 뇌 신호 분석 • 뇌 건강을 향상을 위한 디지털 앱 	<ul style="list-style-type: none"> • SAP와 EMOTIV가 협력하여 SAP 직원의 스트레스 관리 지원 • 미국은 작년에 두뇌관리를 위한 앱에 19억 달러를 지출
	질병을 예측, 진단 및 치료할 뿐만 아니라 신체 기능을 모니터링, 관리 및 영향을 주는 새로운 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 미생물군집과 같은 복잡한 환경을 이해할 수 있는 유전자 시퀀싱 • 디지털 장치를 착용하거나 신체에 내장하여 기능을 치료하고 모니터링 • 기계 학습 시스템은 사망률과 치료 결과를 예측 	<ul style="list-style-type: none"> • Guardant의 빠르고 더 정확한 액체 생검 • 워털루 대학은 의료 모니터링을 위한 자체 전원 센서 개발 • Amazon 특허를 통해 Alexa의 기침이나 감기 감지 • AI는 신뢰할 수 있는 혼수 상태 결과 예측 제공
	새로운 장기 생성 및 인간 기능 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 디자인과 생산 도구 기반의 3D프린팅 맞춤형 장기 • 신체 기능을 향상시키기 위해 이식된 디지털 장치를 사용한 바이오 해킹 	<ul style="list-style-type: none"> • 폐 조직과 혈관을 모방한 3D 프린팅 • 동물 수용자에게 입증된 기능의 실험실 배양 신장 • 2단계 인증의 개인화된 버전을 위한 칩 개발
	세상을 경험하고 소통하는 새로운 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 뇌 신호를 통해 기계를 제어할 수 있는 뇌-기계 인터페이스 • 기계 학습 알고리즘을 사용하여 기능과 감도를 확장하는 보철 	<ul style="list-style-type: none"> • Neuralink의 수천 개의 채널 통합 뇌-기계 인터페이스 • Infinite Biomedical의 딥 러닝 기반 의수 제어 시스템 FDA 승인 • FDA, 뇌 제어 보철물에 대한 규제 지침 발표
	새로운 장기 생성 및 인간 기능 향상	<ul style="list-style-type: none"> • 기계 학습 활용 단백질 접힘 시뮬레이션 및 약물 설계 • 치료법을 테스트하기 위한 3D 프린팅 조직 • 나노봇 및 나노물질 활용 생약물 전달 • 머신 러닝 활용 임상 시험 결과 예측 	<ul style="list-style-type: none"> • AI 활용 단백질 접힘 알고리즘 • 나노봇 활용 케양 치료 개발 중 • MIT의 AI 기술 적용 임상 시험 결과를 예측

다른 유기체변경 또는 생성하는 새로운 방법	유기체가 성장하는 데 필요한 입력의 유형 또는 양 변경	<ul style="list-style-type: none"> • CRISPR/Cas9와 같은 유전자 시퀀싱 및 편집의 발전 	<ul style="list-style-type: none"> • 트랜스제닉 담배 식물의 광합성 향상으로 생산성 40% 향상
	맞춤형 특성을 가진 완전히 새로운 유기체 생성	<ul style="list-style-type: none"> • 합성 생물학은 새로운 생물학적 개체의 설계 및 구성을 위해 생물학, 공학, 컴퓨터 과학 및 물리학에서 영감을 얻음 • 인공 지능은 특정 특성을 가진 미생물을 설계하는데 도움 	<ul style="list-style-type: none"> • CAD(Computer-Aided Design) 도구와 마찬가지로 많은 오픈 소스 소프트웨어는 연구자가 특정 기능을 충족하는 생물체의 복잡한 유전 회로를 분석하고 설계하는데 도움 • Ginkgo Bioworks는 "기술을 생물학으로 대체하기 위해" 맞춤형 유기체를 설계 • 과학자들은 기계 학습을 사용하여 바이오 연료 생산 속도를 높임 • 디지털 회로와 마찬가지로 PERSIA라는 '바이오 멀티미터'를 통해 연구자는 시험관 내 및 실시간으로 유전 회로의 생물학적 기능을 측정
	유기체가 물질을 생산하는 대상과 방법 변경	<ul style="list-style-type: none"> • CRISPR/Cas9와 같은 유전자 시퀀싱 및 편집의 발전 	<ul style="list-style-type: none"> • 연구원들은 박테리아를 사용하여 물, CO2 및 햇빛으로부터 부탄올을 합성
생태계를 바꾸는 새로운 방법	전체 종의 변경 및 근절	<ul style="list-style-type: none"> • CRISPR 및 생태계 또는 야생 동물을 변경하는 새로운 방법을 만드는 유전자 드라이브와 같은 접근 방식을 사용한 생식선 편집 	<ul style="list-style-type: none"> • Target Malaria는 유전자 드라이브 실험에서 부르키나파소에서 유전자 변형 모기를 방출
	자연 환경을 대규모로 변경	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소 포집 또는 태양 반사율을 정확하게 모델링하는 지구 공학 접근 방식 	<ul style="list-style-type: none"> • 탄소를 저장 및 포집하고 기후 변화를 상쇄하기 위해 이탄 지대의 미생물 공학
	유기체의 확산 예측 및 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 역학은 질병을 추적하기 위해 디지털 통신 기술 및 분석에 의존 	<ul style="list-style-type: none"> • Flutracking 및 InfluenzaNet은 디지털로 연결된 자원 봉사자 네트워크를 사용하여 독감 발병을 추적

정보를 감지, 저장, 처리 및 전송하는 새로운 방법	생물학적 시스템을 사용하여 정보를 저장하는 새로운 방법	<ul style="list-style-type: none"> • 현재 기술보다 더 오랜 기간 동안 생물학적 시스템에 대량의 디지털 정보를 저장 	<ul style="list-style-type: none"> • Microsoft와 University of Washington, 최초의 완전 자동화된 DNA 데이터 저장 시스템 시연
	유기체를 바이오컴퓨터로 전환	<ul style="list-style-type: none"> • 생물학적 유기체 및 속성을 사용하여 계산 수행 	<ul style="list-style-type: none"> • 인간 세포 내부에 듀얼 코어 컴퓨터를 구축하는데 사용되는 CRISPR
	생체모방 소재 만들기	<ul style="list-style-type: none"> • 생물학적 시스템에서 영감을 얻어 보다 효율적인 전자 및 디지털 시스템 설계 	<ul style="list-style-type: none"> • 연구원들은 인간의 피부보다 더 높은 감도를 가진 인공 피부와 신경계를 만듭니다.
생물학적 혁신, 생산 및 공급망을 관리하는 새로운 방법	보다 효율적이고 확장 가능한 연구 및 생산 방식	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털 시스템을 사용하여 생물학적 생산 확대 • 디지털 시스템을 사용하여 연구 자동화 	<ul style="list-style-type: none"> • Fraunhofer는 광생물 반응기에서 미세조류 배양을 자동화 • 연구실 자동화로 연구 속도 향상 • 로봇 농부들이 스스로 보리를 심고 수확하는데 성공 • 자율적인 항생제 발견
	점점 더 개방적이고 효율적인 공급망 관리	<ul style="list-style-type: none"> • 기계 학습 및 분산 원장은 자료를 추적하고 감사를 지원 	<ul style="list-style-type: none"> • 블록체인은 바이오제약의 '진실의 원천'
	연구 지원을 위한 세포주 및 계놈에 대한 공개 협업	<ul style="list-style-type: none"> • 생물학적 물질 및 코드의 효율적인 교환을 지원하는 디지털 네트워크 	<ul style="list-style-type: none"> • Frozen Farmyard: 깨끗한 고기 세포주 저장소 생성

출처 : 캐나다정부, Exploring Biodigital-Convergence, 2020

< 디지털 혁신을 통한 생명과학의 변화 >

	디지털 혁신	내용
실 험 실	AI 기반 약물 발견(AI) AI-driven drug discovery(AI)	<ul style="list-style-type: none"> 표적 식별 및 검증을 자동화하고 주요 분자를 식별하기 위해 광범위한 분자 라이브러리를 스크리닝하는 시간 단축 AI 기반 컴퓨터 화학 도구 키트를 통해 발견 과학자는 새로운 공간을 탐색하고 약물 후보로 고려할 잠재적 구조 풀을 확장하여 개발 파이프라인 크기와 다양성 향상
	자동화된 연구실 프로세스(로봇 및 IoT) Automated lab processes(robotics and IoT)	<ul style="list-style-type: none"> 물리적 및 디지털 로봇은 샘플 준비, 피펫팅 및 표준 분석 테스트와 같은 실험실 프로세스를 자동화하여 활동의 고정밀 및 반복성으로 관리하여 수동 작업 부하 감소
	가상 데이터 도우미(AR/VR, AI) Virtual data assistants(AR/VR, AI)	<ul style="list-style-type: none"> AR/VR, NLP 및 컴퓨터 비전을 갖춘 디지털 비서는 모든 비디오 및 오디오 관찰을 자동으로 기록하면서 실험실 절차의 단계와 이전 실험의 메모를 표시하여 핸드프리 작업을 용이
	상호 운용 가능한 데이터 생태계(IoT) Interoperable data ecosystems(IoT)	<ul style="list-style-type: none"> IoT를 통해 연구 플랫폼과 스마트 기기는 데이터를 자동으로 정리, 저장 및 클라우드 플랫폼에 업로드하여 상호 운용 가능한 실험실 생태계 조성하여 실험에서 얻은 데이터와 통찰력의 연결, 액세스 및 가용성이 보장
	원활한 데이터 공유 및 접근(클라우드) Seamless data sharing and access(cloud)	<ul style="list-style-type: none"> 클라우드 데이터 스토리지를 통해 원활하고 동적인 워크플로를 생성함으로써 조직과 지역의 과학자들은 실험 중에 수집된 데이터(예: 오디오 녹음 및 연구 노트)를 손쉽게 공유하고 함께 작업하여 데이터를 분석하고 후속 실험을 전략화
스 마 트 팩 토 리	연결된 제조 생태계 (IoT, 데이터 레이크) Connected manufacturing ecosystems (IoT, data lakes)	<ul style="list-style-type: none"> 이질적인 제조 실행 시스템, 실험실 정보 시스템, 현장 센서, 파트너/공급업체 시스템이 IoT를 통해 연결되어 제조 생태계 전반에 걸쳐 가시성을 높이기 위해 데이터를 집계하고 컨텍스트화 가능
	예측적 수율 최적화 및 사전 예방적 품질 관리(AI) Predictive yield optimization and proactive quality control (AI)	<ul style="list-style-type: none"> AI 기반 솔루션은 제조 중 변경 매개변수의 영향을 모델링하여 적시에 수정 조치를 제안하여 편차와 생산 손실 감소 ML 알고리즘은 여러 배치 및 제품 라인의 데이터를 분석하여 프로세스 편차를 식별하여 품질 문제를 예측하고, 품질 문제가 발생할 가능성이 가장 높은 배치만 조사하여 시간과 자원을 절약
	AI 기반 자산 가동 시간 (AI, 클라우드) AI-driven asset uptime(AI, cloud)	<ul style="list-style-type: none"> AI는 클라우드에 저장된 운영 및 유지 관리 이력 데이터를 기반으로 자산 유지 관리 요구 사항을 예측하여 값비싼 API의 중단 및 손실을 방지
	디지털 일괄 처리(AI) Digital batch disposition (AI)	<ul style="list-style-type: none"> AI는 RPA와 결합하여 규제 및 규정 준수 요구 사항을 충족하기 위해 포괄적이고 감사 가능한 데이터 추적을 생성
	현장 지휘센터 (디지털 트윈, AI) Site command centers (digital twin, AI)	<ul style="list-style-type: none"> 기업은 AI 또는 디지털 트윈을 사용하여 제조 생태계의 데이터를 분석하여 업스트림, 미드스트림 및 다운스트림 중단이 제조 운영에 미치는 영향을 모델링하거나 시뮬레이션 가능

출처 : Deloitte, Life science digital innovation), 2022

< 바이오디지털의 특징 >

특성	내용
민주화 (Democratization)	<ul style="list-style-type: none"> • 소프트웨어와 하드웨어의 발전으로 바이오 제품 생산에 대한 비싼 장비 비용 및 전문 지식, 무균 환경 등의 제한이 없어짐 • 원격 시스템 제어 및 디지털 형식의 명령 세트 전송하는 기능과 높은 수준의 자동화로 인해 생물학 기반 생산의 접근성 강화 • (예시) 온라인으로 CRISPR 키트 구입해 집에서 유전자 변형을 수행하는 바이오해커, 집에서 해파리에 유전자를 삽입하여 빛나게 만들 수 있는 30달러의 유전자 디자인 스타터 키트, 분자 생물학 및 유전 공학 스타터 키트의 가격은 170달러 미만
탈중앙화 (Decentralization)	<ul style="list-style-type: none"> • 합성생물학의 발전에 따라 분산 생산 가능 • 특정 지리적 위치에서 생성 또는 추출해야 되는 제품의 경우, 맞춤형 화학적·생물학적 과정을 통해 빠르고 저렴하게 화합물 조립 및 생산 가능 • (예시) 실험실에서 만드는 배양육, 일본 Spiber 社 Brewed Protein 유전자 변형 단백질의 패션 산업, 건설 산업, 자동차 산업에서의 새로운 소재로 활용, 이산화탄소를 포획하는 조류 기반 생물반응기에서 생산된 바이오매스를 연료, 플라스틱, 화장품 등의 제품 전환
지리적 확산 (Geographic diffusion)	<ul style="list-style-type: none"> • 천연자원이 부족한 국가는 바이오디지털 기술을 활용하여 수입이 필요했던 재료를 직접 생산 가능 • 오픈소스로 공개된 연구를 통해 바이오디지털 지식의 보급이 빠르게 진행되며 지리적 확산 • (예시) Volumetric 회사에서는 3D 혈관 실험에 대한 모든 소스 데이터를 공유
확장성 (Scalability)	<ul style="list-style-type: none"> • 디지털과 생물학에서 신속한 복제 및 생산 가능 • 한계 생산 비용이 낮고 복제가 용이하다는 바이오디지털 특성상 확장가능성이 높음
사용자 정의 (Customization)	<ul style="list-style-type: none"> • 생물학적 시스템은 복잡성은 시스템이 고도로 적응 가능하고 다양화할 수 있음을 의미하며, 다양한 경로를 통해 원하는 결과물을 얻을 수 있으므로 고급 사용자 정의 가능 • (단일 시스템에서 여러 맞춤형 생물학적 출력 생성 가능) 합성생물학 기업에선 유사한 프로세스를 통해 수백 개의 다른 생물과 제품을 생산 • (건강관리 측면에서의 생물학적 복잡성) 개인화된 마이크로바이옴을 대상으로 하는 바이오디지털 요법 등장 가능
데이터 의존도 (Reliance on data)	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오디지털 융합은 기술과 애플리케이션은 많은 양의 데이터 없이는 작동 불가하며, 필요한 데이터도 매우 다양함 • 바이오디지털 융합의 잠재력을 극대화 하기 위한 데이터 수집, 관리, 공유 및 관리하는 업계의 발전가능성을 보임

출처 : 캐나다정부, Exploring Biodigital-Convergence, 2020

② 국내외 역량 분석

- (분석방법) 전문가 의견수렴을 거쳐 도출된 바이오 혁신 기술에 대한 국내외 역량비교를 위해 글로벌 보고서* 등을 통한 시장현황 및 전망 그리고 네이처 다이멘션(부록 참조)을 활용한 해당 기술의 논문과 특허 역량을 비교하여 1등국 대비 %로 산출

* 출처는 별도 표기

< 주요 바이오 혁신기술에 대한 역량 분석 >

연번	기술명	글로벌			국내		
		시장 규모	연평균 성장률	출처	구분	논문 1등 대비(%)	특허 1등 대비(%)
1	유전자편집 기술 (gene editing)	54억 달러 (2021년 기준)	15.5% (2020~2030)	Global Market Insight (2022)	건수	1,769/30,529 (5.79%)	969/25,378 (3.82%)
					인용 지수	36,939/892,814 (4.14%)	
2	재생의료기술 (regenerative medicine)	122억 달러 (2021년 기준)	27.2% (2022~2027)	Regenerative Medicine Market (2022)	건수	58,423/756,967 (7.72%)	29,167/388,733 (7.50%)

					인용 지수	1,598,057/36,124,933(4.42%)	
3	AI 신약개발 (AI in Drug Discovery)	473.4백만 달러 (2019년 기준)	28.63% (2020~2027)	Allied Market Research (2022)	건수	489/9,384(5.21%)	32/2,788 (1.15%)
					인용 지수	18,286/251,571(7.27%)	
4	헬스케어 디지털트윈 (Digital twin in Healthcare)	6억 달러 (2019년 기준)	26% (2019~2025)	Frost & Sullivan (2019)	건수	7/42 (16.67%)	2/11 (18.18%)
					인용 지수	25/637 (3.92%)	
5	바이오 빅데이터 플랫폼 (Bio bigdata platform)	-	-	-	건수	3,107/33,515 (9.27%)	1,580/24,011(6.58%)
		-			인용 지수	96,234/866,560 (11.11%)	

6	차세대 화합물 은행 (DNA Encoded Library, DEL)	7.2억 달러 (2020년 기준)	21.27% (2019~2029)	Absolute Market Insight (2022)	건수	14/716(1.96%)	2/577 (0.35%)
					인용 지수	190/26,192(0.76%)	
7	장기유사체 (오가노이드) (Organoid)	5.2억 달러 (2021년 기준)	8.5% (2022~2031)	Allied Market Research (2022)	건수	2,242/35,349 (6.34%)	744/10,097 (7.37%)
					인용 지수	53,838/1,285,714 (4.19%)	
8	머신인터페이스 (BCI, BMI)	303억 달러 (2020년 기준)	2.9% (2021~2027)	Research And Markets (2020)	건수	141/2,563 (5.50%)	-
					인용 지수	6,270/69,185 (9.06%)	

9	전자약 (Electroceutical)	168억 달러 (2021년 기준)	5.0% (2021~2026)	Markets And Markets (2020)	건수	68/715 (9.51%)	40/174 (22.99%)
					인용 지수	2,048/16,069 (12.75%)	
10	디지털 치료제 (Digital Therapeutics)	23억 달러 (2020년 기준)	21.36% (2020~2030)	Strategic Market Research (2021)	건수	263/2,796 (9.41%)	57/487 (11.70%)
					인용 지수	4,613/66,162 (6.97%)	
11	바이오닉스 (Bionics)	181억 달러 (2021년 기준)	9.2% (2021~2029)	Maximize Market Research (2021)	건수	94/6,139 (1.53%)	72/21,502 (0.33%)
					인용 지수	2,912/59,703 (4.88%)	
12	합성생물 (engineering biology, synthetic biology)	42.7억 달러 (2018년 기준)	19.7% (2017~2023)	Frost & Sullivan (2019)	건수	24/185 (12.97%)	-

					인용 지수	280/3,934 (7.12%)	
13	식물공장 (plant factory, green vaccine)	1,218억 달러 (2021년 기준)	7.2% (2021~2026)	Markets And Markets (2020)	건수	402/6,931 (5.80%)	38/1,101 (3.45%)
					인용 지수	5,179/68,493 (7.56%)	
14	마이크로바이옴 (microbiome)	81.1억 달러 (2019년 기준)	7.6% (2019~2023)	Frost & Sullivan (2019)	건수	8,177/121,929 (6.71%)	1,211/17,241(7.02%)
					인용 지수	187,764/4,249,373 (4.42%)	
15	혁신 신약	R N A 치 49억 달러 (2018년 기준)	17.6% (2021~2027)	Allied Market Research (2022)	건수	150/2,807 (5.34%)	57/3,112 (1.83%)

		료 제				인용 지수	4,553/121,572 (3.75%)	
		웹 타 이 드	367.6억 달러 (2020년 기준)	6.1% (2021~2030)	Prophecy Market Research Insights (2022)	건수	1,082/8,307 (13.03%)	2,390/23,887(10.01%)
						인용 지수	36,290/443,217 (8.19%)	
		P R O T A C	1억 달러 (2021년 기준)	10.2% (2022~2029)	Data Bridge Market Research (2021)	건수	45/1,006 (4.47%)	8/519 (1.54%)
						인용 지수	775/32,057 (2.42%)	
		C A R 치 료 제	61억 달러 (2021년 기준)	31.2% (2021~2030)	Bio Space (2022)	건수	691/21,744 (3.18%)	803/32,376 (2.48%)
						인용 지수	15,821/744,515 (2.13%)	

16	병원체 내성 극복 기술 (Antimicrobial Resistance, Antibiotic Resistance)	101억 달러 (2020년 기준)	5.3% (2022~2033)	Persistence Market Research (2022)	건수	402/6,931(5.8%)	38/1,101 (3.45%)
					인용 지수	5,179/68,493 (7.56%)	

(3). 전문가 의견수렴

(1). Kick-off 회의

(목적)

- 첨단 디지털 기술과 바이오 융합이 가속화됨에 따라 바이오의 디지털 대전환을 선도할 핵심 선도 기술 확보 및 바이오 연구의 新패러다임 정립
- 기술 혁신과 더불어 산업·안보에까지 영향을 미칠 수 있는 전략 기술을 선정해 역량 결집을 통한 신속한 경쟁력 확보

(일시/장소) '22.7.6.(수) 10:00~12:00/ Zoom 회의

(참석) 과기정통부, 산학연 전문가, 정책연구센터 실무진 등 12명

(주요 논의 사항)

- 디지털 바이오 정의 및 범위
- 국가 바이오 혁신 전략 프레임

(2). 2차 회의

(목적)

- 바이오 R&D가 가진 한계(고비용장기간High-Risk) 극복으로 경제·사회·안보 등에서 영향력이 확대되는 바이오 대전환 시대 개막
- 바이오 분야의 혁신 역량 강화 및 바이오 핵심 전략기술 육성을 위한 방안 마련 필요성 제기

(일시/장소) '22.8.10(수) 16:00~17:30/웨스틴 조선호텔 라일락 홀

(참석)

- (과기정통부) 연구개발정책실장, 생명기술과장, 담당자

○ (산·학·연) 디지털바이오 산·학·연 전문가 10인 내외

□ (주요 논의 사항)

- 바이오-디지털 융합을 통한 신기술·신산업 육성 방안
- 디지털기술을 활용한 국내·외 바이오 R&D 및 산업 동향 공유
- 과기정통부 향후 지원 방향·전략에 대한 건의사항 청취

(3). 3차 회의

□ (목적) 미국 '생명공학·바이오제조 이니셔티브' 행정명령 등 글로벌 기술 패권 경쟁 심화되는 상황에서, 바이오 기술혁신으로 기술경쟁력·자립도와 대외협상력 제고 추진

□ (일시/장소) '22.12.7.(수) 14:00~15:30/ 판교 테크노밸리 B동 지하1층 세미나실

□ (참석) 과기정통부장관님, 기초원천연구정책관, 산·학·연 전문가 등 15인 내외

□ (주요 논의 사항)

- 「디지털바이오 혁신전략」 발표 및 논의
- 바이오와 디지털 융합을 통한 바이오 R&D혁신 및 신기술·신산업 육성 방안 논의

(4). 디지털바이오 혁신전략

I. 추진배경

□ (현황) 과학기술이 안전과 번영을 담보하는 팩스 테크니카(Pax Technica) 시대의 대표 분야로 바이오 부상, 기술혁신이 곧 신산업으로 연결

○ 고령화, 감염병, 식량 등 현안 관련 사회적 비용 저감 및 경제성장을 위한 바이오의 역할 확대로 글로벌 바이오 시장* 급성장

* '15년 이후 3대 수출시장(반도체·자동차·화학제품) 합계를 뛰어 넘어 연평균 7% 성장 중

□ (한계) 그러나, 최근 글로벌 신약개발 비용·기간이 증가하고, 투자 대비 수익률은 감소하는 등 바이오 분야의 생산성과 효율성에 한계

○ 기존 바이오 R&D가 갖는 높은 불확실성, 우수 후보물질 고갈, 낮은 재현성 등이 대두되면서 이를 극복할 해결책 요구 증대

《글로벌 신약 시장 생산성 현황》

《정부투자금액별 논문, 특허 현황》

구분	신약 1개 출시 비용	R&D투자 대비 수익률	임상개발 기간
2014년	\$14억	5.5%	2,246일
2018년	\$22억	1.9%	2,411일

구분	1억 당 논문수 (편)	1억 당 특허수 (건)
'12-'14년	0.31	0.18
'15-'17년	0.29	0.17
'18-'20년	0.28	0.17

※ 출처 : 2018 GlobalData, 2020년 국가연구개발활동조사보고서

□ (기회) 바이오 분야에 디지털 역량 접목으로 과거에는 불가능했던 기술이 가능해지면서 새로운 R&D 및 산업적 기회 창출

○ AI·빅데이터 등을 활용 바이오 연구사업화 과정의 시간과 비용이 크게 절감되면서 혁신기술 조기 확보가 가능한 바이오 대전환 시대 도래

※ AI 활용 신약개발 시장은 '19년 473.4백만 달러에서 연평균 28.63% 성장하여 '27년 3,548.6백만 달러 규모에 달할 것으로 전망 (Alieo Market Research, '20)

※ 글로벌 빅파마는 AI 활용을 위해 파트너십과 조인트 벤처를 맺고 있으며 (Frost & Sullivan, '20), AI 활용 신약개발 파이프라인은 매년 40%씩 확장 중 (Nature Reviews Drug Discovery, '22)

자연관찰의
시대(~18c)

- 신학과 과학의 구분 모호
- 생물체에 대한 이해 부족으로 자연발생설 신봉

미생물 연구
시대(19c)

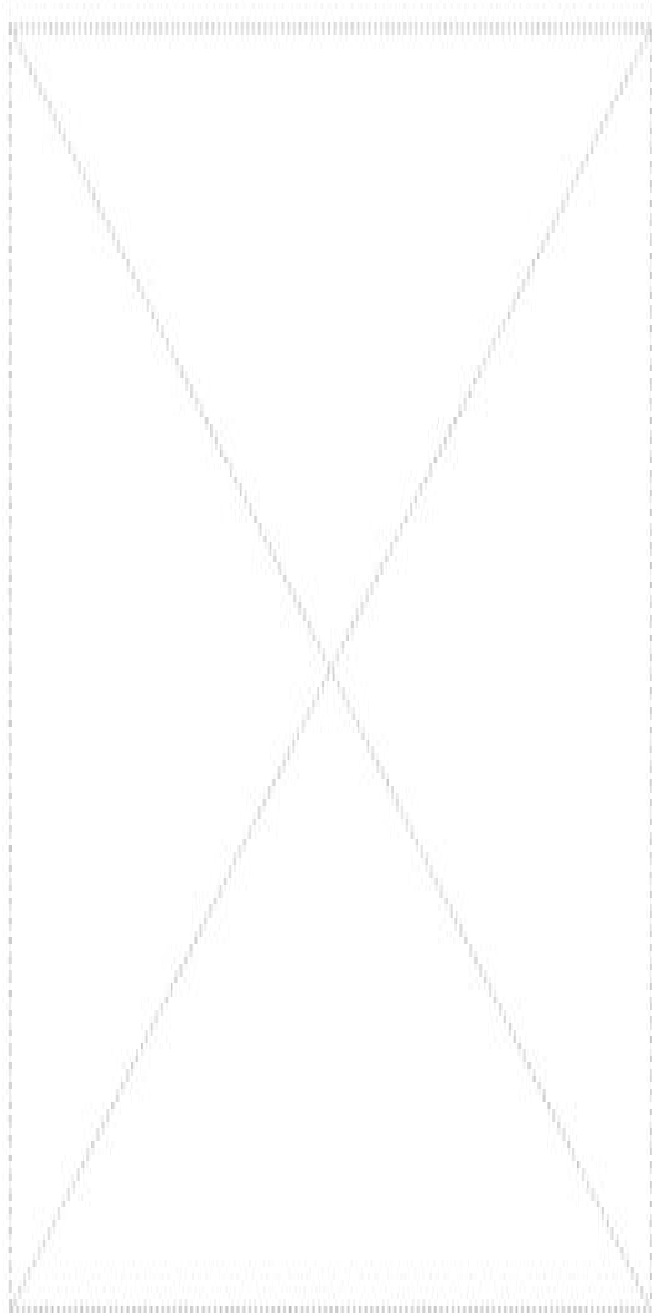
- 미생물 존재 및 이로 인한 부패와 질병발생 원리 발견
- 과학적 바이오 연구 기틀 마련

유전자 연구
시대(20c)

- DNA 이중나선 구조 발견 (1953)으로 유전자연구 시작
- RNA와 단백질 등을 분자단위로 연구하는 분자생물학 발전

디지털 융합
시대(21c)

- 인간게놈 유전자 지도 발표(2000)로 생물정보학 시대 본격화
- 인공 세포를 제작하여 활용하는 합성생물학 발전
- AI·빅데이터를 활용하여 생명현상에 대한 분석·예측을 고도로 가능



“바이오의 미래”

데이터를 핵심 연구자원(Key Currency)으로 하여 AI와 로봇 등 첨단 디지털 기술의 내재화를 특징으로 하는 ‘바이오 대전환’이 진행되면서 데이터와 소프트웨어로 연구하는 ‘디지털바이오 시대’로 진입

Ⅱ. 바이오 대전환기 도래

- ◇ 바이오가 디지털과 융합되면서 기존의 한계를 벗어나 바이오 자체의 발전뿐 아니라 전 산업분야에 전방위적으로 파급되어 혁신을 촉진
- (디지털 융합) 첨단디지털 기술과 바이오 간 융합 가속화로 데이터와 SW로 연구하는 새로운 연구방식 및 新기술·新산업 창출
 - (유럽) EMBL*은 디지털바이오 사업 추진('17~'21), 영국 맨체스터大, 독일 뮌헨공과大는 디지털바이오 대학원 과정 및 연구 클러스터 구축
 - * (Europe Molecular Biology Laboratory, 유럽 분자생물학연구소) 유럽 27개국이 공동 설립한 바이오 분야 대표 연구소, 유럽 6개소에서 110개 연구팀 운영 중
 - (일본) 데이터 중심의 바이오-디지털 융합을 강조한 '바이오전략 2020'을 발표하고 바이오 데이터 기반 기술개발 지원 ('20.6월~)
 - ※ 연구데이터 수집공유 및 연구시설장비·스마트화를 위한 '연구디지털전환 전략도 추진('21~)
- (플랫폼기술 확산) 바이오 전반에 걸쳐 활용되는 공통기반기술과 인프라 혁신으로 연구개발 속도 단축 및 성공 가능성 향상
 - (EU) 바이오 혁신을 위한 'Lifetime Initiative'을 수립, AI, DNA 시퀀싱, 단일세포분석, 오믹스 등에 대해 R&D 및 장비·서비스·제품 개발('20~)
 - (독일) '산업 바이오기술 혁신' 이니셔티브를 통해 바이오 기술을 활용하여 기후·에너지·건강 문제 해결 및 미래성장 비전 제시
- (기술경쟁 심화) 공급망·통상안보 관점의 국가전략기술로서 바이오의 중요성이 재인식되면서 기술패권 경쟁 및 기술블록화의 중심으로 대두
 - (중국) 바이오 분야 첫 계획인 '14차 5개년 바이오경제계획'을 발표, '35년까지 바이오경제 종합역량을 선진국 수준으로 제고 의지 천명
 - (미국) '생명공학·바이오제조 이니셔티브' 행정명령('22.9)을 통해 바이오 분야를 반도체·배터리 수준 글로벌 기술패권 경쟁분야로 본격 관리

< 참고 : 주요 국가별 바이오 대전환 대응 정책 >

	① “국가 생명공학바이오제조 이니셔티브” ⇨ 바이오 분야 리더십·경쟁력 확보
미국	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 반도체·배터리 관련 입법('22.8월, CHIPS and Science Act, IRA)에 이어, 바이오 분야도 글로벌 기술패권 핵심 경쟁 분야로 지정하고, 본격 관리에 착수
	② “합성생물제조연구기관(BioMADE) 신설” ⇨ 바이오 제조 혁신 전략 구체화
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이오산업 글로벌 선두 유지 및 첨단기술 육성을 위한 ‘미국혁신경쟁법’ 통과('21.6.8) 및 합성생물학을 핵심기술로 선정하며, 바이오 제조역량 강화 추진
	① “생명과학 2030 기술전략” ⇨ 바이오산업 성장 전략 제시
영국	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이오산업의 발전과 인력의 전문성 확립에 대한 환경 분석 및 예측을 통한 바이오산업 성장 전략 제시 및 이를 통한 바이오 분야 글로벌 선두 유지 추진
	② “UK Plastics Pact” 이니셔티브 ⇨ 바이오 제조업 영향력 확대
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 플라스틱의 재사용, 재활용 또는 퇴비화 할 수 있는 친환경 바이오기술 개발을 촉진하기 위해 연구개발 투자 확대 등 실질적인 혜택제공
	① “산업 바이오기술 혁신” 이니셔티브 ⇨ 바이오 혁신 프로세스 가속
독일	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 기후·에너지 및 건강·영양 분야에 바이오기술이 적극 기여할 수 있도록 학제 간 경계를 허물고 생명공학 분야가 미래시장의 성장을 견인하도록 적극지원
	② “국가 산업 전략 2030” ⇨ 바이오 등 미래 핵심기술 리더십 확보
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이오기술을 게임체인저 핵심기술 중 하나로 지정하며, 리더십 확보, 디지털화 및 인공지능을 바탕으로 한 독일의 바이오산업육성에 관한 종합 대책 제시
	① “바이오전략 2020” ⇨ 글로벌 최첨단 바이오경제사회 실현
일본	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 포스트코로나 시대, 바이오 연구개발 가속화 및 신속한 경제 회복을 위한 바이오경제 중요성을 강조하며, 바이오기술 활용 촉진
	② “5차 산업혁명 예측” ⇨ 바이오기술 중심산업 중장기 대책 마련
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 코로나19 대응에 바이오기술과 타 분야가 연계된 플랫폼 활용을 강조함과 동시에 바이오산업 적극 육성 의지를 천명
	① “14·5 바이오경제 발전계획” ⇨ '35년까지 바이오경제 역량 선진국 수준
중국	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이오의약, 바이오농업, 바이오매스, 바이오안전을 중점 분야로 제시하고 바이오기술과 의약, 건강, 농업, 임업, 에너지, 환경, 재료등과의 융합을 추진
	② “중국제조 2025” ⇨ 의료서비스를 중심으로 혁신기술 개발 확대
	<ul style="list-style-type: none"> ▶ 바이오와 타 산업 간의 융합으로 바이오의약 및 고성능 의료기기 분야 발전 도모

Ⅲ. 국내 현황

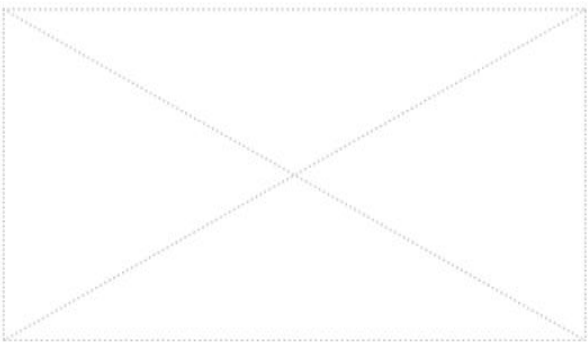
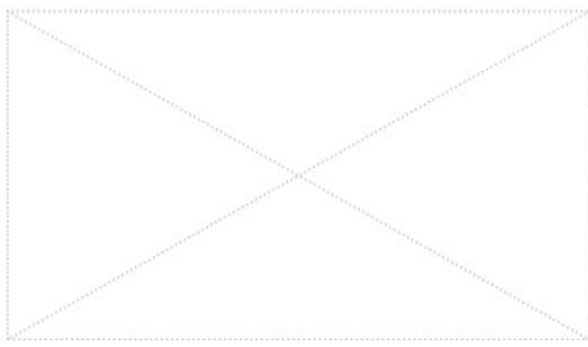
◇ 그간 바이오 R&D투자 및 학술적·경제적 성과에도 불구하고, 바이오 대전환 대응을 위한 전략적 투자와 정책적 지원이 요구

- (투자) 바이오 분야는 정부 R&D투자 중 17~19%를 차지하면서 최근 10년 간 연평균 6% 수준 성장, IT분야와 유사한 규모('20년 4.1조원)
- '20년 기준, 바이오 관련, 국내 민간 R&D투자는 4.7조원 규모로, '19년부터 민간 투자 규모가 정부 투자액을 추월

구분	2015	2016	2017	2018	2019	2020
BT 정부 투자(억)	33,019	33,341	34,946	35,494	36,717	41,253
BT 민간 투자(억)	26,927	22,796	27,165	30,907	39,545	47,909
정부 비중	55%	59%	56%	53%	48%	46%

※ 출처 : 2020 국가연구개발활동조사보고서

- (성과) 정부의 선제적 R&D투자가 점진적으로 국내 바이오 생태계 전반의 기술력 향상과 기술수출·시장 확대 등으로 연결
- 국내외 바이오 분야 특히 출원·등록 규모 및 글로벌 최우수급 학술지(네이처·사이언스·셀)를 포함한 연구논문 발표가 증가 추세

특허출원·등록	논문 게재
	

※ 출처 : 생명공학정책연구센터 '22

※ (美 특허 상위 20개 국가) 미국, 일본, 독일, 네덜란드, 영국, 한국(6위), 프랑스, 스위스, 중국, 덴마크, 캐나다, 이스라엘, 벨기에, 호주, 대만, 스웨덴, 이탈리아, 스페인, 인도, 싱가포르

※ (논문 상위 20개 국가), 중국, 미국, 독일, 영국, 일본, 이탈리아, 프랑스, 캐나다, 인도,

브라질, 스페인, 호주, **한국(13위)**, 네덜란드, 스위스, 폴란드, 스웨덴, 러시아, 벨기에, 대만

○ 대학·출연연 **보유기술의 기업이전 확대**, 국내 바이오 산업 규모 성장('10년 5.8조원→'20년 17조원) 등 **바이오 투자 및 사업화도 확대**

* '20년 대학출연연의 신규 확보기술 총 35,504건 중 기업이전 건수는 12,592건(기술이전을 35.5%)로 이 중 바이오의 비중이 가장 큼(29.7%)

* '19년 바이오 분야 벤처캐피탈 투자 1조원 돌파, '20년 국내 제약 기술수출 10조원 돌파 등

□ **(한계)** 그동안 적극적인 정부 R&D투자로 국내 기술수준은 지속 향상되었으나, 여전히 미국 등 바이오 선도국을 추격하는 입장

《 바이오 분야 기술수준·격차('20 기술수준평가, KISTEP) 》

구 분	미국(최고)		EU		일본		중국		한국	
	'18	'20	'18	'20	'18	'20	'18	'20	'18	'20
기술수준(%)	100	100	91.0	92.2	83.8	81.6	73.2	78.0	75.2	77.9
기술격차(년)	0.0	0.0	1.2	1.1	2.2	2.4	3.7	3.0	3.5	3.1

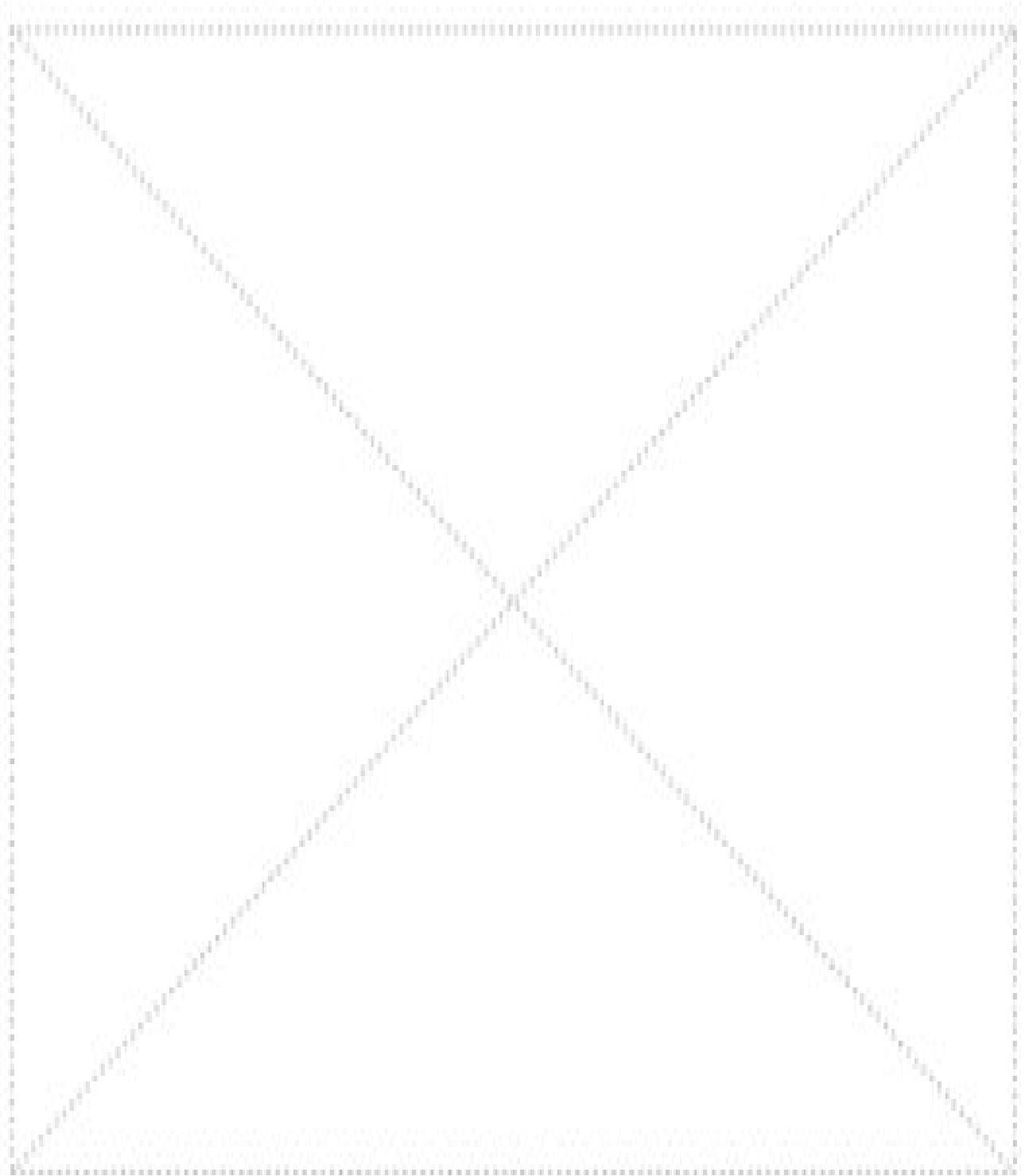
○ 바이오 분야의 혁신적 플랫폼 기술 확보 및 바이오와 디지털 간 융합 촉진 등 시대적 흐름을 반영한 전략적 방향 설정 요구

⇒ 바이오 대전환에 대응하여 기존 바이오 R&D 한계(고비용·고위험·장기간)를 극복하고 선택과 집중으로 바이오 선도국 진입을 촉진할 혁신전략 필요

[현장의 목소리] 기업·대학 연구자 간담회

- (A社) 바이오 데이터 환류 시스템을 체계화하고, 현장에 적용 가능한 실효성 있는 데이터관리 전략 마련 필요
- (B社) 수요자 친화형 바이오 플랫폼을 구축하고, 이를 통해 R&D성과를 사업화하는 모범사례 창출이 중요
- (C大) 미래지향적이고 생산성 높은 연구개발을 위해서는 임무지향적 (more targeted policy)이고 역동적인 역량(dynamic capability) 요구
- (D社) 바이오 산업계의 디지털 융합 인력 수요 급증에 따른 디지털 융합형 바이오 인재 공급 필요

IV. 비전 및 추진전략



디지털바이오 개념 및 트렌드

□ (개념) 데이터의 생산·축적·활용을 토대로 바이오와 디지털 기술(네트워크·AI 등)의 융합을 통해 창출된 새로운 바이오 기술과 산업

□ (트렌드) 바이오의 디지털 전환을 통해 비효율성·불확실성 등 한계 극복

① 바이오 데이터의 가치가 단순 연구결과에서 R&D 핵심자원으로 변화

- 바이오 분야에서 데이터가 R&D의 소재가 되고 있으며, 보유한 바이오 데이터의 양과 질이 신약 개발 등 성과로 직결

사례 기업 간 바이오데이터 거래

◇ 민간 바이오 기업이 보유한 세포·화합물·유전체 데이터가 기업의 가치 및 경쟁력을 결정 ⇨ 바이오데이터 거래 중개 전문회사 출현

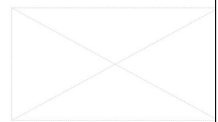


② 바이오와 디지털기술의 융합으로 기술혁신 가속화 및 新산업 창출

- 디지털 기술(AI, 빅데이터 분석, 블록체인 등)의 활용으로 전통적인 바이오 R&D의 프로세스를 혁신하고 新시장을 개척

사례 신약개발에 AI 활용 확대

◇ 신약 후보물질 발굴, 약효분석 등 신약개발 과정을 AI로 대체, 효율화 ⇨ 신약개발 소요 기간(10년 이상)과 비용(1조원)을 대폭 단축

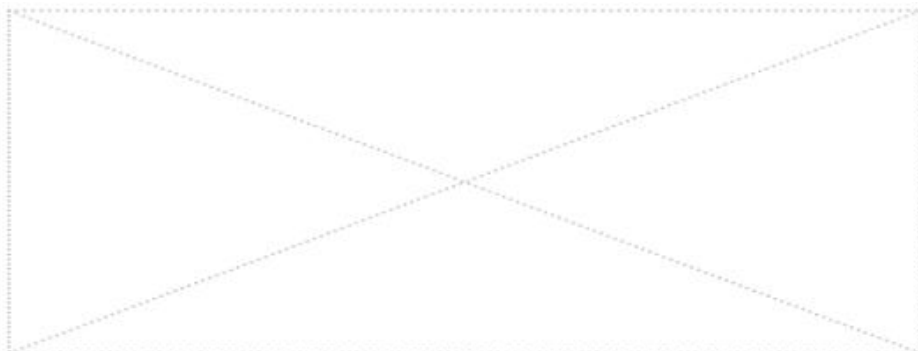


③ 데이터공유, R&D협업, 가치전달 등 디지털 플랫폼 중심 생태계 태동

- 데이터·기술·연구주체(산·학·연)가 디지털 플랫폼을 통해 연결 중

사례 디지털 치료 플랫폼 대두

◇ SW, 전기적 신호 등을 활용하여 질병을 예방·관리·치료 ⇨ 개발·생산 비용과 부작용이 적고, 실시간 모니터링 및 피드백 가능

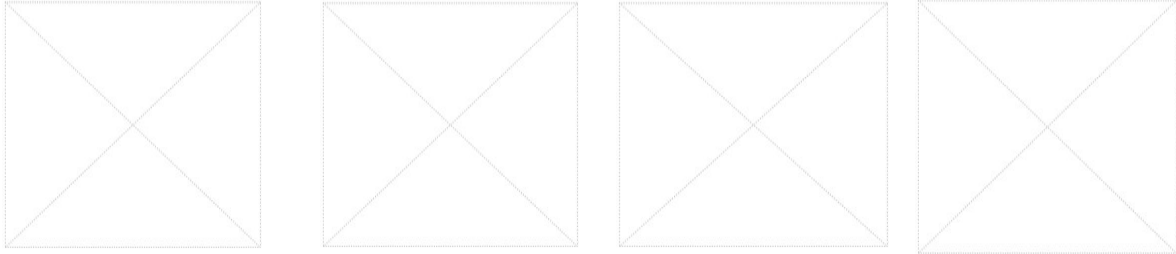


V. 전략별 세부 추진과제

1. 디지털바이오 新기술·新산업 창출

현황분석 및 추진방향

- **(현황)** 바이오+디지털 융합 가속화에 따른 새로운 기술과 시장 창출이 확대되며, 디지털 융합 첨단기술 중심으로 시장 개편 ('20, Frost & Sullivan 등)




- 이에, 주요국은 기술경쟁력 확보를 위해 **합성생물학, 뇌신경기술 등 디지털바이오 기술을 필수전략기술로 선정하여 전폭 지원 중**
 - ※ 미국 바이든 정부는 필수약품의 자국 내 생산 강화, R&D 및 설비 투자 강화 조치를 위한 행정명령을 발표('21.6)
- **(필요성)** 국내에서도 바이오분야 융합기술을 차세대 주력산업으로 육성하기 위해 투자 확대 등 노력 중이나,
 - 디지털바이오 핵심기술*에 대한 R&D투자규모 및 기술수준은 **선도국 대비 상대적으로 낮은 상황으로,**
 - ※ 합성생물학 기술의 국내 수준과 투자는 선도국(미국) 대비 각각 75%, 1/30 수준 ('21)
 - ※ 뇌신호 관측 및 조절기술은 선도국(미국) 대비 70% 수준('21)
 - 최신 글로벌 과학기술 및 시장 변화 트렌드를 반영한 바이오 분야의 **혁신방향 및 전략, 목표 등의 제시가 필요한 상황**


□ **(추진방향)** 신기술·신산업 창출 가능성을 고려한 핵심기술 선별 및 선택과 집중을 위한 투자 포트폴리오 조정 등 전략적 지원 추진

	+ IT	+ Manufacturing	+ Health
바이오	데이터, 네트워크, AI 등을 활용, 바이오 분야 신개념 연구 및 신산업 육성 촉진	바이오 기술 접목으로 소재, 제품개발 등 제조산업을 혁신	새로운 기전 및 접근방식 기반 바이오신기술로 질병 및 감염병 대응역량 강화


1 (+IT) 데이터·네트워크·인공지능 등을 활용, 신개념 연구산업 육성

- (첨단뇌과학) 뇌-기계 인터페이스, 뇌기능/뇌질환 시각화, 뇌신호 측정해석 플랫폼 구축 등 뇌 질환 극복 및 뇌기능 활용기술 사업화 

※ 뇌과학선도융합기술개발사업, ('23~'32년, 총4,497억원)

- (전자약) 국민 체감형 차세대 치료 사례 확보하고, 전자약 핵심 원천기술 개발을 통해 의료 패러다임 변화에 대비 


※ 전자약 기술개발사업 ('22~'26, 과기정통부·복지부, '23년 100억원)

- (디지털치료제) 정서장애 관리 디지털 치료 플랫폼을 국내 최초 디지털 치료제 사용 승인 사례로 만들고 공공 서비스 적용 및 고도화 추진 

※ 비대면 정서장애 관리 디지털 치료 플랫폼 개발 ('21~'24, '23년 80억원)


《 3세대 치료제 개요 》

구분	정의	특징	예시
전자약	전기·빛 등 물리자극을 활용한 다양한 질병 치료 목적의 의료기기	기존과 유사한 치료효과 또는 기존 시술로는 치료가 어려운 질환에 효과	국내 Y社 우울증 전자약 MINDD STIM
디지털 치료제	장애질환을 예방/관리/치료하기 위한 게임VR 콘텐츠 등의 SW의료기기	범용HW에서 독립적 기능 및 실시간 모니터링피드백, 맞춤형 치료 가능	Pear社 중독치료 디지털 치료기기 reSET, reSET-O

- (바이오닉스) 장기·조직 기능 향상을 위한 생체 조직과 전자부품이 결합한 광범위한 기능 장치 기술 개발 고도화 및 현장 적용 지원 

※ (예시) 바이오칩, 전자시스템 기반 인공장기 등, '23년 신규사업 기획 착수

2 (+제조) 바이오기술을 도입, 소재·제품 개발 등 제조산업 혁신

- (바이오파운드리) 합성생물학 및 AI, 빅데이터, 로봇 등을 활용하여 바이오 연구와 제조공정을 자동화·고속화 


※ 바이오파운드리 인프라구축사업, 5년 3,000억 규모 예타기획, 과기정통부(주관), 산업부(참여)

※ 합성생물학 주요 전략기술 도출 및 단계적 활용을 위한 기술로드맵 마련('23) 후 핵심기술 확보를 위한 R&D사업 신규기획 추진 (전략기술별 50~100억원 규모)


【바이오파운드리】

- 자동화·고속화된 DBTL(Design·Build·Test·Learn) 순환시스템 기반의 합성생물학 인프라 유전자·세포 디자인 및 합성, 파일럿 생산 등을 지원
- '22.9월, 美 '생명공학·바이오제조 이니셔티브' 행정명령의 핵심 시설

- (디지털 그린 팩토리) 빅데이터·AI 기술 접목으로 식물 기반 대량


생산기술 개발 및 작물 생산량 확대 등 효율성 증진 

※ 광합성 효율향상을 통한 그린바이오 생산 가속화 기술개발, '23~'30년, 총 160억원

- (마이크로바이옴 리소싱) 인체 및 환경의 마이크로바이옴(미생물군집)을 활용하여 유효기작·물질(신약, 소재 등) 발굴 및 생산 

※ 마이크로바이옴 기반 차세대 치료 원천기술개발, '23~'27년, '23년 55.5억원

3 (+의료) 새로운 기전·접근방식에 기반한 바이오 신기술의 신속한 적용으로 질병치료 및 감염병 대응 역량을 강화

- (첨단신약) mRNA백신 상용화 사례를 감안, 기존 화합물 약물 한계 극복이 가능한 신물질 약물 원천기술 확보 


※ '혁신신약 기초기반기술개발사업('22~'26, '23년 70.5억원)' 으로 우선 시범 지원,

'(가칭) RNA신약 개발 비임상 평가 플랫폼 구축사업' 등 신규 기획추진('23~)

《차세대 첨단신약 유형별 개요》

구분	핵심 기술·물질	시장규모('21) / 예상성장률
단백질 분해 치료제	프로테아좀, 리소좀, 오토파지 활성화 물질	\$1.3억 / 연평균 6.8% ※ 프로테아좀 기술(Protac) 기준
CAR 치료제	면역세포의 항원 수용체 리모델링 기술	\$17.4억 / 연평균 56.8%
RNA 치료제	Antisense-Nucleotides, siRNA, mRNA, RNA압타머 등	\$50억 / 연평균 17.6%
펩타이드 치료제	50개 이내의 아미노산으로 구성된 펩타이드	\$354억 / 연평균 12.1%

※ 글로벌 의약품 시장 : (시장규모)\$1.2조 (성장률)연평균 4~7% ('20, 제약바이오협회)

- (병원체 극복) 항생제 내성, 신종바이러스 등 미해결 병원체 대응 및 선제적 대비를 위한 근본적 과학기술 역량 확보 

- 기반·예방·치료·진단·감시·예측·인프라 등 6대 분야 25개 핵심기술을 선정·지원하여 **감염병 분야 기술 자립화 촉진**

※ 신·변종 감염병 대응 플랫폼 기술개발사업('21~'24, '23년 136억원) 및 차세대 백신 기초·원천 핵심기술 개발사업('22~'25, '23년 91억원)

《감염병 R&D 6대 분야, 25대 핵심기술('22.6월, 감염병 기초원천 핵심기술위원회)》

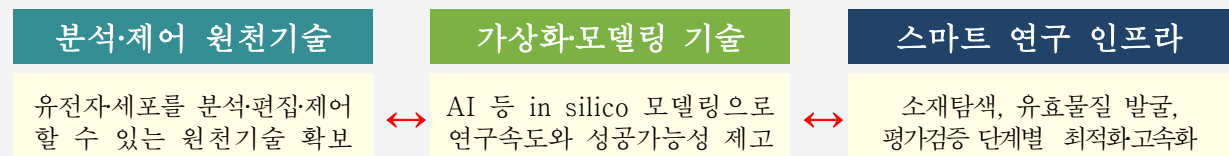
기반	①유전체 기능 ②병원성·숙주 방어기전 ③감염·전파·생활사 ④변이·신변종 병원체
예방	⑤mRNA백신 ⑥재조합단백질 백신 ⑦바이러스벡터 백신 ⑧어쥬번트·전달기술 ⑨항원제작 ⑩백신평가 ⑪세포주
치료	⑫저분자물질 치료제 ⑬바이오치료제 ⑭新치료제 ⑮新타겟/기전 ⑯평가·시험 ⑰내성극복
진단	⑱신속·현장형 진단 ⑲정밀·다면 맞춤형 진단 ⑳표준물질 구축, 활용
감시 예측	㉑감시·유입 위험도 예측 ㉒확산예측·대응전략
인프라	㉓유효성평가 모델·스크리닝 기술 ㉔ 안전성평가 플랫폼 개발 기술 ㉕ 세포주·오가노이드 기반 스크리닝 기술

2. 디지털바이오 기반기술 확보


현황분석 및 추진방향

- **(현황)** 바이오 연구혁신과 생산성 제고를 위한 디지털 융합형 바이오 플랫폼기술의 중요성이 전 세계적으로 부각
 - 빅데이터 기반 AI, 디지털트윈 등 첨단디지털 기술을 활용하면서 데이터와 SW로 연구로 하는 새로운 지평 전개
 - ※ 글로벌 바이오기업은 AI, 클라우드 등 디지털 기술을 적극 도입 중('21, Deloitte)
 - R&D방식의 첨단화, 고도화로 개별 연구자가 확보하기 어려운 플랫폼 기술 및 인프라의 확보와 민·관 공동 활용을 정부 주도로 지원
 - ※ 미국은 NIH Common Fund 프로그램을 통해 우선순위가 높은 공통기반기술 개발을 지원 중('06~, '20년 기준 약 7,600억원)
- **(필요성)** 디지털 플랫폼기술 활용을 통해 기존 바이오 연구방식의 질적 향상과 함께 기술개발 속도 및 성공 확률 제고 필요
 - 복잡·다양한 생명현상을 정확하게 관찰하고 빠르게 분석하여 정밀한 제어가 가능한 디지털연구 방식도입 확산
 - 유전자 편집·제어 등 공통기반기술과 고도화된 화합물 은행 등 기반 인프라가 바이오 성과 수준을 좌우
 - ※ 영국, 중국 등은 기존 화합물 합성 대비 비용측면에서 5백만 배 이상 경제적인 유전자 암호화 라이브러리 기술서비스 제공 중 (Nature Reviews Drug Discovery, '16)

(추진방향) AI, 가상물리시스템 등 디지털 접목으로 새로운 연구방식으로서의 전환을 통해 우리나라 바이오 연구 효율성과 생산성 제고
 - 바이오분자 모델링↔유효물질 발굴 등 '가상실험(DRY LAB)'과 '실재실험(WET LAB)' 간 양방향 전환 등으로 바이오 연구개발 혁신을 촉진




① (생체현상 분석·제어) 데이터 기반 유전자·줄기세포 제어기술을 고도화하고, 생체 정보 분석 및 활용 관련 원천기술을 확보

○ (유전자) 염기서열 빅데이터에 기반한 차별화된 유전자 편집·제어·복원 기술 확보로 개인맞춤형 정밀의료 촉진 


— 유전자 편집기술 특허전략을 토대로, 유전자 교정 효율을 2배 이상 향상하고 질병모사 모델 제작 등 치료기반 원천기술 확보

※ 유전자 편집제어복원 기반기술개발사업, '23~'27, '23년 50.5억원

○ (줄기세포) 조직별·세포기원별 유전체 지도(Atlas) 제작 및 DB 구축, 줄기세포 재생 능력 활성화 및 재생환경 제어 기술 확보 


※ 줄기세포 ATLAS 기반 난치성질환 치료기술 개발, '23~'27, '23년 45억원

② (가상화·모델링) AI, 디지털 트윈 등 in silico 모델링 및 예측을 통해 바이오 연구개발 속도를 단축하고, 성공가능성을 향상

○ (AI 신약 플랫폼) 인공지능 기반 신약 후보물질 발굴 플랫폼 기술로 신약개발 장벽(고비용, 장기간, 높은 실패율 등) 극복 지원 

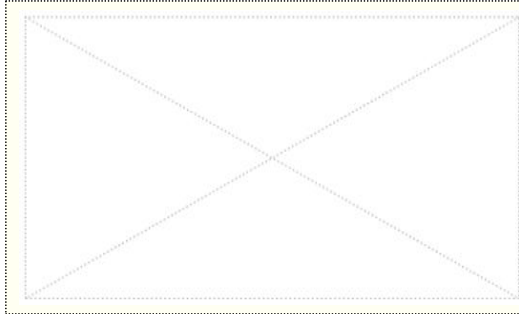
— 산학연에서 기개발중인 분석모듈과 플랫폼을 고도화하고, 새로운 인공지능 기반 학습 모델도 추가 개발하는 투트랙 사업 추진

※ 인공지능 활용 혁신신약 발굴사업, '22~'26, 후보물질 4개 이상 IND 신청 목표

○ (휴먼디지털트윈) 가상공간에서 생명체 기능분석·모델링, 설계·예측 등을 수행할 수 있는 플랫폼 개발 및 산업적 활용 지원 

※ 생명연, E-Human Atlas 시범사업 우선 착수 ('22. 간 질환 DB 구축완료, K-BDS 연계 작업 중)

'(가칭)휴먼디지털트윈 활용기술개발 사업' 신규 기획 착수 (5년 총 500억원 내외 규모)



- (모델링 기술) 유전자, 세포, 생체 기능과 구조, 기작 정보를 통합하여 모델화
- (활용대상) 맞춤형 건강관리, 의료기기, 신약독성평가, 임상시험지원, 지역 돌봄서비스 등
- (규제개선) 개인정보 등 법적 제도 개선 및 산업활성화 지원

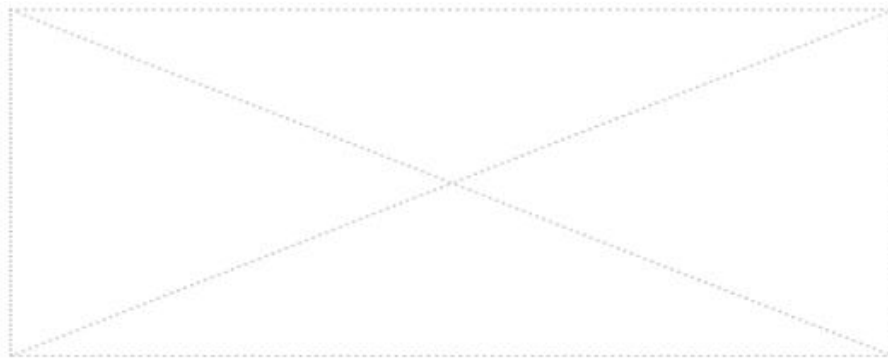
3 (스마트 연구 인프라) '소재탐색' ⇨ '유효물질 발굴' ⇨ '평가 및 검증' ⇨ '생산 및 활용' 단계별 최적화·고속화를 위한 핵심 인프라 구축

○ (바이오소재 플랫폼) 바이오 소재 14대 분야*별 특성정보 빅데이터를 구축하고 통합 활용지원 시스템 마련('21~'26, 3,327억원)

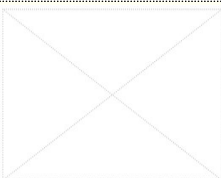
* 인체유래물, 병원체, 줄기세포, 축산, 종자, 해양생물, 천연물 등

【바이오 연구소재 활용 기반 조성 사업】

- (주요내용) 소재 신뢰성 확보를 위해 품질관리 강화 및 수요자 편의성을 제고하여 통합 검색부터 분양신청 과정이 One-Stop으로 이뤄지는 '소재정보 통합 포털시스템' 구축
- (총사업비/기간) 3,327억원(과기부 2,145 해수부 483 환경부 433 산림청 156 농진청 110) / '21~'26년



○ (차세대 화합물은행) 유효물질 고속발굴이 가능한 DNA바코드 화합물 라이브러리*(DEL) 기술 확보 및 공공 DNA화합물 은행 구축('23~)



Bio.Chem. '18

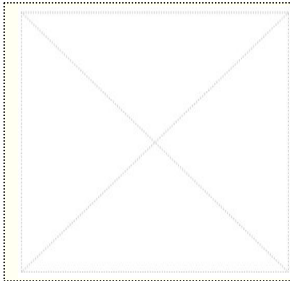
【DEL, DNA Encoded Library】

화합물별로 DNA고유서열을 결합시킨 저분자 화합물 은행, 화합물을 동시에 대량 스크리닝 할 수 있어 시간·비용의 획기적 절감 가능

※ 유전자 암호화 기반 약물 스크리닝 플랫폼 구축사업, ('23~'27, '23년 49억원)

○ (장기유사체) 기초단계 수준의 국내 오가노이드 기술을 동물실험 대체 및 인공장기 수준까지 육성 추진

※ 오가노이드 기반 원천기술 개발, '23~'28, '23년 15억, 인체유사도 90%이상 확보 추진



【오가노이드 (Organoid, 장기유사체)】

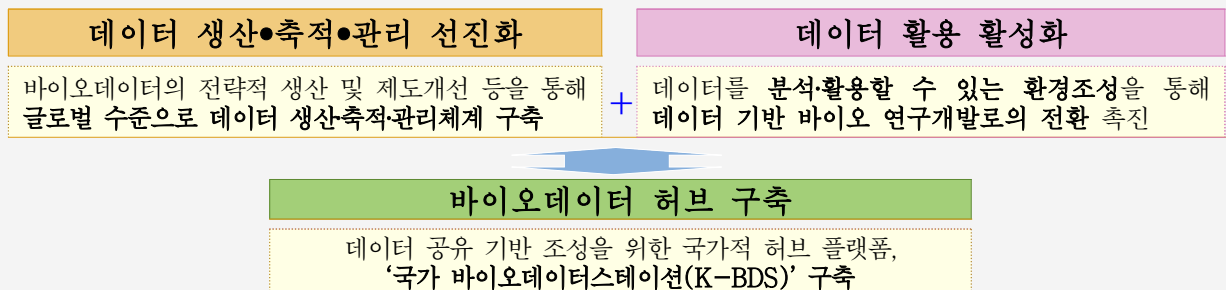
줄기세포 등을 3D 배양법으로 응집·재조합하여 만든 장기 모방 세포집합체로, 인체와 근접한 생리활성을 지녀 차세대 약물 평가 플랫폼으로 활용 가능

3. 데이터 기반 바이오 연구 확산

현황분석 및 추진방향

- **(현황)** 디지털 대전환, 오픈사이언스 등 패러다임의 변화로, 바이오 분야는 실험 위주 R&D에서 데이터기반 R&D로 변혁 중
 - 데이터기반의 바이오 연구 및 사업화가 저비용, 고효율의 파급력 있는 혁신기술 확보로 이어지며 '디지털바이오 시대'로 진입
 - ※ AI '로제타폴드(RoseTTAFold)'를 통해 수 분~수 시간 내에 단백질 구조를 해독 → 사이언스誌'에서 2021년 한 해 가장 우수했던 과학계 성과로 선정
 - 오픈사이언스 정책으로 글로벌 현안 대응연구 속도도 가속화
 - ※ 코로나19 초기, WHO와 117개 기관 간 연구결과 공유를 위한 국제협약 체결 후 연구 활성화
- **(필요성)** 데이터기반 바이오 R&D 혁신을 위해 고품질 데이터의 생산부터 공유·활용까지 선순환되는 생태계 조성 필요
 - 데이터기반 연구의 핵심 자원인 연구데이터가 국내에 축적·관리·공유될 수 있도록 데이터 플랫폼 중심으로 공유 체계 확립 필요
 - * 국내 연구데이터의 해외 저장소 등록이 지속 증가 추세 (美 국립생물정보센터 등록 국내 데이터 : ('17) 12,628건/9.8TB, → ('20) 18,834건/21.7TB)
 - 가치있는 데이터 확보와 활용이 여전히 미흡하므로, 고품질 데이터의 공유를 유도하고 활용을 촉진하는 연구 환경의 조기 착근 필요

☒ **(추진방향)** 고품질 바이오 데이터의 수집·공유·활용이 선순환될 수 있도록 디지털 플랫폼을 중심으로 데이터기반 바이오 생태계 조성



1 (체계 구축) 국가 바이오 데이터 스테이션 중심으로 데이터 공유 기반 조성

- (협업체계) 글로벌 바이오 변혁에 발맞춰 지속 성장 가능한 데이터기반 바이오 생태계 조성을 위해 범부처 **민관 협력 및 국제 협력 체계 강화**

※ 데이터 공유를 위한 표준화와 플랫폼 연계를 위한 관계부처 민·관 데이터 협의체 운영 및 국제바이오데이터연합체(GBC, Global Biodata Coalition) 등 국제협력기구 참여 추진

- (관리체계) 연구데이터의 확보·관리 및 활용 선순환을 위한 제도적 기반 마련을 위해 **바이오 연구데이터 관리제도 수립**

※ 연구데이터의 관리·활용 규정 등을 위한 법령 개정 및 표준관리지침 제정 추진 등

- (데이터 플랫폼) 바이오 쏠분야 연구데이터를 통합 수집·관리·공유하는 **국가적 데이터 허브, '국가 바이오 데이터 스테이션(K-BDS)' 구축**

※ (Korea BioData Station) 약 146만 건(유전체 126만, 화합물 19.7만 등) 데이터 확보('22.10월 기준)

※ 부처별 바이오 데이터센터('22.12~) 및 바이오소재 정보통합 포털 연계('25~)

- ➔ (국제 저장소) 연구자가 논문 게재 등의 데이터 저장소(Repository)로 **국가 바이오 데이터 스테이션(K-BDS)을 활용할 수 있도록 국제 인정 추진**

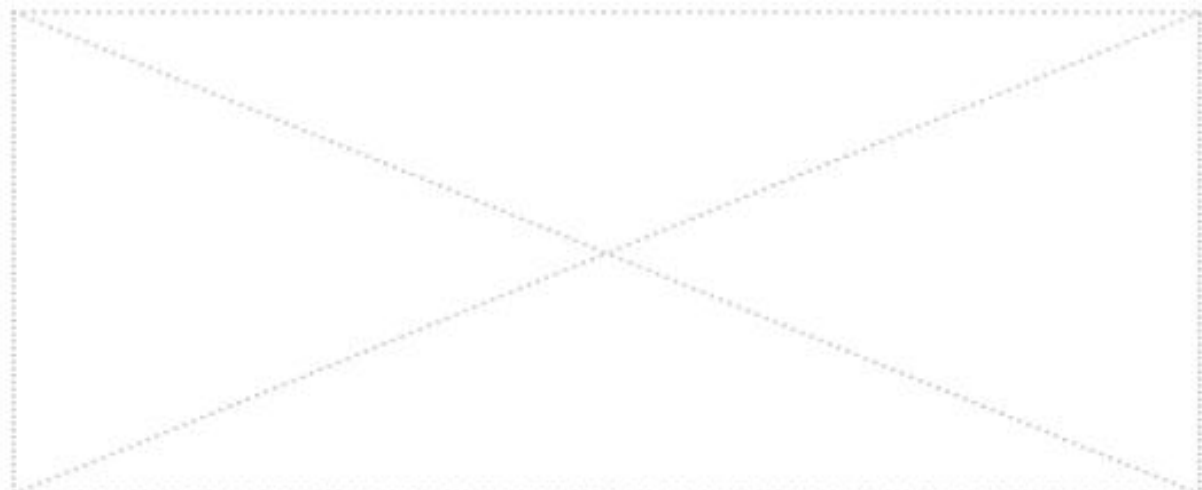
※ 해외 주요 저널이 공인하는 데이터 저장소 또는 국제바이오데이터협의체 참여 등

※ 데이터기반 R&D 우수 연구자에게 분석 전산환경 우선지원 등의 인센티브 부여

【바이오 연구데이터 활용 기반 조성 사업】

- (주요내용) FAIR 원칙*을 준수하는 국가 바이오 데이터 스테이션 구축
 - * **F**indable(검색용이성), **A**ccessible(접근성), **I**nteroperable(상호호환성), **R**eusable(활용성)
- (총사업비/기간) 1,780억원(과기정통부 1,454, 농진청 116, 질병청 210) / '21~'26년

《국가 바이오 데이터 스테이션(K-BDS) 개념도》



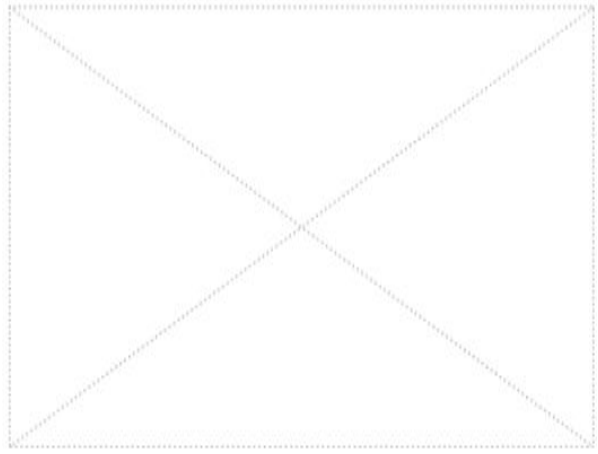
② (생산·축적·관리) 글로벌 수준으로 데이터 생산·축적·관리 선진화

- (생산) 국가 R&D 사업 추진 시 **임무 지향적 전략사업***을 통해 선도적 **고품질 데이터 생산 지원**
 - * 전임상 바이오 참조 데이터('23, 기획), 마이크로바이옴('24, 예타) 등
- (축적) 데이터 상호운용성 및 확장성을 고려하고, **국제 수준으로 표준화*된 고품질 데이터**를 축적**
 - * 국제 표준을 준용한 메타데이터 표준화 과정을 통해 데이터 표준등록양식 제·개정('20~)
 - * 유전체, 단백질체, 대사체, 화합물, 이미징 등 주요 빅데이터 분야 데이터 전문가 그룹이 표준운영지침(SOP), 품질관리지표 등을 수립하여 데이터를 관리('23~)
- (관리) 연구자의 **데이터 관리계획(DMP)에 근거하여 국가 바이오 데이터 스테이션(K-BDS)에 등록할 데이터를 관리하고 평가시 참고**
 - ※ 데이터 공유·활용 우수 연구자에게 분석 전산환경 우선지원 등의 인센티브 부여

③ (활용) 데이터 활용 환경 조성으로 데이터 기반 연구 활성화

- (전산환경) 데이터 유형별 다양한 분석 도구 및 AI를 탑재한 **클라우드 기반 가상협업 분석환경을 지원**('22.12~)
- (중개) 데이터 활용을 촉진하기 위해 **데이터 생산자와 연구자, 분석 전문가 및 기업 간의 수요맞춤형 중개를 위한 마켓플레이스 운영**('24~)
- (활용) 전통방식의 실험위주 연구로 해결하기 어려웠던 질환 극복 등 **바이오 난제 해결에 기여할 빅데이터 활용 사업 지원**
 - ※ 데이터기반 디지털 바이오 선도사업, '23~'27, '23년 37억원
빅데이터 활용 난치질환(난치성 암, 대사질환, 치매) 예측·진단·치료에 기여

《바이오 데이터 공유·활용 개념도》



4. 디지털바이오 생태계 조성

현황분석 및 추진방향

- **(현황)** 바이오는 오랜 기간과 많은 비용이 소요되어 “연구-개발-사업화” 각 단계별 수행주체와 기능, 역량이 상이하고 간극이 큼



< 바이오 기술의 성장 단계 및 수행주체 >

- 주요국은 이를 극복하고자 바이오 R&D투자, 인프라 구축, 민관 협력, 규제혁신 등 종합적인 지원정책을 추진 중
 - * 美 민관합동 ‘Summit on Biotechnology and Biomanufacturing Initiative’ 개최(‘22.9)
- **(필요성)** 그 간 정부의 적극적 지원으로 바이오 연구·산업의 저변이 확대되었으나 여전히 글로벌 수준 대비 경쟁력은 미흡

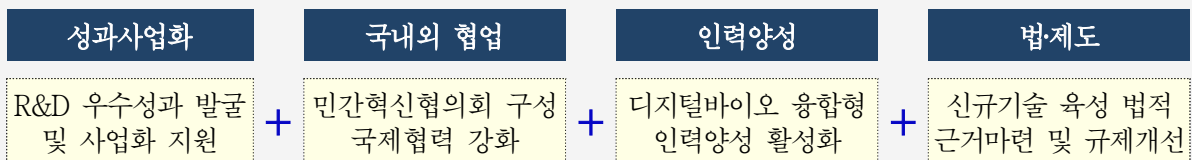
- (바이오 수출) (‘16) \$164억 → (‘21) \$356억 (16.8%증, 바이오헬스, 농림수산식품, 화장품)
- (글로벌시장 점유율) (‘15)1.7% → (‘20)1.9%
- (기술특례상장기업, 바이오/전체) (‘16) 9/10 → (‘20) 15/25 (개)

- 현장은 디지털바이오 전환 시대에 전문인력양성, 기술사업화, 규제혁신 등에 대한 정부의 지원이 절실하다는 인식

【현장의 목소리 (‘22.7월, 8월 바이오 R&D성과 창출 간담회)】

- ① 정부 R&D 사업 기획 시 기업의 참여 확대
- ② 대학·연구소의 기술사업화 관련 전문성 및 역량 강화
- ③ 산업현장의 수요를 반영한 전문인력 양성
- ④ 규제개선, 세제지원, 기업 대상 지속적인 정보 공유 등 필요

(추진방향) 바이오 대전환 시대 폭발적인 R&D 및 산업 성장에 발맞춰 “연구-개발-사업화”간 연결을 촉진하는 협력 생태계 조성



① (성과 사업화) 디지털바이오 R&D 우수성과 발굴 및 후속 사업화 지원 등 R&D → 시장 연계 강화

○ (성과발굴) 디지털바이오 R&D 성과 중 사업화 유망 성과를 발굴* 하고 후속 R&D 및 사업화 지원사업**으로 패키지형 연계

* '(가칭)바이오 기술성장+ 경진대회' 개최 및 딥테크 창업 발굴단 연계, IT기업 참여 촉진

** ①바이오 특화 사업화 지원사업(기 추진 사업 고도화), ②전분야 사업화 지원사업 (일자리진흥원, 특구재단 등 지원사업), ③타 부처 및 민간 사업화 지원사업(TIPS 등)

○ (기술고도화) 시장 수요 및 사업화 연계 R&D 기획 및 학·연·벤처 교육·컨설팅*, 전임상시험 지원** 등 추가 R&D 지원

* 기술가치 평가검증 역량 강화, 산·학·연·관 기획창업 프로그램 및 투자 파트너링&포럼 확대

** 국가전임상시험지원센터 운영('22.3월~), 바이오 연구데이터 검증지원 등

② (국내외 협업) 디지털바이오 육성을 위한 민관 협력 및 국제공조 확대

○ (민관협의회) 기술발전 및 정책·사회·경제·안보 변화를 반영하여, 바이오 혁신전략을 지속 발전시킬 '(가칭)디지털바이오 혁신협의회' 구성 추진

【(가칭) 디지털바이오 혁신협의회 구성(안)】

- (공동위원장) 과기정통부 장관(또는 차관), 민간 석학
 - (위원) 산학연 민간 전문가 15명 내외
 - (기능) 디지털바이오 기술·산업 육성, 바이오 전략기술 육성 방안에 대한 자문
- ※ 생명공학정책심의회 등 기존 회의체 연계운영도 검토, 바이오외 IT 전문가 참여

○ (전략적 파트너십) 합성생물학, 감염병 등 국가필수전략기술 중점 분야별 해외 주요 연구기관과의 전략적 기술협력 지원

※ (합성생물학) '한-미 합성생물학 공동 컨퍼런스' 개최 ('22.12월 부산)

※ (감염병) (韓)생명연-(美)펜실베니아, KPMC-(美)잭슨연, 화학연大-(美)스크립스연 ('21~)

○ (글로벌공조) 국제기구 활동을 통한 디지털융합 바이오기술에 대한 표준 및 윤리적 가이드라인 마련에 참여, 국내 법·제도에도 반영

※ (뇌연구) 인간의 존엄성, 프라이버시, 디지털 보안, 인간증강 등 순차적 마련 (OECD-STePI)

(합성생물학) 데이터, 바이오부품, 표기법, 바이오제조 등에 대한 표준개발 (KSBA-GBA)

③ **(인력 양성)** 디지털바이오 융합형 인력양성을 위한 석·박사급 대상 교육 프로그램 활성화 및 산·학·연·병 간 융합 연구 촉진

- **(교육프로그램)** 교육·연구·산업 현장 간 유기적 연계가 가능토록 프로젝트 중심의 바이오+디지털 융합교육 프로그램 기획

《(예시) ‘디지털바이오 혁신인재 양성 프로그램’(안) (’24~)》

구분	1단계	2단계
내용	바이오·ICT 관련 학과 대상 석·박사 바이오 + 디지털 융합 교육 프로그램 지원	1단계 대학 중 우수 대학 선별 후 산·학·연 공동프로젝트 추가 지원

※ (사례) ①KAIST, 바이오·AI·공학 융합형 Engineering Biology 학과 신설 추진(’23~)
 ②서울대, AI연구소+녹십자 목암연구소, AI-BIO 연구인력 양성 프로그램 개설(’22.)

- **(데이터 사이언티스트)** 오믹스 빅데이터의 통합적 분석과 데이터 특성에 맞는 인공지능 활용 실습을 통해 현장 실무형 전문 인력 양성 추진

※ (가칭) ‘바이오 데이터 사이언티스트 훈련 프로그램’ 신규기획 (’23~)

- **(융합형 의사과학자)** 의료현장 미충족 의료수요 해결 지원 및 AI·3D프린팅 등 디지털 융복합 미래 의료기술 개발을 통한 MD.-Ph.D. 융합인력 양성

- 대학+거점병원 컨소시엄 대상, AI·데이터·센싱 등을 활용한 정밀의료, 난치질환 극복, 미래 스마트의료 등 MD-Ph.D. 간 융합연구 지원

※ 혁신형 미래의료연구센터 육성사업, ’23~’26, ’23년 76.5억원

④ **(법·제도)** 디지털바이오 신규분야 육성을 촉진할 법적 근거 마련 및 규제과학 기반 R&D 지원

- **(법 재·개정)** 합성생물학 등 전략적 육성이 필요한 기술별로 법령을 우선 마련하고, 향후 추가 발굴되는 기술도 법적 근거 정비(’22下~)

※ 생명공학육성법 및 뇌연구촉진법 개정, (가칭) 합성생물학 연구진흥 및 지원에 관한 법률 제정 등

- **(규제극복)** 우수 신기술은 규제기관(식약처) 협조 및 오송 침복 규제 과학지원단을 활용, R&D 전략 수립부터 제품화까지 규제 극복 지원

※ 바이오 혁신기술 규제지원 플랫폼 구축 사업(’23~’30, ’23년 10억원)

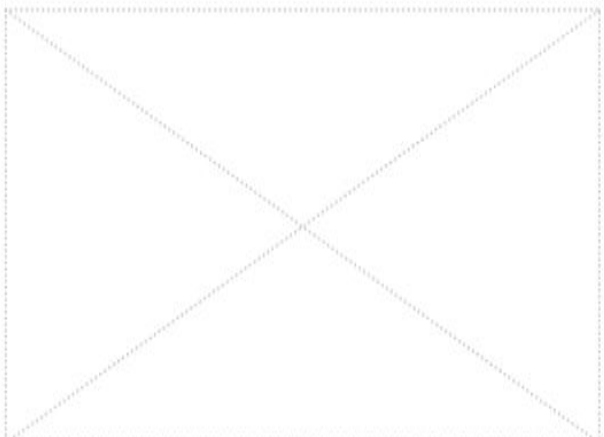
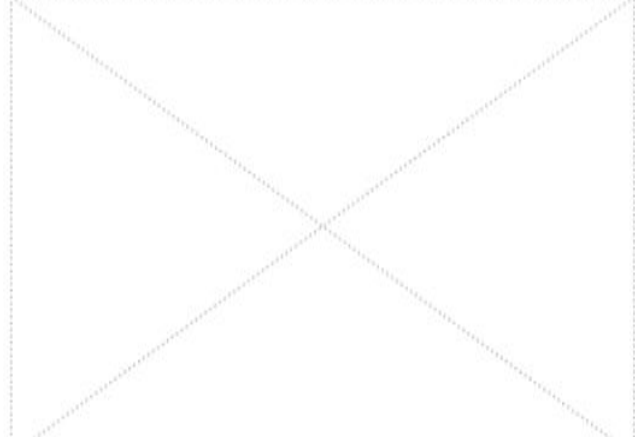
※ 민관합동 바이오 규제개선반 본격 운영 (’20. 생명공학육성법 및 시행령 개정 완료)

① (기술분석) 국내·외 과학기술 정책동향 보고서 등에서 제시한 155개 기술 중 기술혁신성 및 산업성 검토 → 45개 기술 도출

* MIT, WEF, KISTEP·KISTI·생명공학정책센터 미래유망기술보고서 및 전문가 추천

② (정책 적합성 검토) 패러다임 변화(디지털융합·플랫폼기술경쟁 등) 주도, 국가 R&D 공백 해소 등 정책적 중요도 및 시급성 고려 → 최종 17개 선별

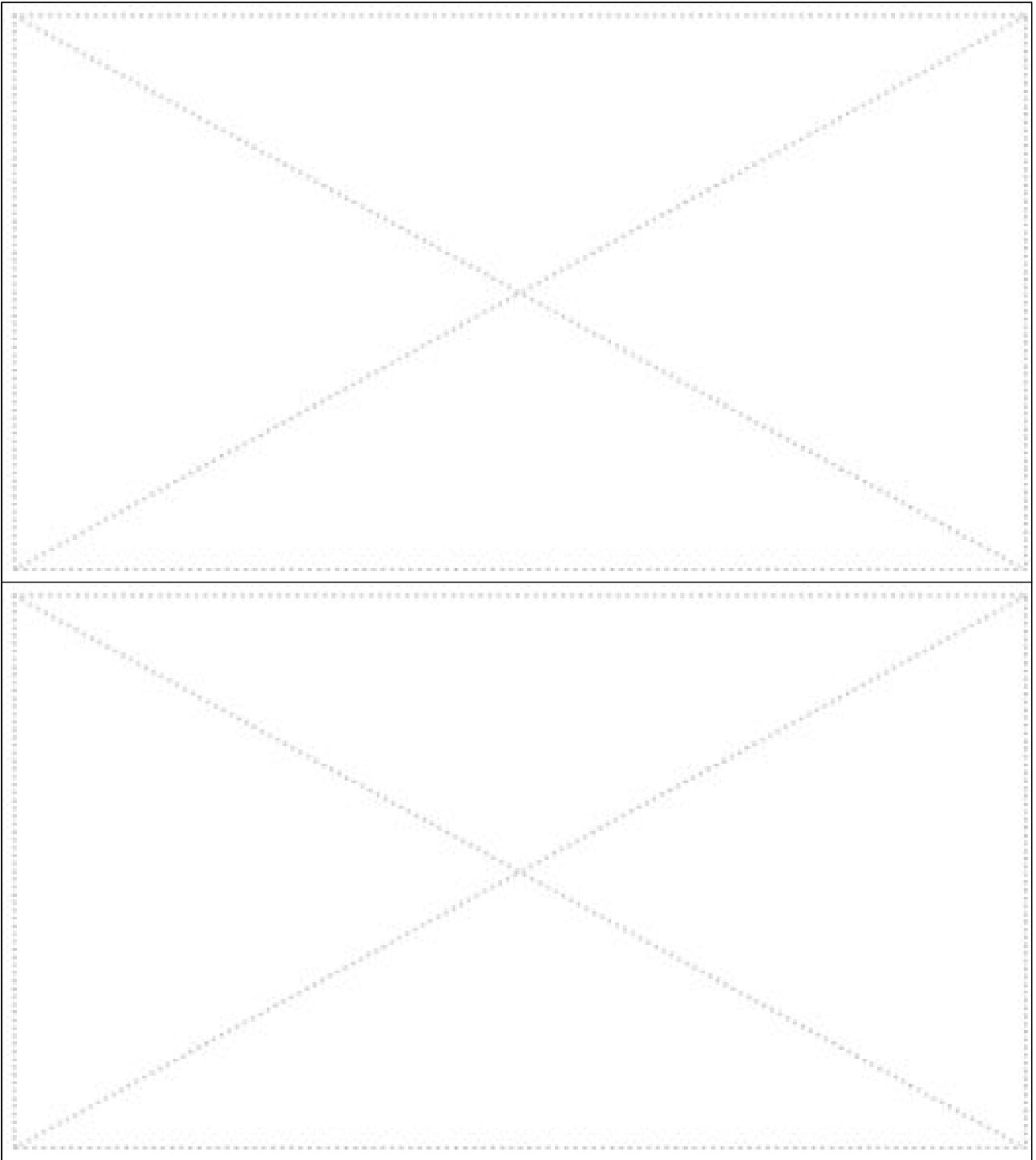
* 1차 기술분석을 통해 선정된 기술에 대한 시장규모, 성장률 및 국내역량(논문, 특허, 기술수준)을 기준으로 한국연구재단·생명공학정책센터 및 전문가 합의를 통해 선정

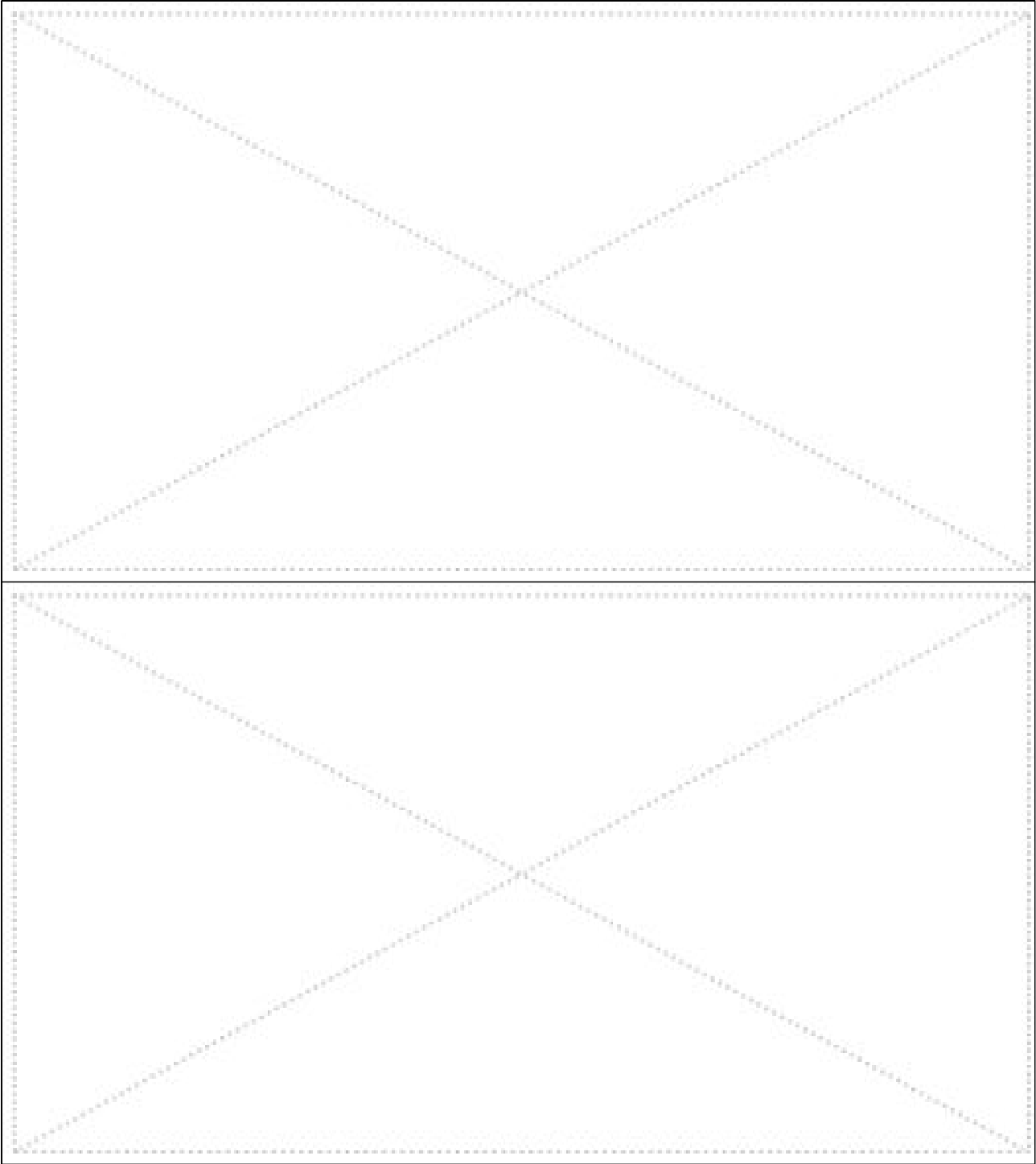
< ① 기술분석 결과 : 1차 45개 도출 >	< ② 정책 적합성 검토: 최종 17개 기술 선정 >
	

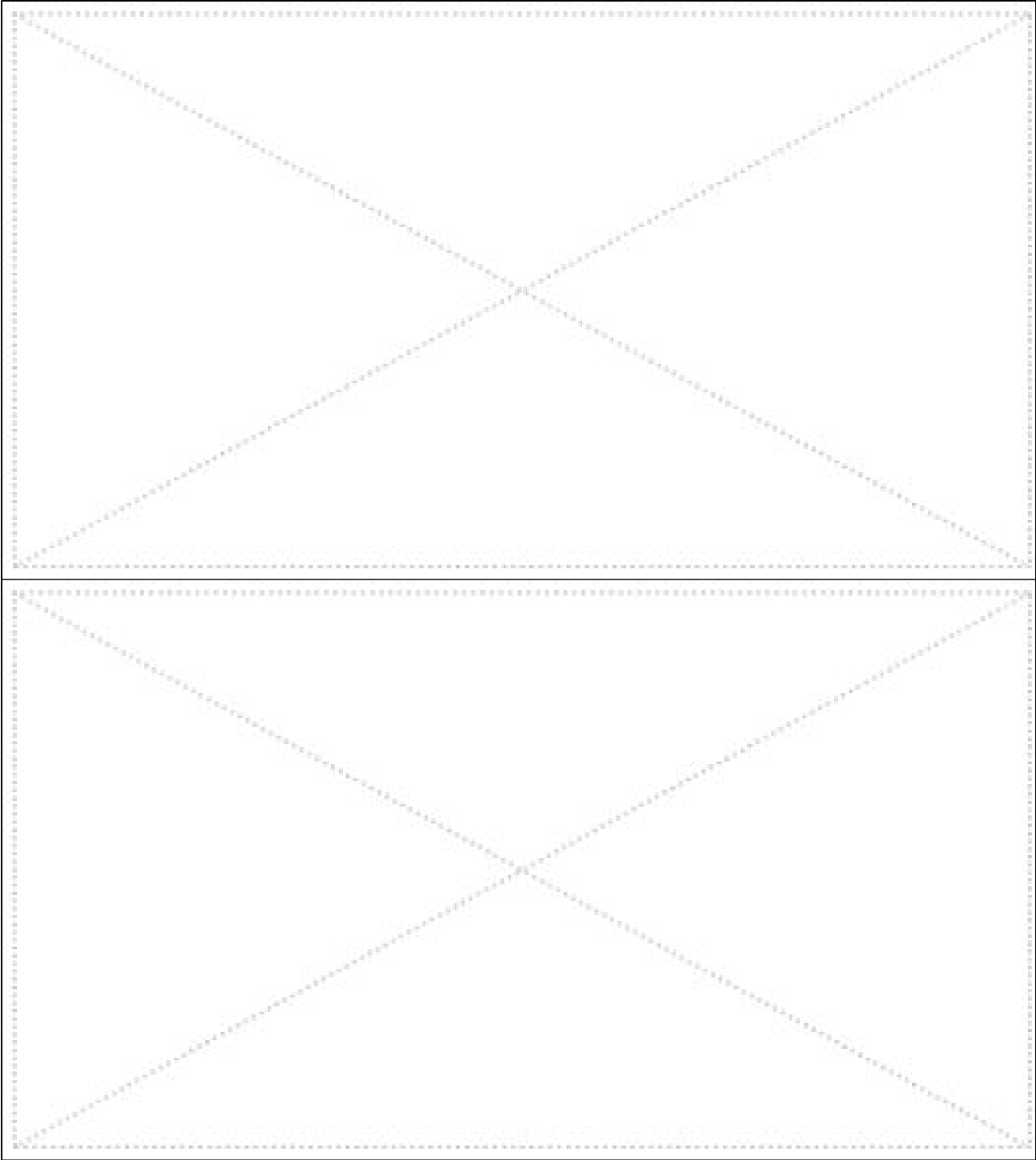
범 례	<p>기술성 : 관련분야의 기술발전을 혁신하거나 기술적 문제해결에 영향력 산업성 : 관련분야의 산업발전을 혁신하거나 경제적 영향력</p> <hr/> <p>정책적중요도 : 미래 바이오산업 주도를 위한 기술 경쟁력 시급성 : 패러다임 변화 대응 및 사회문제해결(생명안보, 회복력, 삶의 질 등) 가능성</p> <hr/> <p>① 해외 주요 전략기술 : 미국(■), 영국(◆), EU(□), 중국(◇), 호주(●), 이스라엘(◎) ② 유망기술 : MIT Technology Review, 세계경제포럼(WEF)(★), 국가생명공학정책연구센터·KIST 등 국내선정 미래유망기술(☆) ③ 전문가 추천 : 한국연구재단 및 국내 전문가 제안 (▲)</p>
--------	---

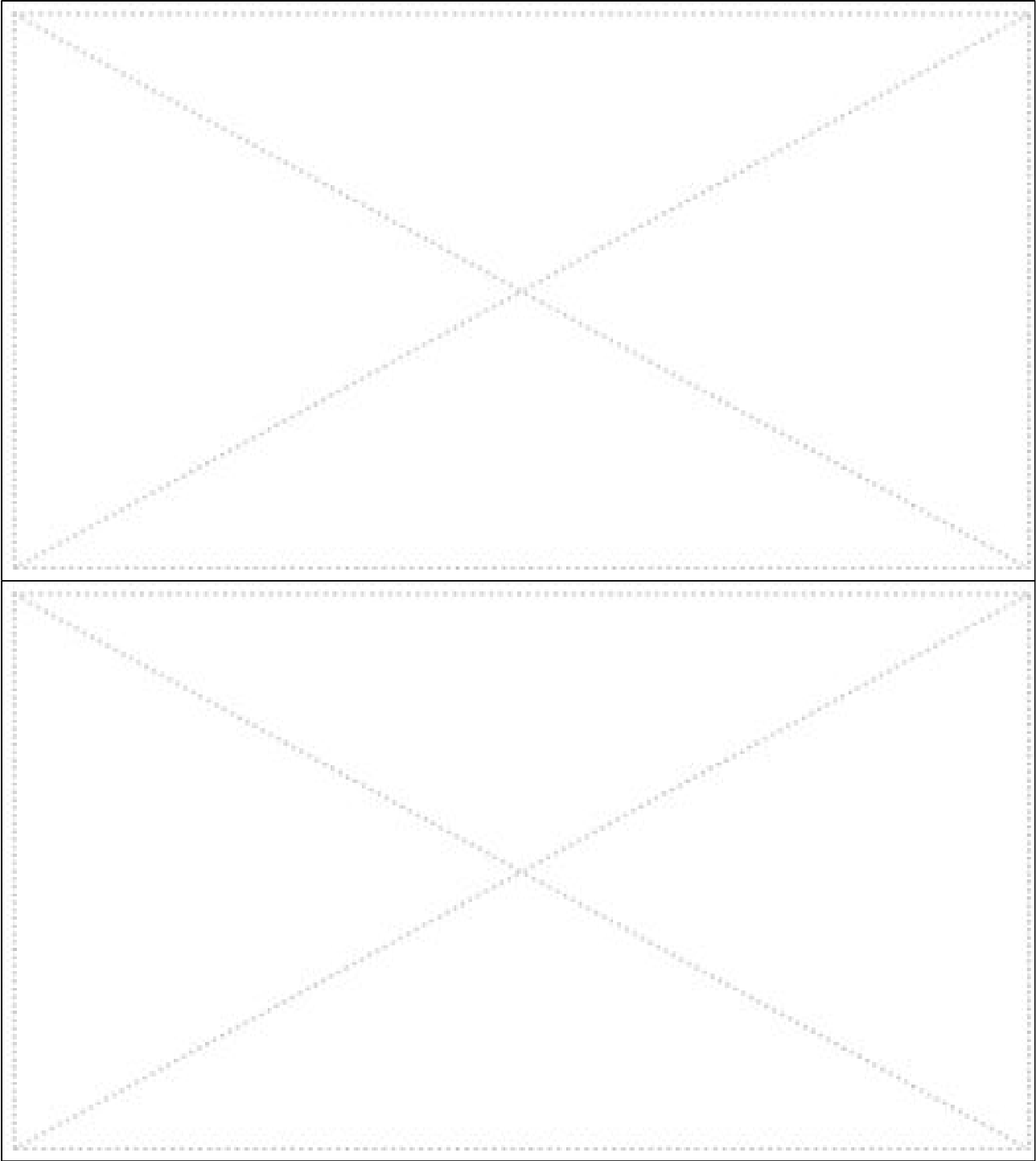
분야	유형	전략 기술	해외 주요 전략기술 ^①	유망기술 ^②	전문가 추천 ^③
데이터 중심 바이오 혁신 생태계 조성 ^①	데이터플랫폼	1. 바이오데이터스테이션		☆	▲
디지털 바이오 기반기술 확보 ^②	생명현상 분석·제어	1. 유전자편집·제어·복원	■◆□◇●		
		2. 줄기세포 치료기술	◎□	★☆	
	가상화·모델링	3. AI 신약 플랫폼	◎◆□●	★☆	
		4. 휴먼디지털트윈		★☆	
	화합물·소재	5. 바이오소재 플랫폼			▲
		6. DNA 암호화화합물 은행 (DEL)		☆	▲
		7. 장기유사체	◎	★☆	
新기술 新산업 ^③	바이오+전자	1. 첨단뇌과학	■●◆□	★☆	
		2. 전자약	■●◆□	★☆	
		3. 디지털치료제	◎◆□	★☆	
		4. 바이오닉스	■●□	★☆	
	바이오+제조	5. 바이오파운드리	■◆◆□●	★☆	
		6. 디지털 그린 팩토리	◇	☆	
		7. 마이크로바이옴 리소싱	◇	★☆	
	바이오+제약	8. 차세대신약	□◆●◎	★☆	
		9. 병원체 극복기술	◆●◎		

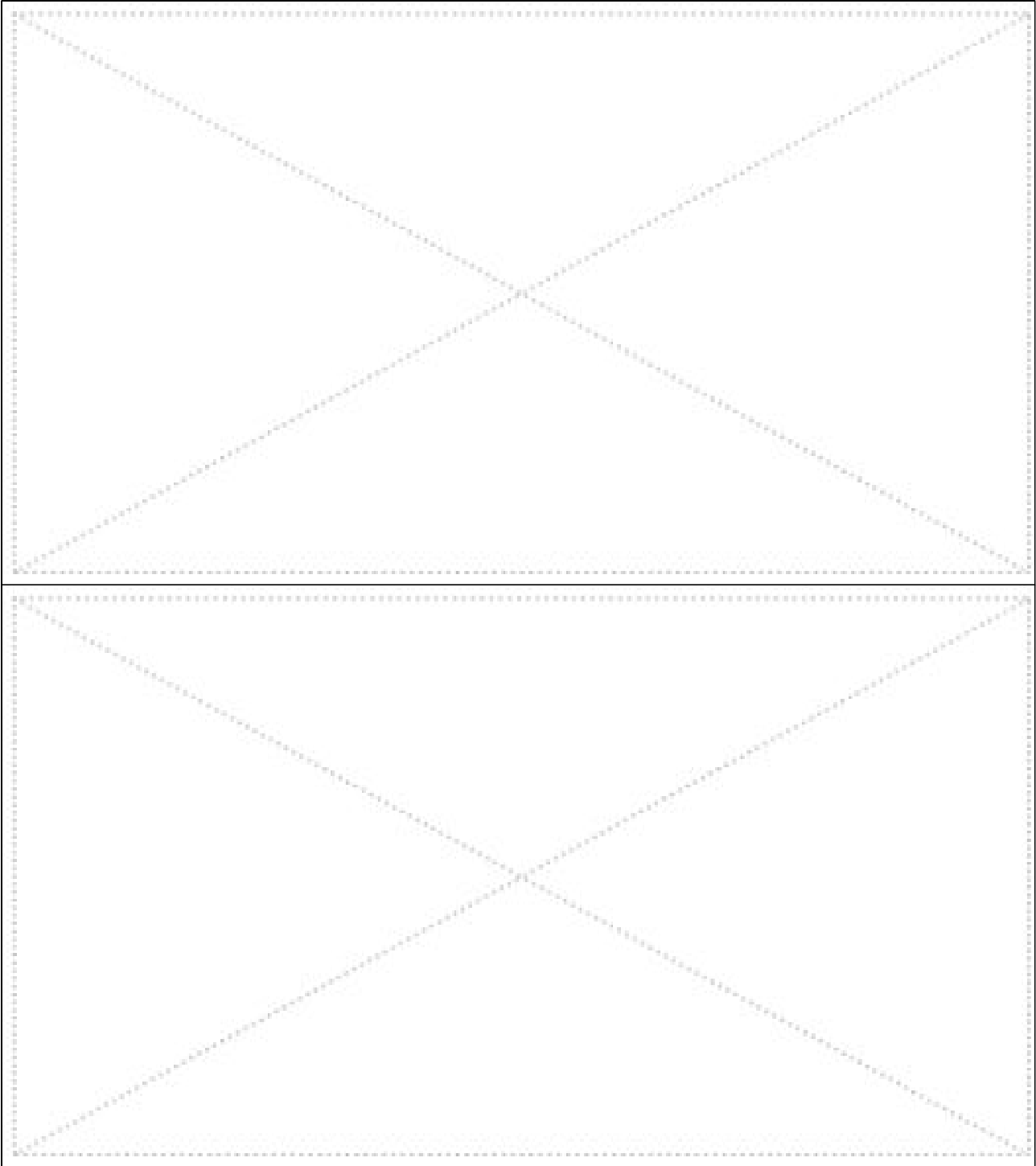
(5) 국가바이오 혁신전략 _ 디지털 바이오

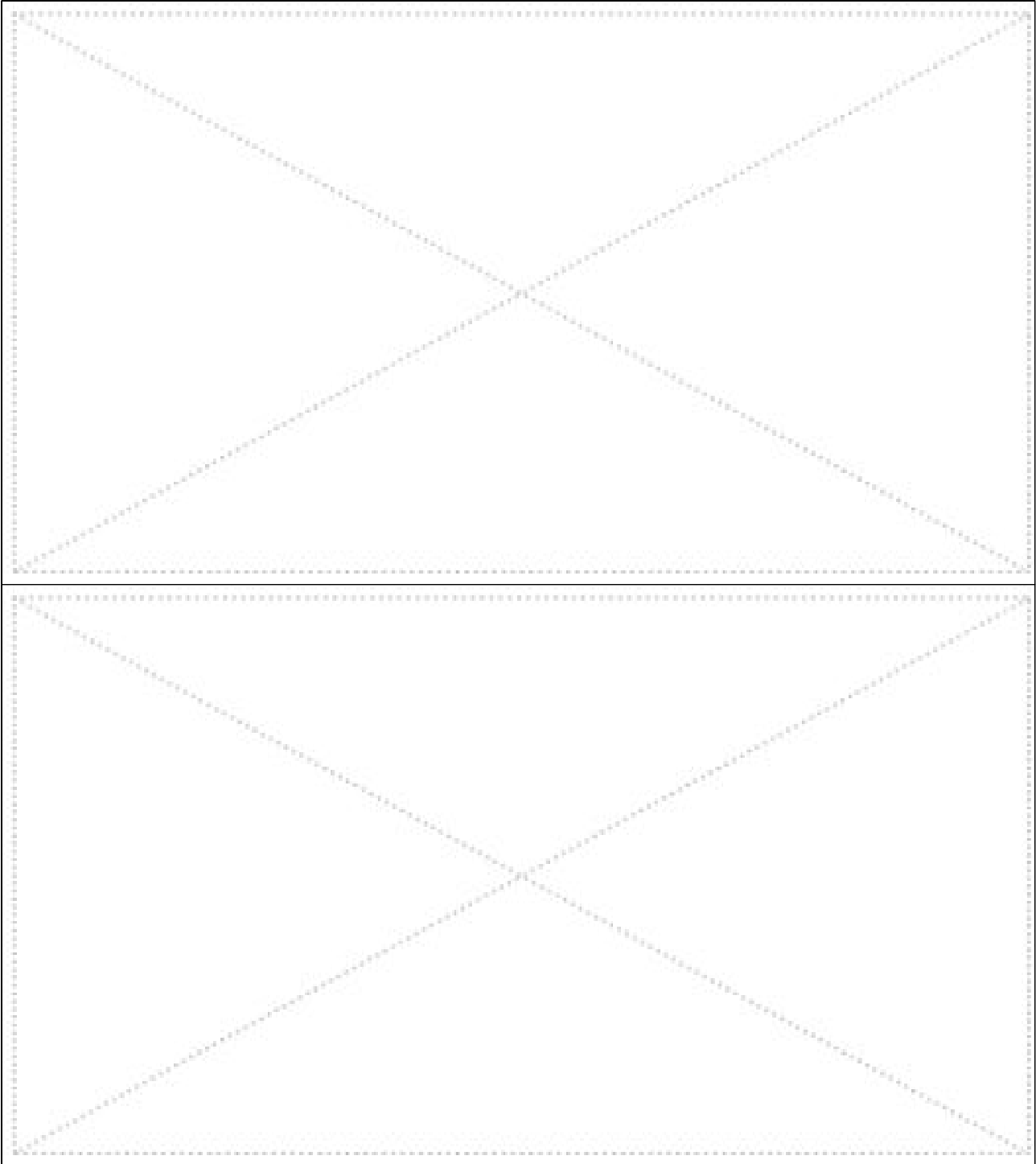


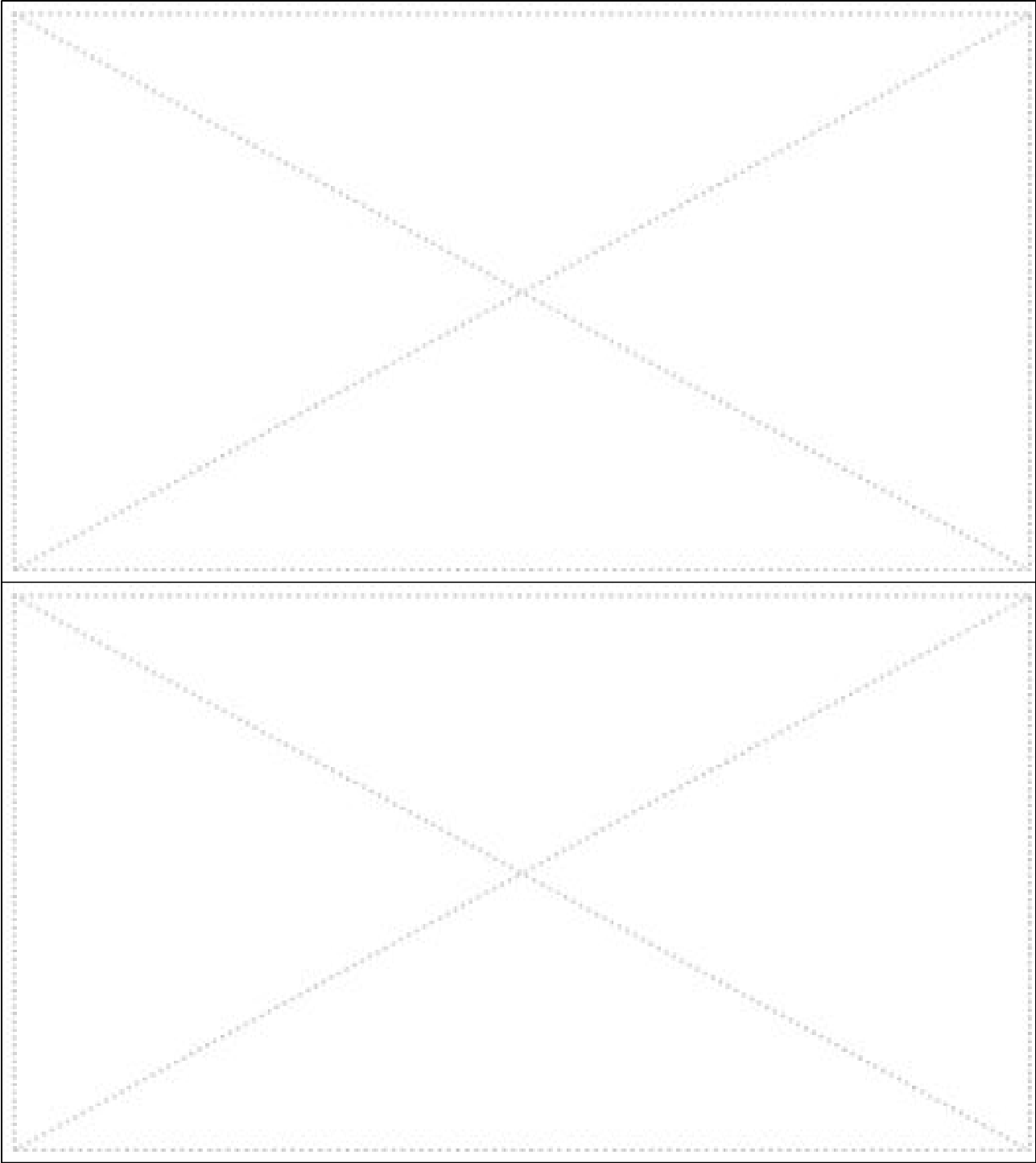


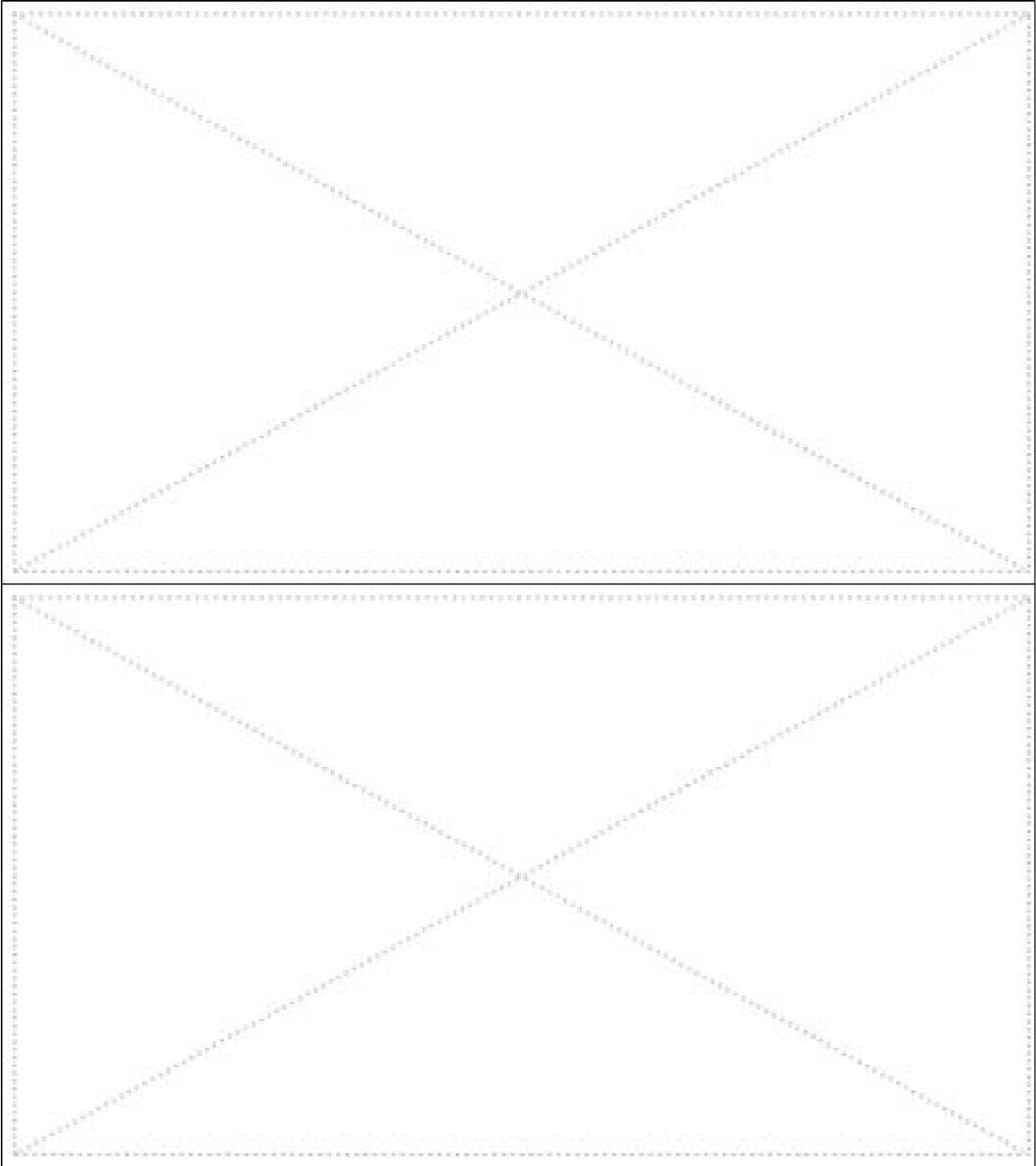


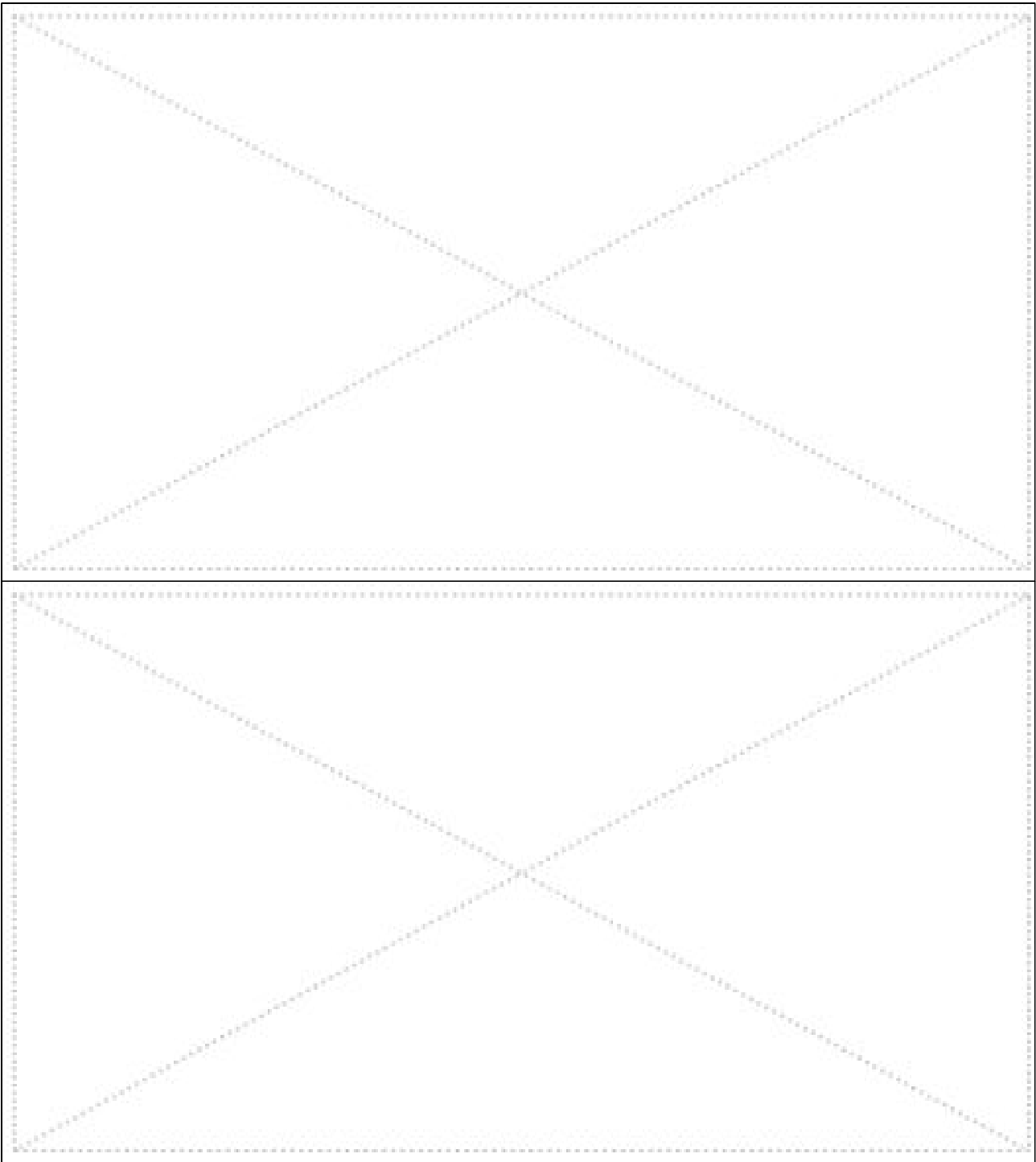












나. 목표 달성도

세부연구내용	연구추진일정							비고
	6	7	8	9	10	11	12	
국내외 동향 조사·분석								
전문가위원회 회의								
중점분야 및 추진전략 도출								
최종보고서 제출								12.31 제출
사업진도(%)								100

※ 디지털바이오 발전위원회 구성은 부처와 협의를 통해 과제기간 동안은 진행하지 않기로 했으나, 과제 종료 이후 민관협의체를 구성하여 디지털 융합을 통한 바이오 혁신을 지속적으로 추진할 계획임

4. 기대효과

- 국내외 디지털 바이오 트렌드를 분석하고, 특히 국내 디지털 바이오 연구분야의 현황과 문제점 및 핵심 이슈 등을 도출하고, 이를 해결하기 위한 정책모델안 개발
- 이를 기반으로, 정부(과기정통부)의 디지털 바이오 육성 전략 수립 시 참고자료로 활용 가능
 - 전문가 등을 통해 도출된 일부 과제들은 신규 과제 후보 대상이 되어 검토 가능
- 디전털전환, 원헬스 등 미래 패러다임변화와 현장의 전문가 의견을 반영한 디지털바이오 혁신전략 도출
- 디지털바이오의 연구개발 투자 효율성 및 정책 실효성 제고를 위한 제도개선, 인력양성, 인프라 구축 등에 관한 의견 제시
- 궁극적으로 대내외적인 환경변화 속에서 위기를 기회로 전환하여 지속가능한 바이오경제 구현에 크게 기여할 것으로 기대

5. 참고문헌

- McKinsey , The Bio Revolution, 2020.5.
- OECD, OECD STI Outlook 2021, 2021.1.12.
- Deloitte Insights, 2020 global life sciences outlook : Creating new value, building blocks for the future, 2020
- Israel Innovation, Bio-convergence, 2019
- Nature, LifeTime and improving European healthcare through cell-based interceptive medicine, 2020.3.17.
- Orion Market Research Pvt Ltd, Global Biotechnology Market 2020-2026, 2020
- Nature, Coronavirus latest, 2020.4.4
- Policy Horizons Canada, Exploring Biodigital Convergence, 2020
- Allen Institute for Cell Science, 2017.4.
- MIT Technology Review, 10 Breakthrough Technologies 2020, 2020.2
- Forbes, 9 Future Predictions For A Post-Coronavirus World, 2020.4.3.
- CB insight, 24 Industries & Technologies That Will Shape The Post-Virus World, 2020.6.18.
- GEN, The Move toward Biopharma 4.0, 2019.5.31
- 생명공학정책연구센터, 2012년 2015년 2018년 한국제약·바이오산업 연구개발백서, 한국신약개발연구조합
- 2020년 바이오인 왓치, 생명공학정책연구센터
- 보건산업진흥원, 4차 산업혁명과 보건산업 패러다임 변화, 2016.5.23
- LG경제연구원, 차세대 바이오 의약품 세포치료제 시장 현황과 전망, 2017. 11. 30

- 바이오인 왓치, 디지털 혁신으로 인한 미국 헬스케어 변화 전망, 2016.4.7.
- 관계부처 합동, 바이오산업 인재양성 추진방안, 2020.9.21.
- The Science Times, 코로나19로 ‘온라인 실험실’ 인기, 2020.5.11.
- 바이오인 왓치, Wet 실험 없이 데이터 분석만으로 백신 후보물질 발굴, 2018.8.30.
- 국민건강보험, 2020 건강보험 주요통계, 2021.4.
- 산업통상자원부·한국바이오협회, 2019년 기준 국내 바이오산업 실태조사 결과 보고서, 2020.12.
- 한국바이오협회, 2010~2019년 기준 국내 바이오산업 실태조사 심층분석, 2021.4.
- 식품의약품안전처 보도자료, 화장품 무역수지 흑자 사상 첫 6조원 돌파, 2020.6.17.
- GlobalData, 2018
- 국가연구개발활동조사보고서, 2020
- Allied Market Research, 2020
- Frost & Sullivan, 2020
- Nature Reviews Drug Discovery, 2022
- KISTEP, 2020년 기술수준평가, 2020
- THE WHITE HOUSE, Building resilient supply chains, revitalizing american manufacturing, and fostering broad-based growth, 2021.6
- 과학기술정책연구원, 뇌과학 선도융합기술개발사업, 2022.7
- 과학기술정보통신부·복지부, 전자약 기술개발사업, 2022
- 과학기술정보통신부 보도자료, 코로나우울, 디지털 치료제로 해결한다!, 2021.7.15
- 히트뉴스, "바이오파운드리, CDMO 생태계 공급망 확보의 핵심 인프라", 2022.12.26

6. 부록

가. 전략 프레임에 관한 전문의견 수렴

전략(안)	전략과제(안)	실천과제(안)
<p>1. 데이터 기반 도전·창의 디지털바이오 연구 혁신</p>	<p>(데이터 공유·활용 고도화) 디지털 전환의 핵심 자원인 데이터 기반 연구 가속화를 위한 축적·공유·활용 체계 고도화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 표준 바이오 소재 기반 데이터 기술 개발을 통한 고품질 데이터 확보 및 활용 • 고품질 데이터 수집과 활용 범위 확대를 위한 국가 바이오 데이터스테이션 기능 강화 • 산·학·연·병 데이터 공유 활성화를 통한 인공지능 예측 정확도 향상 • 데이터 공유 체계화를 위한 과제 기반 데이터 관리 체계 마련
	<p>1. 데이터의 품질에 대한 정의가 필요할 것 같습니다, 어떤 데이터가 고품질 데이터인가요?</p> <p>2. 이미 오랫동안 생성한 바이오 데이터가 연구자별로 산재되어 있습니다. 새로 데이터를 생산하여 축적하는 것도 좋겠지만 비용 측면에서 얼마나 고품질 데이터를 모을 수 있을지 모르겠습니다. 이미 있는 데이터를 효과적으로, 즉 자발적으로 ‘데이터 모으기’에 참여할 수 있도록 하는 실천과제와 처음부터 데이터 포맷을 정하여 데이터를 생산하는 실천과제로 나누면 어떨까 싶습니다. 모든 경우에 특히 네거티브 데이터의 수집에 노력을 기울여야 할 것 같습니다.</p> <p>3. 다음과 같은 실천과제 예시도 제안 드립니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 생명자원 유래 신약후보물질 창출의 효율성 향상을 위한 유전체 정보 기반의 저분자화합물 생합성 예측 정확도 개선 - 산학연 데이터 공유 활성화를 통한 저분자화합물의 효능 및 독성 예측 인공지능 기술 향상 <p>4. EHR, PHR 등 의료정보의 익명화 및 수집을 통한 빅데이터 구축: 현재는 각 병원 별로 다르게 보관되는 EHR, PHR 등의 의료 정보(질환별 유병률, 증상 비율, 처방 통계, 사망률 등)를 수집, 양식 통일 및 통계화하여 빅데이터 데이터베이스 구축 필요성 있음. 해당 정보 산업계에 제공 실제 의료 현장에서의 수요 파악 및 맞춤형 의약품 및 헬스케어 서비스 개발에 활용 가능.</p> <p>5. 질환별, 세대별 한국인 유전체 빅데이터 구축 및 제공: 대규모 한국인 코호트 대상 질환별 유전자 정보 수집 구축되지 않아, 희귀질환, 암, 치매 등 유전 관련 질환 관련 개인 맞춤 의약품/헬스케어(Precision Medicine & Genetic Medicine)에 유전정보 활용할 수 없는 상황임. 질환 및 연령에 따라 분류된 대규모 유전 정보 빅데이터 수집 및 익명화하여 산업계 활용 가능.</p>	

	<p>(디지털 연구 환경 조성) 바이오 특화 데이터 환류 강화 시스템 체계화</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 방사광가속기, Cryo-EM 등 최첨단 대형 시설장비 관련 데이터 활용, 서비스 전략 마련 • 연구실 디지털 전환*으로 연구환경 개선 및 통합 연구관리 시스템 구축 • 빅데이터 분석 및 활용을 위한 클라우드 컴퓨팅 환경 제공
	<p>1. 동일한 효소 활성을 측정하더라도, 연구자마다의 프로토콜에 따라 경향은 유사하더라도 수치로는 다르게 표현되는 경우가 대부분입니다. 따라서, 여러 연구자들이 생성한 데이터를 디지털 환경에서 활용할 수 있는 포맷으로 전환하는 것은 매우 중요합니다. 각각의 연구자들이 생성한 데이터를 포맷 전환할 수 있는 기술 또는 방법을 개발하는 실천과제가 필요할 것으로 사료됩니다. 이러한 기술 또는 방법을 통하여 전환한 데이터를 축적하여 공유할 수 있도록 플랫폼화 한다면, 개별 연구자는 각자가 생성한 데이터를 이 플랫폼을 활용하여 전환함으로써, 동일한 기준으로 이미 축적된 다른 데이터와 비교하거나, 다른 데이터와 합하여 분석해 볼 수 있을 것입니다.</p> <p>2. 1번의 설명을 다르게 하면, 데이터를 표준화할 수 있는 기술의 개발이 될 것이며, 데이터의 속성을 고려하여 데이터를 표준화할 수 있는 기술 또는 방법의 카테고리를 분류하고 각 분류에 해당하는 실천과제가 필요할 것으로 보입니다.</p> <p>3. 의약품 사용 빅데이터 사용 AI 기반 적응증 확대: 기존 의약품 사용 빅 데이터를 AI로 분석하여 기존 의약품이 허가받지 않았던 적응증으로 확대</p> <p>4. 단백질 및 리간드 구조 공공 데이터베이스 구축: X-ray crystallography, Cryo-EM, 방사광가속기 등 첨단/대형 실험장비를 활용, 신약 개발 타겟이 되는 주요 단백질 및 리간드의 구조 규명 과제 지원. 정부과제 및 산학연 연구 등으로 획득한 단백질 및 리간드 등의 정보를 수집, 데이터베이스로 구축 → 산업계에 제공하여 신약 개발에 활용.</p>	<p>1. 동일한 효소 활성을 측정하더라도, 연구자마다의 프로토콜에 따라 경향은 유사하더라도 수치로는 다르게 표현되는 경우가 대부분입니다. 따라서, 여러 연구자들이 생성한 데이터를 디지털 환경에서 활용할 수 있는 포맷으로 전환하는 것은 매우 중요합니다. 각각의 연구자들이 생성한 데이터를 포맷 전환할 수 있는 기술 또는 방법을 개발하는 실천과제가 필요할 것으로 사료됩니다. 이러한 기술 또는 방법을 통하여 전환한 데이터를 축적하여 공유할 수 있도록 플랫폼화 한다면, 개별 연구자는 각자가 생성한 데이터를 이 플랫폼을 활용하여 전환함으로써, 동일한 기준으로 이미 축적된 다른 데이터와 비교하거나, 다른 데이터와 합하여 분석해 볼 수 있을 것입니다.</p> <p>2. 1번의 설명을 다르게 하면, 데이터를 표준화할 수 있는 기술의 개발이 될 것이며, 데이터의 속성을 고려하여 데이터를 표준화할 수 있는 기술 또는 방법의 카테고리를 분류하고 각 분류에 해당하는 실천과제가 필요할 것으로 보입니다.</p> <p>3. 의약품 사용 빅데이터 사용 AI 기반 적응증 확대: 기존 의약품 사용 빅 데이터를 AI로 분석하여 기존 의약품이 허가받지 않았던 적응증으로 확대</p> <p>4. 단백질 및 리간드 구조 공공 데이터베이스 구축: X-ray crystallography, Cryo-EM, 방사광가속기 등 첨단/대형 실험장비를 활용, 신약 개발 타겟이 되는 주요 단백질 및 리간드의 구조 규명 과제 지원. 정부과제 및 산학연 연구 등으로 획득한 단백질 및 리간드 등의 정보를 수집, 데이터베이스로 구축 → 산업계에 제공하여 신약 개발에 활용.</p>
	<p>(디지털 융합 도전·창의 연구) 디지털 융합 첨단 바이오핵심기술 개발을 위한 임무지향·도전 연구로 바이오난제 해결</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 난치성 질환 극복을 위한 비대면, 실시간 모니터링 및 피드백 가능 3세대 치료제 기술 경쟁력 확보 및 상용화 지원 • 인체 구조-기능 통합한 휴먼디지털 트윈을 통한 개인 맞춤형 건강관리

		<ul style="list-style-type: none"> • 미래 뇌과학 기술 개발을 통한 치매, 우울증 등 뇌인지 장애 극복 <p>1. 디지털 트윈을 구현하기 위한 데이터와 이를 활용한 디지털 모델이 만들어져야 할 것으로 보입니다. 이를 위하여 다른 전략과제들과의 연계가 중요할 것으로 보입니다.</p> <p>2. 비대면, 실시간 모니터링 등은 이러한 방법을 통하여 수집할 데이터를 정하고, 이들 데이터를 어떻게 수집할 지와 수집한 데이터를 어떻게 분석하여 피드백을 줄 수 있는 결론을 도출할 지를 통합적으로 고려한 실천과제가 되어야 할 것으로 보입니다. 물론 기술 개발은 각각 이루어져야 할 수도 있겠습니다.</p> <p>3. 분산형 임상시험 (Decentralized Clinical Trial, DCT) 도입을 위한 시범사업 추진 및 관련 규제 개혁: 분산형 임상시험(DCT)이란 임상시험 대상자가 병원 방문 없이 원격 모니터링 장비 및 임상 대상 의약품 배송받아 의료진 관리 하에 가정에서 임상시험에 참여하는 것. 실제 생활 환경에 가까운 조건에서 임상시험 가능하며, 노인 및 환자도 비교적 쉽게 임상시험에 참여할 수 있다는 장점. 그러나 현재 의약품 배송 및 원격의료 관련 규제로 국내에서 시행 불가능한 상황으로, 규제 완화를 통한 DCT 도입이 필요.</p> <p>4. 만성질환 및 환자 관리를 위한 디지털 의료기기 도입 지원 및 건강보험 관련 제도 수립: 지속적인 약물 투약 및 생활습관 개선 등이 필요한 만성질환 환자를 센서, 모바일 어플리케이션, 병의원의 원격 관리 시스템 등을 통해 약물 순응도 올리고 환자를 관리하는 디지털 의료기기 도입 사업 지원 및 건강보험 수가 편입 관련 논의 필요</p> <p>5. (디지털 융합 도전창의 연구)와 (디지털 연구 환경 조성)의 위치를 바꾸는 것이 좋겠습니다. 창의적인 연구개발이 서비스 및 환경보다는 우선순위가 높게 보이도록 하는 것이 좋겠다는 의견입니다.</p>
<p>2. 플랫폼 기반 R&D 효율성 및 생산성 향상</p>	<p>(공통기반 인프라 확충) 플랫폼 기반 연구방식의 질적 수준 향상으로 바이오 기술개발 속도 단축 및 성공가능성 확대, 플랫폼 기반 연구방식의 질적 수준 향상으로 바이오 기술개발 속도 단축 및 성공 가능성 확대</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 양질의 신약후보물질 발굴 가속화를 위한 신속 스크리닝 플랫폼 구축 • 바이오기술 스케일업 전 과정의 표준화, 자동화, 고속화를 통한 생산성 극대화

<p>1. (전략1)이 플랫폼화 되어야 할 것으로 사료됩니다. 앞서서도 언급한 바와 같이, 여러 연구자들이 생성한 데이터를 디지털 환경에서 활용할 수 있는 포맷으로 전환하여, 전환한 데이터를 축적하여 공유할 수 있도록 플랫폼화되어야 할 것으로 보입니다. 그리고 이러한 플랫폼은 개별 연구자들이 쉽게 활용할 수 있도록 제공되어야 합니다.</p> <p>2. 예를 들어, 연구자가 in silico(디지털 트윈이라고 해도 좋을 것 같습니다) 플랫폼에서 스크리닝을 완료하여, 시간과 비용이 많이 드는 과정을 빠르게 진행하여 hit를 발굴할 수 있도록 서비스를 제공하고, 플랫폼 이용 과정에서 생성된 데이터를 재축적하여 플랫폼의 기능을 향상할 수 있도록 실천과제를 구성해 볼 수 있을 것 같습니다.</p> <p>3. 약물 스크리닝을 위한 장기칩(Organ-on-a-chip) 플랫폼 국산화 사업 지원: 장기칩이란 신체 장기의 구조를 재현한 칩에 장기 세포를 배양해 실제 장기와 비슷한 플랫폼을 구현하는 것으로, 약물의 독성 및 효과를 스크리닝하는 데 효과적임. 현재 국외의 다양한 연구 그룹 및 바이오 기업에서 장기칩이 개발 및 상용화되고 있음. (Ex: 미국 Emulate社: Harvard 연구진 주축으로 설립, Novartis 약물 스크리닝 프로젝트 수행) 장기칩 플랫폼을 국산화, 사업화하고 약물 개발에 활용할 수 있는 형태로 산학연 공동개발사업을 지원할 필요 있음.</p> <p>4. 임상시험 중 ICT (Information & Communications Technology) 기술을 이용한 실시간 환자 모니터링 등 데이터 수집 관련 규제 완화: 국내 인구의 고령화 추세 및 COVID-19등 전염성 질환 유행 → 지속적 관리가 필요한 환자의 모니터링에 디지털 기술을 활용할 필요성이 높아짐. 모바일 어플리케이션 연동형 센서 등 가정에서 수집된 데이터 수집 병원 전달하고 EHR, PHR 등과 연계하여 통합적으로 관리할 수 있게 하는 등 데이터 사용 및 환자 관리 위한 원격의료 관련 규제의 완화 필요.</p> <p>5. 건강보험 등 공공데이터 접근성 향상: 현재 건강보험 데이터 센터에 직접 방문하여 데이터에 접근해야만 하는 문제 있음. 해당 규제 개선하여 일정 보안 절차 수행 후 On-line으로 데이터에 접근할 수 있게 하는 방안 필요.</p>	
<p>(공통기반기술 확보) 범용성과 파급력이 높은 원천 및 응용기술 경쟁력 확보를 통한 고부가가치 신기술신산업 창출</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 유전자 편집·제어·복원 기술 고도화를 통한 보건의료, 식품, 에너지, 환경 등 다양한 분야와 산업에 확장 적용 • 마이크로바이옴 기초·원천·응용 기술 개발 및 실용화를 통한 치료제 개발 및 미래 신산업 창출
<p>대학교 및 연구소 내 바이오테크 연관성 높은 연구의 빠른 산업화 및 초기 창업 또는 사업화를 지원하는 시스템 구축 필요</p>	

	<p>(플랫폼 서비스 확대) 출연연 등 거점기관을 통한 지속적인 유지·관리</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 현장 수요 맞춤형 바이오 소재정보 확보·관리·활용을 위한 원스톱 플랫폼 구축 • 동물시험에 대한 윤리적 논란 해소와 다양한 질환의 발생학적 연구 및 약물평가에 적용 가능한 오가노이드 기술 완성도 제고
	<p>출연연 등 국립연구소 및 국책과제 결과물 산업 연계: 국립연구소 및 국책연구에서 나온 결과물에 대한 산업계의 접근성을 높이고, KIST, KRIBB, IBS 등 여러 연구소에 분산된 결과물 및 관련 데이터를 종합적으로 검토, 사업화할 수 있는 데이터베이스 구축 필요. 산업계에 종합적 랜드스케이프를 제공하여 효율적인 산-연 협력체계 구축</p>	
<p>3. 미래 전략 기술 육성 및 시장 창출</p>	<p>(생명안보 및 기술자립) 감염병, 온난화 등 글로벌 도전과제에 대한 자국 백신 및 치료제 개발 중요성 강조</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 신변종 감염병에 대한 민첩한 대응과 선제적 대비 역량강화를 위한 임무지향 기초연구 지원 및 유기적·전략적 협력 강화 • 사람과 가축 등을 포함한 인수공통감염병 및 내성균 전파기전과 관리기술 강화 등 원헬스 관점의 통합적 협력연구 강화
	<p>1. 다음과 같은 실천과제 예시를 제안 드립니다.</p> <ul style="list-style-type: none"> - 천연물-마이크로바이옴 상호작용 유래물을 통한 혁신 신변종 감염병 대응 인체 면역력 강화제 개발 - 인공지능 단백질 설계 기술을 이용한 돌연변이 맞춤형 감염병 치료제 개발 및 비축화 사업 <p>2. 호흡기전염병 및 인수공통감염병 백신 및 치료제 개발사업 선제적 지원: COVID-19 이후 새로운 호흡기전염병이나 인수공통감염병 등이 지속적으로 등장할 것으로 예측되는 바, mRNA 및 펩타이드 등 신기술 플랫폼 기반 백신/치료제 개발, 해당 플랫폼 기반 치료제 생산 기술 등 기반 기술 및 산업화 과정에 대한 선제적 지원 → 첫 환자 발생 이후 100일 내 백신 긴급사용승인 가능한 CEPI (전염병예방혁신연합) 기준에 준하는 개발 환경 필요.</p>	
	<p>(글로벌 시장 선도 게임체인저) 산업·통상·공급망 관점의 전략기술주도권 확보를 통한 초기 시장 조성, 사업화 지원</p>	<ul style="list-style-type: none"> • 비교적 우위에 있는 국내 줄기세포 기술을 바탕으로 재생의료 상용화를 위한 원천 기술 고도화 및 데이터 확보

		<ul style="list-style-type: none"> 그간 축적된 뇌연구 역량 활용 기술사업화 촉진을 통한 신성장 동력 확보
	<p>1. 공공부문 데이터 및 연구용 샘플, 기자재 등의 공유 절차 간소화: MTA (Material Transfer Agreement) 표준화 및 절차 간소화, 각 기관별 데이터 및 샘플 공유 관련 내규 정비 등을 통해 산학연 공동연구 및 산업화 촉진 (Ex: 영국 캠브릿지 대학 OpenPlant Project 개방형 MTA (OpenMTA) 활용 사례)</p> <p>2. 연구자 주관 임상시험 활성화를 위한 절차 간소화 및 규제 완화</p>	
	<p>(공동·협력연구 강화) 전략기술 육성을 위한 국내외 연구 역량 결집·활용</p>	<ul style="list-style-type: none"> 의료현장의 미충족 의료수요 해결 및 나노, 3D 프린팅 등 디지털 융복합 미래형 의료기기 개발
<ul style="list-style-type: none"> 사람과 가축 등을 포함한 인수공통감염병 및 내성균 전파기전과 관리기술 강화 등 원헬스 관점의 통합적 협력연구 강화 		
<ul style="list-style-type: none"> 전략기술 선정 및 후속사업을 통한 실용화, 산업화 지원을 위한 컨소시엄 구축 		
	<p>1. 민간의료데이터 접근성 제고: 현재 병의원별 의료 데이터 접근에 대한 절차가 복잡하고 표준화되어 있지 않아 산업계에서 병의원 데이터에 접근하기 어려운 현실임. 민간의료데이터에 대한 접근 시 필요한 절차 및 가이드라인을 제시하여 과정을 표준화하고, 기업에서 민간의료데이터에 접근하기 용이하도록 해야 함.</p> <p>2. (공동·협력연구 강화)는 어떻게 지원할 것인가로 생각이 되기 때문에 (혁신도전기술 발굴) 정도의 제목으로 재정비를 하면 어떨까 합니다. 어떻게 지원할 것인가는 4번 카테고리로 묶으면 좋겠습니다.</p>	
<p>4. 지속가능한 바이오 융합 신산업 창출</p>	<p>(상용화 목표 공동가치창출) 연구개발 초기부터 사용자, 투자자 등의 참여를 통한 공동가치창출 (co-creation) 모델 실현</p>	<ul style="list-style-type: none"> 연구개발-사업화 유기적 연계를 위한 실용화 목표 패키지형 R&D 기획 강화 연구성과 조기 실현을 위한 안전성, 유효성 평가 등 시범실증 연구 지원 공급자-수요자 간 연구성과 활용-중개 온라인 플랫폼 구축

	정부출연 연구기관 및 국립대학 연구실 등 학연과 산업계 네트워킹 강화를 통한 수요 파악 용이성 제고	
	(디지털 융합 신산업 창출) 바이오 및 제조산업 혁신	<ul style="list-style-type: none"> • 소재, 에너지, 화학 등 기존 제조 산업에 디지털바이오기술 접목한 속도·스케일·경제성 극대화 및 제조산업 혁신
		<ul style="list-style-type: none"> • 바이오 + IT, 나노, 기계, 농업 등 디지털 융합 신산업新서비스 창출
	<p>1. 모바일 헬스케어(mHealth) 이용 취약계층 환자 관리 등 시범사업 추진 및 결과 데이터 공유: 독거노인 등 취약계층에 대한 생활습관 개선, 복약지도를 통한 약품 순응도 개선 등 모바일 헬스케어 어플리케이션을 이용한 헬스케어 접근성 확대 사업 추진 필요. 해당 사업의 결과 데이터를 분석하여 모바일 헬스케어의 임상적 효과를 확인한 후 전체 인구 대상으로 상업화 가능.</p> <p>2. 신산업창출은 3번 카테고리에 맞는 것 같습니다. 4번에는 이를 지원할 수 있는 쪽을 리스트업 하는 것이 좋겠습니다.</p>	
	(상생협력 생태계 구축) 디지털바이오 클러스터 구축 및 활성화 방안 마련	<ul style="list-style-type: none"> • Open-Lab Factory를 통한 시설장비, 인력, 기술, 사용자 등을 공유
		<ul style="list-style-type: none"> • 첨단전략기술의 초기 시장 조성 지원 및 기업지원사업과의 연계 운영
		<ul style="list-style-type: none"> • 협력 플랫폼으로서의 온오프 믹스 융합공간을 통한 교류 강화
	디지털 의료기기 및 의료 디지털화 관련 병원-산업계-복지부 간 의견 교류 플랫폼 구축	
5. 디지털바이오 기반 마련	(혁신 거버넌스 구축) 디지털 바이오 육성을 위한 거버넌스 확립	<ul style="list-style-type: none"> • 민-관 협동의 디지털바이오 발전위원회 신설 및 종합지원 체계 구축
		<ul style="list-style-type: none"> • 전략기술별 거점 육성기관 지정 및 연구 성과 집적·활용을 위한 지속적인 유지·관리
	디지털바이오 전환을 위한 산학연 네트워크 구축 및 산학연 협력을 위한 지속적 지원	
	(규제 선진화 방안) 디지털 바이오 촉진에	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오 데이터의 표준화-데이터의 보호 및 보안-규제(인허가 및 인증제도)가 서

필요한 제도적 지원체계 구축	로 협력관계를 유지할 수 있는 규제 인프라 구축
	<ul style="list-style-type: none"> • 바이오 대전환 촉진을 위한 법적 기반 마련, 지속적인 규제 해소를 위한 전문 규제 합동 개선반 운영 • 국제기구 활동을 통한 디지털융합 바이오기술에 대한 표준 및 윤리적 가이드 라인 마련에 참여
	<p>1. 의료 빅데이터 활용 절차 개혁: 의료 빅데이터 활용 시 학계에 비해 산업계에 대해서 샘플 데이터 접근 등 여러 측면에서 제한적인 요소 존재 → 이러한 규제를 개혁하여 산업계 의료 빅데이터 활용 용이성 확보 필요</p> <p>2. 소프트웨어 의료기기 (SaMD) 및 전자약 등 신기술 적용 의료기기 건강보험 수가 적용 절차 간소화: 현재 디지털 의료기기 및 소프트웨어 의료기기 허가 이후 신의료기술 평가 및 수가 적용에 필요한 소요 기간이 긴 문제가 있음. 이에 따라 해당 절차 간소화하고 소요기간을 단축, 디지털 의료기기의 시장 진입 용이하게 함.</p>
<p>(다학제 융합 전문인력 양성) 현장 중심의 디지털 교육 프로그램 확대 및 융복합 인재 양성을 통한 육성 기반 마련</p> <ul style="list-style-type: none"> • 교육과 연구산업 현장의 유기적 연계 가능한 현장 중심의 디지털 기술 활용 교육 및 협력·공동연구 장려 교육 프로그램 지원 • 다학제간 융합 인력 양성을 위한 대학대학원 교과과정 신설 및 확대 • 해외 연구기관과의 전략적 파트너십 체결 및 기술협력 네트워크 구축 	
<p>1. 전산학과 등 ICT 관련 학과-바이오헬스케어 관련 학과 간 융합학제 및 관련 교류 프로그램 신설 지원</p> <p>2. 디지털 의료기기 및 메디컬 어플리케이션 아이디어 공모전 등 학생 참여형 지원사업 추진</p> <p>3. 해외 연구기관(Ex: Oxford Big Data Institute 등)과의 연구협력 추진</p>	

나. 디지털바이오 정의 및 범위에 대한 전문가 의견수렴

정의 및 개념	바이오 및 헬스케어 산업 전반에 걸쳐 ICT (네트워크, 인공지능, 모바일 어플리케이션, 빅데이터 등) 기술을 적용하는 것
범위	<p>바이오 디지털화를 통해 기존 연구와 융합한 새로운 영역의 연구가 가능하게 되면서, 환경파괴와 지구온난화를 해결하는데 반드시 필요한 기술이지만 상대적으로 기반이 취약하였던 연구들이 기존 연구와 융합하여 기초부터 실용화까지 전주기 바이오 연구를 가속화 할 수 있는 모든 연구 분야.</p> <p>의약품 연구개발 및 디지털 의료기기, 디지털 의료기기 등 디지털 헬스케어 연구 방식의 디지털화 및 디지털 전환 범위</p>
관련기술 (예시)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 유전체 데이터, 인공지능 예측 기술, 합성생물학 기반의 인공세포 생산기술의 융합을 통한 신약을 개발하는 디지털 바이오기술 <ul style="list-style-type: none"> - 인공지능 후보물질 탐색기술을 통하여 생성된 후보물질 가상라이브러리 구축 - 공개 유전체정보 기반의 가상라이브러리 내 후보물질의 생합성 바이오파운드리 디자인 - 후보물질 생합성 경로 디자인의 인공미생물 및 인공생체촉매를 이용한 실현 2. 작물, 토양, 산업동물 대상 마이크로바이옴 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 인간/의약품 개발에 축적된 마이크로바이옴 연구를 모델로, 논 토양 미생물, 반추동물 마이크로바이옴 연구를 통한 농업 탄소 저감 3. 대체육 소재 첨가용 기능성소재 생산 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 대체육 개발과 대사공학을 융합하여 대체육 첨가성분의 대량생산 연구를 통해 대체육의 상품성 및 기능성 증대 (예, 철분 공급을 위한 비헴철 단백질 생산) 4. 기반화학소재 생산을 위한 바이오리파이너리 개발 <ul style="list-style-type: none"> - 석유계 제품을 대체할 수 있는 기존의 다양한 소재 생산 연구를 기반으로, 생물학적 방법을 통해 친환경적으로 대체 소재를 생산하는 연구 5. 바이오플라스틱 물성 및 분해성을 강화할 수 있는 가소제의 생물학적 생산 <ul style="list-style-type: none"> - 기존의 생분해성 바이오플라스틱 연구와 융합하여, 물성이 뛰어난 생분해성 플라스틱 가소제를 생물학적 방법을 통해 생산하여, 100% 생분해성 플라스틱을 친환경적으로 생산하는 연구 6. 지속가능한 식물 천연자원 생산 연구 <ul style="list-style-type: none"> - 기존 식물 세포 및 조직배양 기술과 융합하여, 산업계에 필수적인 식물유래 천연자원을 지속적으로 생산할 수 있는 연구 (예, 천연고무 생산 온대식물 개발)

7. 우주환경에서의 유용 화합물/단백질 생산 연구

- 기존 합성생물학 연구와 우주환경 연구를 융합하여 우주에서 화합물 및 단백질을 생산하는 연구를 통해 지구 환경 파괴를 방지하고, 우주 시대 기반 기술 확립

8. 미래 감염병 대응 eDNA 약물 개발 프로그램: 현존하는 항생제는 대부분 미생물이 생산하는 고유한 항균물질을 기반으로 개발되었으며 급속히 성장한 유전자분석 기술을 이용하여 eDNA를 해석할 경우 항생물질을 극대화할 수 있음

*eDNA(environmental DNA): 우리 환경에 존재하는 미생물을 포함한 생물체의 모든 유전정보로 유전자 발현기술을 이용하여 해당 유전자 산물의 생산이 가능함

- eDNA의 화합물 생합성 관련 유전정보 해석하여 유전자 암호화 저분자물질 (Genetically Encoded Small Molecule) 구조 데이터베이스 구축

- eDNA 발현기술을 통하여 저분자물질 구조 데이터베이스의 실제 화합물 라이브러리를 제작

- 병원성 미생물의 유전자분석에 따른 독성인자, 발병인자 예측과 규명 및 상응하는 항생물질 구조 디자인 기술 수립

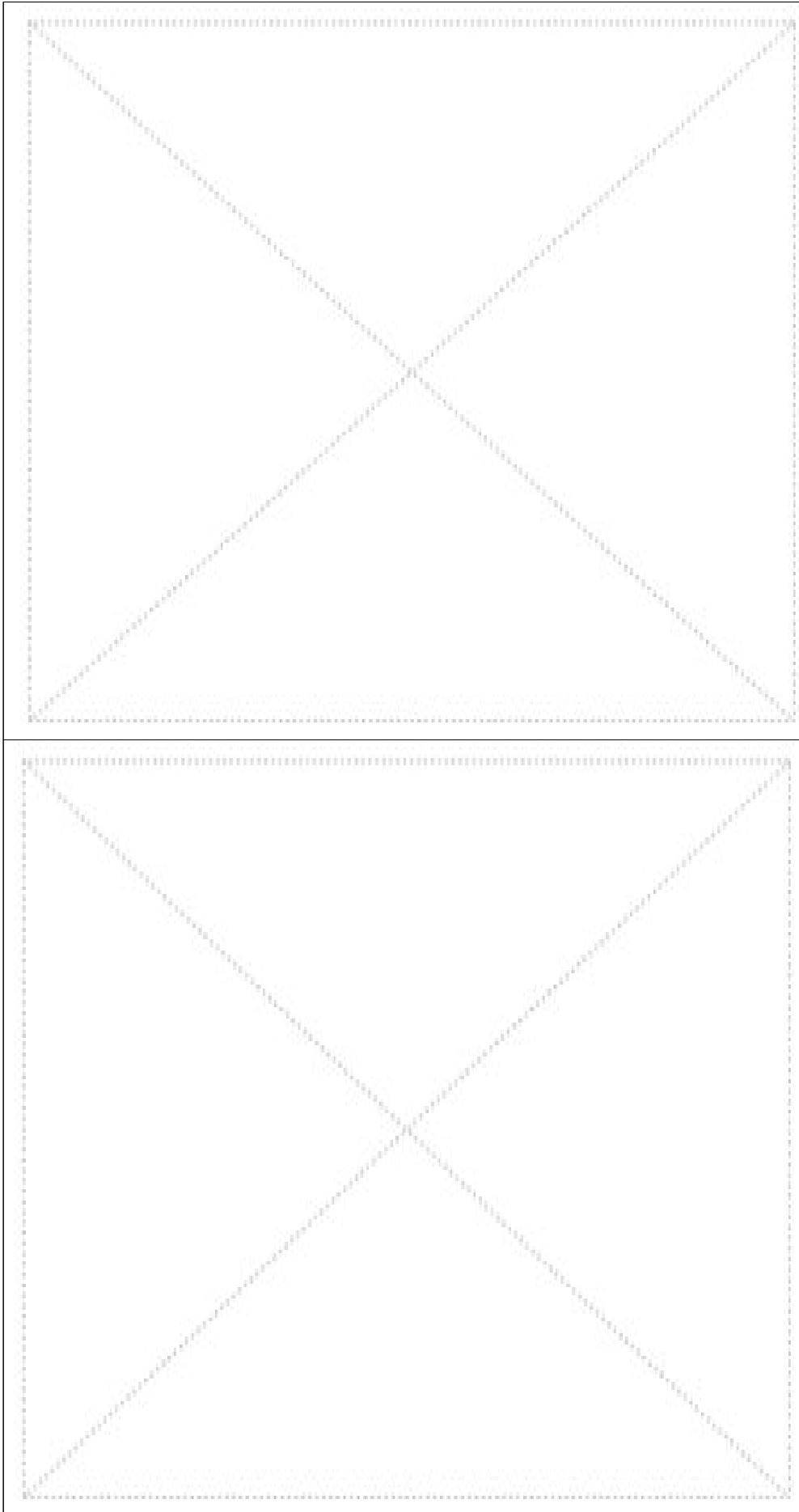
예시 1: 당뇨, 고혈압, 운동장애, 인지능력 저하 등 고령인구에 흔한 만성질환 예방 및 관리를 위한 디지털 헬스케어 어플리케이션 및 원격의료 플랫폼

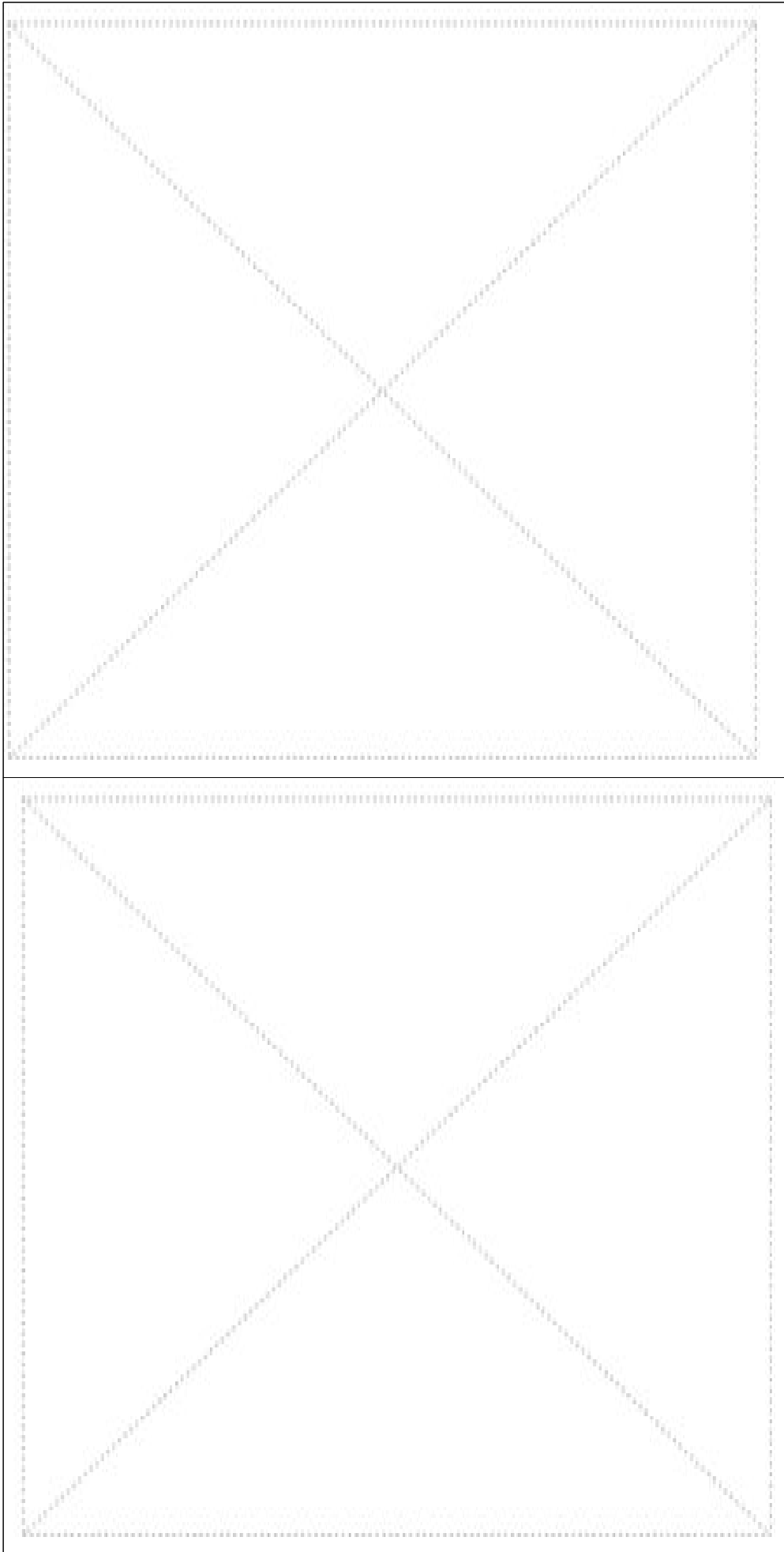
예시 2: 분산형 임상시험(Decentralized Clinical Trial, DCT)을 위한 디지털 바이오마커 측정 및 환자 추적 관리용 디지털 의료기기 + 임상시험 한정 의약품 배달 서비스

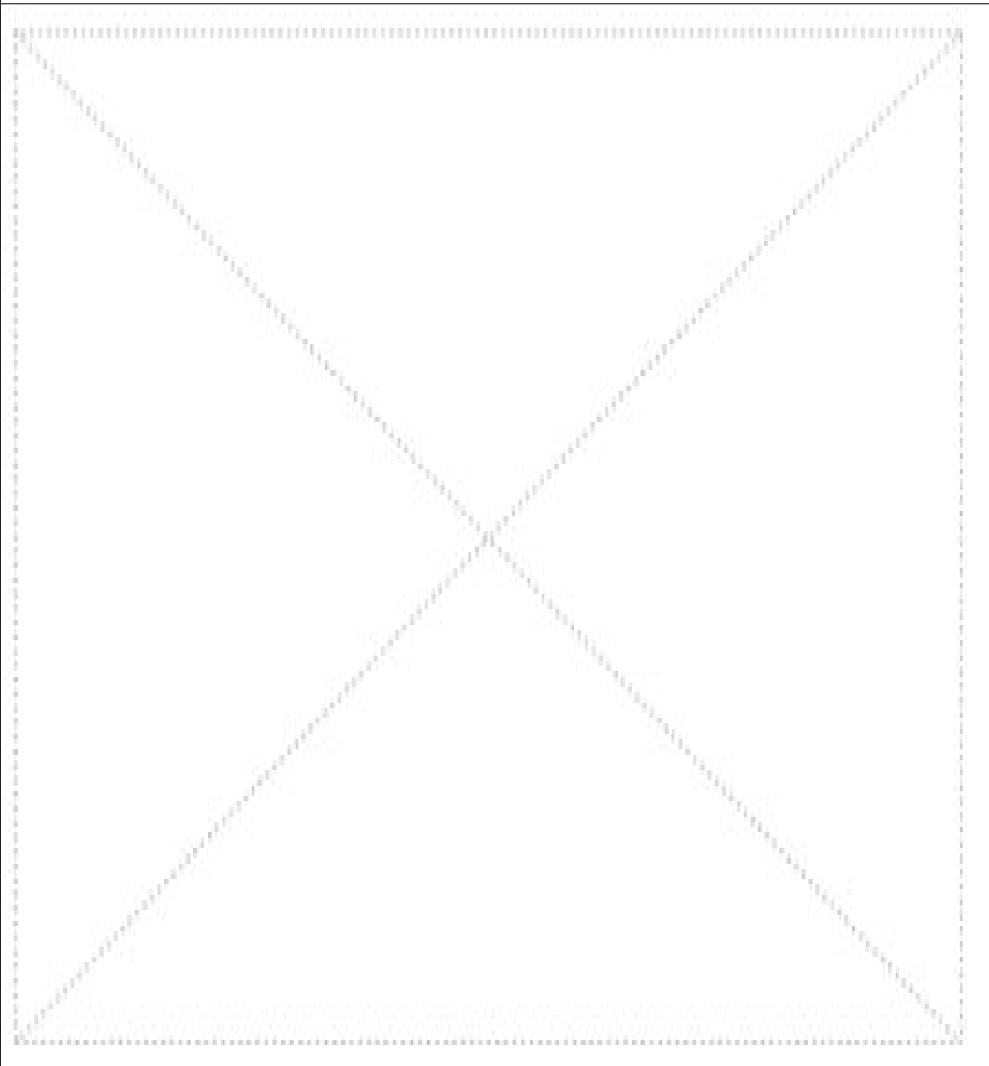
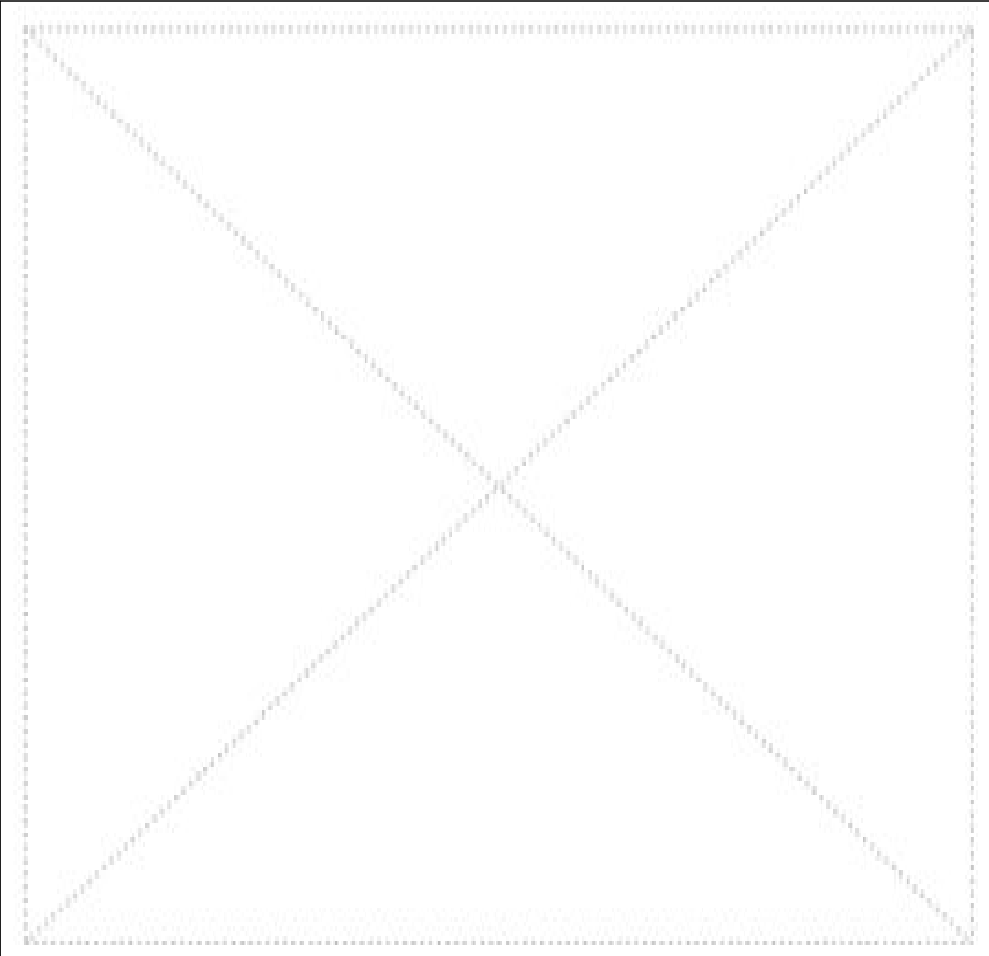
예시 3: 질환별 한국인 유전체 빅데이터 데이터베이스 구축

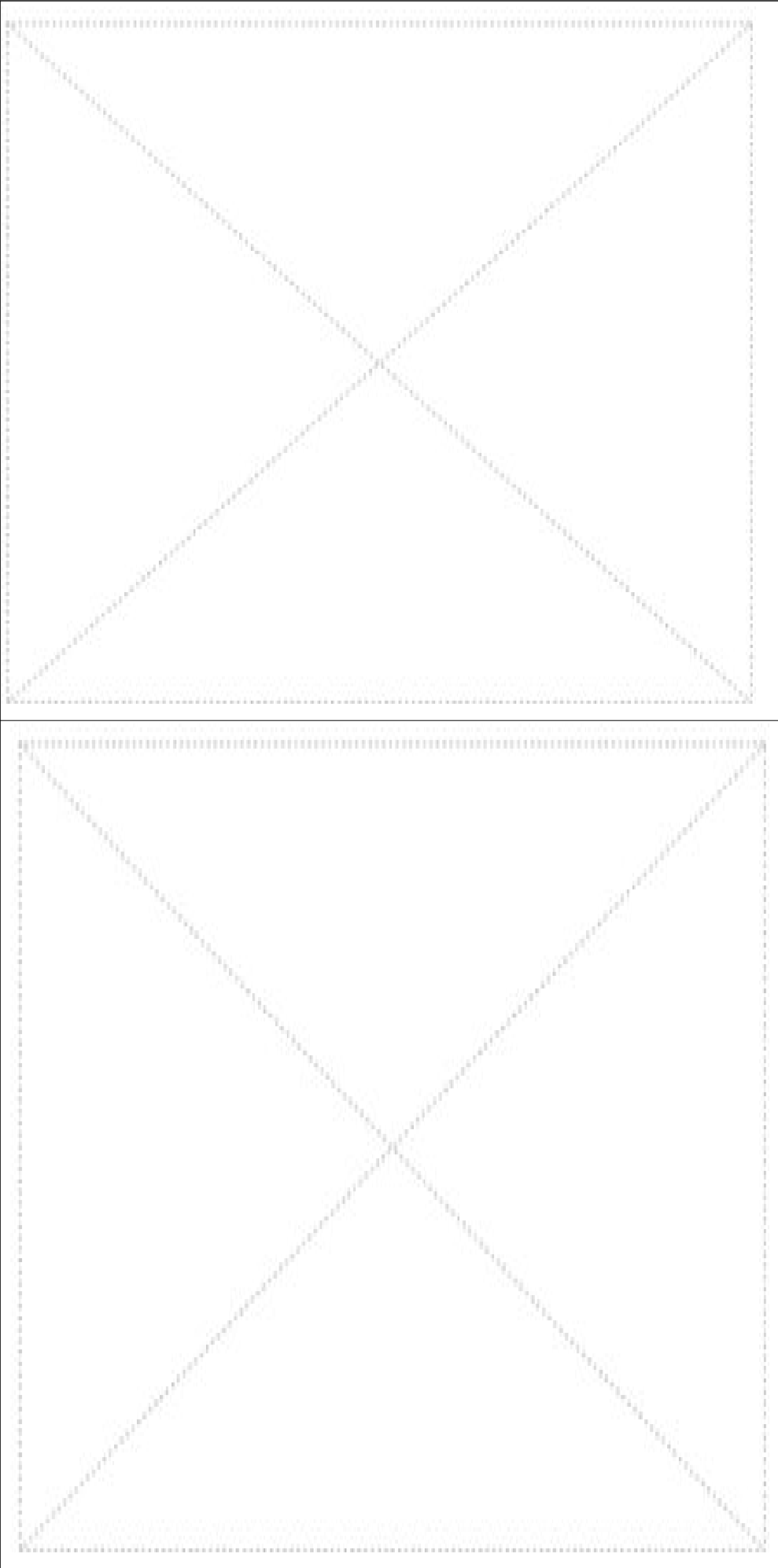
다. 네이처 다이멘션 분석 결과

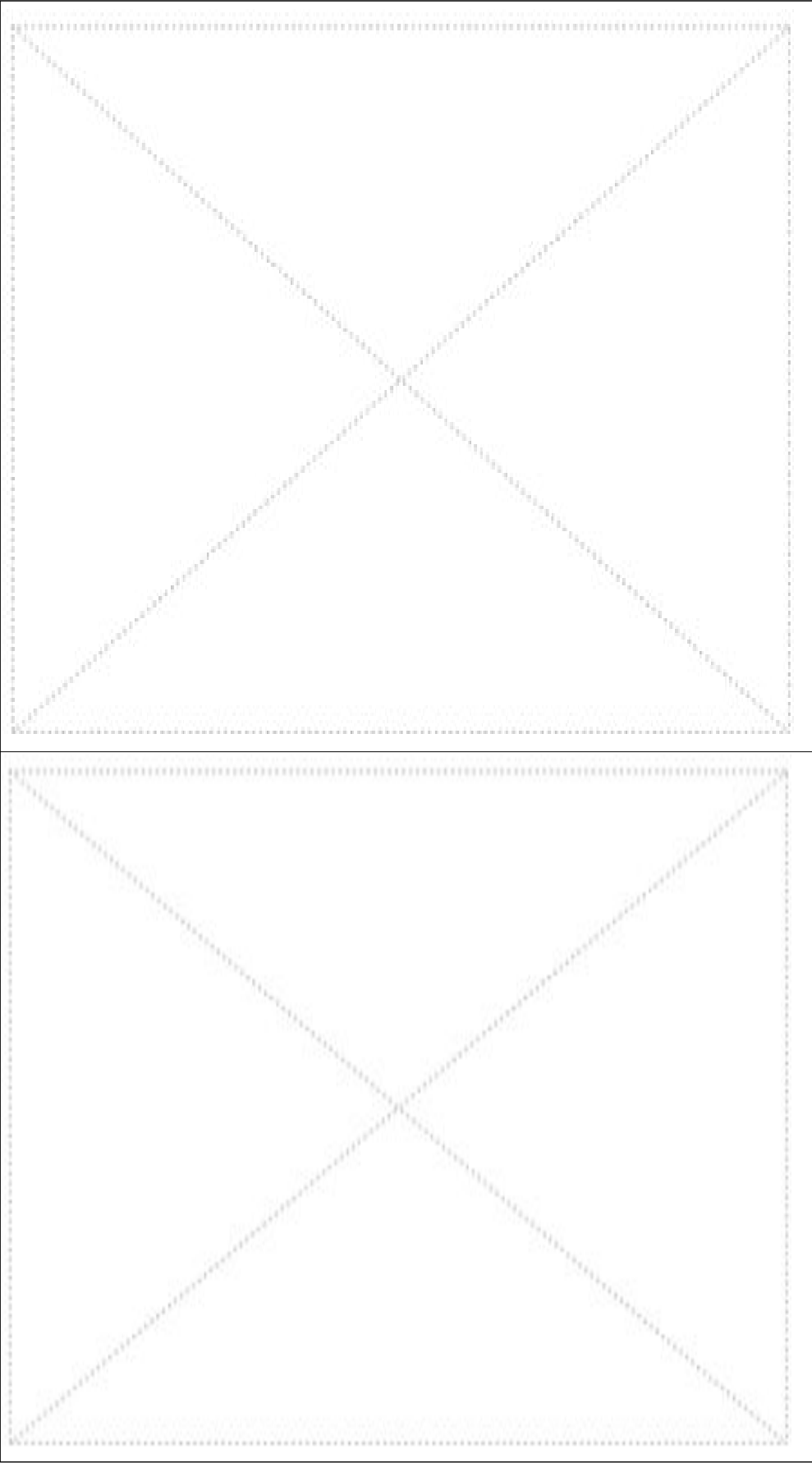
Electroceutical

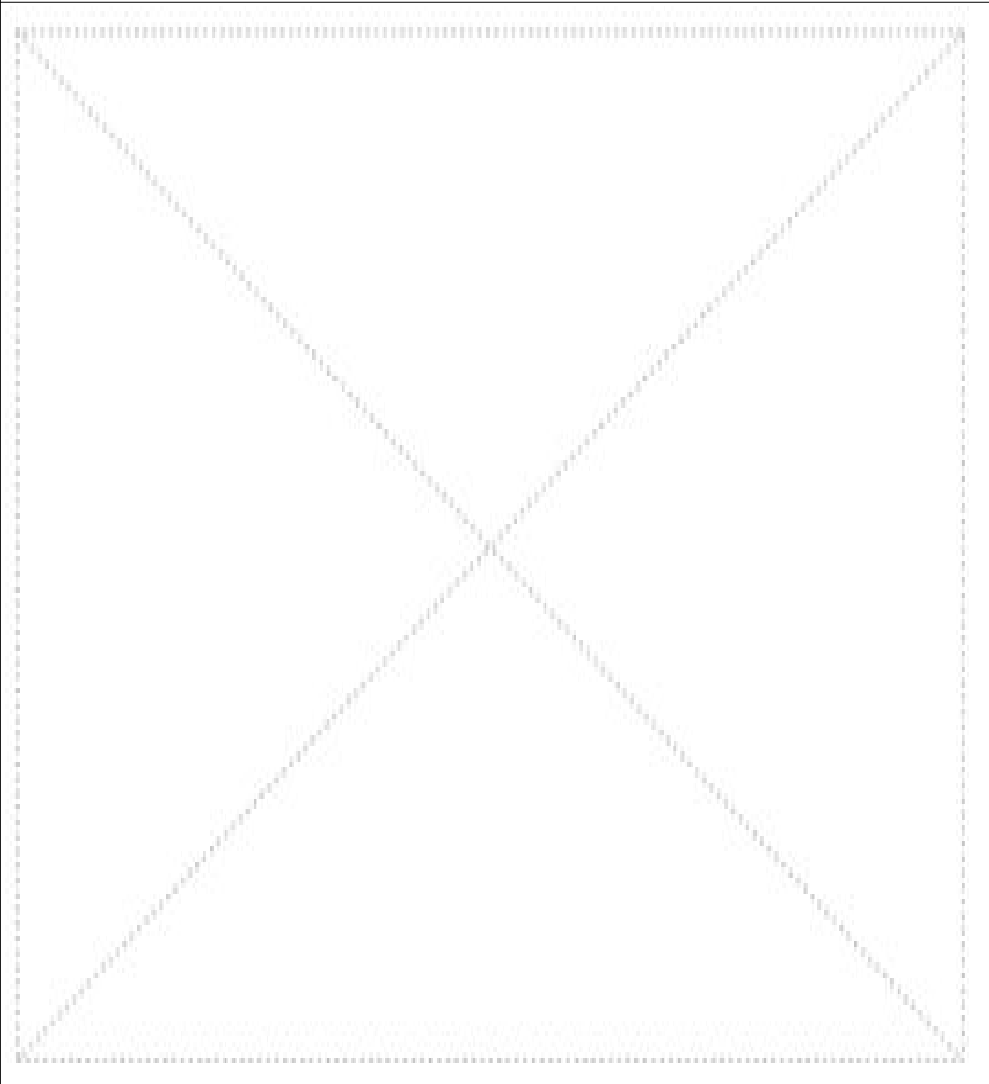
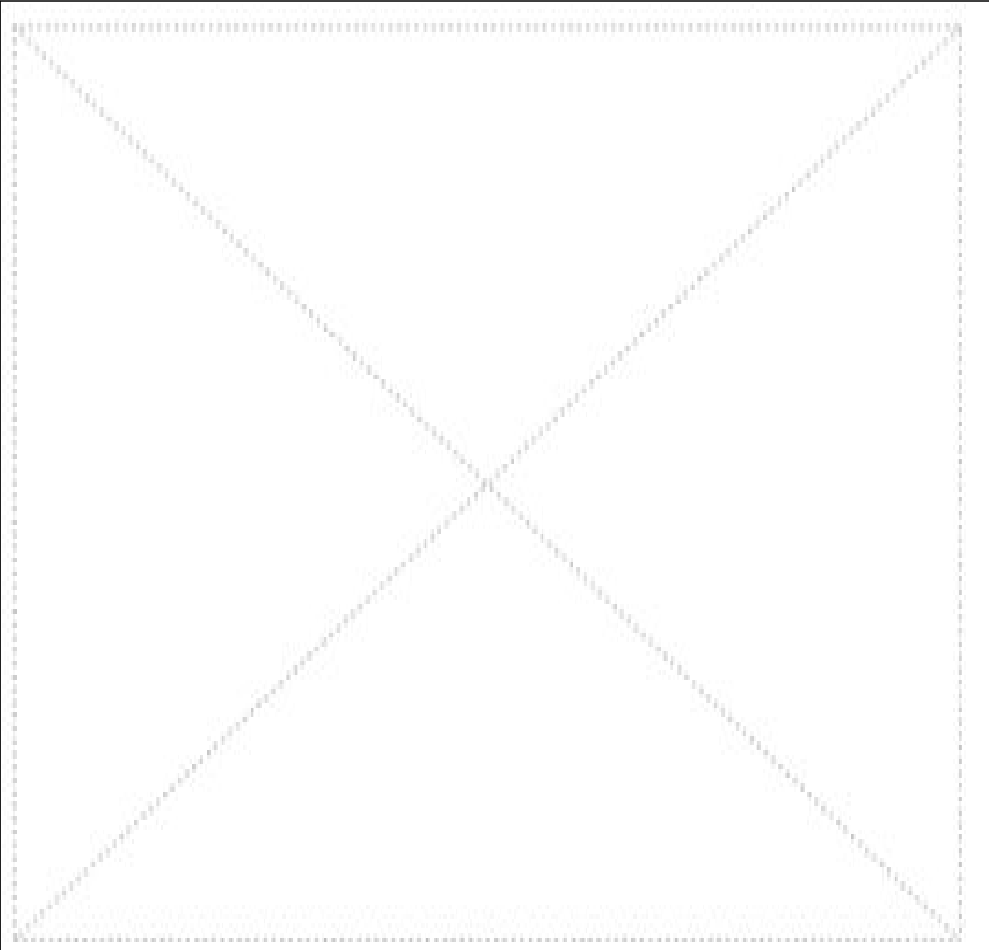


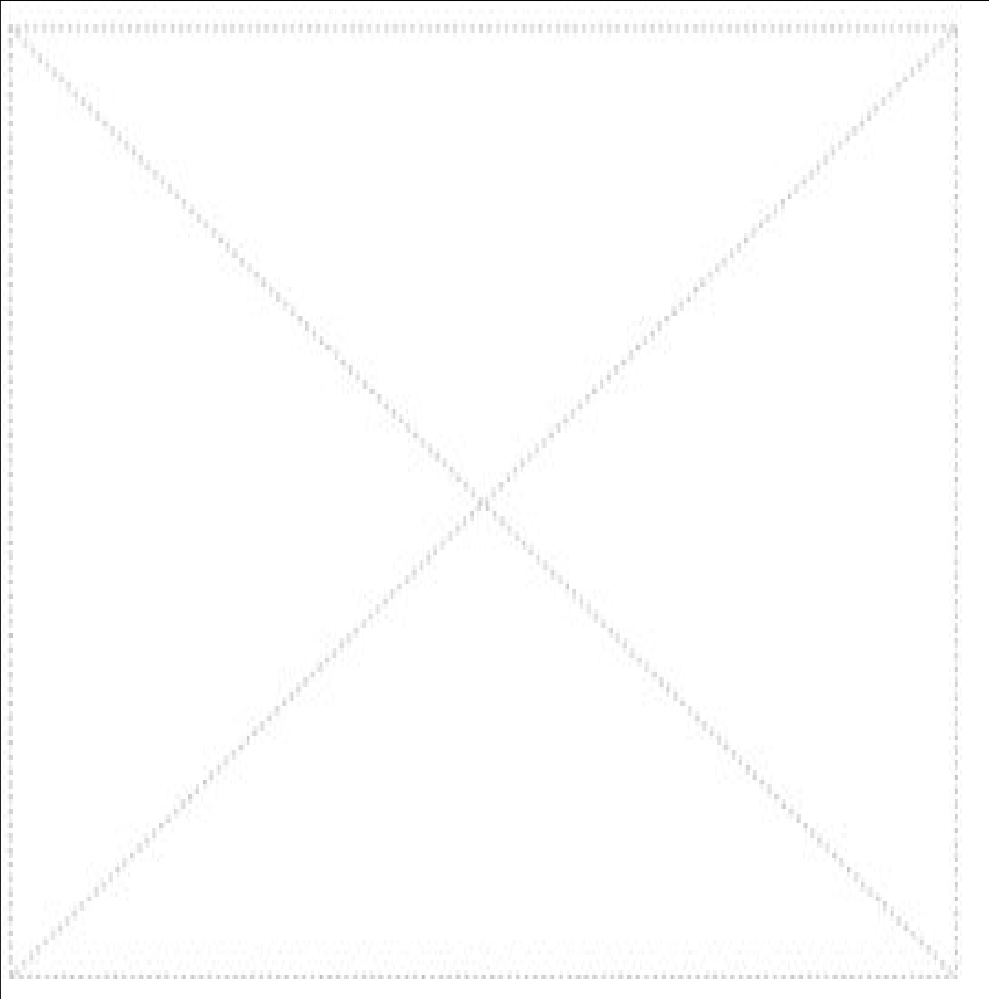
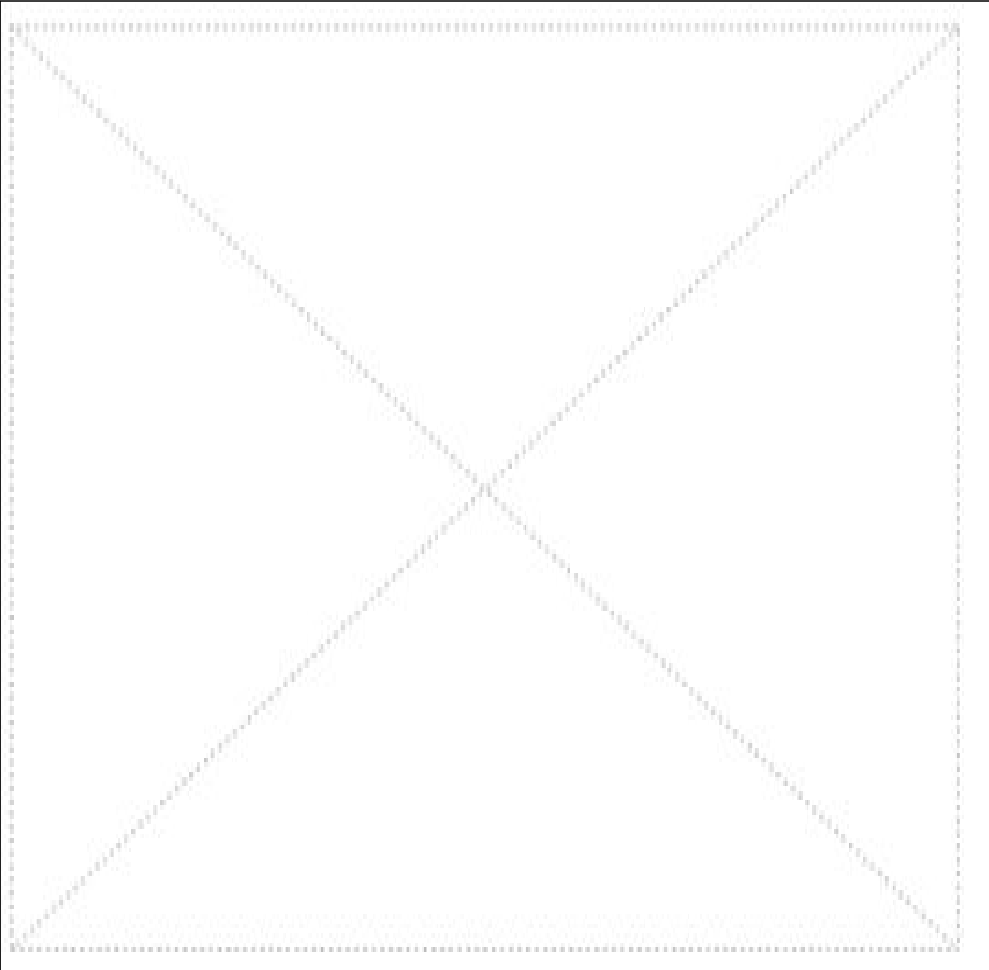


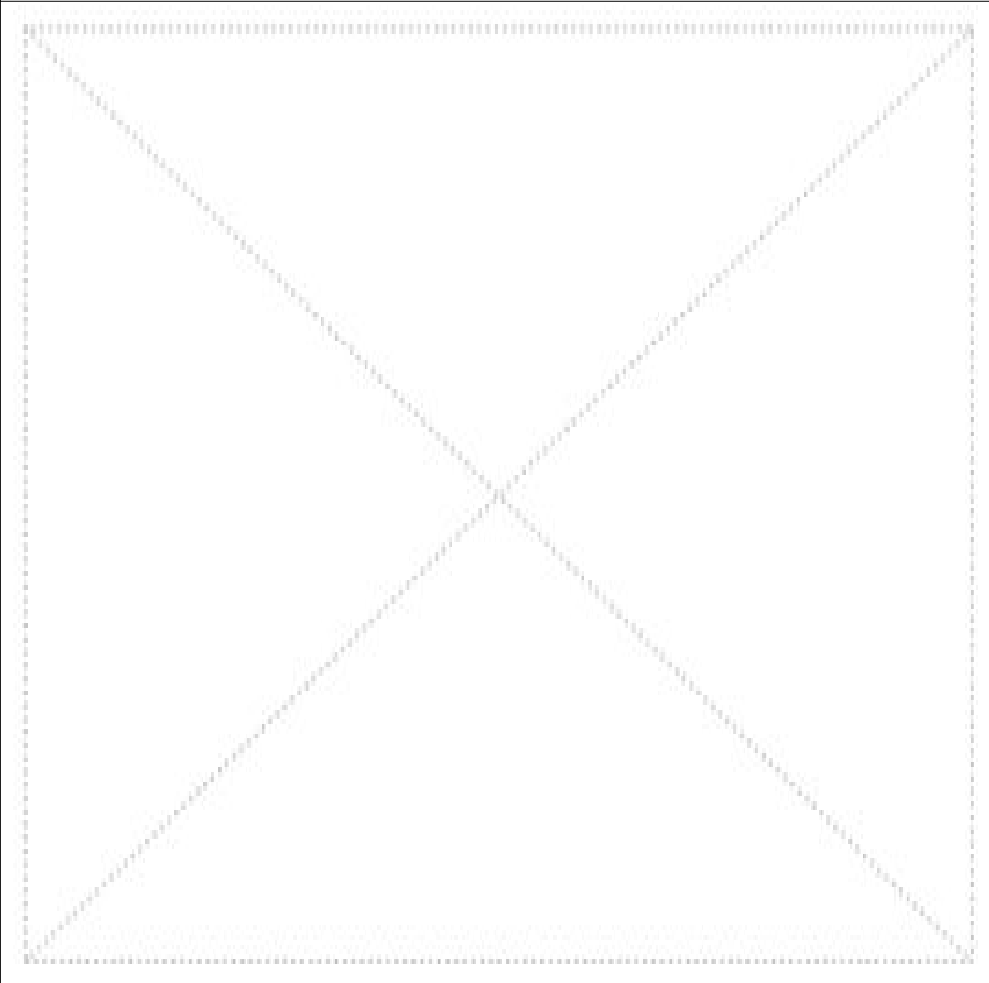
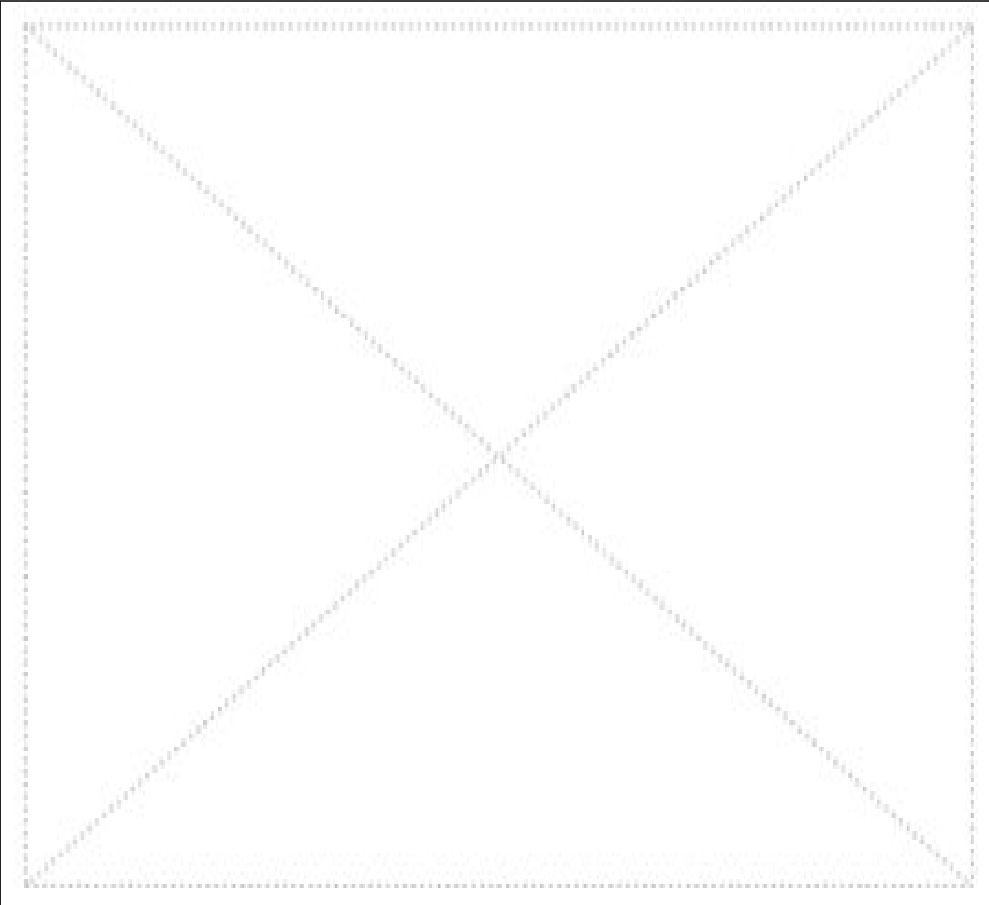


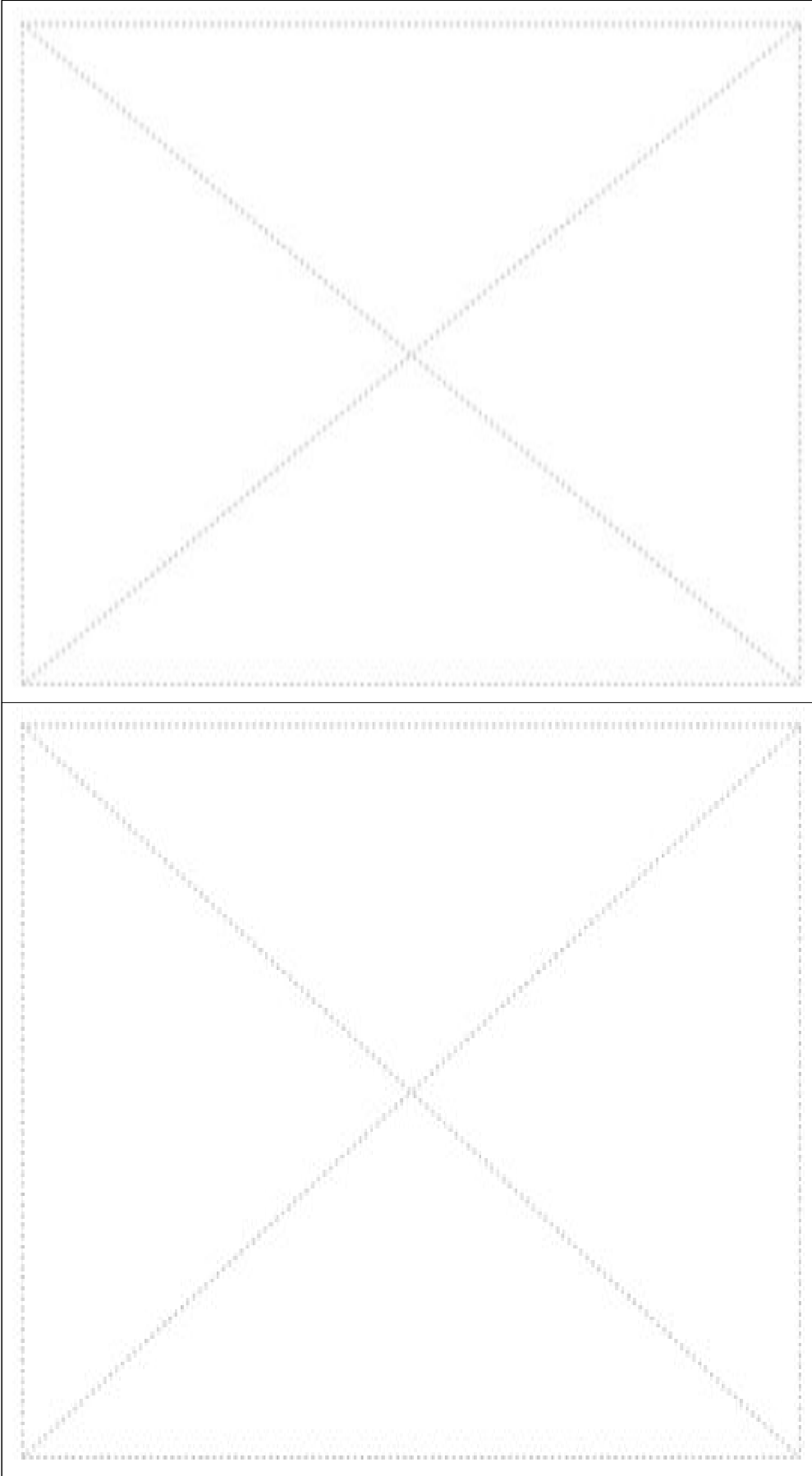


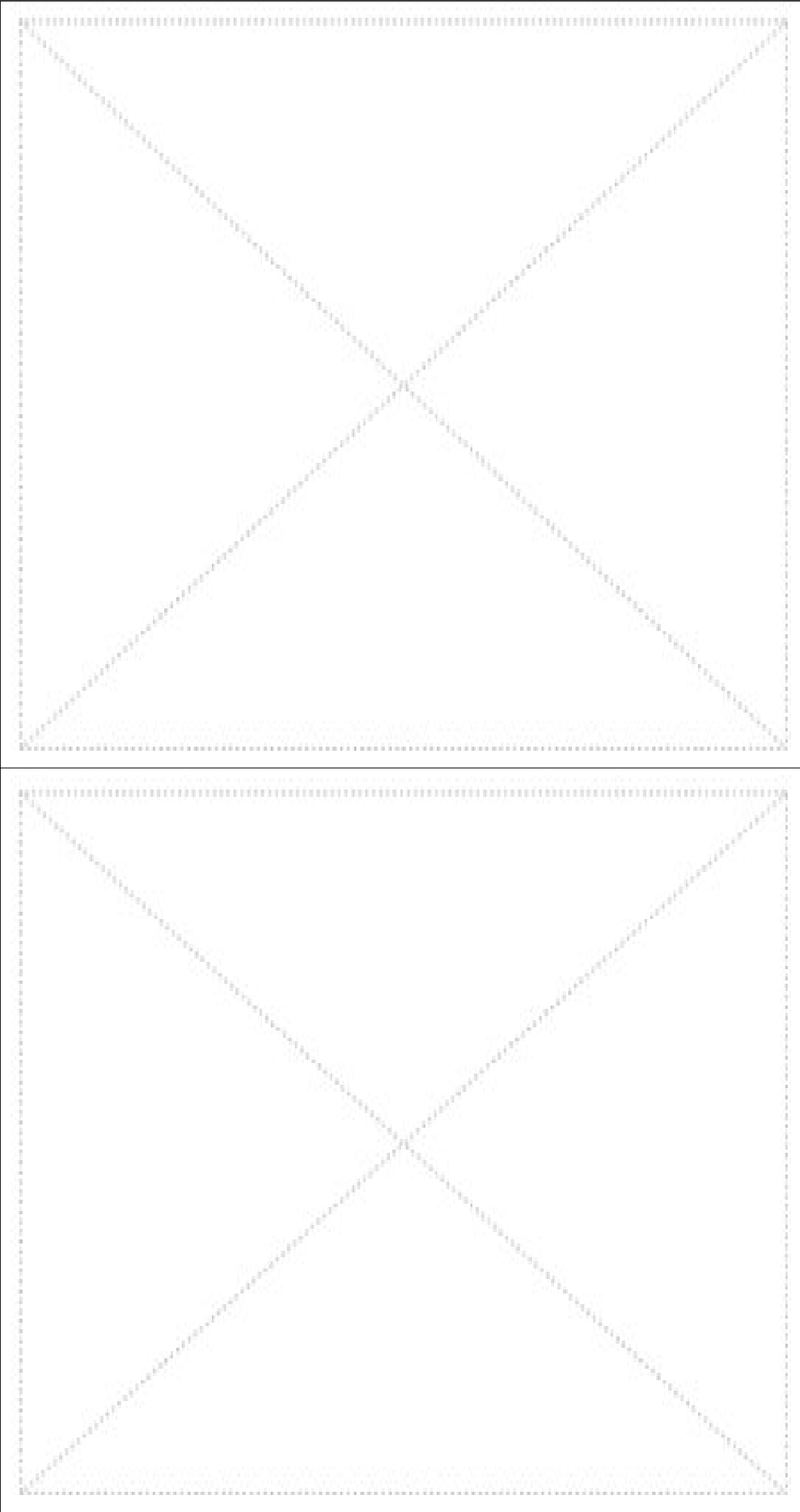


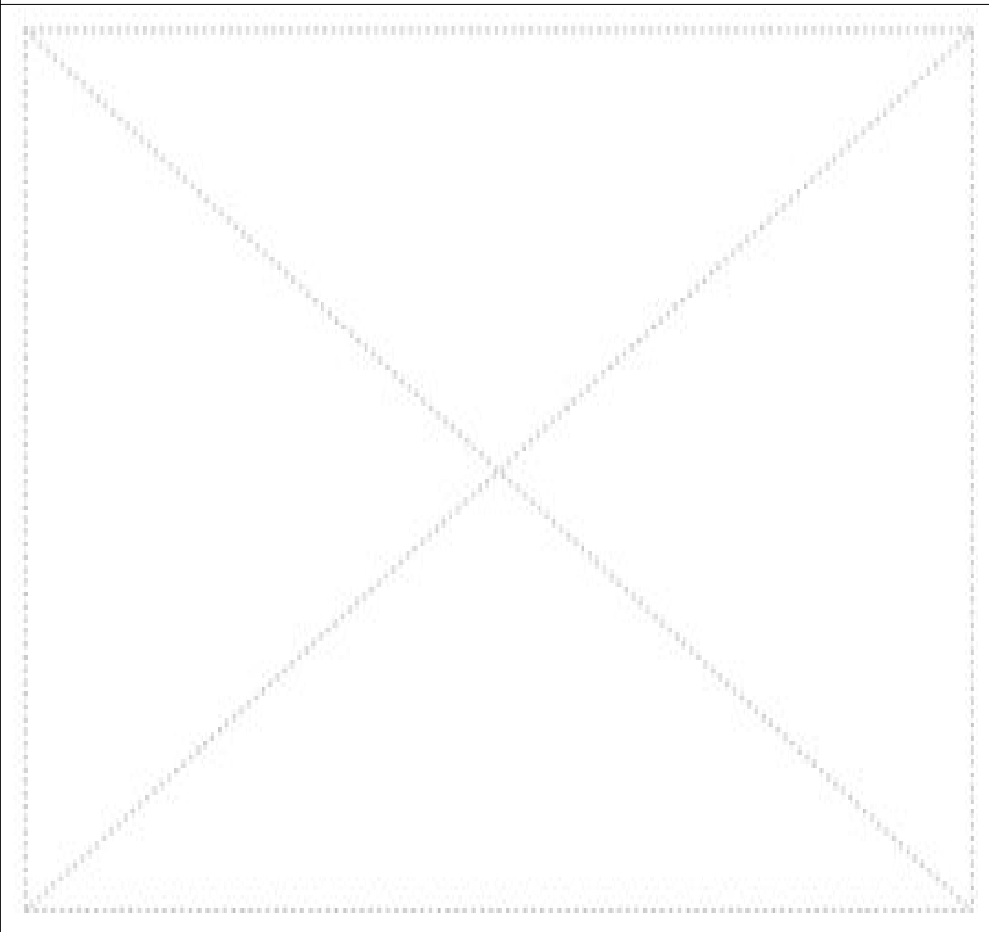
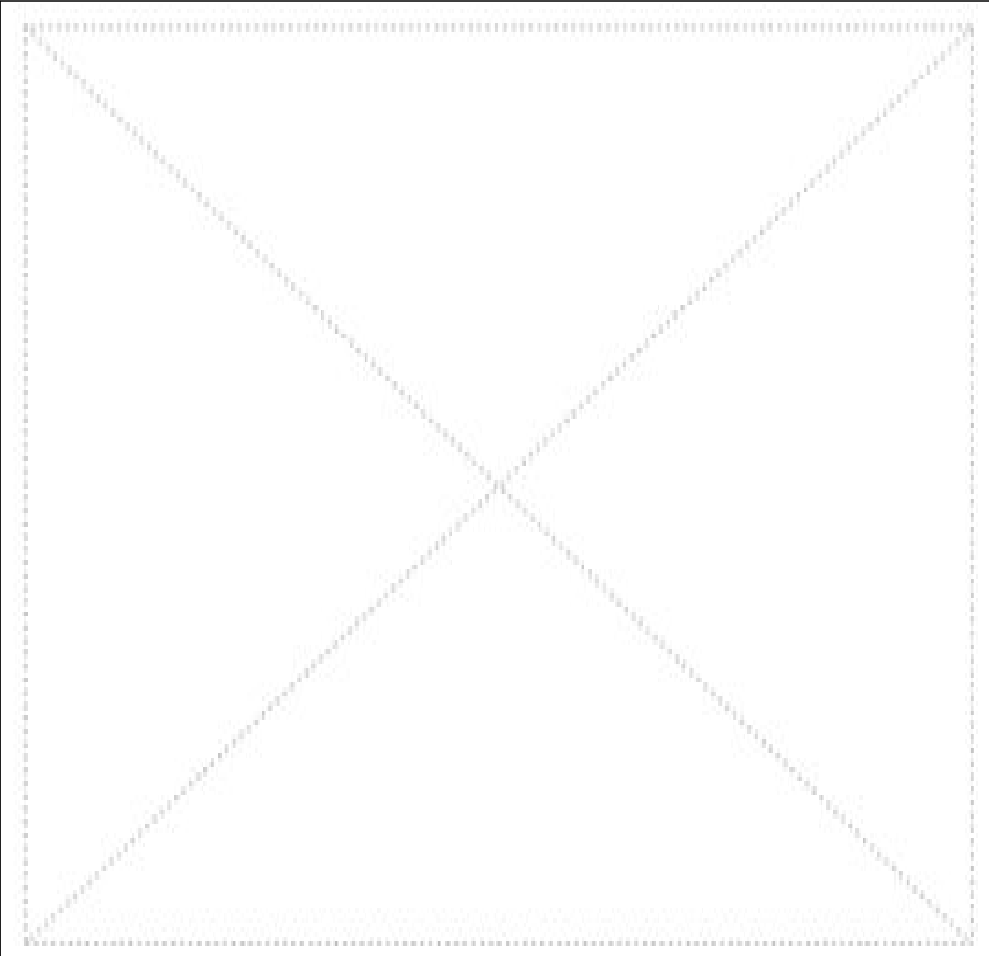


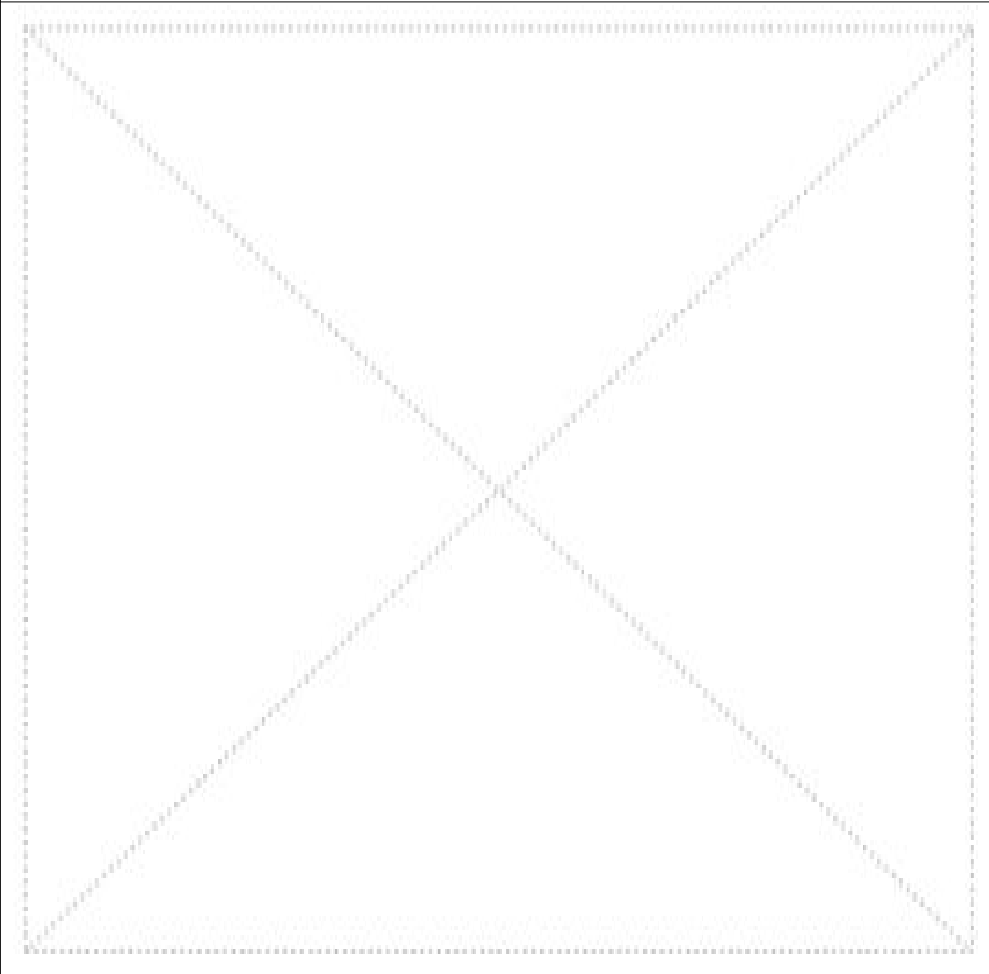
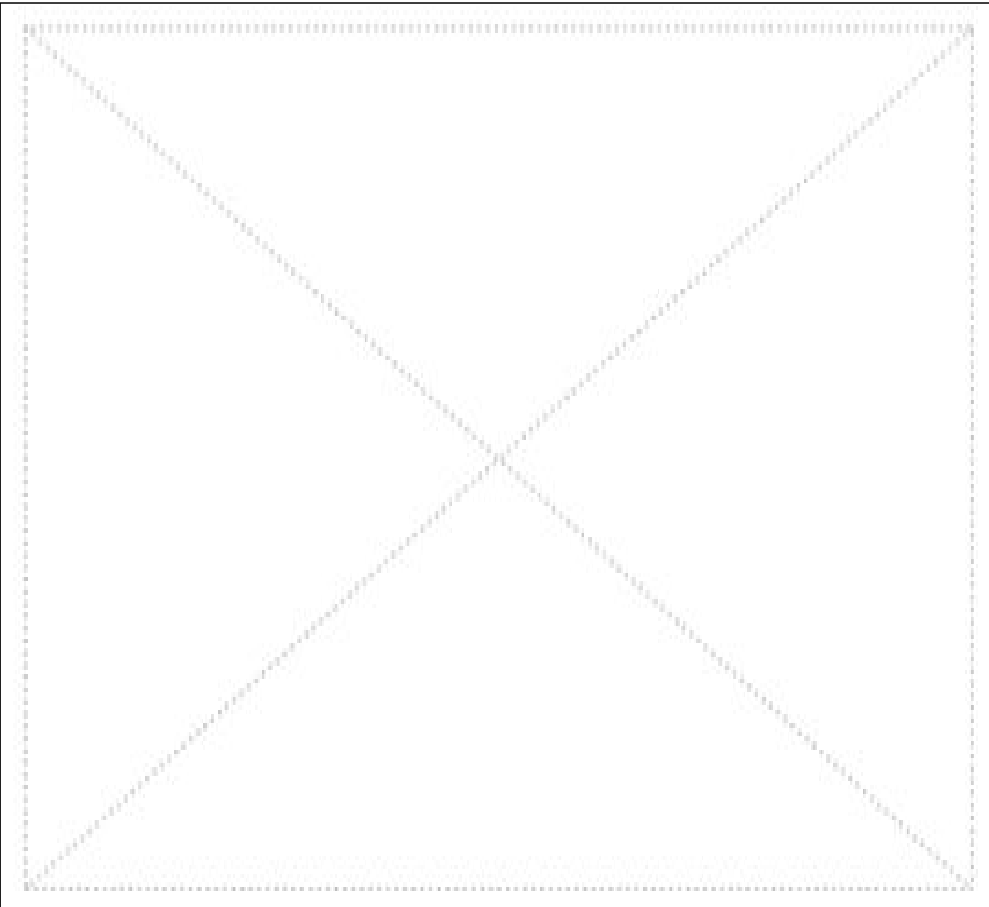


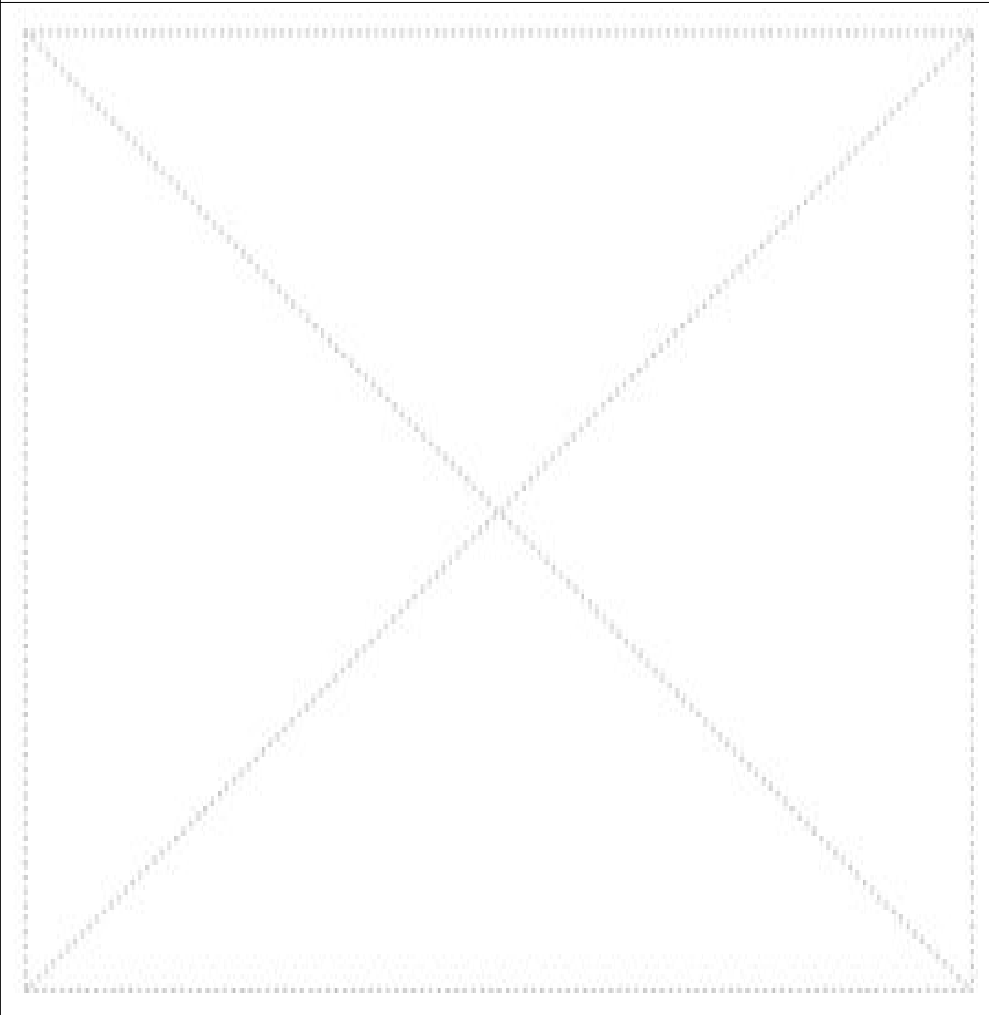
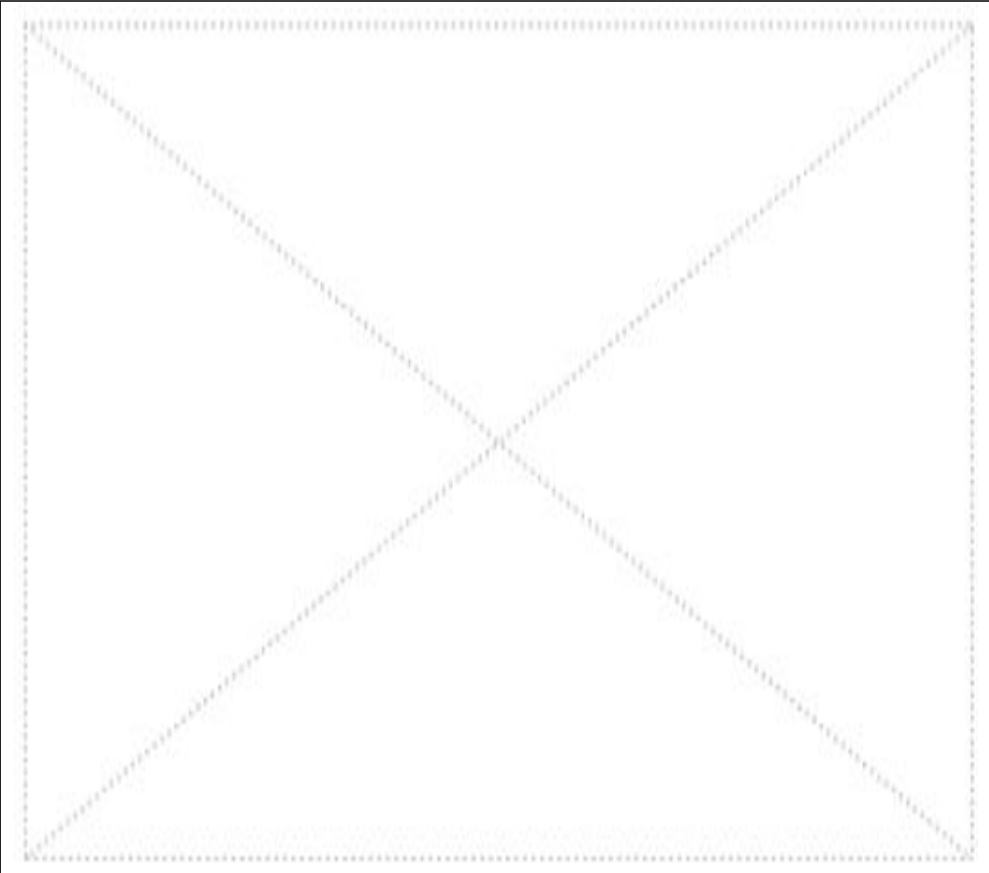


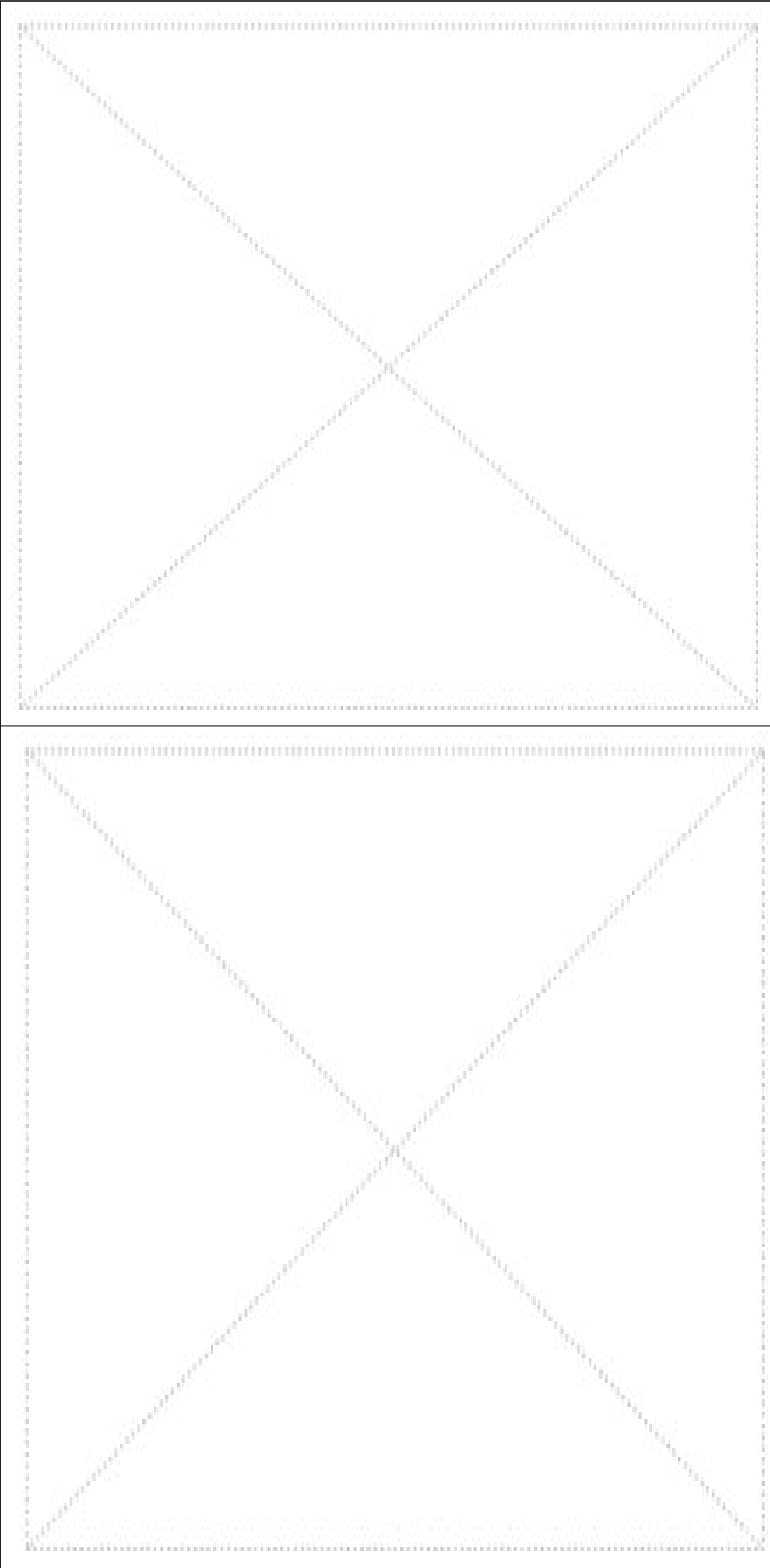


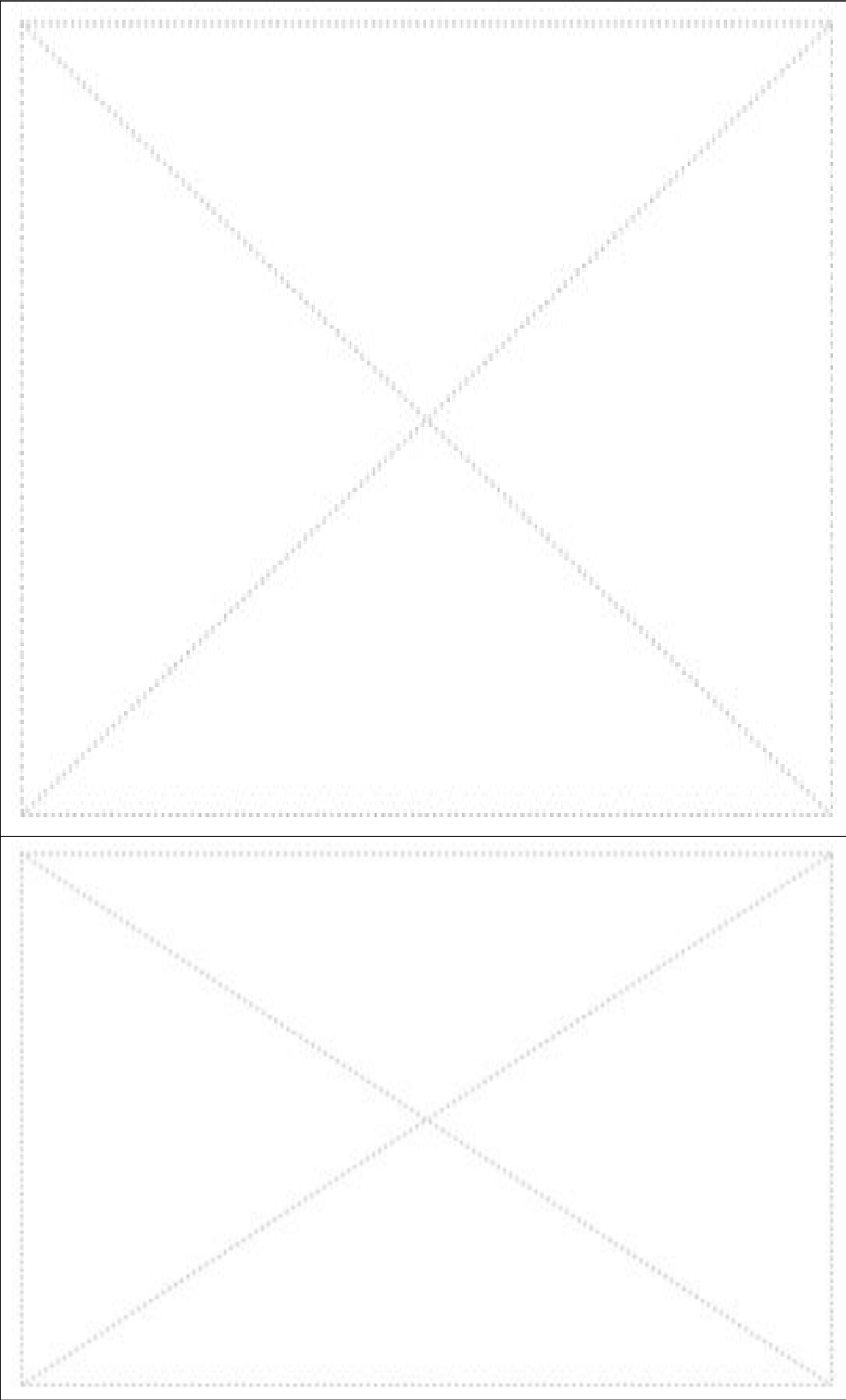


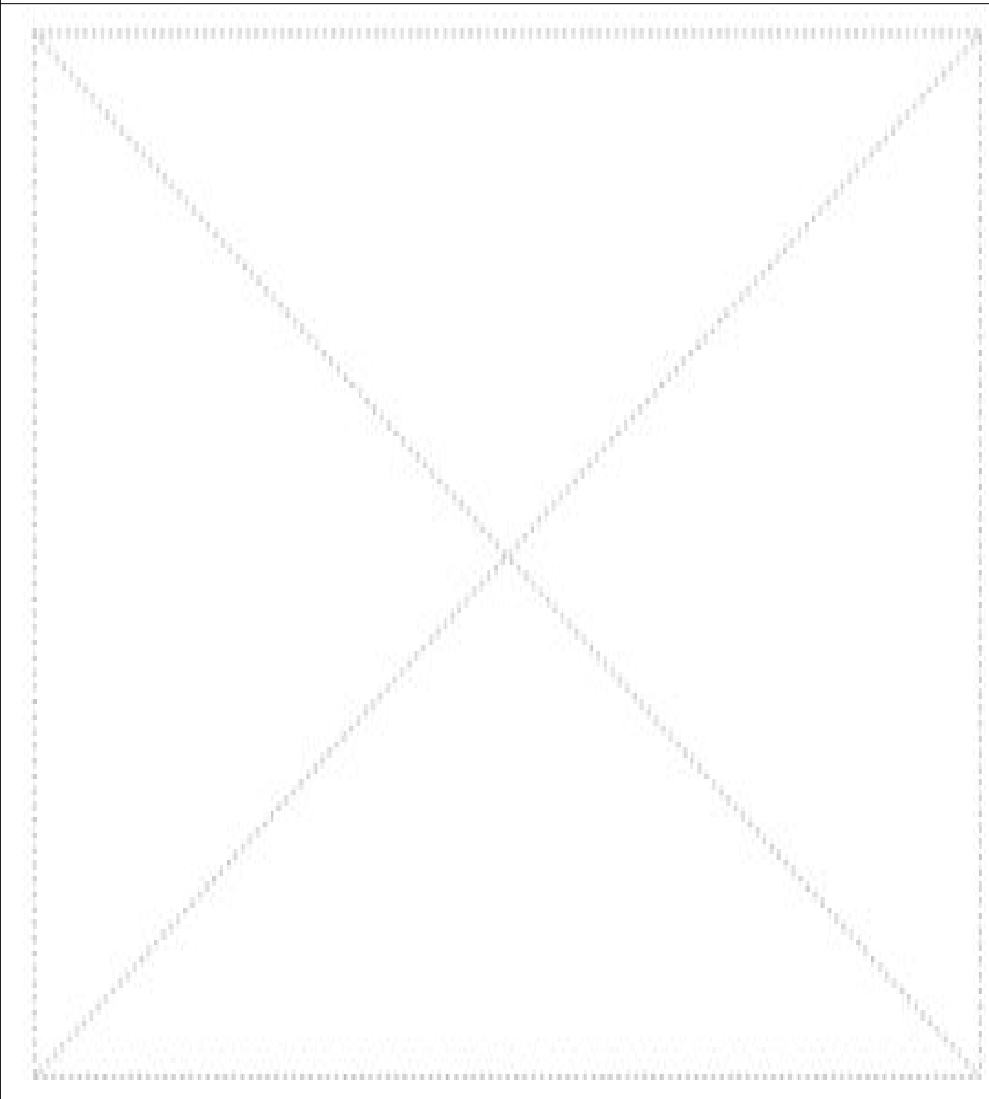
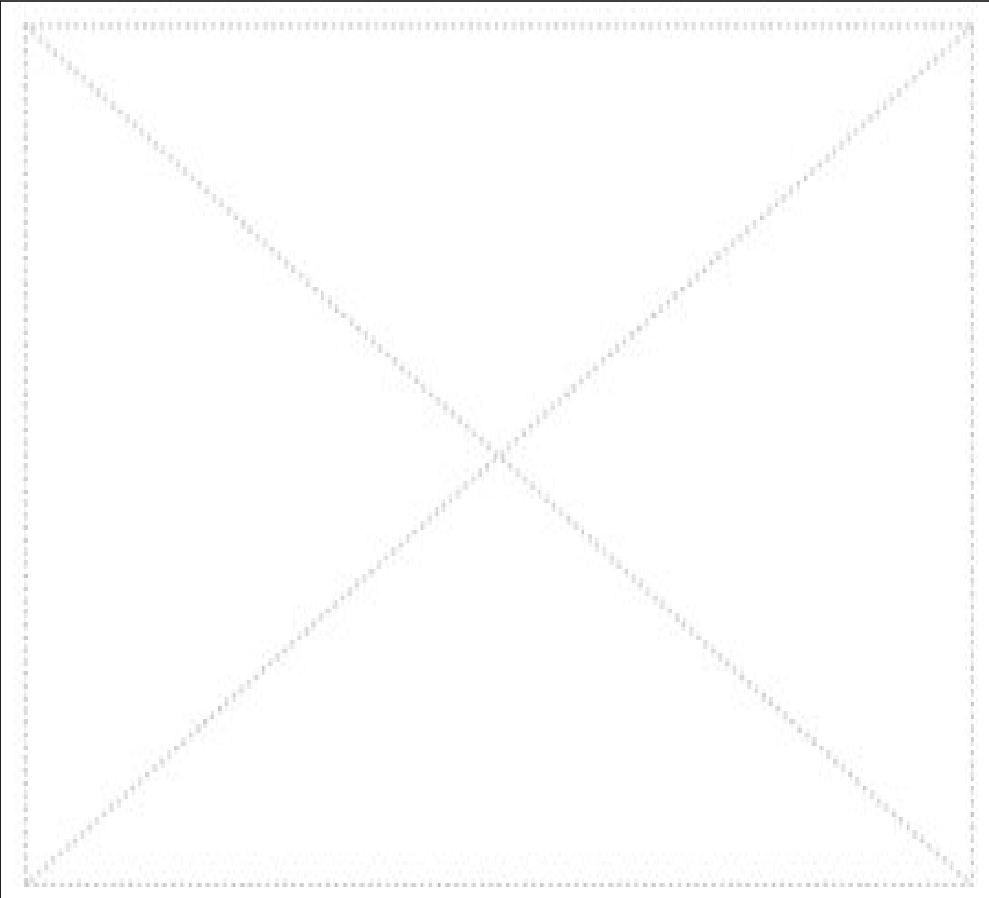












Bionics

