

그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구

A Study on the Establishment and Planning of Technology
Development Strategies for Green Bio and White Bio

과학기술전략연구소

한국연구재단

제 출 문

한국연구재단 이사장 귀하

본 보고서를 “그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구”의 최종보고서로 제출합니다.

2019. 07. 08.

연구기관명 : 과학기술전략연구소

연구책임자 : 유경만

연 구 원 : 원동규

최권락

노승철

황수영

이재연

고예진

요 약 문

I. 사업 배경 및 필요성

■ 사업 배경

○ 그린바이오

- 농업생산성 향상을 통한 미래 식량부족 문제 해결방안으로 부상
- 농업식품분야의 안정성 및 친환경성 확보에 대한 요구 증가
- 생물자원의 중요도 증가와 생물자원보존을 위한 노력 강화 추세

○ 화이트바이오

- 화석원료 부족 및 지구온난화 문제 대응을 위한 바이오매스와 공정 개발 필요성 증가
- 저탄소·친환경적인 새로운 화학산업 모델로서 화이트바이오의 부상

■ 사업 필요성

○ 그린바이오

- 미래 고부가가치 창출을 위한 그린바이오 분야의 기술개발 필요
- 그린바이오 분야 기술역량 확보를 위한 정부 주도의 기술개발 필요

○ 화이트바이오

- 전 세계적인 기후·환경 변화에 대한 법적·제도적 추세 대응을 위해 화이트바이오 분야의 적극적 기술개발 지원 필요
- 선진국과의 기술격차 극복을 위한 정부의 적극적인 육성강화 및 지원 필요

■ 사업추진의 시급성

○ 그린바이오

- 전 세계적 기후변화에 대비하고 농산물 생산성 향상을 위한 첨단기술 활용 그린바이오 분야 미래기술 개발 시급
- 환경오염 방지 및 생태계 보전을 위한 그린바이오 분야 친환경 기술 개발 및 보급 시급

○ 화이트바이오

- 전 세계적으로 증가하고 있는 화학적 환경오염에 대한 사회적 불안의 해결방안으로서 화이트바이오 분야의 기술개발 보급이 시급
- 전통적 화학산업이 친환경 산업구조로 변화됨에 따라 이를 지원할 수 있는 기반 기술의 개발확대가 시급

■ 정부지원의 적절성

- 주요 선진국과 지속적으로 기술격차가 증가되고 있는 문제의 해소를 위해서는 정부의 적극적

개입 및 투자지원이 타당

- 최근 그린·화이트바이오 분야 기술수준평가에서는 선진국과의 기술격차가 점차적으로 증가하고 있는 상황

- 식량·환경 분야의 당면과제를 해결하고 미래 바이오경제 시대 대비를 위해서는 핵심기술 분야에 대한 정부의 적극적인 지원이 필요

II. 사업추진 역량분석 및 중점기술분야 도출

1. 사업추진 역량분석

■ 환경분석(PEST)

○ 그린·화이트바이오 주요이슈

- 그린바이오 분야 주요이슈

- 친환경 신소재 개발 및 보급, 농식품의 안정적 대량 생산, 기후변화 및 환경문제 대응, 기술의 발달 및 융복합화

- 화이트바이오 분야 주요이슈

- 친환경 신소재 개발 및 보급, 기후변화 및 환경문제 대응, 기술의 발달 및 융복합화, 지속 가능한 신재생에너지원 확보

○ 정책적 환경분석

- 그린바이오

- 미국·유럽·일본 등 주요 선진국은 바이오경제 전략을 마련 중
- 한국은 바이오경제를 통한 글로벌 바이오 강국 실현을 추진
- 미국·영국은 합성생물학 발전을 위한 투자 확대
- 한국은 혁신 및 첨단화를 통한 미래 성장산업으로서 농업을 주목

- 화이트바이오

- 미국·유럽·중국 등은 중장기적인 바이오화학 육성 정책 추진
- 유럽·일본은 바이오플라스틱 개발·사용 장려
- 한국은 생명자원 및 생명공학 기술개발을 통한 신산업 창출 및 에너지/소재 혁신 추진
- 한국은 기술 간 융·복합을 통한 기술혁신 및 미래성장동력 확보 진행

○ 경제적 환경분석

- 그린바이오

- 그린바이오 글로벌 시장 규모는 1,700억 달러로 연평균 8% 성장 추세
- 유전자가위 기술, 합성생물학 기술 발전과 함께 관련 글로벌 시장 규모 확대 중
- 한국 합성생물학 시장은 거의 전무한 상황

- 글로벌 바이오 작물보호제, 첨가제 시장이 빠르게 성장 중
- 한국 작물보호제 시장은 1조 4,000억 원('14년 기준) 규모로 글로벌 시장 대비 매우 작은 수준
- 화이트바이오
 - 화이트바이오 글로벌 산업시장 규모는 연평균 18% 성장 중
 - 한국은 바이오의약/식품 분야 대비 화이트바이오 시장은 담보 상태이며, 바이오플라스틱 제품 상용화 역시 미미한 상황
 - 글로벌 바이오 신소재 및 유기농퍼스널 케어 분야 시장은 지속적인 증가 추세
 - 한국 바이오 신소재 및 화장품 시장은 연평균 10%를 초과하여 성장 중
- 사회적 환경분석
 - 그린바이오
 - 전 지구적 평균기온 상승, 인구 및 소득증가에 따라 글로벌 식량생산 증대 요구가 강화
 - 한국은 기후변화와 인구고령화에 따라 농산물 생산성 저하 우려가 증가
 - 전 세계적으로 식품안정성, 친환경성, 생물보전에 대한 요구 증대
 - 나고야의정서 발효에 따른 농작물 로열티 부담 증가
 - 화이트바이오
 - 전 세계적으로 전통적 석유화학 산업이 화이트바이오 산업으로 대체될 전망
 - 전 세계적으로 플라스틱에 대한 규제가 강화되고 천연제품 수요 증가
 - 한국은 페플라스틱 처리에 대한 사회적인 문제 증가
 - 한국은 높은 에너지 소비에 따른 에너지 수입 부담 증가
- 기술적 환경분석
 - 그린바이오
 - 한국을 포함하여 전 세계적으로 유전자가위를 활용한 유전자 편집기술의 응용이 활발하고, ICT 기술을 접목한 농·축산 분야 신기술 개발 추진
 - 한국과 일부 선진국에서는 식물 마이크로바이옴 연구에 대한 가시적 성과 창출
 - 한국과 선진국들은 친환경 작물보호제 개발 연구를 적극적으로 추진
 - 화이트바이오
 - 한국을 비롯하여 주요 선진국에서는 인공효소/인공세포 제작 기술 확보를 위한 연구를 진행
 - 전 세계적으로 생분해성 플라스틱 제조 기술에 대한 연구 추진
 - 한국은 해양바이오매스를 활용한 바이오플라스틱 제조기술 개발 추진

■ R&D 역량분석

- 그린·화이트분야 정부R&D 투자액

- 최근 5년간 그린·화이트바이오 핵심기술에 대한 정부 R&D 투자는 총 981.7억 원
- 부처별 그린·화이트바이오 정부투자액
 - 부처별 R&D 투자액은 과기정통부 519억 원(52.9%), 농식품부 148억 원(15.1%), 산업부 95억 원(9.7%)
- 연구수행기관별 그린·화이트바이오 정부투자액
 - 연구수행기관별 R&D 투자액은 대학 618억 원(63.0%), 기업 181억 원(18.5%), 출연연구 119억 원(12.1%)
- 국가과학기술분류별 그린·화이트바이오 정부투자액
 - 국가과학기술분류별 R&D 투자액은 농림수산식품 424.7억 원(43.3%), 생명과학 343.1억 원(34.9%), 화공 105.5억 원(10.7%)
- 6T분야별 그린·화이트바이오 정부투자액
 - 6T 분야별 R&D 투자액은 생물공정기술 281.3억 원(28.7%), 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술 140.3억 원(14.3%), 기타 농업/해양/환경 응용기술134.5억 원(13.7%)
- 연구개발단계별 그린·화이트바이오 정부투자액
 - 연구개발단계별 R&D 투자액은 기초연구 448.2억 원(45.7%), 개발연구 303.6억 원(30.9%), 응용연구 207.2억 원(21.1%)

■ 기술수준 현황

- '16년 기술수준평가에 따르면, 대다수의 그린·화이트바이오 분야 기술은 최고기술국 대비 평균 4.4년의 기술격차
 - 그린·화이트바이오 기술은 전체적으로 '추격' 그룹에 해당
 - '16년도 기준 그린·화이트바이오 분야의 기술들은 최고기술국과 3.4~5.4년의 기술격차
 - 대다수의 기술들은 '14년보다 기술격차가 증가한 상황

■ R&D 인프라 현황

- 연구인력 현황
 - '17년 기준 본 사업 관련 연구인력은 총 401,111명으로 사업 수행에 충분
 - '17년 기준 이학분야 연구인력은 67,736명, 공학분야 연구인력은 322,952명, 농업과학 분야 연구인력은 10,423명
- 연구시설·장비 현황
 - 국내 연구시설·장비 중 그린·화이트바이오 연구개발사업을 수행하기 위한 연구시설·장비는 총 60,079점
 - R&D 수행을 위한 연구시설·장비 인프라 수준은 적절

2. 중점기술분야 도출

■ 중점기술분야 도출 절차

- (1단계) 분과위원회 내부 논의를 통한 그린·화이트바이오 전략분야 후보 발굴
- (2단계) 부처 R&D 전략방향과 부처계획을 고려하여, 각 분과별 전략분야 발의
- (3단계) 발의된 전략분야에 대한 기획위원회 검토
- (4단계) 기술수요조사 기획 및 실시
- (5단계) 기술수요조사 결과를 기반으로 분야별 중점기술분야(안) 도출
- (6단계) 도출된 분야별 중점기술분야에 대한 초안 작성
- (7단계) 중점기술분야 초안에 대한 분과위원회 내부 검토 및 기획위원회의 총괄검토를 통한 수정(안) 작성
- (8단계) 수정(안)에 대한 부처 및 기획위원회 심의·의결을 통한 중점기술분야 확정

■ 그린바이오 중점기술분야 도출

- 그린바이오 중점기술분야 도출 프로세스
 - 1) 중점기술분야 초안작성, 2) 검토의견 제시 및 의견 종합, 3) 중점기술분야 수정(안) 작성 및 보완 후 최종확정
- 도출된 그린바이오 중점기술분야
 - 1) 그린바이오 유전체공학 기술, 2) 그린바이오-ICT 융복합기술, 3) 농생명 미생물 활용 기술, 4) 친환경 소재 생산 그린바이오 기술

■ 화이트바이오 중점기술분야 도출

- 화이트바이오 중점기술분야 도출 프로세스
 - 1) 중점기술분야 키워드 도출 및 방향설정, 2) 검토의견 제시 및 초안 작성, 3) 중점기술분야 보완 및 최종확정
- 도출된 화이트바이오 중점기술분야
 - 1) 인공세포 플랫폼 기술, 2) 효소 및 대사공학 기술, 3) 스마트 생물-화학 융합프로세스, 4) Earth-care 생물화학소재 기술

3. 기술수요조사 및 수요기술 우선순위 도출

■ 그린·화이트바이오 분야 기술수요

- 그린·화이트바이오 분야 기술수요는 총 44건
 - 그린·화이트바이오 분야 기술수요는 Earth-care 생물화학소재 기술(10건), 인공세포 플

랫폼 기술(7건), 친환경 소재 생산 그린바이오 기술(6건), 효소 및 대사공학 기술(6건) 순

- 그린·화이트바이오 분야 연구개발기간 수요는 3년(3건), 5년(40건), 8년(1건)이었으며, 연구 개발에 필요한 연간 연구개발비는 10억(18건), 5억(14건) 순

■ 수요기술 우선순위 도출 결과

- 변형된 BMO 평가모형에 따른 우선순위 도출 결과
 - 기술매력성에서는 1개 최우선군과 11개의 우선군이 분포
 - 기술적합성에서는 12개의 우선군이 분포
 - 기술대표성에서는 14개의 우선군이 분포
 - 기술핵심성 분석결과에 따른 우선 기술개발 추진이 필요한 분야는 총 13개

III. 사업추진 전략 및 운영계획

1. SWOT 분석을 통한 사업추진 방향 설정

■ SO 전략

- 국가 차원의 체계적인 그린·화이트바이오 육성전략 로드맵 수립을 통한 바이오경제 활성화
- 국내 그린·화이트바이오 분야 핵심인력의 적극적 활용을 통한 기술역량 제고 및 미래 新바이오 산업 기반 확보

■ ST 전략

- 정부 주도하의 R&D 규모 및 투자확대를 통한 그린·화이트바이오 분야 사회·환경문제 해결형 핵심 연구개발 추진
- 정부를 중심으로 한 산·학·연 공동대응을 통하여 제도·규제 강화 이슈 문제 해결방안 마련

■ WO 전략

- 국내·외 그린·화이트바이오 분야 산·학·연과 공동연구 연계협력 체제 강화를 통한 기술역량 강화
- 정부 주도의 관련 분야의 R&D 투자 및 지원 체계 구축을 통한 기술역량 증대 및 적극적 시장창출

■ WT 전략

- 그린·화이트바이오 분야 주요 핵심 기술의 역량 강화를 통한 식량·에너지 수급의 불확실성 제거
- 그린·화이트바이오 분야 제품 및 시장 확대를 통한 안전성, 친환경성 확보

2. 사업의 비전 및 목표

■ 사업의 비전

- 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술 확보를 통한 글로벌 바이오경제리더 도약기반 구축

■ 사업의 목적

- 지구온난화, 자원고갈 등 전 지구적 환경변화와 식량안보 등의 글로벌 현안문제 해결
- 바이오경제 선도를 위한 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술의 확보

■ 사업의 목표

- 안전한 먹거리 공급 및 고부가가치 농생명 소재산업 육성 그린바이오 기술 확보
- 에너지·소재 생산 산업 및 서비스 창출 화이트바이오 기술 확보

3. 사업 추진전략

■ 그린바이오핵심기술개발

- 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발 추진
 - (단일기술) 미생물 마이크로바이옴 정보에 기반한 농생물 자원의 생산성 향상 기술과 질 환제어(질병예방/치료) 기술 등의 ‘미생물 기술’과 화학소재 대체 기술 및 친환경 소재 개발 기술 등의 ‘그린바이오소재 기술’ 개발 추진
 - (융합기술) 농생물 생산성 증대를 위한 정밀제어, 정보수집, 정밀진단 등의 ICT 기술과 바이오 기술 간의 융합기술을 개발하는 ‘BT-ICT 융복합기술’ 개발 추진

■ 화이트바이오핵심기술개발

- 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발 추진
 - (단일기술) 화이트바이오 응용기술과 제품생산에 활용 가능한 고효율 인공효소 설계·제작기술과 대사회로 설계·효율화 기술 등을 포함하는 ‘효소공학기술’과 기후변화, 케모포비아, 환경오염 등에 대응하기 위한 친환경 바이오화학소재 개발기술을 포함하는 ‘생물화학소재 기술’ 개발 추진
 - (융합기술) 바이오제품 생산성과 수율 향상 및 안정화를 위하여 생물-화학-ICT 기술 융합을 통한 최적 공정기술을 개발하는 ‘융합공정 기술’ 개발 추진

■ 그린·화이트바이오공통기반기술개발

- 2개의 기반기술 개발 추진
 - (기반기술) 유전체 정보를 활용한 유전체의 설계·합성·교정·제어 등의 ‘유전체기술’과 유전체기술을 응용 및 활용하여 새로운 인공세포를 설계·제작하는 ‘인공세포 제작기술’ 개발 추진

4. 사업 추진·운영체계 및 사업 관리방안

■ 사업 추진체계

- 기초기반 기술의 확보와 기술의 고도화 및 응용의 2단계로 구분하여 추진
 - 1단계(2020~2021, 총 2년) : 기초·기반기술의 개발 및 확보 추진
 - 2단계(2022~2024, 총 3년) : 1단계에서 개발된 기초·기반기술의 고도화 및 응용·활용을 추진
- 2단계 사업 종료 후 연계 사업을 통하여 후속연구 추진 및 기술의 제품화·사업화 추진

■ 사업 운영체계

- 사업단은 기술 개발 및 사업단 운영(예산 확보·배분·집행, 과제평가 등)에 관한 총괄 관리
- 운영지원팀은 사업단 운영에 대한 행정지원, 사업단 성과관리 및 홍보 등의 실무 추진
- 운영위원회 및 자문위원회
 - (운영위원회) 사업단 운영에 대한 전반적인 자문 지원
 - (자문위원회) 세부과제 연구개발 추진에 대한 과학적·기술적 자문 지원
- 연구개발 수행주체는 사업단 및 내역사업의 세부과제별 최종목표에 따른 연구개발 수행

■ 사업 관리방안

- 체계적인 R&D 프로그램 추진체계 구축
- 주기적인 모니터링 및 R&D 운영
- 최소성과 목표제 도입
- 중간평가를 통한 사업추진 성과평가 및 세부 추진방향 보완

IV. 소요예산 및 재원조달방안

1. 소요예산

■ 총 사업비 소요예산

- 매년 약 60억 원 규모의 예산을 3개의 신규 사업에 투자하여, 5년간 총 300억 원 사업비가 소요

■ 내역사업별 소요예산

○ **그린바이오/화이트바이오핵심기술개발**

- 단일기술 개발은 연간 6억 원 규모, 융합기술 개발은 연간 8억 원 규모의 예산을 지원
 - 산출내역 : 총 20억 원(신규과제 3개, 단일기술 : 6억 원×2개 = 12억 원, 융합기술 : 8억 원×1개 = 8억 원)

○ **그린·화이트바이오공통기반기술개발**

- 연간 10억 원 규모의 예산을 지원
 - 산출내역 : 총 20억 원(신규과제 2개, 10억 원×2개 = 20억 원)

2. 재원조달방안

■ 전액 국고로부터 조달

- 그린·화이트바이오 기술개발사업의 5년 간 총 예산 소요액은 300억 원으로, 전액 과기정통부의 R&D 신규예산(국비 100%)을 통해 조달할 예정

IV. 사업의 효과

■ 과학적 기대효과

- 기술에 대한 기능 및 원리를 과학적으로 규명·분석하고 공학적 응용을 통하여, 지속적인 학문적 순환구조체계 확립
- 원천·요소기술에 대한 체계적인 연구를 통하여 새로운 현상 발견 및 다양한 기술적·공학적 응용
- 새로운 학문적 발견과 공학적 응용개발을 추구하는 협력적 연구풍토 조성
- 상호 학문을 함께 발전시켜나가는 시너지 확보

■ 기술적 기대효과

- 기술의 융복합을 통한 기술 경쟁력 제고
- 지속가능한 친환경 기술의 개발 및 확보

■ 경제적 기대효과

- 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술 개발·확보에 따른 산업 파급력 증대
- 본 사업의 추진으로 취업유발효과 594명, 생산유발효과 872억 원 발생 가능

Summary

I. Background and necessity of this R&D Project

■ Background

- Green bio
 - Arising as a solution of future food crisis throughout enhancing of agricultural productivity
 - Increase demands for stability and eco-friendliness in agriculture and food sector
 - Increase importance of biological resources and strengthening efforts to preserve biological resources
- White bio
 - Increase needs for biomass and development of bio process to address scarcity of fossil raw materials and global warming
 - Arising as a new low-carbon and eco-friendly chemical industry model

■ Necessity

- Green bio
 - Need a green biotechnology technology development to create future high value-added
 - Need a government-led R&D project to secure technical competence of green biotechnology
- White bio
 - Need aggressive supports for white biotechnology R&D to address legal and institutional trends for global climate and environment changes
 - Need aggressive government-led supports and managements to overcome technological gap with advanced countries

■ Urgency of project promotion

- Green bio
 - Need a future technology development in the green biotechnology sector using advanced technologies to address global climate change and to improve agro-biological productivity
 - Need a development and supply of eco-friendly green biotechnology to prevent environmental pollution and preserve ecosystems

- White bio
 - Need a development and supply of white bio technology to solve disquiet for chemical pollution
 - As the traditional chemical industry are transforming into the eco-friendly industrial structure, need a development and supply of fundamental technology to adapt this trend

■ Appropriateness of government support

- Need an aggressive intervention and investment support of government to reduce technological gap with major advanced countries
 - Recently, technological gap with major advanced countries are gradually increasing in the evaluation of technological level of green-white biotechnology fields
- Need an aggressive government-led support for core-technology to solve food crisis and environmental problem as well as to response toward the upcoming bio-economy era

II. Analysis of project driving ability and discovering key technologies

1. Analysis of project driving ability

■ PEST analysis

- Main issues for green-white bio
 - Main issues for green bio
 - 1) Development and dissemination of eco-friendly new materials, 2) stable mass production of agricultural products, 3) response to climate change and environmental problems, 4) technology evolution and convergence
 - Main issues for white bio
 - 1) Development and dissemination of eco-friendly new materials, 2) respond to climate change and environmental problems, 3) response to climate change and environmental problems, 4) securing sustainable renewable energy sources
- Political analysis
 - Green bio
 - Major advanced countries such as USA, Europe, Japan are preparing bio-economic strategy
 - Korea is promoting the realization of a global bio leader through bio-economy

- USA and UK are expanding investment for the development of synthetic biology
- Korea is focused on agriculture as a future growth industry through innovation and modernization
- White bio
 - USA, Europe, and China are promoting mid- and long-term biochemical promotion policies
 - Europe and Japan are encouraging the development and use of bio-plastics
 - Korea is driving the creation of the new industry and innovation in the energy and material through the development of biological resource and biotechnology
 - Korea is driving the technological innovation and securing future growth engines through the convergence between technologies
- Economic analysis
 - Green bio
 - Green Bio's global market is valued at 170 billion dollars, with an average annual growth rate of 8 percent
 - The global market of genetic scissors and synthetic biology technologies are expanding with the development of technologies
 - The Korean synthetic biology market is almost nonexistent
 - Global biological pesticide market is growing rapidly
 - The pesticide market of Korea is 1.4 trillion won (as of 2014), which is very small compared to the global market
 - White bio
 - The global industrial market in white-bio is growing at a CAGR of 18%
 - In Korea, the white bio market is very small compare to the biopharmaceutical and food sector, and commercialization of bio-plastic is also very insignificant
 - The global market for bio new material and organic personal care product are constantly increasing
 - Korea's bio new material and cosmetic market are growing at an annual average rate of more than 10%
- Social analysis
 - Green bio
 - Demand for the intensification of global food production is increasing as the global average temperature rise and increase of population and income
 - In Korea, the concern for decreasing agricultural productivity is increasing due to

- climate change and population aging
- The demand for food stability, eco-friendly and bio-preservation is increasing worldwide
- The royalty burden for crops is increasing as the entry into force of the Nagoya Protocol
- White bio
 - The traditional petrochemical industry is expected to be replaced by the white-bio industry
 - Global regulations on plastics getting tighten and the demand for natural products is increasing
 - In Korea, social problems are increasing in treating waste plastics
 - The energy import burden is increasing due to high energy consumption in Korea
- Technical analysis
 - Green bio
 - Global application of genetic editing technology using genetic scissors is very active including Korea
 - Development of new technologies using ICT in the agriculture and livestock sector is promoted
 - Tangible results in the plant microbiome research were produced in the several advanced countries including Korea
 - Korea and advanced countries are actively developing eco-friendly pesticide
 - White bio
 - In Korea and major advanced countries, researches for the artificial enzyme and artificial cell production technology are carried out
 - Researches for the biodegradable plastics manufacturing technology are promoting worldwide
 - Korea is developing Bio-plastic manufacturing technology using marine biomass
- R&D capability analysis
 - Government's R&D investment in the green-white bio
 - In the past five years, government's R&D investment in the green-white bio has reached 98.17 billion won
 - Each ministry's R&D investment in the green-white bio
 - Each ministry's R&D investment is 51.9 billion won (52.9 percent) by the Ministry of Science and ICT, 14.8 billion won (15.1 percent) by the Ministry of Agriculture,

Food and Rural Affairs, and 9.5 billion won (9.7 percent) by the Ministry of Trade, Industry and Energy

- Each research institute's R&D investment in the green–white bio
 - Each research institute's R&D investment amounted is 61.8 billion won (63.0 percent) for the university, 18.1 billion won (18.5 percent) for the enterprise, and 11.9 billion won (12.1 percent) for the government–funded institute
- R&D investment in the green–white bio according to the national science and technology classification
 - R&D investment according to the national science and technology classification is 424.7 billion won (43.3 percent) for food·agriculture·forestry·fisheries, 343.1 billion won (34.9 percent) for life science and 105.5 billion won (10.7 percent) to chemical engineering
- R&D investment in the green–white bio according to the 6T
 - R&D investment according to the 6T is 281.3 billion won (28.7 percent) for the biological process technology, 140.3 billion won (14.3 percent) for the conservation and utilization technology of agricultural/ocean biological resources, and 134.5 billion won (13.7 percent) for other agricultural/ocean/environmental applications
- R&D investment in the green–white bio according to the R&D phase
 - R&D investment according to the R&D phase is 448.2 billion won (45.7 percent) for basic research, 303.6 billion won (30.9 percent) for development research and 207.2 billion won (21.1 percent) for applied research

■ Technical level

- According to the technical level evaluation in 2016, the average technology gap in the green–white bio was 4.4 years compared with advanced countries
 - The technological level of the green–white Bio is the 'Trace' group overall
 - The technological gap of the green–white bio sector in 2016 was between 3.4 and 5.4 years compared with countries that have a top technology
 - The technology gap of majority technologies more increased than in 2014

■ R&D Infrastructure

- Research manpower
 - As of 2017, total research manpower is 401,111 and sufficient to carry out the R&D project
 - As of 2017, there are 67,736 researchers in the science field, 322,952 researchers in the engineering field, 10,423 researchers in the agricultural science field

- Research facilities and equipment
 - There are 60,079 research facilities and equipment for conducting green–white bio R&D projects among the domestic research facilities and equipment
 - The infrastructure level of research facilities and equipment for conducting R&D is appropriate

2. Discovering major technology sector

■ Process of discovering major technology sector

- (Phase 1) Discovering strategic sector candidates in the green–white bio through discussions of a subcommittee
- (Phase 2) Proposal of a strategic sector of each subcommittee considering government ministry's R&D strategy and plan
- (Phase 3) Planning committee review on proposed strategic sector
- (Phase 4) Planning and implementation of technology demand survey
- (Phase 5) Based on the results of technology demand survey, discovering major technology sector
- (Phase 6) Drafting for discovered major technology sector
- (Phase 7) Revision of draft through review of the subcommittee and planning committee
- (Phase 8) Decision of the major technology sector through the deliberation and resolution of the government ministry and planning committee about the amendment

■ Discovering major technology sector in the green bio

- Process of discovering major technology sector in the green bio
 - 1) Drafting for the major technology sector, 2) Suggestion and synthesis of opinions, 3) Preparation of amendment for the major technology sector and final decision after supplementation
- Discovered major technology sectors in the green bio
 - 1) Green bio genetic engineering technology 2) Green bio–ICT convergence technology, 3) Application technology using microorganism in the agriculture and bioscience, 4) Green biotechnology for eco–friendly material production

■ Discovering major technology sector in the white bio

- Process of discovering major technology sector in the white–bio

- 1) Deriving the main keyword in the major technology sector and setting a direction, 2) Suggestion of comment and drafting for the major technology sector, 3) Preparation of amendment for the major technology sector and final decision after supplementation

○ Discovered major technology sectors in the white-bio

- 1) Artificial cell platform technology, 2) Enzyme and metabolic engineering technology, 3) Smart bio-chemical convergence process, 4) Earth-care biochemical material technology

3. Technical demand survey and demand technology priority

■ Technical demand in the green-white Bio

○ Technical demand in the green-white bio are total 44

- The demand technology priorities are earth-care biochemical material technology (10 cases), artificial cell platform technology (7 cases), green biotechnology for eco-friendly material production (6 cases), enzyme and metabolic engineering technology (6 cases)
- The demand for R&D period was 3 years (3 cases), 5 years (40 cases), and 8 years (one case), and annual R&D budget was 1 billion won (18 cases) and 500 million won (14 cases)

■ Results of demand technology priority

○ Results of demand technology priority according to the modified BMO evaluation model

- In technical attractiveness, first priority groups were 1 case and second priority groups were 11 cases
- In technical suitability, only second priority groups were 12
- In technical representativeness, only second priority groups were 14
- A total of 13 technologies that need to be developed preferentially were recommended according to results of the analysis for technical attractiveness, technical suitability, and technical representativeness

III. Project implementation strategy and operation plan

1. Establishment of project direction through SWOT analysis

■ SO strategy

- Promoting the bio-economy by establishing of the developing strategy roadmap of

green-white bio at the national level

- Increase technical capabilities and enhance new bio-industrial base through active using key research manpower in the domestic green-white bio sectors

■ ST strategy

- Supporting the government-led core R&D programs to solve social and environmental problems in green-white bio sectors by R&D investment expanding
- Prepare a solution to the issue of strengthening the system and regulations through co-responses of industries, universities, and research institutes centred around the government

■ WO strategy

- Enhance the technical capability through strengthening co-research and cooperative systems with industries, universities, and research institutes of domestic and foreign green-white bio sectors
- Enhance the technical capability and active market through strengthening government-led R&D investment and supporting system in the related areas

■ WT strategy

- Eliminate uncertainty in the demand and supply for food and energy through strengthening the technical capability of main core technologies in the green-white bio sectors
- Securing trust for the safety and eco-friendly by expanding products and markets in the green-white bio sectors

2. Vision and objectives of the project

■ Vision of the project

- Building a take-off base into a global bio-economy leader through securing new and innovative technologies in the green-white bio sectors

■ Objectives of the project

- Resolution of global issues such as global warming, resource crisis, and food security
- Securing new and innovative technologies for leading the bio-economy in the green-white bio sectors

■ Goals of the project

- Securing a green-bio technology to supply safe edible product and cultivate of higher value added agriculture and bio material industry
- Securing a white-bio technology for the creating energy and material industry and service

3. Project strategy

■ Development of green-bio core technology

- Development of two single technologies and one convergence technology
 - (Single technology #1) Development of 'Microbiological technology' such as an improving technology for the agricultural resource productivity based on microbiome information, and a disease control technology (disease prevention/treatment)
 - (Single technology #2) Development of 'Green bio material technology' such as replacement technology for chemical materials and eco-friendly material development technology
 - (Convergence technology) Development of 'BT-ICT convergence technology' such as an ICT technology for enhancing agricultural productivity including precision control, information collection and precision diagnosis and an integrating technology between ICT and bio

■ Development of white-bio core technology

- Development of two single technologies and one convergence technology
 - (Single technology #1) Development of 'Enzyme engineering technology' such as a high-efficiency artificial enzyme design and production technology that can be used in the white-bio application technology and product production, and an enhancing technology of metabolic pathway design and efficiency
 - (Single technology #2) Development of 'Biochemical material technology' such as a developing technology for eco-friendly biochemical material to response climate change, chemophobia and environmental pollution
 - (Convergence technology) Development of 'Convergence process technology' which developing an optimal process technology by integrating bio, chemical, and ICT for improving productivity and yield of bio-product and stabilize

■ Development of green-white bio co-base technology

- Development of two base technologies
 - (Base technology #1) Development of 'Genome technology' such as design, synthesis, calibration, and control of genome using genome information

- (Base technology #2) Development of 'Artificial cell manufacturing technology' to design and manufacture new artificial cells by applying and utilizing genome technology

4. Project promotion and operation system, project management plan

■ Project promotion system

- The project promotes as two phases which securing a base technology and advancing and applying technology
 - (Phase 1) (2020~2021, total 2years) Development and securement of a base and infrastructure technology
 - (Phase 2) (2022~2024, total 3years) Advancement, application, and utilization of a base and infrastructure technologies which developed in phase 1
- After Phase 2 project, promote follow-up research and commercialization of product and technology through relate project

■ Project operation system

- Project operating headquarter conducts the overall management of technology development and operation of the project (budget allocation, budget execution, task evaluation, etc.)
- Operating support team conducts administrative support, outcome management, and publicity activity for the project
- Operation Committee and Advisory Committee
 - (Operation Committee) Support for overall advice on the operation
 - (Advisory Committee) Support for scientific and technical advice on R&D implementation
- R&D implementer carries out R&D according to the final goal of the project

■ Project management plan

- Establish a systematic R&D program implementation system
- Periodic monitoring and R&D operations
- Introduction of the goal system for the minimum outcome
- Evaluation of project outcome through intermediate evaluation, and supplementation of the detailed direction of implementation

IV. Required budget and financing method

1. Required budget

■ Required budgets for the project

- The annual budget for three new projects are about 6 billion won, the total budget is 30 billion won in over five years

■ Required budgets for each sub-project

- Development of green-bio/white-bio core technology
 - The budget for single technology development is 600 million won per year, and for convergence technology development is 800 million won per year
 - Details: total 2 billion won (three new research project, single technology: 600 million won \times 2 = 1.2 billion won, convergence technology: 800 million won \times 1 = 800 million won)
- Development of green and white bio co-base-technology
 - The budget for base-technology development is one billion won a year
 - Details: 2 billion won (two new research project, 1 billion won \times 2 = 2 billion won)

2. Financing methods

■ Financing entirely from the government

- The total required budget during 5 years on this project is 30 billion won, and all budgets will be obtained through new R&D budget from the Ministry of Science and ICT (100% government budget)

IV. Expectation effect of the project

■ Scientific expectation effect

- Establishing a continuous academic circular structure through scientific identification and analysis of the functions and principles of technology, and engineering application
- Discovering new phenomena and applying various technological and engineering applications through systematic research for the source and elemental technologies
- Creating a cooperative research environment in pursuit of new academic discoveries and engineering applications
- Gaining a synergy that can promote scientific progress of the mutual study area

■ Technical expectation effect

- Enhancing technical competitiveness through the convergence of technologies
- Developing and securing sustainable eco-friendly technologies

■ Economic expected effect

- Expanding the ripple effect of green-white bio industries through developing and securing new and innovative technologies
- It could possibly result in 594 jobs inducement and 87.2 billion won in production inducement effect by the project's implementation

CONTENTS

Chapter 1. Project overview	1
1. Background and necessity	1
2. Basis of project promotion	9
3. Promotion system of project planning	11
4. Promotion process of project planning	13
5. Progress of project planning	14
Chapter 2. Definition and range of green–white bio	16
1. Definition and range of biotechnology	16
2. Definition and range of green–bio	20
3. Definition and range of white–bio	22
4. Definition and range of green–white bio technology development	24
5. Application range and development stage of green–white bio technology	27
Chapter 2. Environmental analysis of green–white bio	29
1. Overview of Environmental analysis	29
2. Analysis of Megatrend	30
3. Political analysis	51
4. Economic analysis	60
5. Social analysis	74
6. Technical analysis	86
7. PEST analysis	100
Chapter 4. R&D capability analysis of green–white bio	102
1. Status of R&D investment	102
2. Status of technical level	114
3. Status of R&D infrastructure	115
4. Implications	120
Chapter 5. Discovering major technology sector of green–white bio	121
1. Process of discovering major technology sector	121
2. Discovering major technology sector in the green bio	124
3. Discovering major technology sector in the white bio	129
Chapter 6. Technical demand survey it the green–white bio	131
1. Overview of technical demand survey	131
2. Results of technical demand survey	132
3. Results of demand technology priority	140

CONTENTS

Chapter 7. Promotion plan of project	160
1. SWOT analysis	160
2. Definition and range of project	163
3. Vision and objectives of project	164
4. Project implementation strategy	165
5. Project promotion system	167
6. Project operation system	168
7. Composition of project	169
Chapter 8. Development plan of research	174
1. Overview for Development plan of research	174
2. Core technology development in the each sub-project	175
Chapter 9. Project management plan	236
1. Project management plan	236
2. Project logic model	247
3. Design of project goals	248
Chapter 10. Required budget and financing method	250
1. Required budgets for project	250
2. Financing methods	252
Chapter 11. Expectation effect	253
1. Expectation effect of project	253
2. Expectation effect of each sub-project	255
[Reference]	258
<Supplement>	264
[Supplement 1] Results of technical demand survey	264
[Supplement 2] Meeting minutes of planning committee	350

TABLE CONTENTS

<Table 1-1> Comparing of Oil-refinery and Bio-refinery	4
<Table 2-1> 7 application fields of biotechnology	18
<Table 2-2> 10 application fields of biotechnology	18
<Table 3-1> Overview of PEST analysis	29
<Table 3-2> References for Megatrend derivation of green-white bio sector	31
<Table 3-3> Main issue in the green-white bio sector by STEEP analysis	38
<Table 3-4> Status of investment allocation adjustment for the 50 core technologies	57
<Table 3-5> Agricultural biotechnology scale and annual growth rate	62
<Table 3-6> Status of global agricultural chemical companies' entry into the bio pesticide market	65
<Table 3-7> Global market size of food and feed additive	67
<Table 3-8> Current status and outlook of abroad bio new material	68
<Table 3-9> Current status and outlook of global organic personal care product market according to item ('13~'20)	69
<Table 3-10> Current status and outlook of global organic personal care product market according to region	69
<Table 3-11> Current status and outlook of domestic bio new material market	72
<Table 3-12> Current status and outlook of natural cosmetic material market	73
<Table 3-13> Comparing of bio-pesticide and chemical pesticide	76
<Table 3-14> Key characteristics of greenhouse gases	76
<Table 3-15> Energy ranking by country ('15)	84
<Table 4-1> Classification of green-white bio sector	102
<Table 4-2> Technical level and gap in the green-white bio sector	114
<Table 4-3> Number of researchers by sector, major, and degree in Korea	115
<Table 4-4> Status of R&D facility and equipment in the green-white bio sector	116
<Table 4-5> List of R&D facility and equipment for the green-white bio project	117
<Table 5-1> Definition and range of 6 green-white bio strategy fields	122
<Table 5-2> Technical demand survey items of green-white bio	123
<Table 5-3> Major technology sector in the green-white bio which discovered through technical demand survey	123
<Table 6-1> Result of the review for 44 demand technologies	141
<Table 6-2> Demand technology corresponding to 'High' on the strategic importance	144
<Table 6-3> Demand technology corresponding to 'High' on the possibility of technical success	145
<Table 6-4> Demand technology corresponding to 'High' on the economic (social) ripple effect	146

TABLE CONTENTS

<Table 6-5> Result of analysis for the technical attractiveness	148
<Table 6-6> Result of analysis for the technical suitability	151
<Table 6-7> Result of analysis for the technical representativeness	154
<Table 6-8> Result of analysis for the technical core level	157
<Table 8-1> Composition overview of core technology development for each sub-project	174
<Table 9-1> Monitoring items of green-white bio R&D project	236
<Table 9-2> Standard for evaluation and selection of green-white bio R&D project	237
<Table 10-1> Total required budgets of project	250
<Table 10-2> Required budgets for each sub-project in developing the green-bio core technology	250
<Table 10-3> Required budgets for each sub-project in developing the white-bio core technology	251
<Table 10-4> Required budgets for each sub-project in developing the green-white bio co-base-technology	251
<Table 10-5> Status for R&D budget of the Ministry of Science and ICT ('15~'19)	252
<Table 10-6> Outlook for R&D budget of the Ministry of Science and ICT ('20~'24)	252

FIGURE CONTENTS

[Figure 1-1] Distribution of tolerance population for the herbicide worldwide	2
[Figure 1-2] Industry process and product of petroleum chemical and white-bio	3
[Figure 1-3] Promotion system of this project planning	12
[Figure 2-1] Major application area and range of modern biotechnology	18
[Figure 2-2] Classification of green-bio sector	21
[Figure 2-3] Range of green-bio sector	21
[Figure 2-4] Classification of white-bio sector	23
[Figure 2-5] Range of white-bio sector	23
[Figure 2-6] Overlap areas between green-bio and white-bio on the basic plan	24
[Figure 2-7] Adjustment of overlap areas between green-bio and white-bio, and newly naming of detailed technology area	26
[Figure 2-8] Application range of green-white bio technology (example)	27
[Figure 2-9] Technology readiness level of this R&D project	28
[Figure 3-1] Process of Megatrend analysis	30
[Figure 3-2] Relate between key issue and 14 Megatrend in the green-white bio sector	39
[Figure 3-3] Main issue in the green-white bio sector	40
[Figure 3-4] Outlook for the global bio-pesticide market	41
[Figure 3-5] Outlook of global population increase rate (Left) and prediction of global food demand (Right)	42
[Figure 3-6] Royalty flow for the bio-resource by effectuation of Nagoya protocol	43
[Figure 3-7] Increasing of global chemophobia	45
[Figure 3-8] Production of precision chemical product using bio technology (example)	46
[Figure 3-9] Status of market for various bio-plastic products	46
[Figure 3-10] Number of days for the high-concentration condition of ultra-fine particle	47
[Figure 3-11] Market outlook and application area of synthetic biology	48
[Figure 3-12] Bio-foundry building strategy of DARPA	49
[Figure 3-13] Value-chain of bio-chemical industry	50
[Figure 3-14] Government administration goals of president Moon Jae-in	55
[Figure 3-15] Outlook and status for global synthetic biology market	61
[Figure 3-16] Outlook and status for synthetic biology market of each region	62
[Figure 3-17] Outlook and status for global CRISPR market ('14~'22)	63
[Figure 3-18] Rapid growth of a genetic transformed seed market (Left) and farming rate of a genetic transformed crop for each type in the US (Right)	63
[Figure 3-19] Trend for GM crop farming area (Left) and GM crop farming area and application rate of top 5 countries in 2017 (Right)	64

FIGURE CONTENTS

[Figure 3-20] Farming area of each GM crop in 2017 (Left) and occupying rate of GM crops in each crop (Right)	64
[Figure 3-21] Market size of pesticide	65
[Figure 3-22] Growth rate of global population and farming area	66
[Figure 3-23] Market share of global top 10 pesticide companies in 2014 (%)	66
[Figure 3-24] Prediction of white-bio industry market size	67
[Figure 3-25] Outlook and status for market of global organic personal care product	69
[Figure 3-26] Amount of domestic GMO import annually	70
[Figure 3-27] Domestic market of pesticide ('14)	71
[Figure 3-28] Trend of a domestic production output in the each bio-industry area	71
[Figure 3-29] Outlook and status for market of domestic organic personal care product	73
[Figure 3-30] Status of global abnormal climate distribution in 2017	74
[Figure 3-31] Global farming rate (Left) and distribution of tolerance population for the herbicide (Right)	75
[Figure 3-32] A stork that trapped in a plastic bag (Left) and a turtle that tied to an abandoned fishing net (Right)	77
[Figure 3-33] Trend of environmental regulation (Left) and environmental regulation rate by economic development type (%) (Right)	79
[Figure 3-34] Prediction of current disease and insect pest (Left) and prediction map of future disease and insect pest (Right)	80
[Figure 3-35] Crop self-sufficiency of major countries	80
[Figure 3-36] Employment rate of major countries in agriculture, forestry and fishery	81
[Figure 3-37] Trend of royalty for major agricultural product	81
[Figure 3-38] Implementation system of Nagoya protocol	82
[Figure 3-39] Origin rate for abroad bio-resource of domestic bio companies (Left) and amount of import for items that applying Nagoya protocol (Right)	82
[Figure 3-40] Problems by effectuation of Nagoya protocol	83
[Figure 3-41] Annual change of plastic waste discharging	84
[Figure 3-42] Trend of domestic energy dependence (Left) and energy import dependence (Right)	85
[Figure 3-43] Fermentation of beer using genetic scissor	86
[Figure 3-44] Plant having a modified photosynthetic pathway, and cultivation landscape of that plant on site	87
[Figure 3-45] Sensor system developed by Smaxtec	87
[Figure 3-46] Research for Arabidopsis rhizosphere and endogenous Microbiome community	88
[Figure 3-47] Biological control tool for sustainable control	89
[Figure 3-48] Synthetic process of a plastic material artificial cell of UC San Diego research team	89

FIGURE CONTENTS

[Figure 3-49] Comparing PET degradation performance of PETase and artificial synthetic enzyme ..	90
[Figure 3-50] BioConSepT project	90
[Figure 3-51] Comparing SULAPAC and Pastic	91
[Figure 3-52] Super pig developed with genetic scissor technology	91
[Figure 3-53] Searching DNA marker of Cas12a protein, and DNA cutting mechanism	92
[Figure 3-54] Building a transcription control network using transcription factor over-expression plant (Left), and enhancing drought resistance of OsNAC6 bio-technological crop (Right) 93	
[Figure 3-55] Countries which developed 'Connected Cow System', and sensor types	93
[Figure 3-56] Outline of Korean 2 nd generation smart-farm	94
[Figure 3-57] Research for structure and function of plant Microbiome relating disease resistance 94	
[Figure 3-58] Building system for 'intestinal Microbiome bank' of industry animal	95
[Figure 3-59] Enhancing growth and immune function of hot pepper by BS07M strain (Left) and effect of cold damage resistance by BS07M strain treatment (Right)	96
[Figure 3-60] Energy self-generating artificial cell using light	96
[Figure 3-61] Action mechanism of 'control RNA' (Left), and utilization of 'control RNA' for selecting optimal production strain and genome (Right)	97
[Figure 3-62] Conceptual overview of microorganism making light when detects a certain material 97	
[Figure 3-63] Artificial enzyme chain using CBD inclusion body	98
[Figure 3-64] Process to produce bio-polyester and nylon from ocean originated fat/fatty acid	99
[Figure 4-1] Number of government supplied R&D research project in each green-white bio core technology ('13~'17)	103
[Figure 4-2] Government's R&D investment in the green-white bio core technology ('13~'17)	103
[Figure 4-3] Each ministry's R&D investment in the green-white bio in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	104
[Figure 4-4] Number of each ministry's R&D research project in the green-white bio in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	105
[Figure 4-5] Each research institute's R&D investment in the green-white bio in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	106
[Figure 4-6] Number of each research institute's R&D research project in the green-white bio in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	107
[Figure 4-7] R&D investment in the green-white bio according to the national science and technology classification in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	108
[Figure 4-8] Number of R&D research project in the green-white bio according to the national science and technology classification in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	109

FIGURE CONTENTS

[Figure 4-9] R&D investment in the green-white bio according to the 6T in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	110
[Figure 4-10] Number of R&D research project in the green-white bio according to the 6T in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	111
[Figure 4-11] R&D investment in the green-white bio according to the R&D phase in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	112
[Figure 4-12] Number of R&D research project in the green-white bio according to the R&D phase in the past 5 years based on the NTIS ('13~'17)	113
[Figure 5-1] Process of discovering major technology sector	121
[Figure 6-1] Distribution of demand technology according to major technology sector	134
[Figure 6-2] Result of top frequency 200 word extraction	135
[Figure 6-3] Word cloud of demand technology in the green-white bio	136
[Figure 6-4] Demand technology in each green-white bio (aggregated status)	136
[Figure 6-5] Demand technology in each green-white bio (number of discovered technology)	137
[Figure 6-6] Total amount of R&D according to major technology sector of green-white bio	137
[Figure 6-7] Annual amount of R&D according to major technology sector of green-white bio	137
[Figure 6-8] Demand of R&D cost of green-white bio	138
[Figure 6-9] Technology demand according to the technical level of green-white bio	138
[Figure 6-10] Level of each core technology compared to advanced countries	138
[Figure 6-11] Level of manpower according to core technology compared to advanced countries	139
[Figure 6-12] Level of infrastructure according to core technology compared to advanced countries	139
[Figure 6-13] Portfolio about technical attractiveness analysis	148
[Figure 6-14] Portfolio about technical suitability analysis	151
[Figure 6-15] Portfolio about technical representativeness analysis	154
[Figure 6-16] Portfolio about technical core level analysis	157
[Figure 7-1] Classification of phase in development of green-white bio core technology	163
[Figure 7-2] Promotion strategy of each R&D phase in green-white bio	165
[Figure 7-3] Promotion system of a technology development project in green-white bio	167
[Figure 7-4] Operation system of a technology development project in green-white bio	168
[Figure 7-5] Application of microorganism in the agriculture and bioscience (example)	169
[Figure 7-6] Development of 'Green biotechnology for eco-friendly material production' (example)	170
[Figure 7-7] Development of 'Green bio-ICT convergence technology' (example)	170
[Figure 7-8] Development of 'Enzyme and metabolic engineering technology' (example)	171
[Figure 7-9] Development of 'Earth-care biochemical material technology' (example)	171

FIGURE CONTENTS

[Figure 7-10] Development of 'Smart bio-chemical convergence process' (example)	172
[Figure 7-11] Development of 'Green-white bio genetic engineering technology' (example)	172
[Figure 7-12] Development of 'Artificial cell platform technology' (example)	173
[Figure 8-1] Flavobacteria that inhibits disease progression of tomato varieties	178
[Figure 8-2] Comparing Phytobiome and human Microbiome	179
[Figure 8-3] Low-cost mass production/application of re-produced protein after introduce to plant of external gene	184
[Figure 8-4] Overview for development of synthetic microbiota platform technology	188
[Figure 8-5] Main research content of proposed technology	192
[Figure 8-6] Conceptual overview of 'Enzyme Toolbox'	197
[Figure 8-7] Trend of global cosmetic market size	201
[Figure 8-8] Level of each cosmetic technology	201
[Figure 8-9] Main R&D content	202
[Figure 8-10] Development of biotechnology to replace chemical material for overcoming chemophobia	209
[Figure 8-11] Example of 'High Throughput Screening' based on plate	215
[Figure 8-12] Process of RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) Screening	215
[Figure 8-13] Conceptual overview of cell factory research for cell external secretion of high value-added protein	217
[Figure 8-14] Conceptual overview of 'Genetic System' which could directly monitor cell external secretion	217
[Figure 8-15] Biological degradation of polymer by microorganism	221
[Figure 8-16] Development of biological degradation and re-use process technology of PA waste	222
[Figure 8-17] Main research goal of 'Genomes to Natural Products Network' in the plant field	227
[Figure 8-18] Replacement process of the translation stop codon UAG into UAA	232
[Figure 8-19] Conceptual overview for high efficiency production of high performance peptide/protein	233
[Figure 8-20] Concept for bio-synthesis maximization technology development of non-natural/natural amino acid-tRNA	234
[Figure 9-1] Process of a progress management	239
[Figure 9-2] Process of an intermediate evaluation	240
[Figure 9-3] Process of a final evaluation	241
[Figure 9-4] Process of a follow-up evaluation	242
[Figure 9-5] Project management system	243
[Figure 9-6] Logic model for issue extraction in the R&D project	247
[Figure 11-1] Annual job inducement coefficient (Left) and Annual production inducement coefficient (Right)	254

목 차

제1장. 사업추진 개요	1
1절. 배경 및 필요성	1
2절. 사업의 추진근거	9
3절. 사업기획 추진체계	11
4절. 사업기획 추진프로세스	13
5절. 사업기획 추진경과	14
제2장. 그린·화이트바이오 정의 및 범위	16
1절. 생명공학의 정의 및 범위	16
2절. 그린바이오의 정의 및 범위	20
3절. 화이트바이오의 정의 및 범위	22
4절. 그린·화이트바이오 기술개발의 정의 및 범위	24
5절. 그린·화이트바이오 기술의 활용범위 및 기술개발 단계	27
제3장. 그린·화이트바이오 대내·외 환경분석	29
1. 환경분석 개요	29
2. 메가트렌드 분석	30
3. 정책적 환경분석	51
4. 경제적 환경분석	60
5. 사회적 환경분석	74
6. 기술적 환경분석	86
7. PEST 분석	100
제4장. 그린·화이트바이오 R&D 역량분석	102
1. R&D 투자 현황	102
2. 기술수준 현황	114
3. R&D 인프라 현황	115
4. 주요 시사점	120
제5장. 그린·화이트바이오 중점기술분야 도출	121
1. 중점기술분야 도출 절차	121
2. 그린바이오 중점기술분야 도출	124
3. 화이트바이오 중점기술분야 도출	129
제6장. 그린·화이트바이오 기술수요조사	131
1. 기술수요조사 개요	131
2. 기술수요조사 종합결과	132
3. 수요기술 우선순위 도출 결과	140

목 차

제7장. 사업 추진계획(안)	160
1절. SWOT 분석	160
2절. 사업의 정의 및 범위	163
3절. 사업 비전 및 목표(안)	164
4절. 사업의 추진전략(안)	165
5절. 사업의 추진체계	167
6절. 사업의 운영체계	168
7절. 사업의 구성(안)	169
제8장. 세부과제 개발계획(안)	174
1. 세부과제 개발계획(안) 개요	174
2. 내역사업별 핵심기술 개발 내용	175
제9장. 사업 관리방안	236
1. 사업 관리방안	236
2. 사업 논리모형	247
3. 사업 성과목표 설계	248
제10장. 소요예산 및 재원조달방안	250
1. 사업 소요예산	250
2. 재원조달방안	252
제11장. 기대효과	253
1. 사업의 기대효과	253
2. 세부사업별 기대효과	255
[참고문헌]	258
<부 록>	264
[부록 1] 기술수요조사 결과	264
[부록 2] 기획위원회 회의록	350

표 목 차

<표 1-1> 오일리파이너리와 바이오리파이너리 비교	4
<표 2-1> 생명공학의 7가지 응용분야	18
<표 2-2> 생명공학의 10가지 응용분야	18
<표 3-1> 환경분석(PEST) 개요	29
<표 3-2> 그린·화이트바이오 분야 메가트렌드 도출을 위해 활용한 참고자료	31
<표 3-3> STEEP 분석에 따른 그린·화이트바이오 분야 주요이슈	38
<표 3-4> 50대 핵심기술 투자 배분 조정 내역	57
<표 3-5> 농업생명공학 기술규모 및 연평균 성장률	62
<표 3-6> 글로벌 농화학 기업들의 바이오작물보호제 시장 진출 현황	65
<표 3-7> 첨가제 품목별 글로벌 시장규모	67
<표 3-8> 바이오 신소재 분야 해외시장현황 및 전망	68
<표 3-9> 제품군별 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망('13~'20년)	69
<표 3-10> 지역별 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망	69
<표 3-11> 바이오 신소재 분야 국내시장현황 및 전망	72
<표 3-12> 천연 화장품 소재 시장현황 및 전망	73
<표 3-13> 바이오 작물보호제와 화학 합성 작물보호제의 비교	76
<표 3-14> 온실가스 주요 특성	76
<표 3-15> 국가별에너지 순위('15년)	84
<표 4-1> 그린·화이트바이오 분야 분류(안)	102
<표 4-2> 그린·화이트바이오 기술수준 및 기술격차	114
<표 4-3> 우리나라 분야별, 전공별, 학위별 연구원 수 현황	115
<표 4-4> 그린·화이트바이오 관련 주요 연구시설·장비 현황	116
<표 4-5> 그린·화이트바이오 연구개발사업 수행을 위한 주요 연구시설·장비 리스트	117
<표 5-1> 그린·화이트바이오 6개 전략분야의 정의 및 범위	122
<표 5-2> 그린·화이트바이오 기술수요조사 항목	123
<표 5-3> 기술수요조사로부터 도출된 그린·화이트바이오 중점기술분야(안)	123
<표 6-1> 44개 수요기술에 대한 검토결과	141
<표 6-2> 전략적 중요도 '높음'에 해당하는 수요기술	144
<표 6-3> 기술적 성공가능성 '높음'에 해당하는 수요기술	145
<표 6-4> 경제(사회)적 파급효과 '높음'에 해당하는 수요기술	146
<표 6-5> 기술매력성 분석 결과	148
<표 6-6> 기술적합성 분석 결과	151
<표 6-7> 기술대표성 분석 결과	154
<표 6-8> 기술핵심성 분석 결과	157
<표 8-1> 세부사업별 핵심기술 개발 구성 총괄표	174

표 목 차

<표 9-1> 그린·화이트바이오 기술개발사업 모니터링 및 평가 항목	236
<표 9-2> 그린·화이트바이오 기술개발사업 선정평가 기준	237
<표 10-1> 사업의 총 소요예산	250
<표 10-2> 그린바이오핵심기술개발 과제별 소요예산	250
<표 10-3> 화이트바이오핵심기술개발 과제별 소요예산	251
<표 10-4> 그린·화이트바이오공통기반기술개발 과제별 소요예산	251
<표 10-5> 과기정통부 R&D 예산현황('15~'19)	252
<표 10-6> 과기정통부 R&D 예산전망('20~'24)	252

그 립 목 차

[그림 1-1] 전 세계 제조제 내성 개체군 분포	2
[그림 1-2] 석유화학과 화이트바이오 산업공정 및 제품	3
[그림 1-3] 본 사업기획의 추진체계	12
[그림 2-1] 현대 생명공학의 주요 응용분야 범위	18
[그림 2-2] 그린바이오 분야의 분류	21
[그림 2-3] 그린바이오 분야의 범위	21
[그림 2-4] 화이트바이오 분야의 분류	23
[그림 2-5] 화이트바이오 분야의 범위	23
[그림 2-6] 기본계획 상에서 그린바이오와 화이트바이오 간 중복영역	24
[그림 2-7] 그린바이오와 화이트바이오 간 중복영역 조정 및 세부기술영역의 명칭 변경	26
[그림 2-8] 그린·화이트바이오 기술의 활용범위(예시)	27
[그림 2-9] 기술개발사업 기술성숙도(TRL)	28
[그림 3-1] 메가트렌드 분석 프로세스	30
[그림 3-2] 그린·화이트바이오 분야 14대 메가트렌드와 핵심문제 간의 관계	39
[그림 3-3] 그린바이오 및 화이트바이오 분야의 주요이슈	40
[그림 3-4] 전 세계 바이오 작물보호제 시장 전망	41
[그림 3-5] 세계 인구증가 전망(좌) 및 세계 식량 수요량 예측(우)	42
[그림 3-6] 나고야의정서 발효에 따른 생물자원 로열티 지급 흐름	43
[그림 3-7] 전 세계적인 케모포비아 현상의 증가	45
[그림 3-8] 바이오 기술을 이용한 정밀화학제품 생산(예시)	46
[그림 3-9] 다양한 제품 형태의 바이오플라스틱 시장 현황	46
[그림 3-10] 초미세먼지 고농도 일수 현황	47
[그림 3-11] 합성생물학의 적용 분야 및 시장 전망	48
[그림 3-12] 미국국방성 DARPA의 바이오파운드리 구축전략	49
[그림 3-13] 바이오화학산업 가치사슬	50
[그림 3-14] 문재인 정부의 국정목표	55
[그림 3-15] 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망	61
[그림 3-16] 지역별 합성생물학 시장 현황 및 전망	62
[그림 3-17] 글로벌 CRISPR 시장 현황 및 전망('14~'22년)	63
[그림 3-18] 유전자변형 종자 시장의 급성장(좌), 미국의 주요 작물별 유전자변형 작물 경작 비중(우) ..	63
[그림 3-19] GM작물 재배면적 추이(좌) 및 '17년 상위 5개국 GM작물 재배면적 및 채택률(우) ..	64
[그림 3-20] '17년 GM작물별 재배면적(좌) 및 작물별 GM품종이 차지하는 비중	64
[그림 3-21] 작물보호제 시장 규모	65
[그림 3-22] 세계 인구증가와 경지면적 증가비율	66
[그림 3-23] '14년 작물보호제 글로벌 Top10 기업의 시장점유율(%)	66

그림 목 차

[그림 3-24] 화이트바이오 산업의 시장규모 예측	67
[그림 3-25] 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망	69
[그림 3-26] 국내 연도별 GMO 수입량	70
[그림 3-27] 국내 작물보호제 시장('14년)	71
[그림 3-28] 바이오산업 분야별 국내 생산액 변화 추이	71
[그림 3-29] 국내 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망	73
[그림 3-30] '17년 전 세계 이상기후 발생 분포도	74
[그림 3-31] 전 세계 농경지 비중(좌) 및 제조재 내성 개체군 분포도(우)	75
[그림 3-32] 비닐봉지 안에 갇힌 황새(좌), 버려진 낚시 그물에 묶인 거북이(우)	77
[그림 3-33] 환경규제 추이(건)(좌), 경제개발별 환경규제 비중(%) (우)	79
[그림 3-34] 병해충 실태예측(좌) 및 미래발생 가능 병해충 예측(우) 지도	80
[그림 3-35] 주요국 곡물자급률	80
[그림 3-36] 주요국 농림어업 취업자 비중	81
[그림 3-37] 주요 농산물 로열티 지급액 추이	81
[그림 3-38] 나고야의정서 이행체계	82
[그림 3-39] 국내 바이오기업 해외 생물자원 원산지 비율(좌), 나고야 의정서 적용 품목 수입액(우)	82
[그림 3-40] 나고야의정서 발효에 따른 문제점	83
[그림 3-41] 플라스틱 폐기물 연간 배출량 변화	84
[그림 3-42] 국내 에너지관련 의존도 추이(좌) 및 에너지 수입 의존도(우)	85
[그림 3-43] 유전자가위를 이용한 맥주 제조	86
[그림 3-44] 광호흡 경로를 개조한 식물과 현장에서 재배하는 모습	87
[그림 3-45] Smaxtec이 개발한 센서 시스템	87
[그림 3-46] 애기장대 근근, 내생 마이크로바이옴의 군집 연구	88
[그림 3-47] 지속 가능한 제어에 필요한 생물학적 제어 도구	89
[그림 3-48] 미 UC샌디에이고 연구진의 플라스틱 소재 인공세포 합성 과정	89
[그림 3-49] 페테이스와 인공 합성 효소의 PET분해 성능 비교	90
[그림 3-50] 바이오콘셉트(BioConSepT) 프로젝트	90
[그림 3-51] SULAPAC과 PLASTIC 비교	91
[그림 3-52] 유전자 가위 기술로 개발한 슈퍼돼지	91
[그림 3-53] Cas12a 단백질의 DNA 표적 탐색 및 절단 메커니즘 모식도	92
[그림 3-54] 전사인자의 과발현 식물체를 이용한 전자 조절 네트워크 구축(좌), OsNAC6 생명공학작물의 가뭄저항성 증대(우)	93
[그림 3-55] 커넥티드 카우 시스템 개발 국가 및 센서 종류	93
[그림 3-56] 한국형 스마트팜 2세대 개요도	94
[그림 3-57] 병저항성과 관련된 식물마이크로바이옴의 구조와 기능 연구	94

그림 목 차

[그림 3-58] 산업동물의 장내 마이크로바이옴 벡크 구축 체계도	95
[그림 3-59] BS07M균주에 의한 고추 생육촉진 및 면역기능 증가(좌), BS07M균주 처리에 의한 냉해 방제효과(우)	96
[그림 3-60] 빛을 사용해 스스로 에너지를 생산하는 인공세포	96
[그림 3-61] 조절 RNA 작용기작(좌), 최적 생산 균주 및 유전자 선별을 위한 조절 RNA 활용(우)	97
[그림 3-62] 특정 물질을 감지하면 빛을 내도록 만든 미생물의 개념도	97
[그림 3-63] CBD불합체를 이용한 인공효소체인	98
[그림 3-64] 해양유래 지방/지방산으로부터 얻는 바이오폴리에스터/나이론 생산 경로	99
[그림 4-1] 그린·화이트바이오 핵심기술별 정부 R&D 지원 과제 수('13~'17)	103
[그림 4-2] 그린·화이트바이오 핵심기술별 정부 R&D 투자액(억 원)('13~'17)	103
[그림 4-3] NTIS 기준 최근 5년간 정부부처별 그린·화이트바이오 정부 R&D 투자액('13~'17)	104
[그림 4-4] NTIS 기준 최근 5년간 정부부처별 그린·화이트바이오 R&D 지원 과제 수('13~'17)	105
[그림 4-5] NTIS 기준 최근 5년간 연구수행기관별 그린·화이트바이오 정부 R&D 투자액('13~'17)	106
[그림 4-6] NTIS 기준 최근 5년간 연구수행기관별 그린·화이트바이오 R&D 지원 과제 수('13~'17)	107
[그림 4-7] NTIS 기준 최근 5년간 국가과학기술분류별 그린·화이트바이오 정부 R&D 투자액('13~'17)	108
[그림 4-8] NTIS 기준 최근 5년간 국가과학기술분류별 그린·화이트바이오 R&D 지원 과제 수('13~'17)	109
[그림 4-9] NTIS 기준 최근 5년간 6T분야별 그린·화이트바이오 정부 R&D 투자액('13~'17)	110
[그림 4-10] NTIS 기준 최근 5년간 6T분야별 그린·화이트바이오 R&D 지원 과제 수('13~'17)	111
[그림 4-11] NTIS 기준 최근 5년간 연구개발단계별 그린·화이트바이오 정부 R&D 투자액('13~'17)	112
[그림 4-12] NTIS 기준 최근 5년간 연구개발단계별 그린·화이트바이오 R&D 지원 과제 수('13~'17)	113
[그림 5-1] 중점기술분야 선정 프로세스	121
[그림 6-1] 중점기술분야별 수요기술 분포 현황	134
[그림 6-2] 상위빈도 200개 단어 추출결과	135
[그림 6-3] 그린·화이트바이오 수요기술의 워드클라우드	136
[그림 6-4] 그린·화이트바이오 분야별 기술수요 현황(종합)	136
[그림 6-5] 그린·화이트바이오 분야별 기술수요현황(기술도출 수)	137
[그림 6-6] 그린·화이트바이오 중점기술분야별 연구비 총액	137
[그림 6-7] 그린·화이트바이오 중점기술분야별 연간 평균연구비	137
[그림 6-8] 그린·화이트바이오 연구개발비 수요	138
[그림 6-9] 그린·화이트바이오 기술수준에 따른 기술수요	138
[그림 6-10] 중점기술분야별 선진국 대비 과학기술 수준	138
[그림 6-11] 중점기술분야별 선진국 대비 인력 수준	139
[그림 6-12] 중점기술분야별 선진국 대비 인프라 수준	139
[그림 6-13] 기술매력성 분석 포트폴리오	148
[그림 6-14] 기술적합성 분석 포트폴리오	151

그림 목 차

[그림 6-15] 기술대표성 분석 포트폴리오	154
[그림 6-16] 기술핵심성 분석 포트폴리오	157
[그림 7-1] 그린·화이트바이오핵심기술개발의 연구개발단계 구분	163
[그림 7-2] 그린·화이트바이오 기술개발 단계별 추진 전략	165
[그림 7-3] 그린·화이트바이오 기술개발 사업 추진체계(안)	167
[그림 7-4] 그린·화이트바이오 기술개발 사업 운영체계(안)	168
[그림 7-5] 농생명 미생물 활용기술(예시)	169
[그림 7-6] 친환경 소재 생산 그린바이오 기술 개발(예시)	170
[그림 7-7] 그린바이오-ICT 융복합기술 개발(예시)	170
[그림 7-8] 효소 및 대사공학 기술 개발(예시)	171
[그림 7-9] Earth-care 생물화학소재 기술 개발(예시)	171
[그림 7-10] 스마트 생물-화학 융합프로세스 기술 개발(예시)	172
[그림 7-11] 그린·화이트바이오 유전체공학 기술 개발(예시)	172
[그림 7-12] 인공세포 플랫폼 기술 개발(예시)	173
[그림 8-1] 토마토 품종의 병 진전을 억제하는 플라보박테리아	178
[그림 8-2] 파이토타이옴과 인체 마이크로바이옴 비교	179
[그림 8-3] 외래 유전자의 식물도입 후 재조합 단백질 저비용 대량 생산 및 활용	184
[그림 8-4] 합성미생물총 플랫폼 기술 개발 개요도	188
[그림 8-5] 제안기술의 주요연구 내용	192
[그림 8-6] Enzyme Toolbox 모식도	197
[그림 8-7] 글로벌 화장품 시장 규모 추이	201
[그림 8-8] 화장품 기술별 기술 수준	201
[그림 8-9] 주요 연구개발 내용	202
[그림 8-10] 케모포비아 극복을 위한 화학소재 대체 바이오기술개발	209
[그림 8-11] Plate 기반 High Throughput Screening 예시	215
[그림 8-12] RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) Screening 프로세스	215
[그림 8-13] 고부가 단백질 세포의 분비 생산 세포공장 연구개발 모식도	217
[그림 8-14] 세포의 분비를 직접 모니터링 할 수 있는 Genetic System 모식도	217
[그림 8-15] 미생물에 의한 폴리머의 생물학적 분해	221
[그림 8-16] PA 폐기물의 생물학적 분해 공정 및 재활용 공정 기술 개발	222
[그림 8-17] Genomes to Natural Products Network의 식물분야 주요 연구목표	227
[그림 8-18] 번역중단코돈 UAG의 UAA로의 치환 과정	232
[그림 8-19] 고기능성 펩타이드/단백질 고효율 생산 모식도	233
[그림 8-20] 비천연아미노산/천연아미노산-tRNA 생합성 극대화 기술개발의 도식화	234
[그림 9-1] 진도관리 절차	239

그림 목 차

[그림 9-2] 중간평가 절차	240
[그림 9-3] 최종평가 절차	241
[그림 9-4] 추적평가 절차	242
[그림 9-5] 사업 관리체계	243
[그림 9-6] 연구개발사업의 쟁점사항 도출을 위한 논리모형	247
[그림 11-1] 연도별 평균 취업유발계수(좌) 및 생산유발계수(우)	254

제1장. 사업추진 개요

1절. 사업 배경 및 필요성

1. 사업 배경

가. 그린바이오 분야

■ 농업생산성 향상을 통한 미래 식량부족 문제 해결방안으로 부상

- 인구 증가, 경작지 감소, 기후 변화, 육류 소비 증가에 따른 사료용 곡물 수요 증가 등에 의해 식량 부족 문제가 대두되고 있으며 이에 따라 농업 분야에서의 생산성을 향상시키기 위한 다양한 방안들이 제시
 - 유전체 염기서열 분석 기술, 빅데이터 분석기술 및 인공지능의 발전이 산업의 패러다임을 변화
 - 작물의 유전자와 형질 발현의 연관성에 대한 이해도가 높아질수록 육종과 유전자 변형을 통해 생존력 강화, 영양성분 증대 등 원하는 현질을 추가하는 것이 용이
- 20세기 후반의 식량 생산량 증대에 기여한 농업 기술로 품종개량, 화학비료, 작물보호제 등을 들 수 있다면, 최근 농업 기술의 방향성은 BT와 IT의 융합에 기반한 스마트화
 - 경작지 또는 재배시설의 환경과 작물의 생육상태에 대한 실시간 센싱 정보를 기반으로 최적의 환경조건(관수, 작물보호제·비료공급, 냉난방 등)을 유지하여 작물의 생산성 및 품질을 극대화하는 스마트팜도 현실화
 - 스마트팜은 특정 경작지 내에서의 생산성 극대화에서 더 나아가 시장 전반의 생산량·유통·가격 정보 등을 통합하여 파종시기, 생산량 및 출하시기 조절, 최적 유통 경로 선택 등의 서비스까지 제공하는 방향으로 발전

■ 농업식품분야의 안정성 및 친환경성 확보에 대한 요구 증가

- 농업생산물과 식품의 안정성 및 환경독성에 대한 사회적 인식이 높아지고 있음에 따라, 문제해결 방안 제시에 대한 니즈가 증가
 - 최근 대표적인 글로벌 기업들의 작물보호제 제품들로부터 독성 문제가 잇따라 발생하면서, 판매금지 및 승인취소 등의 사태 발생
 - 또한, 제초제의 반복적인 사용이 늘어나면서 내성을 지니는 슈퍼잡초들이 전 세계적으로 급격히 증가 중
 - 안정성과 환경적 지속가능성 확보를 위해 전 세계적으로 관련제도 정비 및 기준강화의 움직임이 포착되고 있으며, 바이오 기술혁신을 통한 문제해결 요구가 증대되고 있는 실정

※ 출처 : LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고

필수 소재와 항공유 등의 특수연료를 저탄소·친환경적으로 대체할 수 있는 유일한 방안

※ 출처 : 박경문 등. (2016). 수요중심의 정부 지원전략 마련을 위한 국내 바이오기업 지형 분석(바이오화학 및 소재 중심으로).

■ 생물자원의 중요도 증가로 인한 생물자원보존을 위한 노력 강화 추세

- 환경변화로 인한 멸종과 인간의 인위적 선택에 의해 생물자원의 유전적 다양성이 상실되어 감에 따라, 생물자원 위기에 대한 경각심 고조와 이에 따른 보존에 대한 노력이 점차 강화되는 중
 - 과도한 살충제 남용에 따라 세계 식량자원의 90% 생산량을 차지하는 작물종의 수분의 70%를 담당하던 꿀벌의 40% 가량이 멸종위기에 봉착
 - 인위적 유전자 품종개량 및 변형 유전자 식물개발에 따른 고유 품종이 점차 사라짐에 따라, 소수의 품종만 남는 유전적 획일화 현상이 가속되는 중
 - 생태계의 안정과 균형을 위해 유전자 다양성, 종 다양성 유지·회복을 위한 각고의 노력이 필요한 시점으로, 생물자원 보존기술 개발에 대한 필요성이 증대

나. 화이트바이오 분야

■ 화석원료 부족 및 지구온난화 문제 대응을 위한 바이오매스*와 공정 개발 필요성 증가

* 재생가능한 생물자원으로 종류에 따라 1세대(곡물), 2세대(육상식물, 셀룰로오스), 3세대(조류(algae))로 구분 가능

- 화석원료 고갈에 따른 우려와 화석연료 과사용에 따른 지구온난화 문제의 딜레마에 봉착
 - 세계인구 증가 및 신흥국의 경제성장에 따라 화석원료 고갈에 대한 우려 증가 속에, 환경오염과 지구온난화의 주요 원인으로 화석 원료를 사용하여 화학공정을 통해 제품을 생산하는 기존의 산업체계를 지목
- 화석연료 고갈문제 해법제시 및 지구온난화 대응 방안으로서 바이오매스와 이를 활용하는 공정개발 필요성이 증가
 - 화이트바이오는 석유 대신 바이오매스에 저장된 유기물을 생물학적 공정을 활용하여 제조업에서 필수적인 소재로 전환하는 기술 분야로 다양한 제품 생산이 가능하며, 대표적 온실가스인 이산화탄소의 배출량을 감축할 수 있고 우리나라의 대외 자원 의존도를 낮출 수 있는 방안
 - 대기 중의 이산화탄소를 흡수한 바이오매스를 원료로 사용하여 소재와 연료 등을 생산하고, 그 과정에서 배출된 이산화탄소는 바이오매스의 생산 과정에서 재흡수되므로 이산화탄소배출량 감축에 기여
 - 화이트바이오는 기존에 석유로부터 생산되는 각종 생활용품, 가전제품, 의류, 자동차 등의

■ 저탄소·친환경적인 새로운 화학산업 모델로서 화이트바이오의 부상

- 기존 화석원료의 대체 및 온실가스 배출이슈 등 에너지·환경 문제에 대응할 수 있는 산업모델로서 화이트바이오가 부상
 - 환경보호와 경제적 효율성 확보는 상호 배타적인 관계로서 양립이 어려운 것으로 인식되어 왔으나, 화이트바이오는 두 가지 모두 가능케 하는 분야
 - 바이오연료, 바이오플라스틱, 바이오공정 등 다양한 분야 사업들이 화이트바이오 산업모델로서 제시 중
- 화이트바이오 관련 기술개발을 통해 환경위기에 대처하고 새로운 비즈니스 모델 창출이 가능
 - 바이오리파이너리는 이산화탄소를 흡수하는 바이오매스를 이용하므로 오일리파이너리와 비교해 이산화탄소 발생이 감소하고 화학축매를 사용하지 않아 환경오염을 줄일 수 있으며, 일방적인 이산화탄소 배출이 아닌 이산화탄소 순환이 가능
- 화이트바이오는 농가소득 창출 및 지속가능한 화학산업 발전에 기여 가능
 - 화이트바이오는 농업분야의 재생 가능한 원료를 이용한 농가소득 창출과 화학산업의 지속가능한 발전을 가능하게 할 뿐 아니라, 다양한 산업분야에서 친환경 소재에 대한 수요를 만족시키는 동시에 생분해 및 재활용을 통한 신흥 비즈니스 모델 창출에 기여
 - 바이오매스 기반 바이오리파이너리 공정을 통해 바이오 기반 제품, 바이오에너지, 바이오연료 등 다양한 바이오 제품을 생산함으로써 새로운 바이오 시장 창출과 바이오 기반 경제모델 수립에 일조 가능

<표 1-1> 오일리파이너리와 바이오리파이너리 비교

2. 사업 필요성

가. 그린바이오 분야

■ 미래 고부가가치 창출을 위한 그린바이오 분야의 기술개발 필요

- 농업과 각종 첨단 기술의 접목에 따라 그린바이오 분야는 고부가가치 미래 신산업으로 급부상
 - 지난 20년간 농화학 산업은 1세대 유전자변형 작물로 대변되는 그린바이오 기술에 의존하여 Top-tier 기업들의 경쟁구도가 구축되었으나 최근 기술혁신을 통해 새로운 가능성이 증대
 - 바이오 기술의 발전에 따라 DNA 표지 육종 방식을 통한 육종기간 단축과 유전자 편집 기술 개발 등 그린바이오 분야 기술혁신이 지속
 - 종자와 작물보호제 시장은 1,000억 달러를 상회하며, 식량 수요 측면에서 성장성이 보장되는 매력적인 분야로 주목
 - 상기와 같은 높은 가능성과 기술·산업적 매력에도 불구하고 국내 그린바이오 분야의 적극적인 기술개발에 대한 투자는 미미

■ 그린바이오 분야 기술역량 확보를 위한 정부 주도의 기술개발 필요

- 그린바이오 분야 핵심기술 확보 및 선점을 위한 선진 기업들의 노력 증대
 - 일부 살충제와 제초제 독성 문제로 인한 유럽 등 각 지역의 화학 농약 사용 규제 확대 등을 통해 바이오 작물보호제 산업 성장 가능성이 증대
 - 바이오 작물보호제에 대한 기술개발 필요성이 증대됨에 따라, 신젠타, 바이엘, BASF 등 글로벌 농화학 기업들은 미생물 기반 작물보호제 핵심기술 보유 기업의 인수나 파트너십 체결을 통한 기술역량 확보 추진
 - 이에 반해, 국내에서는 관련 분야에 대한 기술역량 확보 노력은 미흡
- 바이오 융합기술 발전에 따라 자원의 특성·생명정보 기반의 고부가가치자원의 개발 및 활용 증가, 산업분야 확대
 - 나고야의정서(ABS)* 발효에 따른 자원부국의 자원주권 강화 및 감염병 등 국제이슈 대응을 위한 국가 관리체계의 고도화 필요성 증가
 - * 생물자원을 활용하며 생기는 이익을 공유하기 위한 지침을 담은 국제협약으로 우리나라는 '18년 8월 18일을 기점으로 시행
- 미래기술로서 중요성이 부각됨에도 불구하고 바이오분야 R&D 투자에서 상대적으로 소외받고 있는 그린바이오 분야
 - 바이오분야의 R&D 투자규모는 크게 확대되었으나 정부의 '16년 바이오분야 R&D 투자예산 중 그린바이오 분야는 14.9%로 상대적으로 저조

나. 화이트바이오 분야

■ 전 세계적인 기후·환경 변화에 대한 법적·제도적 추세 대응을 위해 화이트바이오 분야의 적극적 기술개발 지원 필요

- '15년 파리기후변화협약*을 비롯하여 온실가스 배출 저감을 위한 범지구적인 노력이 강화되는 추세에 따라 화이트바이오에 대한 국가적 지원 요구 증가
 - * '20년 만료가 되는 교토의정서를 대신해서 파리에서 체결한 새로운 기후 변화 협약으로 지구 온난화를 막기 위해 대기 중에 이산화탄소를 비롯한 온실가스 배출을 줄여 지구의 온도 상승을 막기 위한 국제 협약으로 195개 국가가 서명
 - 미국이나 유럽, 일본 등 주요 선진국에서는 R&D 지원뿐만 아니라, 탄소배출권 거래제, 친환경 바이오제품 인증제도 및 우선구매제도, 세제지원 등 적극적인 제도적 지원 실시
 - 국내는 「바이오화학 육성전략(2012)」에서 종합적인 화이트바이오 지원정책을 발표하였고, 「제1차 기후변화대응 기본계획(2016)」에서 바이오연료 사용 확대를 위한 의무혼합제도시행을 제시
 - 화이트바이오 지원정책 및 제도의 정비와 더불어 국가 차원의 기술개발 추진 지원전략 마련 필요

■ 선진국과의 기술격차 극복을 위한 정부의 적극적인 육성강화 및 지원 필요

- 국내 화이트바이오 기술개발은 복합적 문제에 의해 선진국 대비 미진한 상황
 - 합성생물학, 유전자편집 등 신기술의 실제 적용이 가능해짐에 따라 화이트바이오의 적용범위가 확대되고 경제성이 향상되는 추세
 - 최근 기술발전으로 전 세계적으로 화이트바이오의 기술개발 및 사업화가 진행되고 있지만, 국내의 경우 단기 수익성이 낮고 정부의 재정적·제도적 지원이 부족하여 민간 참여와 연구개발이 미진한 상태
 - 국내의 경우 화이트바이오 관련 정부R&D 투자가 매우 낮으며 주요국에 비해 정책 지원이 한정적이어서, 기업들의 화이트바이오 진출 활성화를 위한 정부의 적극적인 육성 및 지원 정책이 필요
 - 화이트바이오 분야 후발주자로서 정부 주도의 적극적 육성 지원전략 필요
 - 화이트바이오 분야의 기술개발 및 산업화는 특수·정밀화학 분야에서 두드러질 것으로 예측되며, 우리나라는 후발주자로서 수요자 맞춤형 고부가가치 바이오화학제품의 개발에 적극 지원이 필요한 상황
 - 아직 선진국에 비하여 미진한 정부의 R&D·인프라 투자 및 법률·제도적 지원을 강화하여 산업계의 R&D 투자확대 및 생산 촉진 필요
- ※ 출처 : 유거승 등. (2017). 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언.

3. 사업추진의 시급성

가. 그린바이오 분야

■ 전 세계적 기후변화에 대비하고 농산물 생산성 향상을 위한 첨단기술 활용 그린바이오 분야 미래기술 개발 시급

- 점차적으로 증대되고 있는 기후변화 문제와 식량문제 해결을 위한 기술적 대응 방안으로서 조속한 그린바이오 기술개발 추진 요구가 증대
 - 이상기후, 환경변화 등에 따라 발생 및 예상되는 작물의 각종 생육환경 재해를 해결하고 미래 식량위기에 대응하기 위한 방안으로서 융복합 첨단기술을 접목한 그린바이오 분야의 기술개발이 시급
 - 국내 생산인구 및 농가인구의 감소와 더불어 고령화 문제로 인한 생산 활동에 인력의존도가 높은 그린바이오 분야의 문제해결 방안으로 첨단기술 활용 및 관련 기술개발 수요 증대
 - ※ 국내 농가수 : 1,142천호('13) → 1,042천호('17), 국내 농가인구 : 2,847천명('13) → 2,422천명('17)
- 기후변화에 따른 미래 식량부족에 능동적 대처를 위해 유전자교정 기술을 이용한 신품종 작물 개발에 대한 수요 증가
 - 식물조직배양 연구 분야의 오랜 역사에도 불구하고 작물별, 품종별 식물재분화 효율의 인위적인 조절에 한계
 - 해충 및 질병에 대한 저항성과 환경적응성이 높은 작물생산을 위해 필수적인 유전자 전달 기술 및 식물재분화 기술의 필요성 증가

■ 환경오염 방지 및 생태계 보전을 위한 그린바이오 분야 친환경 기술 개발 및 보급 시급

- 지속적인 생물·물리·화학적 오염에 대응하기 위한 생태 친화적 그린바이오 기술 개발 확대에 대한 필요성이 증가
 - 동일 계통의 화학제재 사용으로 기존 약제에 대한 내성을 가진 신종 병해충의 발생과 잔류독성에 따른 생태계 오염 문제를 해결하기 위한 방안으로 그린바이오 분야의 친환경 기술 개발 시급
 - 기존 화학소재 대체 및 그린바이오 분야 글로벌 기술·시장경쟁력 확보를 위하여 저독성의 신규 작용기전을 보유한 천연 미생물 기반의 친환경 소재 원천기술 개발 및 확보가 필요

나. 화이트바이오 분야

■ 전 세계적으로 증가하고 있는 화학적 환경오염에 대한 사회적 불안의 해결방안으로서 화이트바이오 분야의 기술개발 보급이 시급

- 석유화학 플라스틱의 환경문제 해결을 위한 혁신적 효소·대사공학 기술개발 요구 증가
 - 화이트바이오 분야 신기술 적용을 통해 바이오플라스틱 등의 다양한 물성의 인체무해 제품 개발 보급 확장 필요
 - 이를 위해 혁신적인 효소·대사공학적 접근을 통해 복잡한 대사경로를 모듈화 및 간소화하고 최종 생성물의 생산성을 향상시킬 수 있는 기술개발 시급

- 전 지구적인 화학적 환경문제 대응을 위한 바이오기반 생물화학소재 생산기술 개발 시급성이 증가
 - 환경오염도가 낮은 바이오매스 기반의 생분해성 고분자 기술의 한계(물성 저하, 경제성) 해결을 위한 원천기술 개발 시급
 - 친환경적이고 유용한 생분해성 바이오소재 대량 생산을 위한 플랫폼 시스템과 기후변화 대응을 위한 온실가스 저감형 바이오소재 기술개발 필요

■ 전통적 화학산업이 친환경 산업구조로 변화됨에 따라 이를 지원할 수 있는 기반 기술의 개발확대가 시급

- 석유화학 기반 에너지 생산에서 친환경적 에너지 생산으로 전환하기 위한 시스템 기술 확보 필요
 - 화석연료 한계와 바이오화학 시장성장에 따라 기존의 화석연료와 화석원료 기반 화학제품을 대체할 바이오연료 또는 바이오화학제품 생산 시스템의 최적 공정기술 확보 시급
- 친환경적이면서 품질 안정성 및 가격 경쟁력 확보를 위한 효율화 기술의 확보 시급
 - 바이오매스로부터 바이오연료 및 바이오화학제품 생산 시 가격경쟁력 확보와 제품 수율 극대화 및 효율화를 위한 기술 개발 필요
 - 기존 바이오제품의 품질 안정성, 생산성 저하를 극복하고 적은 에너지원을 사용하여 고품질 바이오제품을 생산할 수 있는 원천기술 개발 필요

4. 정부지원의 적절성

■ 주요 선진국과 지속적으로 기술격차가 증가되고 있는 문제의 해소를 위해서는 정부의 적극적 개입 및 투자지원이 타당

- 최근 그린·화이트바이오 분야 기술수준평가에서는 선진국과의 기술격차가 점차적으로 증가하고 있는 상황으로 조사
 - '16년도 조사결과에 따르면 그린·화이트바이오분야는 최고기술보유국과 최대 5.4년의 기술격차를 나타내고 있었으며, 대다수의 기술들이 과거보다 기술격차가 더 증가한 상황
 - 그린·화이트바이오 기술이 미래 기술로서 중요성이 부각되고 있는 상황에서 기술격차 해소를 위해서는 민간영역에 위임하기 보다는 정부 차원의 적극적인 기술개발 독려와 R&D 투자지원이 보다 적절

■ 식량·환경 분야의 당면과제를 해결하고 미래 바이오경제 시대 대비를 위해서는 핵심기술 분야에 대한 정부의 적극적인 지원이 필요

- 미래 바이오경제 시대로의 순항을 위한 그린·화이트바이오분야에 대한 정부의 투자 집중 및 확대는 지금이 최적기
 - 최근 국내·외적으로 그린·화이트바이오 기술개발 투자와 산업확대에 대한 사회의 요구 목소리가 증가되고 있는 상황으로, 시대적 부응을 위해서는 정부의 적극적 지원이 필요
 - 미래 바이오산업의 핵심임에도 불구하고 기존 레드바이오에만 편중되었던 정부R&D 투

자 지원을 그린·화이트바이오 분야로 확대해 나감으로써 정부의 바이오분야 지원에서의 균등성과 형평성 확보 필요

- ※ 「제3차 생명공학육성기본계획」에 따르면 레드바이오 분야 정부R&D 투자액 합은 6,001억 원으로, 그린바이오의 3.4배(1,752억 원), 화이트바이오의 8.2배(730억 원)로 나타남
- 따라서, 현 시점에서 그린·화이트바이오 분야에 대한 정부의 적극적 R&D 지원과 투자 추진은 매우 적절

2절. 사업추진 근거

■ 법적 추진근거

- 본 사업은 「과학기술기본법」, 「생명공학육성법」, 「과기정통부 과학기술분야 연구개발사업 처리규정(과기정통부 훈령)」*의 법적 추진근거를 가짐
 - * 「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진), 「생명공학육성법」 제13조(생명공학 육성시책 강구 등), 「과기정통부 과학기술분야 연구개발사업 처리규정(과기정통부 훈령)」 제4조

■ 국정과제 추진근거

- 본 사업은 「문재인 정부 국정과제」에 따라 국정과제 상의 추진근거를 가짐
- 「문재인 정부 100대 국정과제」에서는 ‘더불어 잘사는 경제’, ‘고르게 발전하는 지역’을 5대 국정목표 중 하나로 설정하고 바이오 분야의 육성 전략을 수립
 - (바이오) 「국정과제 34 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 육성」에서는 제조경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 바이오분야 미래 신산업 육성을 추진
 - (그린바이오) 「국정과제 33 지속가능한 농식품 산업 기반 조성」에서는 환경 친화적이고 스마트한 농식품산업 확산 및 먹거리 종합계획 수립을 추진
 - (화이트바이오) 「국정과제 37 친환경 미래 에너지 발굴·육성」에서는 에너지 신산업 선도국가 도약 및 저탄소·고효율구조로 전환을 추진

■ 국가계획 추진근거

- 본 사업은 「제4차 국가과학기술기본계획(‘18~’22)」에 따라 국가계획 상의 추진근거를 가짐
- 「제4차 국가과학기술기본계획(‘18~’22)」에서는 신재생에너지 및 바이오매스의 자원화, 농림·축산·수산산업의 고부가 가치화 등을 추진
 - (그린바이오) 바이오와 ICT를 접목한 스마트 농업시스템 구축 및 농축산물 생산·질병관리 기술 고도화를 통해 성장 동력 촉진
 - (그린바이오) 유용 농림·수·축산자원 발굴 등 국산 농수산물 생명 소재 산업화를 촉진하고 차세대 육종 첨단기술 개발
 - (화이트바이오) 국민의 삶의 질 향상을 위해 신재생에너지가 보편화되고 폐기물이 대부분 재활용되어 미세먼지·환경오염의 걱정이 없는 청정한 환경 조성을 목표로 제시
 - (화이트바이오) 신재생에너지 등 주요 에너지신산업 분야의 실증연구 투자 확대 추진

■ 부처계획 추진근거

- 본 사업은 「제3차 생명공학육성기본계획(‘17~’26)」에 따라 범부처계획 상의 추진근거를 가짐
- 「제3차 생명공학육성기본계획(‘17~’26)」에서는 ‘바이오경제를 주도하는 글로벌 바이오

강국 실현'을 목표로 그린바이오와 화이트바이오 지원계획 수립

- (그린바이오) 안전한 먹거리 공급과 고부가 농생명 소재산업 육성을 위한 생명공학기반의 기술 분야 지원
- (화이트바이오) 생물자원 및 생명공학 기술을 활용해 에너지와 소재 등을 생산하는 기술 분야 지원

3절. 사업기획 추진체계

■ 본 사업의 추진체계는 발주부처(기관)인 한국연구재단, 사업수행기관인 과학기술전략연구소, 그리고 기획위원회 및 자문위원회로 구성

- 과학기술정보통신부
 - 본 사업의 추진계획의 수립 및 총괄 운영
 - 기획위원회를 걸쳐 마련된 사업 추진계획(안)을 종합·검토하고 추진계획의 적합성 여부 결정
- 한국연구재단
 - 본 연구의 총괄 책임기관으로서 과업에 대한 니즈를 제시, 과제 수행과 관련하여 핵심 전략분야 도출 결과 및 상세 사업기획 내용의 최종 승인 역할을 수행
 - 연구와 관련하여 필요한 행정 사항 지원, 정도 관리 및 중간 점검, 최종 평가 등을 수행
- 기획위원회
 - 그린·화이트바이오 분야 중점기술분야 도출 및 사업의 추진기본 방향설정, 추진 필요성의 당위성, 사업구성 및 성과목표·지표의 타당성, 관리체계의 적절성, 기존 사업과의 차별성 제시 등의 컨트롤타워 역할 수행
- 분과위원회
 - 그린·화이트바이오 각 분야별 중점기술분야 도출 및 세부기술의 발굴, 내역사업 추진 방향, 사업 소요예산 및 연구기간 산정 등 사업 추진을 위한 전반적인 기획 역할 수행
- 과학기술전략연구소
 - 사업기획 수립의 전반을 위탁받아 국내·외 사례조사·분석을 통한 자료 분석과 정보제공, 기획위원회와 자문위원회 구성 및 운영 등 사업기획 수립 역할 수행
 - (실무작업반) 본 사업에 참여하는 과학기술전략연구소 인원을 중심으로 과업 전반을 위탁받아 사업 수행의 전반적인 실무업무를 담당하며 사업 추진계획(안) 수립

■ 기획위원회 명단

구분	소속	성명	분야

※ 기획위원장은 화이트바이오 분과위원도 겸임

※ 생명공학정책연구센터의 김홍렬 센터장, 문성훈 실장은 기획의 자문 수행

4절. 사업기획 추진프로세스

5절. 사업기획 추진경과

■ 과제착수

- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 계약체결(‘18.11.02)
 - 사업기간 : 2018. 11. 09 ~ 2019. 07. 08. (8개월)
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 착수협약(‘18.11.02)
 - 장소 : 과기정통부 생명기술과
 - 내용 : 기획위원회 구성, 과제수행 및 사업기획 추진을 위한 방향성 협의

■ 기획추진

- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 1차 실무회의(‘18.11.08)
 - 사업기획 운영 및 추진체계 방향, 사업 기획의 틀 논의
 - 기획위원회 구성방안 논의
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 2차 실무회의(‘18.11.13)
 - 사업 기획 추진방안 및 기획위원회 구성 결과 점검
 - 대내·외 환경분석 및 사업의 투자분석 방안 논의
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 3차 실무회의(‘18.11.20)
 - 대내·외 환경분석 사항 및 사업 투자분석 진행경과 점검
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 4차 실무회의(‘18.11.26)
 - 1차 기획위원회(Kick-off 회의) 추진준비 사항 점검
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 1차 기획위원회(Kick-off 회의)(‘18.11.29)
 - 장소 : 서울역 공항철도 AREX-2 회의실
 - 내용 : 사업 추진계획 논의, 연구개발 범위 설정, 중점기술후보 논의
- 기술수요조사 실시(‘18.12.07~‘18.12.14)
 - 그린·화이트바이오 기술수요조사 실시
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 5차 실무회의(‘18.12.17)
 - 기술수요조사 회신 사항 확인 및 검토, 2차 기획위원회 추진준비 사항 점검
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 2차 기획위원회(‘18.12.19)
 - 장소 : TOZ 모임센터 대학로점
 - 내용 : 그린·화이트바이오 기술분류에 대한 재구성 논의 및 메가트렌드를 고려한 중점기술분야 도출 논의, 기술수요조사 결과 보고

- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 6차 실무회의(‘18.12.20)
 - 기술수요조사서 검토 및 전문가 의견수렴 방안 논의
- 기술수요조사서 전문가 검토 실시(‘18.12.21~‘19.01.11)
 - 기술수요조사서 검토 및 전문가 의견수렴
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 7차 실무회의(‘19.01.14)
 - 기술수요조사 결과 분석 방법론 논의 및 3차 기획위원회 추진준비 사항 점검
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 3차 기획위원회(‘19.01.21)
 - 장소 : 강남역 모임공간 엘로스톤
 - 내용 : 그린·화이트바이오 중점기술분야 검토, 기술수요조사 전문가 검토결과 보고
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 8차 실무회의(‘19.01.30)
 - 4차 기획위원회 추진준비 사항 점검
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 4차 기획위원회(‘19.02.08)
 - 장소 : 서울역 공항철도 AREX-6 회의실
 - 내용 : 그린·화이트바이오 중점기술분야 수정분류(안) 검토
- 중점기술분야 분류(안) 기획위원 개별 서면검토 실시(‘19.02.15~‘19.02.28)
 - 중점기술분야 분류(안)에 대한 기획위원별 분류의견 수렴·보완
 - 중점기술분야별 정의, 기술개발 차별화 포인트 등 의견 수렴 및 중점기술분야 최종확정
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 중간보고(‘19.04.22)
 - 장소 : 과기정통부 생명기술과 회의실
 - 내용 : 기획 진행상황 보고 및 향후계획 논의
- ‘그린·화이트바이오 기술개발 전략 수립 및 기획 연구’ 핵심기술별 상세기획 실시(‘19.05.07~‘19.05.31)
 - 핵심기술별 세부 연구개발 계획 서면 자문 및 상세내용 작성

제2장. 그린·화이트바이오 정의 및 범위

1절. 생명공학(Biotechnology)의 정의 및 범위

■ 생명공학의 정의

◆ 생명공학(Biotechnology)¹⁾이란 ‘산업적으로 유용한 생산물을 만들거나 생산공정을 개선할 목적으로 생물학적 시스템, 생체, 유전체 또는 그들로부터 유래되는 물질을 연구·활용하는 학문과 기술’을 의미

※ 참조 : 생명공학육성법 제2조 1항

○ 생명의 정의

- ‘생명(生命)’이란 자체 신호를 가지고 스스로를 유지할 수 있는 물체를, 그러한 기능이 종료되었거나(죽음) 또는 그러한 기능이 없어 비활성체로 분류되었거나를 막론하고 그렇지 않은 것과는 구별 짓는 특성

※ 출처 : 위키백과(<https://ko.wikipedia.org>).

○ 공학의 정의

- ‘공학(工學, Engineering)’이란 과학적, 경제학적, 사회적 원리와 실용적 지식을 활용하여 새로운 제품, 도구 등을 만드는 것 또는 만드는 것에 관한 학문

※ 출처 : 위키백과(<https://ko.wikipedia.org>).

○ 생명공학의 어원

- 생명공학(Biotechnology)은 ‘*bios*(βίος) : 삶’, ‘*technos*(τεχνος) : 기술’, ‘*logos*(λόγος) : 생각’이란 뜻을 가진 세 가지 그리스어로 구성

※ 출처 : Kafarski. (2012). Rainbow Code of Biotechnology.

○ 사전적 의미에서의 생명공학의 정의

- 생물의 유전자 DNA를 인위적으로 재조합, 형질을 전환하거나 생체기능을 모방하여 다양한 분야에 응용하는 기술로, 생명 현상, 생물 기능 그 자체를 인위적으로 조작하는 기술
- 생물체가 가지는 유전·번식·성장·자기제어 및 물질대사 등의 기능과 정보를 이용해 인류에게 필요한 물질과 서비스를 가공·생산하는 기술

※ 출처 : 위키백과(<https://ko.wikipedia.org>).

○ 「생명공학육성법」에서 정하는 생명공학기술의 정의

- 산업적으로 유용한 생산물을 만들거나 생산공정을 개선할 목적으로 생물학적 시스템, 생체, 유전체 또는 그들로부터 유래되는 물질을 연구·활용하는 학문과 기술(제2조 1항)
- 생명현상의 기전(起傳), 질병의 원인 또는 발병과정에 대한 연구를 통하여 생명공학의 원천지식을 제공하는 생리학·병리학·약리학 등의 학문(제2조 2항)

1) Biotechnology를 직역하면 생명기술이지만, 국내에서는 일반적으로 생명공학(또는 생명공학기술)으로 표기

■ 생명공학 정의의 변화

○ 생명공학의 정의는 시대와 상황에 따라 조금씩 달리 적용

- 헝가리 엔지니어인 Karl Erkey는 1919년 최초로 생명공학이란 용어를 사용하였으며, ‘생물학적 원재료로부터 신제품을 생산하기 위해 생물체를 사용하는 것’으로 정의

※ 출처 : Bud. (1989). History of ‘Biotechnology’.

- 유럽생명공학연맹(European Biotechnology)은 ‘미생물, 배양 된 조직세포 및 그 일부의 기능을 기술적(산업적)으로 응용하기 위한 생화학, 미생물학 및 공학의 통합’으로 규정

※ 출처 : Bull, Holt & Lilly. (1982). Biotechnology; International Trends and Perspectives.

McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies.

- ’81년 OECD는 생명공학을 ‘생물학적 제제에 의한 물질의 가공에 과학적, 공학적 원리를 적용하는 것’²⁾으로 정의하였으며, 이후 ’03년에는 ‘재화와 서비스를 제공하기 위해 생물학적 제제에 의한 물질의 가공에 과학적이고 공학적인 원리를 적용하는 것’으로 현대의 생명공학을 정의

※ 출처 : McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies.

■ 생명공학 응용분야의 범위

○ 2000년대 이후 세계적으로 식량생산, 건강, 에너지 문제에 직면하면서 이를 해결하기 위한 다양한 생명공학의 기술개발과 응용이 이루어지고 있으며, 생명공학 응용분야의 범위 분류에도 변화 발생

○ 기존의 농업, 임업, 산업, 해양, 환경, 의약바이오 등 학문분야에 기반한 명칭의 사용에서 응용분야 범위의 특성에 따라 색깔*로 특정하여 분류

* 레드, 그린, 화이트, 블루 등

- 경우에 따라 생명공학의 응용범위를 7개에서 10개까지도 분류하고 있으나 일반적으로 ‘그린바이오’, ‘화이트바이오’, ‘레드바이오’, ‘블루바이오’ 등 4개의 응용분야로 분류

※ 출처 : Kafarski. (2012). Rainbow Code of Biotechnology.

Matyushenko, Sviatukha & Grigorova-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.

McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies.

2) 현재 가장 많이 통용되는 정의

<표 2-1> 생명공학의 7가지 응용분야

--

※ 출처 : Kafarski. (2012). Rainbow Code of Biotechnology.

<표 2-2> 생명공학의 10가지 응용분야

Colour	Industries

※ 출처 : Matyushenko, Sviatukha & Grigorova-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.

축산·식품', '산업공정/환경·해양수산', '바이오융합' 등 5개 영역으로 분류

※ 출처 : 관계부처합동. (2006). 제2차 생명공학육성기본계획('07~'16).

- '17년에 확정·발표한 「제3차 생명공학육성기본계획」에서는 글로벌 트렌드인 색깔 분류를 일부 차용하여 '레드바이오', '화이트바이오', '그린바이오', '융합바이오' 등 4개 영역으로 분류

※ 출처 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25).

○ 전 세계적 추세에 따라 국내에서도 생명공학 응용분야 분류 진행

- 1990년대 생명공학의 응용분야는 '바이오의약', '생물환경', '생물농업', '생물화학' 분야로 구분

※ 출처 : Biozine. (1999). 기술동향 보고서(생명공학기술분야).

- '06년 발표된 「제2차 생명공학육성기본계획」에 따르면 '생명과학기반', '보건의료', '농

2절. 그린바이오(Green Biotechnology)의 정의 및 범위

■ 그린바이오의 정의

◆ 그린바이오(Green Biotechnology)란 ‘안전한 먹거리 공급과 고부가가치 농생명 소재산업 육성을 위한 생명공학기반의 과학기술 분야’를 의미

※ 참조 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25).

○ ‘그린’의 정의

- ‘그린’은 사전적 의미로는 ‘녹색’을 의미하나, 그린바이오에서는 ‘농업(Agriculture)’, ‘임업(Forestry)’, ‘생물에너지(Bioenergetics)’를 의미

※ 출처 : Matyushenko, Sviatukha, & Grigorova-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.

○ 그린바이오의 정의

- 그린바이오는 생물학적 또는 비생물학적 스트레스에 대한 내성이 강하고, 높은 생산력을 가진 식물(또는 식량)을 생산하기 위한 생명공학 분야

※ 출처 : McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies.

- 일반적으로 그린바이오는 녹색혁명의 다음단계이자, 지구상의 굶주림에 대한 방어책으로서 높은 생산력과 스트레스 저항성을 가진 식물을 생산하는 기술로 정의

※ 출처 : Kafarski. (2012). Rainbow Code of Biotechnology.
Matyushenko, Sviatukha, & Grigorova-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.

- EuropaBio에서는 식물체 및 식물세포를 이용하여 식품, 사료, 바이오소재 및 에너지를 생산하는 기술로 정의

※ 출처 : 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구

■ 그린바이오의 분류 및 범위

○ 그린바이오는 일반적으로 식물(또는 동물)의 생산, 증식 및 보존, 형질전환과 같은 유전공학 등의 분야를 포함

- 환경 친화적인 비료, 생물농약 및 토양 개량제의 적용, 다양한 조직의 배양 및 이차대사산물의 획득, 우수 품종의 보존 및 증식(미세 전달, 체세포 생성, 저온 보존), 디자인된 형질을 가진 농작물과 가축의 선정에서의 유전공학의 응용 등 다양한 분야가 존재

※ 출처 : McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy: fundamentals, applications and strategies.

○ 국내에서 그린바이오는 식물·동물·미생물의 생산, 농약 및 비료, 식품, 사료, 바이오연료, 바이오의약품, 유전자변형생물체(Genetically Modified Organism, GMO) 등으로 범위를 구

분

※ 출처 : 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구.

※ 출처 : 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구.

○ 「제3차 생명공학육성기본계획」에 따르면 그린바이오 분야는 ‘자원생산’, ‘산업’, ‘웰빙’ 분야 등 3가지 영역으로 범위 구분

※ 출처 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25).

3절. 화이트바이오(White Biotechnology)의 정의 및 범위

■ 화이트바이오의 정의

◆ 화이트바이오(White Biotechnology)란 '지구온난화, 자원의 고갈 등 환경변화에 대응하여 생물자원 및 생물공학 기술을 활용해 에너지와 소재 등을 생산하고 관련 산업과 서비스를 창출하는 바이오 분야'를 의미

※ 참조 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25).

○ '화이트'의 정의

- '화이트'는 사전적 의미로는 '흰색' 또는 '백색'을 의미하나, 화이트바이오에서는 '산업적(Industrial)' 또는, '유전자를 기반으로 하는 모든 것(Everything that is based on Genes)'을 의미

※ 출처 : Matyushenko, Sviatukha, & Grigороva-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.

○ 화이트바이오의 정의

- 화이트바이오는 재생 가능한 원료를 활용하여 산업적 목적의 최종 및 중간제품을 생산하는 과정에 생명공학을 이용 및 응용하는 분야

※ 출처 : McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy: fundamentals, applications and strategies.

- 일반적으로 화이트바이오는 적은 에너지와 깨끗한 에너지를 사용하여 환경적 영향을 줄이고 전반적인 생산비용도 낮추는 지속가능한 자원관리 및 보전을 위한 접근 방식을 가진 기술이며, 일부 응용분야는 미생물 및 효소를 사용하여 산업적으로 유용한 제품을 생산하는 것을 포함

※ 출처 : McCreath & Delgoda. (2017). Pharmacognosy: fundamentals, applications and strategies.

- 국내에서는 화이트바이오는 '10년대 초반 지노믹스(Genomics), 프로테오믹스(Proteomics), 바이오인포메틱스(Bioinformatics) 등의 바이오기술을 기반으로 바이오촉매(효소, 발효미생물 등 생촉매) 및 바이오공정(Bioprocess)을 활용하는 기술로 정의

※ 출처 : 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구.

■ 화이트바이오의 분류 및 범위

○ 화이트바이오 범위는 식물, 미생물, 폐자원 등의 바이오매스를 원료로 젖산, 숙신산, 부탄올 등의 물질과 이를 추가 가공한 섬유, 플라스틱, 바이오연료 등을 포함

※ 출처 : 유거승 등. (2017). 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언.

○ '10년 지식경제부는 국내의 화이트바이오의 범위를 '바이오에너지', '바이오화학', '바이오환경', '바이오화장품' 등 4개 분야로 한정

※ 출처 : 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구.

※ 참조 : Rebouillat, S., & Pla, F. (2016). Recent Strategies for the Development of Biosourced—monomers, Oligomers and Polymers—based Materials: A Review with an Innovation and a Bigger Data Focus. Journal of Biomaterials and Nanobiotechnology, 7(04), 167으로부터 STSI 재구성.

○ '17년 발표된 「제3차 생명공학육성기본계획」에 따르면 화이트바이오 범위는 '바이오화학/에너지', '생물자원관리', '환경바이오' 영역으로 구분

※ 출처 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25).

4절. 그린·화이트바이오 기술개발의 정의 및 범위

■ 그린·화이트바이오 기술개발의 정의(안)

◆ **그린·화이트바이오 기술개발**은 ‘그린바이오 분야*와 화이트바이오 분야**의 원천기술을 개발하는 것’을 의미

- * 지구온난화, 자원고갈 등 환경변화에 대응하여 생물자원 및 생물공학 기술을 활용해 안전한 먹거리 공급과 고부가가치 농생명 소재산업을 육성하는 기술분야
- ** 에너지와 소재 등을 생산하고 관련 산업과 서비스를 창출하는 기술분야

■ 그린·화이트바이오 기술개발의 범위(안)

○ 그린·화이트바이오 분야 기술개발범위(안)은 「제3차 생명공학육성기본계획」을 기반으로 기술개발 범위 도출

- 기본계획 상의 그린바이오 9개 영역*, 화이트바이오 9개 영역**은 상동 분야 간(그린바이오 ↔화이트바이오) 및 동 분야 간(그린바이오↔그린바이오, 화이트바이오↔화이트바이오) 중복영역을 조정하여 본 기술개발사업의 범위를 도출

- * 식량자원생산, 생명자원생산, 환경친화적 생산, 농산물 신소재 산업화, 고부가 식품산업 육성, 첨단 융복합화, 맞춤형 기능성 식품, 웰빙농업 & 글로벌식품 브랜드화, 먹거리 안전 및 소비자신뢰
- ** 바이오 화학소재, 고분자 소재, 생리활성 소재, 육해상 바이오매스 활용, 폐기물 활용, 육해상 생물자원, LMO 자원, 환경관리 소재발굴, 환경관리 및 생태계 복원

주) 화살표는 상호 영역 간 중복 및 연관성이 높음을 의미

※ 출처 : 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'25)으로부터 각 세부기술영역 도출.

○ 그린바이오 분야의 기술개발범위는 ‘식량생명자원생산’, ‘환경친화적생산’, ‘고부가 식품산업 육성’, ‘첨단 융복합화’, ‘맞춤형 기능성 식품’, ‘먹거리 안전 및 소비자 신뢰’ 등 6개 영역으로 구분

- (식량생명자원생산) 가축 및 작물 생산과 관리, 사료 및 비료 개발 등 식량 및 생명자원

의 생산과 관리에 관한 기술 개발의 영역

- (환경친화적 생산) 기후변화 대응, 토양환경 유지·보전, 항균·방충·제조 등의 병해충 관리, 생물농약, 작물보호제, 도시농업 및 도시녹화 등 환경 보존적이고 친환경적인 기술 개발의 영역
- (고부가 식품산업 육성) 웰빙·전통·발효·힐링·글로벌식품 생산, 천연조미·감미 등 식품의 고급화 및 고부가가치화와 관련된 소재나 물질을 개발하는 기술의 영역
- (첨단 융복합화) 스마트팜, 첨단시설농업, 정밀농업, ICT 융복합 등 최신 첨단 기술과의 융합과 관련된 기술개발의 영역
- (맞춤형 기능성 식품) 뷰티 식품, 건강기능성 식품 등 개인 맞춤형 식품 등을 개발하는 기술의 영역
- (먹거리 안전 및 소비자 신뢰) 동·식물의 박테리아 및 바이러스 등의 질병 예방·관리·치료, 동·식물 의약품·백신, 식량·식품의 저장·유통·포장, 식품 품질 및 안전관리, 원산지 판별 등 소비자의 안전과 위해요소의 관리와 관련된 기술을 개발하는 영역

○ 화이트바이오 분야의 기술개발범위는 ‘바이오화학/바이오고분자 소재’, ‘생리활성 소재’, ‘바이오에너지’, ‘폐기물활용’, ‘생물자원 관리’, ‘생물자원 개량’, ‘환경관리’, ‘생태계복원’ 등 8개 영역으로 구분

- (바이오화학/바이오고분자 소재) 바이오플라스틱, 바이오폴리머, 바이오필름, 바이오 유래 고분자 화합물, 신소재 등의 기존의 석유 유래 화학제품 및 산업원료를 대체하는 제품을 생산하는 기술 영역
- (생리활성 소재) 항산화 물질, 항생 물질, 노화방지, 화장품, 피부, 미용, 의약 물질 등 건강 및 생리활성과 관련된 기초물질 또는 제품을 생산하는 기술 영역
- (바이오에너지) 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 등 비식용성 농림축산 바이오매스를 활용하여 에너지를 생산하는 기술 영역
- (폐기물활용) 생활폐기물, 음식물쓰레기, 농림축산 부산물, 폐목재 등 폐기물로 분류되는 바이오매스 등을 활용하여 에너지화하거나 새로운 제품으로 재생산하는 기술 영역
- (생물자원 관리) 농림축산 생물자원 및 미생물자원 등의 유전체의 기능을 규명하고, 새로운 유전·생명자원을 탐색하거나 재래·멸종위기 생물을 보존 관리하는 기술을 개발하는 영역
- (생물자원 개량) 분자육종 및 유전자편집 등을 통해 GMO, LMO 등의 유전자변형생물체를 생산하거나 이에 대한 안정성을 확보하고 관리하는 기술을 개발하는 영역
- (환경관리) 환경지표종, 오염지표, 바이오센서 등을 통해 환경의 위해성과 오염을 모니터링하고 관리하는 기술을 개발하는 영역
- (생태계복원) 오염되거나 훼손된 환경 또는 생태계를 복원하거나 기존의 환경과 생태계를 보존하고 건강성을 유지·회복시키는 기술을 개발하는 영역

5절. 그린·화이트바이오 기술의 활용범위 및 기술개발 단계

■ 그린·화이트바이오 기술의 활용범위

- 그린·화이트바이오 기술개발사업을 통해 확보될 그린·화이트바이오 분야 원천기술은 다양한 제품개발 및 산업에 범용적 활용이 가능
 - 그린·화이트바이오 원천기술³⁾(또는 플랫폼기술)은 응용단계의 산업기술⁴⁾에 범용적으로 적용이 가능하며, 이후 산업기술과 함께 활용되어 특정 전략제품 및 서비스를 생산함으로써 그린·화이트바이오 분야 부가가치를 창출하는데 핵심적인 역할이 가능

주) 굵은 글씨는 중복 조정 및 기술명칭이 변경된 영역을 의미

3) 원천기술이란 기초과학을 바탕으로 향후 제품이나 서비스를 개발하는데 필수불가결한 독창적 기술로서 지속적으로 부가가치를 창출하고 다양한 기술분야에 응용이 가능한 미래선도형 기술

4) 산업기술이란 「산업발전법」 따른 산업, 「광업법」에 따른 광업, 「에너지법」에 따른 에너지와 관련한 산업, 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법」에 따른 신에너지 및 재생에너지와 관련한 산업의 발전에 관련된 기술

■ 그린·화이트바이오 분야 기술개발 단계

- 그린·화이트바이오 기술개발사업은 과학기술정보통신부의 연구개발 목적 수준에 맞추어 기술 성숙도(TRL, Technology readiness Level)를 설정
 - 그린·화이트바이오의 기술개발단계는 핵심·원천기술 개발단계 수준인 실험실 규모의 기본 성능 검증(TRL 3)에서 초기 시작품 제작(TRL 4.5) 수준으로 설정

제3장. 그린·화이트바이오 대내·외 환경분석

1절. 환경분석 개요

■ ‘그린·화이트바이오 연구개발’ 사업 중점기술분야 도출을 위하여 그린·화이트바이오 분야의 메가트렌드 분석 및 정책, 경제, 사회, 기술 환경분석(PEST) 실시

- 메가트렌드 분석
 - STEEP 분석의 방법을 통하여 그린·화이트바이오와 관련한 거시적 환경변화 및 메가트렌드 조사·분석
- 환경분석(PEST)
 - 그린·화이트바이오 분야의 정책적(P), 경제적(E), 사회적(S), 기술적(T)인 대·내외 환경 분석을 통하여 주요이슈 및 시사점 도출

<표 3-1> 환경분석(PEST) 개요

2절. 메가트랜드 분석

※ 그린·화이트바이오 미래수요기술조사를 위해 현재의 다양한 모습에서 기인하는 미래상과 국민이 희망하는 모습들을 고려한 미래의 트렌드 분석 필요

1. 메가트랜드 분석 개요

■ 메가트랜드 분석 프로세스

- 그린·화이트바이오와 관련한 거시적 환경변화를 파악하기 위한 메가트랜드 분석은 1) STEEP 분석, 2) 주요이슈 도출, 3) 주요이슈별 세부내용 조사·분석의 프로세스에 따라 실시
- (STEEP 분석) 다양한 미래전망 보고서 및 인터넷 자료조사 등을 통해 사회(Social), 기술(Technological), 경제(Economic), 환경(Environmental), 정치/정책(Political) 관점의 거시환경 이슈를 도출
- (그린·화이트바이오 주요이슈 도출) STEEP 분석을 통해 도출된 다양한 미래사회 환경변화 내용을 구조화하여 그린·화이트바이오와 가장 관련성이 높은 주요이슈를 도출
 - 그린·화이트바이오와 관련된 ‘기회, 위협, 영향, 해결해야 할 문제’ 등을 조사하고 조사된 내용으로부터 공통적으로 나타나고 있는 주요이슈를 도출
- (주요이슈별 세부내용 조사·분석) 그린·화이트바이오 관련 주요이슈에 대한 세부적인 환경변화와 이슈들을 문헌 및 인터넷 자료 등을 수집하여 조사분석

[그림 3-1] 메가트랜드 분석 프로세스



- 조사·분석 결과는 거시적 환경변화 측면에서 그린·화이트바이오의 필요성을 입증한다는 데에 의의가 있을 뿐만 아니라, 그린·화이트바이오 분야의 기술수요를 발굴하기 위한 기초 자료로 활용

■ 메가트랜드 도출 방법

- 메가트랜드는 기존 국내 미래사회환경과 미래기술수요 등을 예측한 다양한 보고서들을 참고하여 그린·화이트바이오 분야와 연관된 주요이슈들을 정리하여 도출

<표 3-2> 그린·화이트바이오 분야 메가트랜드 도출을 위해 활용한 참고자료

보고서명	작성기관	조사기법	발행년도	예측년도

2. STEEP 분석

■ STEEP 분석을 통해 사회(Social), 기술(Technological), 경제(Economic), 환경(Environmental), 정치/정책(Political) 관점의 거시환경 이슈 도출

- ‘4차 산업혁명의 원동력인 미래소재 원천기술 확보전략’에서 나타나고 있는 메가트랜드 및 주요내용

STEEP	메가트랜드	주요내용

※ 참조 : 과학기술정보통신부. (2018). ‘4차 산업혁명의 원동력인 미래소재 원천기술 확보전략’으로부터 STSI 재구성

STEEP 구분	메가트렌드	트렌드	주요내용

※ 출처 : 한국과학기술기획평가원, (2012), 제4회 과학기술예측조사 2012~2035로부터 STSI 재구성

○ 농산업 분야에서의 나타나고 있는 메가트렌드 및 주요내용

STEEP 구분	메가트렌드	주요내용

※ 출처 : 과학기술정책연구원. (2010). '농산업 R&D투자/생산성 국제비교 및 포트폴리오 분석'으로부터 STSI 재구성

○ '한국사회의 15대 메가트렌드'에서 나타나고 있는 메가트렌드 및 주요내용

STEEP 구분	메가트렌드	주요내용

※ 출처 : 한국정보화진흥원. (2010). '한국사회의 15대 메가트렌드'로부터 STSI 재구성

3. 그린·화이트바이오 주요이슈 도출

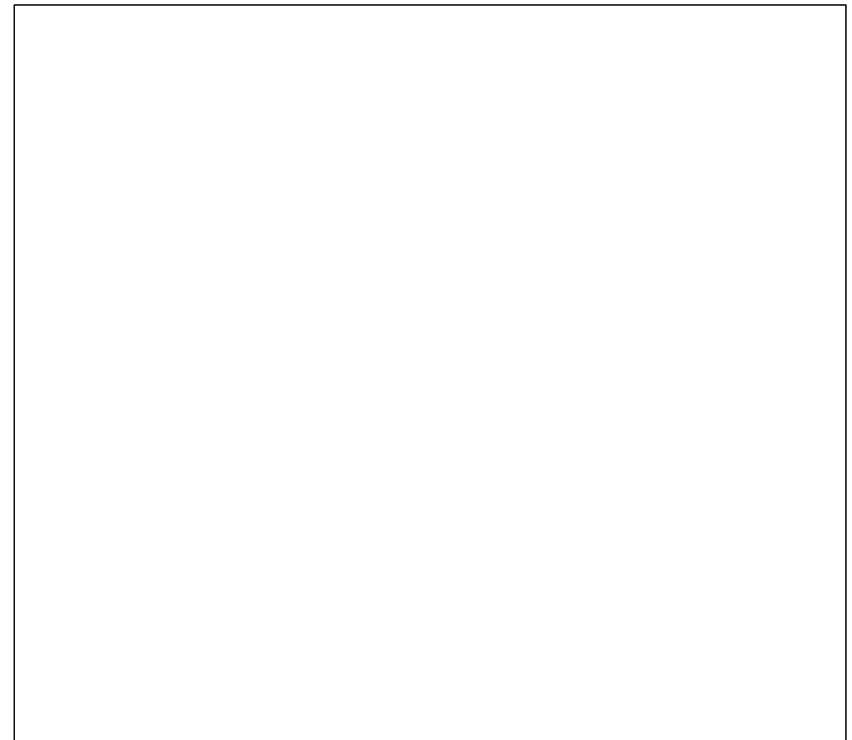
■ STEEP 분석에 따른 그린·화이트바이오 분야의 메가트렌드를 도출하고 주요이슈 및 핵심 문제 도출

<표 3-3> STEEP 분석에 따른 그린·화이트바이오 분야 주요이슈

구분	메가트렌드	주요이슈

- 도출된 메가트렌드에 따라 발생할 것으로 예상되는 역기능이나 쟁점 또는 현상을 예측하여 핵심문제 도출
 - 5개 영역(사회, 기술, 경제, 환경, 정치) 14개의 메가트렌드를 분석하고 이슈 주제, 이슈 사항 등에 대한 유사성을 고려하여 그룹화 진행
 - 그룹화 된 주요 트렌드의 속성으로 예상되는 핵심문제를 도출
 - 그린·화이트바이오의 메가트렌드에 따른 핵심문제는 1) 친환경 신소재 개발 및 보급, 2) 농식품의 안정적 대량생산, 3) 기후변화 및 환경문제 대응, 4) 기술의 발달 및 융복합화, 5) 지속가능한 신재생에너지원 확보로 나타남

[그림 3-2] 그린·화이트바이오 분야 14대 메가트렌드와 핵심문제 간의 관계

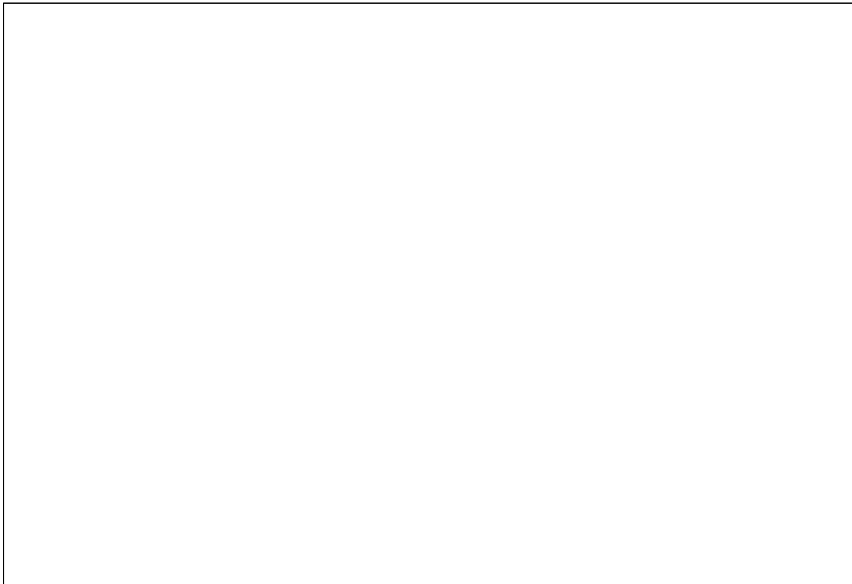


- 그린바이오 및 화이트바이오 분야의 주요이슈
 - 그린바이오 분야에서 나타나고 있는 주요이슈는 1) 친환경 신소재 개발 및 보급, 2) 농식품의 안정적 대량 생산, 3) 기후변화 및 환경문제 대응, 4) 기술의 발달 및 융복합화
 - 화이트바이오 분야에서 나타나고 있는 주요이슈는 1) 친환경 신소재 개발 및 보급, 2) 기후변화 및 환경문제 대응, 3) 기술의 발달 및 융복합화, 4) 지속가능한 신재생에너지원 확보

보

- 그린 및 화이트바이오 두 분야에서 공통으로 나타나고 있는 주요이슈는 1) 친환경 신소재 개발 및 보급, 2) 기후변화 및 환경문제 대응, 3) 기술의 발달 및 융복합화로 나타남

[그림 3-3] 그린바이오 및 화이트바이오 분야의 주요이슈



4. 그린·화이트바이오 주요이슈

가. 그린바이오 주요이슈별 세부내용

(1) 친환경 신소재 개발 및 보급

■ 거시환경 변화

- 지속가능한 환경친화적 농업기술 개발 필요성 대두
 - 병해충 증가, 작물의 약제저항성, 사람에 대한 안전성, 환경오염 등의 다양한 사회적 문제의 증가로 작물보호제 등의 개발에 대한 새로운 패러다임 적용 필요성 증가
 - 화학농약 사용 규제와 환경친화적 농산물에 대한 수요 증가에 따라 미생물농약·비료 등의 기술 개발 요구 강화

※ 출처 : Sara Olson. (2015). An Analysis of the Biopesticide Market Now and Where it is Going.

■ 주요 트렌드

- 환경오염 저감 및 지속가능한 생태보전 농산업 구현
 - 농업환경, 토양환경 보호 등 환경에 대한 관심 증가에 따라 농식품 전반에 걸친 친환경 소재 적용 및 활용 증가
 - 합성농약 사용량 절감을 통한 토양 및 환경오염 저감 노력 확대
- 친환경 작물 생산 및 바이오 작물보호제 개발
 - 합성농약의 사용량 감축 및 사용을 규제하는 OECD 친환경 농업정책에 따라 바이오 작물보호제 개발추세 증가
 - 화학 작물보호제 대체 바이오 작물보호제 개발을 통한 높은 방제효과 구현 노력 증대
 - Chemosensitization(화학감작⁵⁾화) 기반 천연 작물보호제 선도소재와 미생물 라이브러리 구축, 미생물 및 천연물 대사체 기반 구조 최적화를 통한 선도물질 도출 필요성 증가

5) 감작이란 항원(抗原)을 생체(生體)에 투여하여 항체(抗體)를 생산시키는 유도작용을 말하며, 생물학에서는 광의(廣義)로 생체에 어떤 종류의 호르몬을 투여하거나 특정한 신경을 절단하는 등 실험적 조작을 하여 어떤 반응성을 증대시키는 것을 의미

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 바이오 작물보호제 분야 등 친환경 혁신 소재기술의 개발
 - 기존 화학 작물보호제 대비 사용량 절감에도 유사한 효능을 나타내는 시너지 물질 및 천연물 소재의 개발
 - 새로운 작용기전을 갖는 혁신타겟에 기반한 고효율 친환경 작물보호제 원제 개발
 - 바이오 작물보호제 개발을 위한 고효율의 미생물 소재 발굴 기술 및 바이오 작물보호제 제형화 기술 개발
 - 고효율 활성 검증법(High Throughput Screening)을 이용한 천연 라이브러리로부터 제초제, 살충제, 살균제 등의 신규 골격 및 작용기전을 가진 감작작용제 개발
 - 신규 화합물 유도체 간의 구조-활성-독성 관계 기반 고효율·저독성 물질 디자인 및 합성

(2) 농식품의 안정적 대량 생산

■ 거시환경 변화

- 인구증가, 기후변화, 지구온난화 가속으로 전 지구적인 식량문제의 증가
 - 첨단과학기술과 의학의 발전으로 인간의 수명이 연장되고 그로인한 급격한 인구증가로 식량수요의 증가 추세
 - 급격한 지구촌 인구 및 소득 증가에 비례한 식량 수요 증가 대비 생산성의 문제 대두

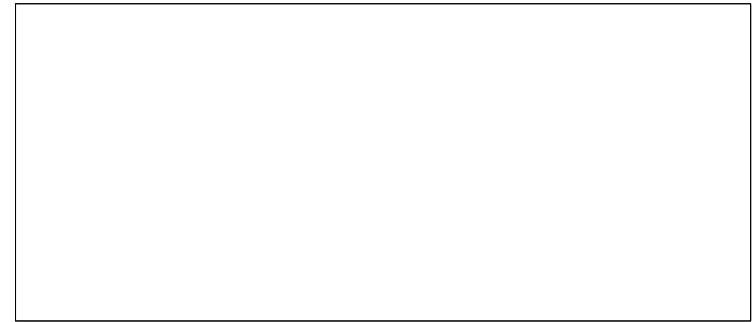
[그림 3-5] 세계 인구증가 전망(좌) 및 세계 식량 수요량 예측(우)

<p>※ 출처 : 유엔 홈페이지 (https://www.un.org).</p>	<p>※ 출처 : 국제식량정책연구소(IFPRI). (2017). 2017년 세계 식량 정책보고서.</p>
--	--

- 생물자원 보호와 확보에 대한 행동 강화
 - 생물다양성협약 부속으로 유전자원에 대한 접근 및 유전자원 이용 이익의 공정하고 공평한 공유에 관한 나고야의정서(Nagoya Protocol) 발효
 - 생물자원 이익공유에 대한 글로벌 규제 강화

- 산업적 글로벌 경쟁력이 뛰어난 고부가가치 생물자원 확보 노력 증가

[그림 3-6] 나고야의정서 발효에 따른 생물자원 로열티 지급 흐름



※ 출처 : 매일경제. (2018.08.15). 천연물질 신약·화장품 ‘로열티 참사’...이익 10% 내줄수도.

■ 주요 트렌드

- 로봇, 스마트제어 등의 IT와 BT를 융합한 고효율 작물생산
 - 식물공장이나 스마트팜을 통한 친환경 작물의 대량 생산기술 개발 및 단위면적당 생산량 증가로 효율성 증진
 - 메타유전체학(Metagenomics), 메타오믹스(Meta-omics) 등의 연구기법을 활용한 식물과 마이크로바이옴의 상호작용 이해 및 이를 정밀농업에 응용할 수 있는 원천기술 개발 추진
- 친환경/안전 동식물 생산 기술 개발
 - 식량자원의 안전하고 안정적 생산 증대를 위해 크리스퍼(CRISPR) 등을 이용한 새로운 유전체 공학기술과 마이크로바이옴, 파이토바이옴 등 미생물 활용에 기반한 생산성 증대 기술의 중요성 부각

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 혁신적 유전체공학 기술 기반의 안전하고 효율적인 식량 생산 기술 개발
 - GMO를 대체할 수 있는 3세대 유전자가위(CRISPR) 기술 등의 유전체공학 기반의 식량자원 생산성 향상기술 개발
 - 동식물 식량자원에 대한 Host-microbiome 상관관계 정보 구축

(3) 기후변화 및 환경문제 대응

■ 거시환경 변화

- 전 지구적 기후변화에 따라 작물 생산성 저해 문제 발생 빈도 증가
 - 기후변화와 지구온난화 가속 등으로 인해 작물의 병·해충 발생 빈도 및 규모가 증가하

고 있고, 신·변종 병원체 출현 빈발 우려

- GMO로 인해 발생 가능한 환경문제에 대한 대응 강화 요구 증가
 - 작물 생산성 증대를 위해 사용하고 있는 GMO에 대한 생태 안전성 및 생태계 위해성에 대한 우려의 지속적 증가
 - GMO가 인체에 미치는 안전성 문제가 아직 불명확한 상황

■ 주요 트렌드

- 농생명 미생물 활용 기술의 적용을 통한 안전하고 고효율의 동식물 생산 추진
 - GMO의 안전성 이슈로 전통적인 유전적 변형 방법 외에 동식물 식량자원의 생산성을 높일 수 있는 새로운 접근 방안을 강구
 - 해충 및 농작물 생산증대를 위한 유전자 변형기술 개발 및 특허 종자 또는 유전자변형 개선 종자 등의 고부가가치 생물자원 탐색
- 비GMO 기술을 활용한 안전한 식량자원 확보 추진
 - CRISPR의 GMO 비포함에 대한 사회적 논의 추진
 - 동식물 식량자원에 대한 Host-microbiome 상관관계 선규명 진행

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 고부가가치, 고품질의 안전한 먹거리 생산을 위한 그린바이오 기술 개발
 - 기후변화 대응을 위한 지속적·다양하고 안전한 신식품종의 육성
 - 전통발효식품의 과학적 기능규명에 의한 고부가가치 유용물질 대량생산

(4) 기술의 발달 및 융복합화

■ 거시환경 변화

- 고부가가치의 혁신적인 농업기술 개발 요구가 증대
 - 지구 온난화, 기후 변화, 경지면적 감소, 물 공급 부족 등으로 작물 수요가 공급을 초과
 - 직면하고 있는 작물의 안정적인 공급문제 해결을 위한 새로운 첨단 기술개발 요구와 첨단 바이오 기술을 접목한 그린바이오 기술 혁신 필요성의 증가

■ 주요 트렌드

- 첨단 친환경 그린바이오 산업구조로의 전환
 - ICT 융복합 기술의 접목으로 정밀농업의 실현과 고부가가치, 고효율, 고품질 농식품산업의 성장
 - 세계경제포럼은 '15년에 도시농업(Urban Farming)을 10대 도시 혁신기술로, '17년에는 정밀농업(Precision Farming)을 10대 유망기술로 선정하며 관련 산업 성장에 주목
- 식물공장 및 스마트팜 등의 IT·BT 융합기술 활용도 증가

- 센서 기술과 카메라 영상기술, 드론 기술, 클라우드와 빅데이터 처리기술, 로봇 및 인공 지능은 세분화된 경작지별 맞춤형 농업이 가능한 시대를 열어 가는 중
- 기존의 식물공장 및 스마트팜 등의 정밀농업을 통해 재배되는 고부가가치 작물에 적용이 가능한 친환경 바이오 작물보호제의 수요가 증가
- 파이토타이름 응용기술을 개발과 지속가능한 식량생산을 위한 농업생태계 복원 및 정밀 농업에 필요한 다양한 기본 정보 및 기술 제공 필요성 증대

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 그린바이오 분야 BT-ICT 첨단융복합 기술의 개발
 - 최첨단 BT-ICT 융복합기술을 활용한 농생명 생육 정밀진단·제어
 - 표준화된 고효율 고부가가치 천연물 및 유용물질 도출

나. 화이트바이오 주요이슈별 세부내용

(1) 친환경 신소재 개발 및 보급

■ 거시환경 변화

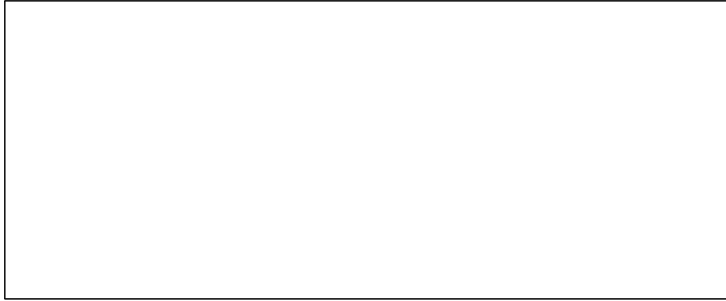
- 케토포비아(Chemophobia) 현상 등 안전(Safety)과 환경(Environment)에 대한 글로벌 위험 인식 증가
 - 자연에는 석유기반 화학물질을 분해하는 반응이 없어 이들 물질들이 생물계를 순환함에 따라 다양한 문제들이 발생하고 사회적 문제로 발전
 - 미세플라스틱 등 석유자원 기반의 기존 비분해성 고분자의 활용은 심각한 환경오염 문제를 유발

※ 출처 : James Kennedy. (2016.08.11). Chemophobia: How We Became Afraid of Chemicals and What to Do About It.

■ 주요 트렌드

- 인체 안전성 문제 해결을 위한 바이오정밀화학 제품 생산기술 개발 추진
 - 보다 친환경적이고 인체에 무해한 화학소재 제품을 생산하기 위한 바이오정밀화학 기술 개발에 집중
 - 화장품 및 유아용 제품에서 발생하는 안전성 문제 해결을 위한 바이오 활용 기술제품 생산 추진

[그림 3-8] 바이오 기술을 이용한 정밀화학제품 생산(예시)



※ 출처 : 김현아 등. (2014). 효모 합성생물학의 최신 연구 동향으로부터 STSI 재구성

- 화이트바이오 분야의 육성 및 발전을 위한 인허가 가이드라인 마련 필요성 증대
 - 미생물 합성생물학 및 유전자편집을 통한 화이트바이오소재(식품, 화장품, 바이오연료) 제조와 관련한 인허가 가이드라인 확보 시급성 증가

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 경제성 및 생분해성이 우수한 바이오플라스틱 생산 및 활용
 - 기존 석유 기반 플라스틱을 대체 할 수 있는 정도의 우수한 기계적 강도와 열적특성을 지닌 산업적 활용도가 우수하면서 시장경쟁력이 우수한 바이오플라스틱(생분해성 플라스틱)의 개발 및 생산

[그림 3-9] 다양한 제품 형태의 바이오플라스틱 시장 현황



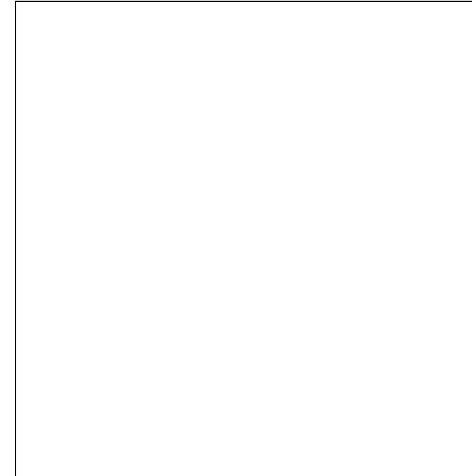
※ 출처 : FNR. (2016). BIOPLASTICS.

(2) 기후변화 및 환경문제 대응

■ 거시환경 변화

- 온실가스 고도배출 및 미세먼지 농도 증가 등 기후변화 및 대기오염 문제 심화
 - 석유자원 기반의 에너지, 탄소소비가 급증함에 따라 대기 중 이산화탄소 등 온실가스의 급격한 증가로 전 지구적 지구온난화 현상이 심화
 - 미세먼지 발생이 심화됨에 따라 국민의 건강과 안전에 심각한 사회적 문제유발

[그림 3-10] 초미세먼지 고농도 일수 현황



※ 출처 : 동아일보. (2018.03.27). 축사 물린 익산 '나쁨' 年68일 최다... 공장 많은 평택 年60일.

■ 주요 트렌드

- 환경적인 법적(Legislation) 규제(Regulation)의 강화
 - 국내·외적인 환경규제의 강화로 인하여 화장품, 생활용품, 식품, 농업제품 분야 등에서 친환경 산업구조로의 변화 모색
 - 천연(Natural)/친환경(Eco-friendly) 소재 생산 및 활용기술 개발과 이를 활용한 제품 비중의 확대
- 천연/친환경 산업구조로 개편
 - 바이오화학 제품의 친환경성과 경제성 확보를 위한 바이오기업과 화학기업 간의 긴밀한 협조와 연계의 필요성 증가

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 다양한 천연/친환경 생물화학소재 및 활용기술 개발
 - 천연/친환경 생물화학소재 기술의 적용 확대를 통해 환경오염 대응 및 인체 안전성 확보
 - 화장품 및 생활용품 등에서 천연/친환경 제품 개발을 통한 국내 후방산업 경쟁력 강화

(3) 기술의 발달 및 융복합화

■ 거시환경 변화

- 새로운 혁신을 추구하는 4차 산업의 부각
 - 사회 발전을 결정하는 지표가 인공지능, 바이오 등의 지식과 사물의 통합기술로 변화하면서 4차 산업혁명에 부합하는 혁신요소 발굴 전략에 대한 요구 증가
 - 거대 화학기업과 기술력을 보유한 바이오기업의 합병을 통한 조인트벤처(Joint Venture) 설립 활발

■ 주요 트렌드

- 화이트바이오를 위한 IT 융합기술이 부각
 - 자동화로봇, 인공지능, 바이오 등 근연성이 떨어지던 분야가 합성생물학 등 새로운 영역에서 급속하게 시너지를 유발 중
 - 실리콘 벨리에 위치한 AI기업들의 '18년 최대 투자처는 자동화와 유전자합성을 결합한 분야
- 바이오산업과 IT 산업 연계의 강화 요구
 - 미국 실리콘벨리의 사례(예: Zymergen, Ginkho)와 같이 바이오산업 경쟁력 확보를 위한 IT 산업과의 연계 및 바이오융합기업 지원전략의 필요성 증가
- 합성생물학 적용 확대
 - 유전체 합성생물학, 유전자가위 등 신기술의 적용이 가능해짐에 따라 미생물 발효기술에 의존했던 기존 화이트바이오의 적용범위가 확대되고 새로운 가능성이 부각되는 추세
 - 에너지(예: 저탄소 연료), 화학제품 등 다양한 분야에서 합성생물학 활용과유전자편집 및 DIY 트렌드가 부상

[그림 3-11] 합성생물학의 적용 분야 및 시장 전망

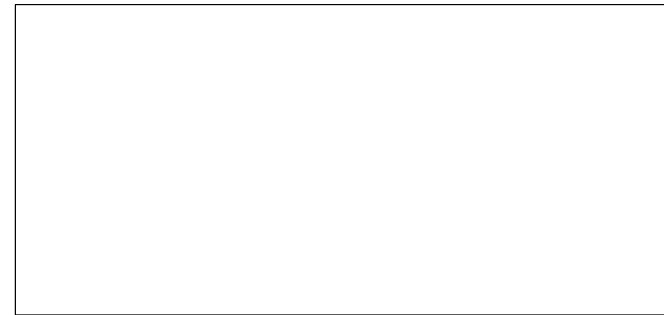


※ 출처 : Pintels 홈페이지(<http://www.pintels.com>).

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 생물유전자 설계에서 생물분자 구축, 특성 평가까지 자동화 처리가 가능한 바이오파운드리 구축
 - 인공 유전체, 유전자 회로/대사, 표준화 구축 등을 통하여 국내 합성생물학을 육성하기 위한 바이오파운드리 구축 및 활용전략 필요

[그림 3-12] 미국국방성 DARPA의 바이오파운드리 구축전략



(4) 지속가능한 신재생에너지원 확보

■ 거시환경 변화

- 글로벌 저탄소·친환경 패러다임 확산
 - 전 국가적인 탄소 저감에 대한 공동대응과 노력에 적극적 참여기조 확산
 - 전통적 고탄소 배출 산업 구조로부터 저탄소 산업구조로의 전환 추진

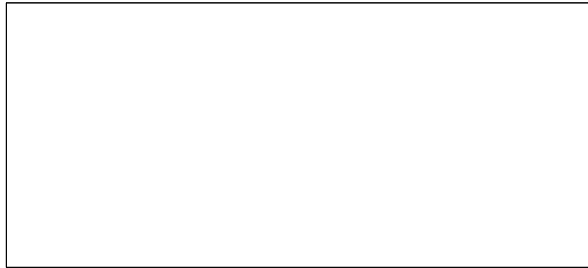
■ 주요 트렌드

- 바이오공정을 통한 화학소재, 연료 생산 산업의 빠른 성장
 - 석유기반 플라스틱 사용량은 줄이고 생분해 바이오매스 자원을 활용한 플라스틱 제품 제조 증가
 - 바이오매스로부터 다양한 소재(바이오플라스틱, 바이오 정밀화학 소재, 바이오에너지 소재 등) 생산이 가능한 효소 및 대사공학 기반 기술개발 노력 증가
- 바이오화학 산업 가치사슬 내 연계 기술 개발 필요성의 증대
 - 바이오화학산업 전반의 가치사슬을 이해하여 제품 생산에 고려해야 할 현실적인 문제들을 찾아내어 경제성이 확보되는 제품의 생산을 통해 바이오화학산업의 육성 필요성 증가

■ 기술개발 니즈(Needs)

- 화이트바이오 가치사슬 내 제품생산성 향상을 위한 융합프로세스 기술의 개발
 - 화학-생물-ICT 융합 공정기술을 활용한 표준화된 신규 고효율 고품가치 소재(연료)기술 개발
 - 고품가치의 천연소재 개발을 위한 유전체 설계, 합성 및 효소/대사공학 기술 개발

[그림 3-13] 바이오화학산업 가치사슬



3절. 정책적 환경분석

1. 국외

가. 그린바이오

(1) 미국

■ 바이오경제 실현을 위한 ‘국가 바이오경제 청사진’ 발표

- '12년 4월 미 행정부는 ‘국가 바이오경제 청사진’을 발표하고, 미국 바이오경제의 완전한 잠재력을 실현시키기 위해 연구개발 역량강화 등 5대 전략 목표를 제시
 - (연구개발 역량 강화) 정부 투자를 통해 바이오분야의 시장 실패를 극복하고, 미래 미국 바이오경제의 토대를 제공할 R&D투자를 지원
 - (연구결과의 상업화 촉진) 바이오 연구결과의 시장 전환을 촉진하고 이를 위해 중개과학 및 규제과학에 대한 초점을 강화
 - (규제 완화) 인간 건강 및 환경 보호, 장애물 축소, 규제 과정의 속도 및 예측가능성 증진, 비용 절감 등을 위한 규제 개발과 개혁
 - (바이오 경제를 위한 인력 개발) 교육 프로그램의 업데이트, 국가의 인력 요구에 대한 학생 교육에 맞추어 대학의 인센티브 조정
 - (파트너십 촉진) 공공-민간 파트너십 및 경쟁이전 협력 개발을 위한 기회 파악과 지원 : 자원, 지식 및 전문기술 풀링(pooling)

※ 출처 : 한국산업기술진흥원. (2013). 미국의 바이오 산업 현황 및 정책 동향.

■ 미 국방부 산하의 고등방위연구계획국(DARPA)은 합성생물학 연구에 적극적인 투자 확대 추진

- '12년부터 미국 합성생물학 분야 연구투자를 담당해온 고등방위연구계획국은 합성생물학 연구에 대한 투자 비중을 확대 중
 - '14년 고등방위연구계획국은 연간 예산의 10%에 해당하는 1.1억 달러(약 1,251억 원)를 합성생물학 연구*에 투자

* 미생물 개량 및 식물기반 센서, 유전자드라이브(Gene Drive) 등에 투자

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.

■ 농수산물 수출 보호를 위한 동·식물 질병 진단 및 전염 방지를 위한 프로그램 운영 지원

- '16년 미국 동물검역소(Animal and Plant Health Inspection Service, APHIS)는 질병 진단과 전염 방지 프로그램 운영에 8억 5,000만 달러 투자
- '16년 미국 농업연구청(Agricultural Research Service, ARS)은 동물원성 질병위험 감소와 축산물 안정성 향상을 위한 연구 프로그램에 약 11억 달러를 투자

※ 출처 : 농림축산식품기술기획평가원. (2017). 가축질병대응기술개발 현황 및 관련 분야 R&D 동향.

(2) 영국

■ '12년 「합성생물학 발전 로드맵」을 제시하고 관련 인프라 및 R&D 투자에 박차

- 영국생물학연구협회(BBSRC)는 10대 연구투자 분야 중 첫 번째로 합성생물학을 선정하고, '05년부터 '12년까지 1,000억 원 이상 과제를 지원
 - '13년 영국 8대 미래기술 중 하나로 합성생물학이 선정되어 대규모 투자가 이루어지는 중

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.

■ 화석원료의 생물학적 원료로의 전환을 추진하는 「2018~2030 바이오경제 전략」 발표

- 기존의 화석원료를 재생 가능한 생물학적 자원으로 대체함으로써 상품, 생산과정, 서비스에서 생명과학의 힘을 동력으로 활용하는 바이오경제 전략 추진
 - 영국 바이오경제 규모는 220십억 파운드이며, 총 5.2백만 개의 일자리를 창출할 예정
- 바이오경제 전략에서 추구하는 4가지 목표
 - 현재 영국의 바이오 경제자산의 생산성을 극대화하고 그 잠재력을 최대한 활용
 - 새로운 바이오 기반 상품과 서비스가 번성할 수 있는 사회·시장적 환경 마련
 - 영국의 우수한 연구·개발·혁신의 기반을 바이오경제 성장에 활용
 - 영국경제에 실질적이며 측정 가능한 혜택 제공

※ 출처 : UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2018). Growing the Bioeconomy : A National Bioeconomy Strategy to 2030.

(3) 독일

■ 연방정부 차원의 바이오산업 성장 전략 수립 추진

- 독일은 연방정부 차원에서 바이오산업 성장을 위한 지원을 강화하기 위해 「Bio industrie 2021」 전략을 수립
 - 독일은 「Bio industrie 2021」을 통해 10억 유로의 R&D 투자를 시행
 - 대학 연구소 및 기업의 공동 투자를 통해 산업용 바이오테크놀로지 분야에 현존하는 지식을 상품 및 서비스로 전환할 수 있는 기회 제공

※ 출처 : 한국산업기술진흥원. (2013). 미국의 바이오 산업 현황 및 정책 동향.

(4) 일본

■ 바이오 기술을 중심으로 한 5차 산업혁명 대응전략 모색

- '16년 일본 경제산업성 산하 산업구조심의회는 바이오산업이 의료, 에너지, 제조, 농업 등 다양한 분야와의 융합을 통해 혁신을 일으킬 것으로 예측하고 관련 산업에 대한 중장기

대책을 논의

- 염기서열을 분석하는 'DNA 시퀀싱 기술', 생물정보를 해석하고 생물기능을 디자인하는 'IT·AI 기술', 새로운 생물기능을 실현하는 '게놈편집 기술'에 주목

- '18년 7월 일본의 과학기술정책을 총괄하는 종합과학기술·이노베이션 회의의 '전략적 혁신 창조 프로그램(SIP)'에서는 바이오·디지털 융합을 기초로 혁신 기반을 구축하는 것을 목표로 설정

※ 출처 : 이에원. (2018). 바이오 기술 주도의 5차 산업혁명을 준비하는 일본의 전략.

나. 화이트바이오

(1) 미국

■ 「Technology Vision 2020」을 통하여 중장기 화학원료 사용량 감축 및 바이오화학 육성계획 추진

- '96년 미국 정부는 「Technology Vision 2020」을 발표하고, '20년까지 미국 내 화학원료 사용량의 20% 감축, '50년까지 50%까지 감축 목표를 수립
 - 「Technology Vision 2020」에 기초하여 '00년 연방정부는 '바이오매스 연구개발 육성법'을 제정하고 자금지원, 세제지원, 공공기관 우선구매, 바이오기술 개발 자금지원 근거, 산업바이오 인증제도, 전담기관 설립 및 지원조직 구성의 근거를 마련
 - 현재 연구개발에서부터 연구성과 제품화까지의 세부전략을 수립하여 보조금과 대출 형태로 지원 중
 - 미국 농무부(USDA)는 바이오 우선사용(BioPreferred) 프로그램을 운영하여 연방정부 기관에 바이오제품 우선조달을 적용하고 소비자 마케팅 측면에서 인증 라벨 부착으로 바이오제품 소비 촉진을 유도

※ 출처 : 산업연구원. (2015). 신성장동력으로서의 바이오화학산업의 정책과제.

(2) 유럽(EU)

■ '08년 유럽집행위원회(EC; European Commission)는 「선도시장전략(LMI; Lead Market Initiative)」에서 6대 선도시장 중 하나로 바이오기반 제품 시장을 포함

- 「선도시장전략(LMI)」에서 바이오기반 제품 시장의 진흥·육성을 위한 주요 내용은 다음과 같음
 - ① 환경·안전 관련 법령을 정비, ② 회원국 간 표준·라벨링·인증제도 조화, ③ 친환경 제품에 대한 공공조달 확대
 - 그 외에도 'CIP(경쟁혁신 프로그램)', 'FP7(Framework Programme 7; 유럽연구개발 지원프로그램)'을 통해 바이오기반 제품의 연구개발을 지원 중

※ 출처 : 박경문. (2011). 바이오화학산업의 현황과 전망. KEIT PD ISSUE REPORT Vol 6.

■ 각국은 최근 심각한 환경오염의 원인으로 지목되는 플라스틱 폐기물 문제를 해결하기 위한 대안으로 바이오 플라스틱* 개발·사용을 장려

* 바이오매스와 같은 생물자원을 원료로 하여 제조하는 고분자 플라스틱

○ 친환경 바이오 플라스틱의 보급을 원활하게 하기 위하여 각국에서는 난분해 플라스틱에 대한 사용 규제와 더불어 바이오 플라스틱의 식별표시 제도를 운영하고 인증마크를 부여

- 생분해 플라스틱* 식별표시 제도는 '79년 독일에서 처음으로 시행한 이래 많은 국가에서 시행 중

* Biodegradable Plastics, 옥수수 등 식물로부터 유래하는 바이오매스를 70% 이상 함유한 바이오 플라스틱

- 바이오 베이스 플라스틱*과 산화생분해 플라스틱**은 그 역사가 짧아 인증 제도를 시행하고 있는 국가가 상대적으로 적은 편이지만 빠른 속도로 확산 중

* (Bio Based Plastic) 식물체, 해조류 등 탄소중립형 바이오매스 유래 원료를 사용하여, 생분해 플라스틱보다는 이산화탄소 저감에 중점을 두고 있는 바이오 플라스틱

** (Oxo-Bio Degradable Plastics) 공기와 햇빛에 의해 1차로 분해되고, 땅에 묻으면 2차로 분해되는 바이오 플라스틱이며, 식물체 유래 물질 등을 이용하여 제조

※ 출처 : 유영선. (2016). 국내의 산화생분해 플라스틱 인증 라벨 및 제품 동향. 포장계 통권 276호.

(3) 일본

■ 바이오매스 원료 부문에서부터 바이오 플라스틱 연구개발까지 폭넓은 정책 추진

○ 일본 정부는 '02년 12월 중장기 계획인 「바이오테크놀로지 전략 대강(大綱)」과 「바이오매스 닛폰(日本)종합 전략」을 발표

- 두 전략은 생명공학기술(BT)을 활용해 바이오매스 이용을 촉진하고 화석자원 소비를 감소시켜 지구온난화를 완화하는 것이 목표

○ 일본 농림수산성은 원활한 바이오매스 원료확보를 위해 '08년부터 '동아시아 바이오매스 타운 조성'사업을 진행해 오고 있으며, 최근에는 태국, 베트남, 말레이시아, 인도네시아에 바이오매스 타운을 조성

○ '09년 「바이오매스활용추진기본법」을 제정하고 이를 근거로 '10년에는 「바이오매스활용추진 기본계획」을 발표

- 「바이오매스활용추진 기본계획」은 바이오매스 활용을 통해 바이오 플라스틱의 개발·보급을 촉진하는 것으로, 바이오매스 제품 보급을 추진하기 위한 민간단체인 '일본 바이오매스 제품협의회'를 발족

※ 출처 : 산업연구원. (2015). 신성장동력으로서의 바이오화학산업의 정책과제.

■ '18년 일본 환경부는 '30년까지 바이오 플라스틱 출하량 50배 증가를 목표로 제시

○ G7 환경해양 에너지 장관회의에서 일본은 바이오플라스틱의 연간 생산량을 '30년까지 197만 톤으로 늘리는 계획 발표

- 일본 바이오플라스틱협회에 따르면 '17년 바이오플라스틱 생산량은 약 4만 톤

- 환경부는 생분해성 플라스틱 보급을 위해 기업에 연구 개발을 위탁하는 신규 사업을 계획하

고 있으며 내년도 예산에서 해당 사업에 약 50억 엔을 배정

※ 출처 : 이예원. (2018). 바이오 기술 주도의 5차 산업혁명을 준비하는 일본의 전략.

(4) 중국

■ 바이오화학 진흥을 위한 체계적인 바이오화학 육성정책 수립

○ 중국 정부는 12차 5개년계획에서 바이오화학 산업의 진흥에 3,100억 달러를 투입하기로 결정

- 바이오화학 육성정책을 통하여 탄소 저감을 목표로 생분해성 플라스틱에 연구개발이 지원

- 중국 과학아카데미의 물리화학연구소, 칭화(淸華)대학, 쓰촨(四川)대학 등의 기관이 PLA(Poly Lactic Acid) 개발연구에 동참

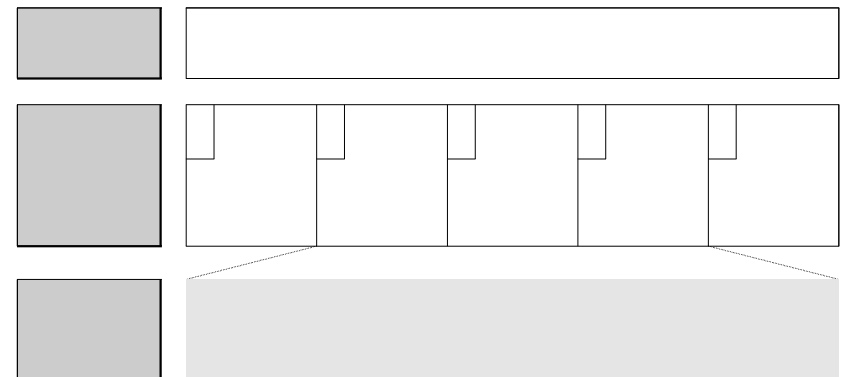
※ 출처 : 산업연구원. (2015). 신성장동력으로서의 바이오화학산업의 정책과제.

2. 국내

■ 문재인 정부는 「10대 국정과제」에서 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 통해 더불어 잘사는 경제 구축 목표를 설정

○ 문재인 정부는 '국민의 나라 정의로운 대한민국'이라는 비전 달성을 위해 '더불어 잘사는 경제'를 5대 국정목표 중 하나로 설정하고 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명을 20대 전략으로 수립

[그림 3-14] 문재인 정부의 국정목표



※ 출처 : 국정기획자문위원회. (2017). 문재인정부 국정운영 5개년 계획.

○ 전략 2-④ 과학기술 발전이 선도하는 4차 산업혁명

[국정과제 ④] 고부가가치 창출 미래형 신산업 발굴 육성]

- 제조경쟁력과 ICT, 서비스 등의 융합을 통해 바이오분야 미래 신산업 육성

[국정과제 ⑦] 친환경 미래 에너지 발굴·육성]

- 재생에너지 발전 비중을 '30년 20%로 대폭 확대
- 에너지 신산업 선도국가 도약 및 저탄소·고효율구조로 전환
- 전략 3-③ 국민안전과 생명을 지키는 안심사화
 - [국정과제 ⑧ 미세먼지 걱정 없는 쾌적한 대기환경 조성]
 - 미세먼지 발생량을 임기 내 30% 감축하고 민감계층 적극 보호
 - (발전·산업부문 감축) 석탄발전 축소, 사업장 배출규제 강화
- 전략 4-③ 사람이 돌아오는 농산어촌
 - [국정과제 ⑩ 지속가능한 농식품 산업 기반 조성]
 - 환경 친화적이고 스마트한 농식품산업 확산 및 먹거리 종합계획 수립
 - (환경친화형 농축산업) '22년까지 6차산업형 친환경농업지구 100개소 조성 등 친환경·동물복지 농축산업 확산
 - (스마트 농업) '22년까지 스마트팜 시설원에 7천ha, 축산 5천호 보급 및 관련 R&D 투자 확대
 - (품질좋은 먹거리 공급) '18년 국가 및 지역단위 푸드플랜 수립
- 「제4차 국가과학기술기본계획('18~'22)」에서는 신재생에너지 및 에너지 저장기술의 고도화, 바이오매스의 자원화, 농림·축산·수산업의 고부가 가치화 등을 추진
- 바이오와 ICT를 접목한 스마트 농업시스템 구축 및 농축산물 생산·질병관리 기술 고도화를 통해 성장 동력 촉진
- 농림·수산·축산, 지역 소규모 제조업 등 지역 특화자원을 활용하여 생활·문화·산업이 공존하는 지역특화 클러스터 육성 계획 추진
- 국민의 삶의 질 향상을 위해 신재생에너지가 보편화되고 폐기물이 대부분 재활용되어 미세먼지·환경오염의 걱정이 없는 청정한 환경 조성을 목표로 제시
- 신재생에너지, ESS 등 주요 에너지신산업 분야의 실증연구 투자 확대 추진
- 유용 농림·수산·축산자원 발굴 등 국산 농수산물소재 산업화를 촉진하고 차세대 육종 첨단기술 개발

가. 그린바이오

- 「제3차 생명공학육성기본계획('17~'26)」에서는 '바이오경제를 주도하는 글로벌 바이오강국 실현'을 목표로 안전한 먹거리 공급과 고부가 농생명 소재산업 육성을 위한 생명공학기반의 과학기술 분야* 지원계획 수립
 - * 농작용 자율비행드론 개발(90억 원), 스마트농업 솔루션 개발('18년 상반기) 등
- (생명자원 안정 공급) 식량자원의 지속적 확보 및 농생명 소재 산업의 육성을 위한 농림·축산 생명자원의 안정적 공급

- 지속가능한 생산기술 개발 및 적용을 통한 식량안보 기반 확보
- 사업화가 가능한 생명자원 수집·발굴로 고부가 농생명산업 육성
- 농림·축수산물의 고품질·안전성 확보로 글로벌 시장 경쟁력 제고
- (첨단 융복합 신산업 창출) 고부가가치 신소재 발굴 및 관련 식품산업 육성
 - 고부가가치 농림·축수산 생명자원 발굴 및 육성을 통한 산업화 기반 확보
 - 고기능성 신소재 개발 및 산업화지원을 통한 고부가가치 식품산업 육성
 - 산업간 융복합을 통한 농생명 신산업 창출 및 육성
- (삶의 질 제고) 고령화·도시화 대응 안전먹거리 공급 및 국민 건강·웰빙 실현
 - 고령화 대비, 질병예방을 위한 개인맞춤형 기능성식품 신산업 육성
 - 식품안전과 신뢰 확보를 위한 식품 전 과정 관리기술 고도화 및 사회·문화 융합형 글로벌 식품브랜드 육성
 - 도시화 대응 및 삶의 질 제고를 위한 웰빙농업·서비스 확대
- 「제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획('15~'19)」에서는 농정계획 및 FTA 등 농정 현안을 고려하여 R&D 투자 '4대 분야 50대 핵심기술' 선정 및 우선 투자 실시
- (농정과제 뒷받침) 농업의 첨단산업화, 식품산업의 수출 지원, 시장개방 대응 등 주요 농정 과제를 고려
 - (농업의 첨단산업화) ICT 기반 스마트 팜 기술 고도화, 발작물 농기계 개발 등 첨단화를 위한 기술개발
 - ICT 융복합 확산 대책 마련('14.12), 발농업 기계화 대책('14.12), ICT 기반 한국형 스마트팜 기술개발 계획('15.12)
 - ICT 융복합 효과 : (양돈) 생산성 13% 증가, (딸기) 노동력 20% 감소, 조수입 31% 증가
- 50대 핵심기술은 5~8년의 중장기 사업단 형태로 추진하고, 성과평가와 환경변화 요인 등을 고려하여 조정

<표 3-4> 50대 핵심기술 투자 배분 조정 내역

(단위 : 백만 원, %)

※ 출처 : 농림축산식품부. (2016). 제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획('15~'19).

■ 「제4차 친환경농업 육성 5개년 계획('16~'20)」에서는 농림업의 환경보전 기능 강화 및 친환경 인증 농식품 산업 육성을 통해 '국민적 신뢰에 기반한 지속가능한 친환경농업'을 제시

- 가축분뇨 자원화를 위한 사업개편 및 액비 품질관리 강화 추진
 - 가축분뇨 공동자원화 시설 수익성 확보 등을 통한 비즈니스 모델화 추진과 고품질 퇴·액비 수요처(가로수, 골프장 등) 및 바이오에너지 판로* 확보
 - * 바이오가스 플랜트 공정에서 나온 폐열을 인근 시설원에단지에 공급

■ 「제6차 농업과학기술 중장기 연구개발 계획(안)('13~'22)」은 국가 차원의 농업과학기술개발 추진 로드맵을 수립, 바이오 기반의 미래 신성장 동력 확보를 목표로* 제시

* 식량의 안정적 공급, 농업경쟁력 강화, 바이오 기반의 미래 성장 동력 확보 및 지속가능한 농업·농촌 실현

- BINT 첨단 기술 접목으로 농업의 미래 성장 동력 확보*
 - * 생명공학 기술료 수입 확대 : ('12) 14.4억 원 → ('17) 30억 원 → ('22) 60억 원
 - (유전자원 수집/보존/활용) 식물 유전자원의 수집, 보존 및 활용체계 강화를 통해 국산 품종개발 등 종자산업 기초·기반 제공
 - (가축유전자원 확보 및 신소재 개발 연구) 생명공학 이용 형질전환 동물생산 및 산업화, 가축의 유전체 해독 및 유전정보 활용
 - (농업 생물자원의 식의약 및 산업 소재화) 양잠, 양봉, 유용곤충자원의 고부가가치 산업 소재화 기술 개발, 유용 미생물 자원의 관리 및 병해충 방제, 환경정화 등 실용화
 - (농업생명공학 원천 기초 기술 연구) 유전체 해독, 대량유전자 발굴을 통한 국가농업생명연구 기반 구축, 유전자변형 작물의 안전성 평가기술 및 평가시스템 운영
 - (농업생명공학 실용화 기술 공동연구) 시스템 합성 생물학 등 농업생명공학 원천 기반 기술 개발, 유전체, 동식물 분자 육종 등 농생명 국가전략기술 개발

■ 「종자산업 육성 5개년 계획('13~'17)」은 '미래농업을 선도하는 종자강국 실현'을 비전으로 설정하고 '20년까지 종자수출 2억 달러 달성을 목표로 대책 추진

- 식품, 바이오에너지 및 제약산업 소재 등 新시장 창출·견인
- 시장 지향적 고부가가치 품종 육성 : Golden Seed 프로젝트 등 수출 로열티 대응 품목 중점 육성
 - 로열티품목 국산화율을 '12년 20%에서 '17년 45%까지 확대
 - '17년까지 기후변화대응 벼품종 9종, 에너지 원료 3종, 생명공학작물 5종의 글로벌 종자 개발 추진

■ 「제1차 산업융합발전 기본계획('13~'17)」 산업융합을 통한 산업강국 실현을 목표로 융합 촉진을 위한 핵심요소기술 개발 강화를 추진

- 융합기술을 활용하여 낙후된 농림수산업의 생산성을 제고하고 다양한 타산업과 연계하여

농촌경제의 고부가가치 창출을 목표로 설정

- 농축산물 생산성 향상을 위해 작물, 재래가축 유전체 해독 및 복합 재해저항성 GM작물 개발
 - * 무, 재래가축(한우, 재래돼지, 토종닭 등) 8종 등
 - * 농업형질개량(생산량 증대, 내병·내충성) 벼, 콩 개발
- 농축산물 품질 및 안전 관리 기술개발 및 시스템 구축
 - * 유해물질(농약, 독신, 중금속, 바이러스, 위해균 등) 실시간 모니터링을 위한 바이오센서 기술 개발 등
 - * 농축산물 수입·승인 시스템 고도화 : 진단용 바이오센서 기술 개발, 환경 위해성 평가 및 관리 시스템, 환경방출 모니터링시스템, 신속검출시스템 등 구축

나. 화이트바이오

■ 「제3차 생명공학육성기본계획('17~'26)」에서는 생물자원 및 생명공학 기술을 활용해 에너지와 소재 등을 생산하고 관련 산업과 서비스를 창출하는 바이오 분야를 지원할 계획

- 기술 고도화를 통한 신산업 창출
 - 바이오매스를 활용한 바이오화학/에너지 소재 개발 기술 고도화
 - 국민 삶의 질 향상과 전 지구적 환경문제 해결을 위한 환경생명공학 기술 고도화
 - 생물자원의 지속가능한 이용에 기반을 둔 환경생명공학 기술의 글로벌 경쟁력 확보
- 인프라 구축을 통한 산업화 가속화
 - Lab to Customer를 가속화하는 산업화 인프라 구축
 - 화이트 바이오산업 초기 시장 창출을 위한 제도 마련
 - 해양생명자원 통합관리 네트워크 및 해양 바이오설비/기반 구축
 - ABS 나고야의정서 대응을 위한 자생 생물자원의 산업화 기반 구축 및 정책 마련
 - 화이트 바이오 분야의 산업통계 구축 및 법·제도 정비

■ 「제4차 소재·부품발전 기본계획('17~'21)」에서는 4차 산업혁명의 선제적 대응과 주력산업의 고도화를 목표로 제시

- 미래 첨단 新소재부품 100대 유망기술을 '25년까지 개발
 - * 15개 소재·부품 관련 연구소 및 18개 산업분야별 PD가 참여 '25년까지의 「첨단 新소재·부품 기술개발 로드맵」 수립
 - 주력산업 고도화에 필요한 소재·부품 기술로 기능성 세라믹 소재 등 6개의 바이오 분야를 선택, 개발

■ 「제3차 에너지기술개발계획('14~'23)」에서는 신산업 창출과 혁신생태계 구축으로 에너지 기술 선진국 도약을 확대를 목표로 설정하고, 'Energy Innovation Architecture 2025' 프로그램

램 제시

- 에너지 공급-수요-혁신의 균형적·유기적인 투자분야 선정
 - (공급) 청정안전 중심의 사회친화형 공급기술
 - 고효율 청정화력, 차세대 청정연료*, 하이브리드 신재생에너지 등을 통해 에너지원의 청정화를 가속화
 - * 바이오매스, 유기성폐자원 등 비화석원료와 저등급 석탄, 비재래형유분, 가스를 활용하여 액체 연료를 생산, 청정화 구현
- 「제4차 환경기술·환경산업·환경기술인력육성계획('18~'22)」에서는 환경기술(ET)과 나노(NT), 생명공학(BT), 정보통신(IT)기술 등 기술 간 융·복합 기술 혁신을 통한 미래성장동력 확보 계획
- 환경안전 강화 통합 환경관리 기술개발을 전략으로 수립하고 태양광, 풍력, 바이오매스 등 신재생에너지 기술개발 추진
 - 생태계서비스 평가 및 생물자원활용 기술 개발
 - 바이오매스 에너지화 기술 개발
 - 친환경 소재 기술 개발
- ICT, BT, NT 등과 환경기술과의 융·복합 분야의 기술개발 및 사업화를 위한 전주기적 컨설팅 지원
- 「제1차 산업융합발전기본계획('13~'17)」에서는 산업융합을 통한 산업강국 실현을 목표로 융합 촉진을 위한 핵심요소기술 개발 강화를 추진
- 주요 바이오 분야별 성장단계 맞춤형 정책지원 추진
 - 태동단계인 산업·융합·그린바이오 육성을 위해 바이오화학 Scale-up 테스트 등 상업화 R&D*와 유전체 분석기반 구축** 등 추진
 - * 화학제품 상용화 절차 : 실험실→Pilot 시험→Demo 시험→상용화생산
 - ** 유전체 분석시스템 개발, 개방형 core facility 구축, 인력양성, 한국인 표준게놈 작성 등
- IT, BT, ET 등의 기술을 활용하여 친환경, 기후변화 등의 대응역량을 강화하고 쾌적하고 안심할 수 있는 도시 인프라 구축을 목표로 설정
 - 일정기간 경과 후 완전 분해되는 친환경 생분해성 제품의 개발
 - ※ 농축산 폐자원을 활용한 친환경 소재 및 제품 개발
 - ※ 생분해성 농사용 비닐, 바이오 플라스틱, 생분해성 어구·수산자재 등 개발
- 안정적인 국가 에너지 공급을 위해 신재생에너지 공급역량을 강화하고 국가 통합에너지 관리체계 구축을 목표로 설정
 - IT·BT·NT 융합기술을 통한 차세대 신재생에너지 공급역량 강화

4절. 경제적 환경분석

1. 국외

가. 그린바이오

■ 현재 세계 그린바이오 시장 전체 규모는 약 1,700억 달러로 매년 8% 가량 성장하는 추세

- 급격한 기후·인구변화가 예상되면서 '30년 그린바이오 시장은 6조 달러를 넘어설 것으로 전망
 - 그린바이오 분야는 잠재력이 큰 시장으로 평가를 받으며, 글로벌 기업의 차세대 성장 동력으로 관심을 받고 있는 중
- ※ 출처 : MoneyS. (2018.06.05). '바이오'에 케미칼을 접목하는 화학업계. EBN. (2018.03.07). 뜨는 '그린바이오', 화학·식품·제약사 눈독.

■ 글로벌 합성생물학 시장은 '17년 35억달러(약 3.9조 원)에서 연평균 19.7%로 성장하여 '23년 105억 달러(약 11.7조 원) 규모로 확대될 전망

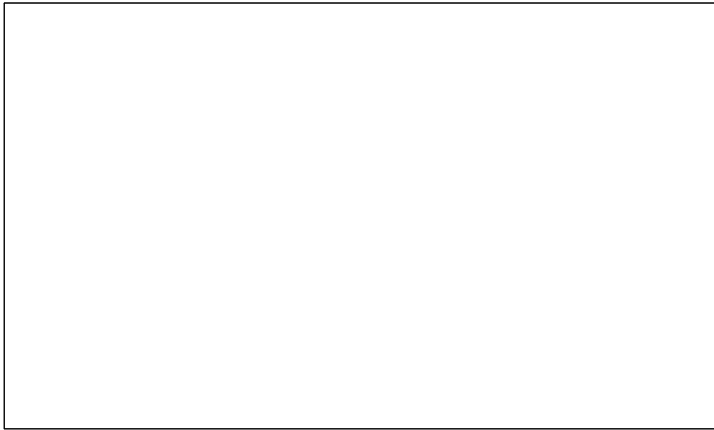
- 합성생물학 시장은 유전체, 첨단소재, 컴퓨터 과학, 응용 화학 분야의 획기적인 혁신 출현으로 성장이 주도될 것으로 기대
 - 유전자편집, 인공지능, 나노유체와 같은 첨단기술 개발과 이러한 기술들의 융합으로 에너지, 환경, 제약 및 식품 등 여러 산업에서 합성생물학이 현실화 될 것으로 예상

[그림 3-15] 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망 (단위 : 십억 달러)



- ※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.
- 광범위한 산업분야에서 바이오기반 제품에 대한 수요가 증가함에 따라 북미(주로 미국)가 가장 큰 시장 점유율을 차지하고 있으며, 유럽(영국과 독일 중심)이 뒤를 잇는 중
 - 아시아-태평양지역, 특히 중국은 합성생물학 분야에서 정부 예산 및 관련 프로그램이 증가함에 따라 '23년까지 가장 높은 성장률로 성장할 것으로 기대

[그림 3-16] 지역별 합성생물학 시장 현황 및 전망
(단위: 십억 달러)



※ 출처: 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.

■ 유전자가위기술(CRISPR*), 합성생물학 기술, RNAi 기술 개발과 함께 시장 규모도 증대

* CRISPR는 DNA를 잘라 교정하는 3세대 유전자가위 기술

- 글로벌 유전자가위기술 시장은 북미 지역이 '14년 기준으로 46%(0.9억 달러)를 차지하였으며, 아시아-태평양 지역이 19%(0.4억 달러), 그 외 지역이 10%(0.2억 달러)를 차지
- 유전자가위기술은 '17년 6,500만 달러 규모에서 '22년에는 2억 9,500만 달러 규모로 성장할 예정
- 아시아-태평양 지역은 연평균 성장률 37.1%로 가장 빠르게 성장 중
- 국내 CRISPR 시장은 '14년에 600만 달러에서 '20년 7,000만 달러로 확대 될 것으로 예상

<표 3-5> 농업생명공학 기술규모 및 연평균 성장률
(단위: 백만 달러)

※ 출처: 한국바이오안전성정보센터. (2018). 농업 생명공학 기술 발전 전망 보고서 요약정리.

- 글로벌 CRISPR 시장은 '16년 기준 연평균 약 36.2% 성장할 것으로 전망
- '14년 약 2억달러 규모로 작은 규모를 형성하였으나 이후 6년간('16~'22년) 연평균성장률(CAGR) 36.2%로 매우 빠르게 성장하여 '22년에는 10배 이상의 규모인 23억 달러 규모로 확대될 전망

[그림 3-17] 글로벌 CRISPR 시장 현황 및 전망('14~'22년)(단위: 백만 달러)



※ 출처: 생명공학정책연구센터. (2016). 글로벌 CRISPR 시장 현황 및 전망.

■ 미국의 유전자변형 종자(GM seed) 시장은 급속히 성장해 '14년 기준 약 200억 달러 규모로 전체 종자 시장의 약 40% 차지

- 유전자변형 작물 최대 생산국인 미국에서는 옥수수, 콩, 면화의 경우 전체 작물 경작 중 유전자변형 작물의 경작 비중이 약 95%에 이룸
- 미국의 옥수수와 콩 생산성을 비교해보면 유전자변형 작물이 본격 재배되기 전인 '95년 대비 '13년 옥수수의 경우 약 40%, 콩의 경우 약 30%의 생산성 증대가 이루어짐
- 미국 농무부(USDA)의 분석에 따르면 특히 유전자변형 작물이 일반 작물 대비 10~20% 높은 생산성을 보인 것으로 나타남

[그림 3-18] 유전자변형 종자 시장의 급성장(좌), 미국의 주요 작물별 유전자변형 작물 경작 비중(우)



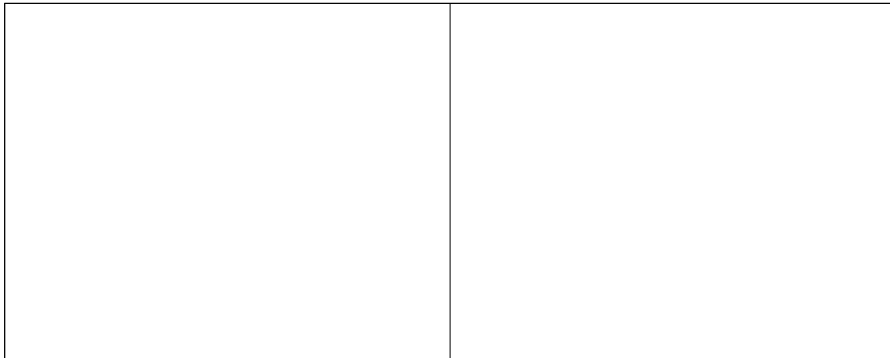
※ 출처: LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.

■ 세계 유전자변형 작물시장은 '96년 시장 규모 0.9억 달러에서 '17년 172억 달러로 급증

- 도시화와 산업화로 경작지가 감소하고 노동력 부족 심화 및 농약, 비료 등의 투입 생산비가 증가하자 유전자변형 작물이 그 대안으로 선택
- GM작물이 도입된 '96년부터 재배면적은 꾸준히 상승
- '17년 GM작물 재배면적은 '16년보다 470만 ha가 증가한 1억 8,980만 ha

- 24개국에서 GM작물이 재배되었으며 이중 산업국으로 분류될 수 있는 5개국의 재배면적은 47%(8,920만 ha), 19개 개발도상국의 재배면적은 53%(1억 60만 ha)를 차지
- 상위 5개국에서의 재배면적이 전체 GM작물 재배면적의 91.3%를 점유하고 있었으며, 이들 국가의 GMO 채택률은 90% 이상으로 높음

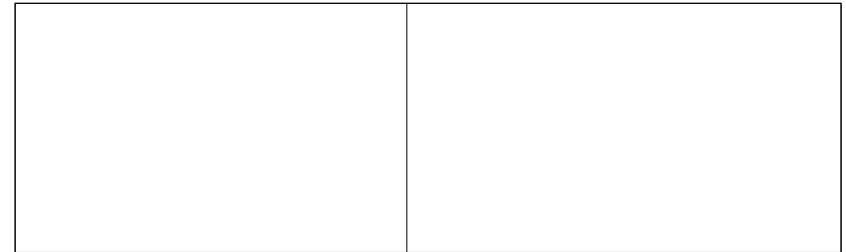
[그림 3-19] GM작물 재배면적 추이(좌) 및 '17년 상위 5개국 GM작물 재배면적 및 채택률(우)



※ 출처 : ISAAA. (2017). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017 : Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years.

- GM작물은 환경과 보건, 그리고 농민과 대중들에게 사회경제적 여건을 향상
 - '96년부터 '16년까지 지난 21년간 GM작물로 인해 1,600~1,700만 명이 얻은 경제적 혜택은 1,861억 달러
 - GM작물은 작물 생산성 향상과 생물다양성을 보호하는 효과를 창출하였고, 이산화탄소 배출량을 감소시키는 효과 제공
- '96년~'16년까지 GM작물로 발생한 경제적 효과 1,861억 달러
 - 가장 많은 경제적 효과를 누린 곳은 미국으로 237억 달러이며, 개발도상국의 경제적 효과는 100억 달러, 산업국은 82억 달러로 집계
 - Cropnosis가 추정한 '17년 세계 GM작물 시장가치는 172억 달러로 '16년 세계 작물 보호 시장(농약)(709억 달러)의 23.9%, 세계 상업 종자 시장(560.2억 달러)의 30% 정도 수준

[그림 3-20] '17년 GM작물별 재배면적(좌) 및 작물별 GM품종이 차지하는 비중



※ 출처 : ISAAA. (2017). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017 : Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years.

■ 글로벌 바이오 작물보호제 시장은 빠른 속도로 성장 중

- 지난 10년 동안 전체 작물보호제 시장이 5~6%의 성장률을 보여주는 동안 바이오 작물보호제는 이보다 높은 17%의 성장률 기록
 - 글로벌 바이오작물보호제의 시장 규모는 '15년 기준 25억 달러 규모로 전체 작물보호제 시장의 4%를 차지
 - 바이오 작물보호제의 높은 성장률은 기존 화학 작물보호제에 대한 규제 강화에 따른 영향으로 분석

[그림 3-21] 작물보호제 시장 규모



※ 출처 : LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.

- 글로벌 기업의 인수합병에 따라 바이오 작물보호제 시장 규모는 점차 확대
 - '12년 바이엘(Bayer)의 AgraQuest 인수, 바스프(BASF)의 Becker-Underwood 인수, 신젠타(Syngenta)의 Pasteuria Bioscience 인수 등 글로벌 농화학기업들이 1억 달러 이상의 금액으로 바이오작물보호제 기업을 대상으로 한 M&A를 성공
 - 글로벌 M&A는 바이오 작물보호제에 대한 시장의 관심을 끌기에 충분하였고 이후 다른 글로벌 농화학 기업들의 바이오 작물보호제 시장 진입을 이끄는 계기로 작용
 - 선도적으로 M&A를 통해 시장에 진입한 바이엘과 바스프의 경우 인수한 바이오 작물보호제 관련 매출을 크게 늘리며 시장의 성장을 주도

※ 출처 : LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.

- 세계 인구증가, 기후변화, 바이오에너지 수요증가, 신흥 경제국 소득 증가에 따른 축산물 수요증가 등의 요인으로 바이오 작물보호제의 수요와 가격 인상은 꾸준히 증가하는 추세
 - '09년 401억 달러에서 '14년 567억 달러로 시장규모가 연평균 7.2%증가
 - 세계 인구는 '00년 60억 명 대비 '50년에는 92% 증가된 115억 명으로 추정되는 반면, 경지 면적은 '00년 15억 ha에서 '50년 18억 ha로 약 20% 증가 예상
 - 작물보호제를 사용하지 않을 경우 약 40%의 식량생산량 감소를 초래

[그림 3-22] 세계 인구증가와 경지면적 증가비율



※ 출처 : 최수진 등. (2015). 친환경 신물질 작물보호제로 글로벌 시장 진출. KEIT PD Issue Report Vol 15-11.

- 글로벌 작물보호제 시장을 주도하는 회사들은 화학, 바이오 기업들로 상위 10개 기업의 총 매출액이 전체 시장 규모의 95.4%를 차지

[그림 3-23] '14년 작물보호제 글로벌 Top10 기업의 시장점유율(%)



※ 출처 : 최수진 등. (2015). 친환경 신물질 작물보호제로 글로벌 시장 진출. KEIT PD Issue Report Vol 15-11.

■ 글로벌 첨가제 시장은 동물생육 증진용 아미노산과 향미 증진용 식품조미소제가 대부분을 차지

- 가장 시장규모가 큰 품목은 식품조미소제는 MSG로 5조 원의 시장규모로 추정되며, 돼지 생육 증진제인 라이신과 닭 생육 증진제인 메치오닌이 4조원의 시장 규모를 형성하는 것으로 추정

<표 3-7> 첨가제 품목별 글로벌 시장규모

※ 주) 시장규모 등은 업계 추정치

※ 출처 : The Bell. (2018.10.24). CJ제일제당, '바이오 사업 선진' 역대급 임원 승진.

나. 화이트바이오

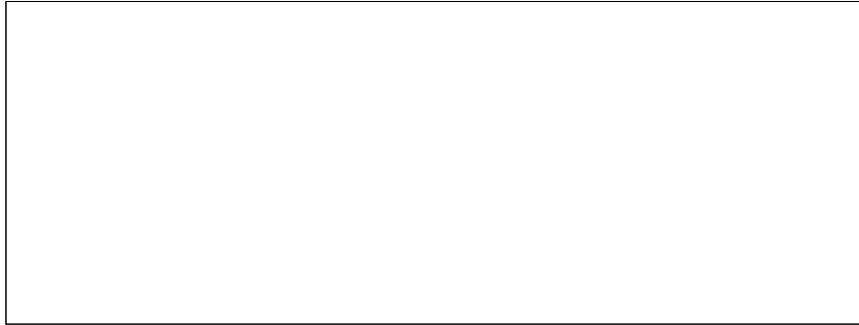
■ 화이트바이오 산업 시장규모는 연평균 18%의 속도로 성장하여 '50년경에는 전체 화학산업의 50%를 대체할 것으로 전망

- 친환경 제품의 수요가 높은 특수·정밀화학 분야에 비해 저가 범용화학제품의 경우, 전통 석유화학의 대체에 더 긴 시간이 소요될 것으로 전망
 - 바이오 기술을 통한 제품의 차별성 확보가 용이한 특수·정밀화학 분야는 '25년 전체 화

학제품 시장의 50% 정도를 점유할 것으로 예측되나, 범용화학 및 고분자 분야*는 10% 미만에 그칠 것으로 예측

* 범용화학제품, 기초화학물질, 정밀화학제품, 특수화학제품, 생활화학제품, 원료의약품, 고분자

[그림 3-24] 화이트바이오 산업의 시장규모 예측



※ 출처 : Frost & Sullivan. (2013). Emerging Trends in Bio-chemicals.

■ 카길(Cargill), 바스프(BASF), 듀폰(DuPont) 등 해외의 전통 화학 분야 대기업들은 최근 바이오 기업으로 전환하거나 바이오 기업들과의 협력을 통해 화이트바이오의 상용화를 선도

- 대기업 간의 Joint Venture 또는 기존의 바이오기업을 인수하는 방식 등으로 바이오 기업으로 전환이 추진되고 있으며, 바이오매스 및 기술 확보를 위해 국제적인 협력이 이루어지는 중
 - 바이오 플라스틱의 경우 시장 규모와 생산량이 빠르게 증가하여, 장기적으로 합성플라스틱을 대체할 것으로 예측
 - 폴리젓산(PLA), 1,3-프로판디올, 숙신산 등은 대량생산이 진행 중

■ 바이오 신소재 분야 세계시장 규모는 1,216억 1,300만 달러('12년 기준)에서 '17년에는 1,578억 6,200만 달러 규모로 증가

- 미국 바이오 신소재 분야 시장은 '12년 274억 200만 달러에서 '17년 425억 600만 달러 (연평균 9.18% 성장률)로 성장
 - 미국 내 바이오 신소재 분야 중 천연화학제품 분야는 '14년 101억 5,400만 달러로 가장 큰 시장을 형성
 - 기능성 효소 분야는 '12년부터 '17년까지 5년간 연평균 성장은 12.09%로 가장 높은 성장률 기록

※ 출처 : 중소기업기술정보진흥원. (2014). 2014 중소기업 기술로드맵 전략보고서-바이오신소재 분야.

■ 소비자의 건강 인식 증가, 신제품 출시, 유통 구조의 확대로 유기농 퍼스널 케어 제품 시장은 꾸준히 성장할 것으로 예측

- 글로벌 화장품 시장에서 유기농 스킨케어 제품이 '13년 기준 32.3%(26.9억 달러)로 가장 큰 비중을 차지하였으며, '20년에도 32.6%(51.1억 달러)로 가장 큰 비중을 차지할 것으로 예측
 - 기존 퍼스널케어 제품에 포함된 합성 원료의 유해성분에 대한 부정적 인식증가로 대부분의 소비자들이 유기농 스킨케어 제품을 선호하는 추세로 전환
- 유기농 화장품 제품은 '13년 21.81%(약 18.2억 달러)에서 '20년 22.32%(약 35억 달러)로 0.5%의 시장 비중이 증가할 전망

<표 3-9> 제품군별 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망('13~'20년)
(단위 : 백만 달러)

제품군	'13년	'14년	'15년	'16년	'17년	'18년	'19년	'20년
스킨케어								
헤어케어								
바디케어								
향수								
기타								

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2015). 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망.

- 글로벌 천연화학제품 시장은 '13년 83.6억 달러에서 연평균('14-'20) 9.3%로 성장하여 '20년에는 약 156.9억 달러에 이를 전망

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2015). 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망.

- 유기농 제품 제조업체들은 유기농 퍼스널케어 제품에 대한 수요가 증가하고 있는 브라질, 멕시코, 중국, 인도, 한국 등의 국가에 집중 및 거래 확대 중
 - 북아메리카와 유럽이 유기농 퍼스널케어 제품 시장의 주도적인 위치 점유
- 새로운 다국적기업들의 유기농 퍼스널케어 제품 시장 진입으로 소비자들의 제품 구매가 수월해짐에 따라 시장도 함께 성장

<표 3-10> 지역별 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망
(단위 : 백만 달러)

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2015). 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망.

■ **바이오연료 분야에서는 2, 3세대(셀룰로오스, 미세조류 원료) 바이오연료 개발을 위한 지속적인 창업 및 M&A가 진행 중**

- 2, 3세대 바이오연료 개발을 위해 1세대 바이오연료 기업과 화학기업의 투자와 벤처기업의 창업 및 기업 간 M&A가 지속적으로 이루어지는 상황
 - ※ 바이오연료는 원료 바이오매스의 종류에 따라 1세대(곡물), 2세대(육상식물 셀룰로오스), 3세대(조류(algae))로 구분
 - 1세대 바이오연료는 이미 상용화되어 있으나, 경작지 면적당 생산량이 낮고 식량 가격상승을 유발하는 문제 때문에 관련 기업들은 2, 3세대 바이오연료 기술 개발을 위한 R&D를 지속적으로 추진 중

2. 국내

가. 그린바이오

■ **글로벌 합성생물학 시장은 활발한 반면 국내 합성생물학 시장은 전무한 상황**

- 국내의 합성생물학과 관련한 시장에 대한 통계보고 자료는 없는 실정으로 아직 시장 형성 단계에 이르지 못한 것으로 추정

■ **곡물 자급률이 낮고 수입 의존도가 높은 국내 사정상 GMO 곡물 수입이 증가하는 추세**

- 우리나라는 대두, 옥수수, 면화 등 대부분을 수입에 의존하고 있음
 - '12년도 조사에 따르면 국내에 수입된 GMO는 2,878건으로 약 785만 톤, 26억 7,000만 달러 규모
 - '17년 수입 승인된 GMO는 960만 톤이었으며, 옥수수 841만 톤, 대두 104만 톤, 면화 15만 톤 순으로 조사됨
 - 사료용으로 수입되는 옥수수와 면화는 전량 GMO이며, 식용유 제조용으로 수입되는 대두 중 80%가량이 GMO로 나타남

※ 출처 : 조선비즈. (2018.09.09). 크리스퍼 가위로 유전자 조작한 생물, GMO로 규제해야 하나.

■ **'14년 기준 국내 작물보호제 시장은 1조 4,000억 원 규모로 글로벌 시장 규모에 비해 매우 작은 수준**

- '14년 기준으로 국내 작물보호제 시장은 최근 5년간 연평균 2.7% 성장
 - 국내 작물보호제 수입량은 '13년 대비 10.1% 증가, 수출은 신물질 개발 효과 등으로 인해 '13년 대비 30% 증가
 - 국내 작물 보호제 제품별 구성은 제초제 24.8%, 살충제 37.2%, 살균제 35.0%, 기타 3.0%로 세계 작물보호제 매출과는 다르게 제초제의 비중이 낮고 살충제 비중이 높은 것이 특징

※ 출처 : 최수진 등. (2015). 친환경 신물질 작물보호제로 글로벌 시장 진출. KEIT PD Issue Report Vol 15-11.

- 국내 작물보호제 기업은 팜한농, 농협케미컬, 경농, 동방아그로, 한국삼공 등 37개로 대부분 농약 완제품 제조사
- 업계에서는 최근 기술 개발로 인한 제품 성능의 향상, 유통 환경 개선과 더불어 높아진 친환경 제품에 대한 인식으로 인해 관련 시장이 앞으로 더욱 커질 것으로 전망

나. 화이트바이오

■ 화이트바이오 제품의 국내 생산액은 바이오의약 또는 식품 분야에 비해 최근 5년간 답보 상태

- 외국 선두기업들과의 기술격차를 줄이고 표준화 및 특허 경쟁력을 갖추기 위해 필수적인 전반적인 시스템과 산업 기반이 부족한 상태
- 특히 바이오연료 분야는 정부R&D로 추진되어 왔으나 산업화 사례는 없음

[그림 3-28] 바이오산업 분야별 국내 생산액 변화 추이



※ 출처 : 한국바이오협회. (2017). 2015년 기준 국내바이오산업 실태조사 보고서.

- 화이트바이오 시장에서 국내 기업의 경쟁력 확보를 위해 정부적 관점에서 적극적인 지원을 통해 연구개발 투자확대 및 생산 촉진이 필요

■ 국내 바이오 신소재 분야 시장 규모는 '12년 3조 769억 원에서 '17년 6조 1,321억 원(연평균 14.79% 성장) 규모로 성장할 것으로 전망

- '14년 기준 건강기능성 식품소재는 2조 3,307억 원 규모로 바이오 신소재 분야 중 가장 큰 시장 형성
 - 바이오 소재가 가장 많이 사용되는 분야는 바이오식품으로 총 매출액의 19.6%가 바이오 소재 구입 및 생산에 지출
- 바이오 관련 산업의 바이오 소재 중간 수요량은 '95년 3조 1,873억 원에서 '14년 9조 6,331억 원으로 연평균 5.99%씩 증가

<표 3-11> 바이오 신소재 분야 국내시장현황 및 전망 (단위 : 백만 달러)

Year	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Market Size (Billion USD)									
Growth Rate (%)									

※ 출처 : 중소기업기술정보진흥원. (2014). 2014 중소기업 기술로드맵 전략보고서-바이오 신소재 분야.

■ 석유화학기업과 식품기업을 중심으로 제품 생산 관련 연구가 이루어지고 있으나, 바이오 플라스틱 시장의 제품 상용화 사례는 미비

- '18년 기준 1억 달러 규모의 국내 바이오플라스틱 시장을 외국기업에 선점당할 위험 존재
 - SK이노베이션, GS칼텍스, CJ제일제당, 대상 등에서 관련 연구개발을 수행하고 있으나 상용화에는 일부 근접한 수준
 - ※ 국내에서는 PLA(CJ제일제당), PLA 공중합체(LG화학), 바이오나일론(제일모직, 대상), 2,3-부탄디올(GS칼텍스), PBS/PBAT(삼성정밀화학) 등을 개발 중

■ 식품의약품안전처에 따르면, '13년 국내 화장품 시장규모는 약 7조 6,000억 원에 달하고 최근 5년 간 평균 성장률은 11.4%를 기록

- 국내 유기농 화장품 시장은 900억원 규모로 연평균 8~9%씩 성장하고 있는 것으로 분석
 - 천연 식물성과 유기농, 효모, 한방성분이 함유된 천연화장품 시장이 꾸준히 성장 하는 추세
- 우리나라 화장품 수출액은 '14년 기준 14억 4,499만 달러로 전년 대비 55% 이상 성장
 - 기능성 화장품은 지난 한 해 우리나라 수출 1, 2위 품목인 반도체 및 자동차 보다 높은 성장률을 보여, 새로운 수출 효자품목으로 주목

- '14년 기준 대중국 수출이 34%, 대홍콩 수출이 25%를 차지하여, 중국, 홍콩, 일본 등 아시아 지역으로의 수출이 두드러지는 상황
- 생명공학정책연구센터에 따르면 국내 유기농 퍼스널케어 제품 시장은 '13년 1.4억 달러 (1,594억 원)에서 연평균 9.3%씩 성장하여 '20년에는 2.6억 달러(2,960억 원)에 이를 것으로 전망

※ 출처 : 생명공학정책연구센터. (2015). 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망.

■ 천연 화장품의 수요가 급증함에 따라 이에 필요한 천연 화장품 소재의 개발 및 상품화 역시 점차적으로 성장할 전망

- '14 기준 국내 천연 화장품 소재시장은 2조 7,772억 원 규모를 형성
 - 천연 화장품 소재의 국내 시장은 '13년부터 '18년까지 9.00%의 성장률로 시장규모가 성장할 것으로 예측

<표 3-12> 천연 화장품 소재 시장현황 및 전망
(단위 : 백만 달러, 억 원)

※ 출처 : 중소기업기술정보진흥원. (2016). 중소기업 기술로드맵 2016~2018-바이오.

5절. 사회적 환경분석

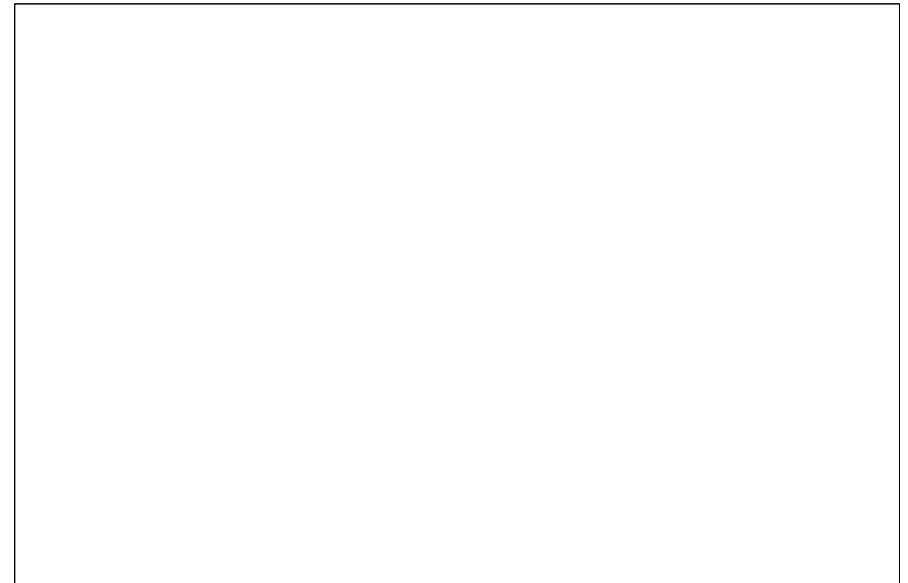
1) 국외

(1) 그린바이오

■ 지난 133년간(1880~2012년) 지구 평균기온은 0.85℃상승하였으며, 전 지구 평균기온의 증가는 계속되는 추세

- 지구온난화로 인한 이상기후 현상 또한 발생빈도, 지속기간, 공간분포에 있어 그 크기와 정도가 점차 증대

[그림 3-30] '17년 전 세계 이상기후 발생 분포도



※ 출처 : 관계부처 합동. (2017). 2017년 이상기후 보고서.

- 지속적으로 나타나는 기후변화 현상은 농업용수의 안정적 확보를 어렵게 하고 경작 가능한 토지면적을 축소시켜 식량 수요 충족을 어렵게 하는 중
 - 농산물의 품질과 수확률이 저하되면서 농작물 수확량이 감소해 식량안보를 위협
- 전 세계 인구가 증가하면서 식량수요는 21세기 중반까지 두 배로 증가할 것으로 예상
 - 인구대국(중국, 인도 등)을 중심으로 식습관의 서구화가 육류의 수요를 급격히 증가시키고 있어 사료용 곡물수요 증가로 이어지는 중

■ 인구 및 소득 증가에 따른 식량수요 증가에 따라 글로벌 식량생산 증대 요구 강화

- 세계 인구는 '40년경 90억 명에 이를 것으로 예상되며, 최근 10년간 개도국의 식량 요구량 증가 속도는 인구 증가 속도를 크게 상회
 - 전 세계 농경지 확대는 '90년대 이후 정체상태에 있으며, 세계은행에 따르면 인구증가에 따라 인당 농경지는(Arable Land Per Capira) '61년 0.37헥타르에서 '13년 0.1965헥타르로 약 5%감소
 - 유엔식량농업기구(FAO)에 따르면 증가하는 세계 인구가 배불리 먹기 위해서는 21세기 중반까지 전 세계 경작지에서 '08년보다 두 배나 많은 식량을 수확해야 할 것으로 예상

■ 식품 안전성에 대한 사회적 의식 고조, 환경 및 생태계보존 노력 강화로 안전성 및 친환경성에 대한 요구 증가

- 최근 주요 글로벌 농화학 기업들의 대표적 작물보호제 제품들에서 독성, 저항성 등의 문제 발생이 증가
 - 제초제 사용이 반복되면서 제초제에 내성을 지니는 슈퍼잡초가 전 세계적으로 급속히 확산

[그림 3-31] 전 세계 농경지 비중(좌) 및 제초제 내성 개체군 분포도(우)

--	--

※ 출처 : LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.

- 식품 안전성 및 환경 독성에 대한 사회적 의식이 높아짐에 따라 세계 주요 국가에서 관련 제도를 강화
 - 안전성에 대한 기준 강화는 종자 및 작물보호제의 개발 비용 상응과 새로운 제품의 출시 확률을 낮출 수 있음
- 최근 주목받는 바이오 작물보호제는 그 특성상 목표 병해충 등 제한적인 대상에게만 영향을 주므로 환경에 대한 피해가 적으며 잔류농약에 대한 우려가 없어 내성을 가진 잡초나 병해충이 발생하지 않음

<표 3-13> 바이오 작물보호제와 화학 합성 작물보호제의 비교

※ 출처 : LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.

■ 생물다양성 보전 노력 강화 이슈의 증가

- 인간에게 유리한 품종만을 인위적으로 선택하면서 작물과 가축들의 유전적 다양성이 현저히 상실
 - 유전자변형 농작물의 재배가 확대되면서 토종 품종이 점차 사라지고, 생산성이 좋은 소수의 품종만이 살아남는 등 유전 자원의 획일화를 우려
 - 유전자 다양성, 종 다양성, 생태계 다양성으로 이루어지는 생물다양성을 보존하는데 있어 바이오 기술의 꾸준한 개발과 농업 분야에 올바른 적용이 더욱 절실한 상황

나. 화이트바이오

- 유엔 정부간 기후변화위원회(IPCC)는 지구온난화가 인간이 소비하는 화석 연료에 의해 초래됐을 가능성이 90% 이상이라고 지적
 - 지구온난화로 인해 세계 곳곳에서 이상 기후 현상이 증가

※ 출처 : 기상청. (2017). 기후변화감시 용어 해설집.

■ 전통적 석유화학 산업은 화이트바이오 산업으로 대체될 것으로 전망

- '15년 파리협약 체결 등 세계는 저탄소·친환경 패러다임의 바이오경제 체제의 전환기에 진입하며 온실가스 배출 저감을 위한 범지구적인 노력 강화
 - 대기 중의 이산화탄소를 흡수한 바이오매스를 원료로 사용하여 소재와 연료 등을 생산하고, 그 과정에서 배출된 이산화탄소는 바이오매스의 생산 과정에서 재흡수되므로 이산화탄소 배출량 감축에 기여가 예상
 - 화이트바이오는 기존에 석유로부터 생산되는 각종 생활용품, 가전제품, 의류, 자동차 등의 필수 소재와 항공유 등의 특수연료를 저탄소·친환경적으로 대체할 수 있는 유일한 방안

■ 플라스틱의 유해성에 대한 관심은 고조되고, 제품에 대한 규제가 강화되는 실정

- 플라스틱 쓰레기의 해양 투기가 해양 생물, 관광, 어업 등에 미치는 피해가 연간 최소 130억 달러(약 13조 2,000억 원)에 달하는 상황
 - 마이크로 플라스틱 등은 하수 처리 과정에서 걸러지지 않고 곧바로 강과 호수, 해양에 유입되면서 조류, 물고기, 홍합 및 동물성 플랑크톤 등이 이를 먹게 됨으로써 결국 식탁의 안전을 위협

[그림 3-32] 비닐봉지 안에 갇힌 황새(좌), 버려진 낚시 그물에 묶인 거북이(우)



※ 출처 : National Geographic. (2018). 2018년 6월호.

- '50년에는 바다 속 물고기보다 플라스틱 쓰레기가 더 많아질 거란 우려 존재
 - 유엔환경계획은 앞으로 해양 플라스틱 오염이 더 악화되어 '50년에는 바닷새의 99%가 플라스틱을 먹는 경험을 하는 등 600종의 해양생물이 피해를 볼 것으로 전망
 - ※ 출처 : 중앙일보. (2018.09.13). '플라스틱 먹고 죽어가는 아기거북' 위에서 발견된 329개의 조각.
- 유엔환경계획은 '18년 세계 환경의 날의 주제를 '플라스틱 오염 퇴치'로 선정
 - 전 세계적으로 국가 및 기업들은 기존의 석유 유래 화학제품 및 산업원료를 대체할 수 있는 친환경 제품 개발을 통해 사회적 가치 창출을 목표로 설정
 - 유럽연합은 '21년까지 빨대, 면봉 등 일회용 플라스틱 제품 10여종의 사용을 전면 금지 발표
 - ※ 출처 : 대한민국정책브리핑. (2018.06.05). 플라스틱 오염 없는 지구 '나부터 먼저'.

■ 해마다 전 세계에서 생산되는 식품 중 3분의 1은 폐기물로 버려지는 상황

- 현재 음식 폐기물 등은 심각한 환경문제와 경제적 낭비를 발생시키는 원인
 - 전 세계 사람들이 1년간 먹지도 않고 버리는 음식을 돈으로 환산하면 4,000억 달러(약 438조 원)에 육박한다는 조사 결과가 발표
 - 음식물 쓰레기 과다배출은 기후변화에 악영향을 끼치며, 음식을 생산 및 운반하는 등에 자원 및 에너지가 소모될 뿐만 아니라 매립된 음식물 쓰레기는 온실가스를 배출하는 등의 각종 문제들을 발생
 - ※ 출처 : 경향신문. (2018.02.27). 전 세계 버려지는 음식물 한 해 438조 원 어치.
- 런던협약 발효로 '12년 하수슬러지와 가축분뇨, '13년 음폐수의 해양배출이 금지됨에 따라 이들의 육상처리를 위한 대책으로 폐자원 에너지화 수요 급증
 - 음식 폐기물 등을 이용하여 에너지 자원으로 사용할 경우 국내 자급이 가능하며, 재생산이 가능한 식물자원 등에서 생산되어 고갈 문제가 없음

■ GMO의 안전성 등 각종 논란을 해결하기 위한 근본적인 방안 마련 필요

- 식량난 해결 및 작물의 생산성 향상 등에 대한 해결 방안이었던 GMO가 처음 시장에 나타난 이후 25년의 시간이 지났지만 여전히 안전성 논란 존재
 - GMO 안전성에 대한 가장 큰 쟁점은 인체위해성과 환경위해성
 - ※ 출처 : 쿠키뉴스. (2018.05.28). [GMO 찬반논란] ①“우리는 이어서 GMO가 무섭다”.
- '14년 기간에 걸쳐 GMO 또는 비GMO 작물을 재배할 때 제초제와 살충제 사용을 비교 분석한 결과 살충제 사용은 감소하였으나 제초제 사용은 증가
 - ※ '16년 미국 버지니아대학교 등 네 대학의 경제학자 4명은 '98년부터 '11년까지 콩과 옥수수 작물을 재배하는 미국 전역의 농민 1만명을 대상으로 추적 조사해 분석한 논문을 과학저널 <Science Advances>에 발표
 - ※ 출처 : 사이언스온. (2016.09.30). GMO작물, 살충제 사용 줄었지만 제초제 사용은 늘어.
- 기존 제초제에 내성을 갖도록 개발된 GMO 작물의 주변 잡초들의 제초제 내성이 점점 커짐에 따라 특정 제초제에 내성을 가진 이른바 '슈퍼 잡초'가 생기면서 글리포세이트 사용량도 급증하기 시작함
 - * 글리포세이트는 세계에서 가장 많이 쓰이는 제초제인 몬산토사의 라운드업(상품명)의 주성분으로서, 미국에서 GMO 작물이 재배되기 시작하면서 본격적으로 사용되기 시작
- 현재 세계적으로 가장 널리 쓰이는 농약 성분인 '글리포세이트'의 발암 가능성을 놓고 논란이 뜨거운 상태
 - 세계보건기구(WHO) 산하 국제암연구소(IARC)는 '15년 3월 '글리포세이트'를 발암 가능성이 높은 물질(그룹 2A*)로 분류
 - * 국제암연구소(IARC)는 발암성물질을 Group 1(인체 발암성 물질), Group 2A(인체 발암성 예측/추정 물질), Group 2B(인체 발암성 가능 물질), Group 3(인체 발암성 미분류 물질), Group

4(인체 비발암성 추정 물질)로 총 5단계로 분류

※ 출처 : 중앙일보. (2018.12.12). GMO작물 속 발암물질은 보는 두 가지 시각.

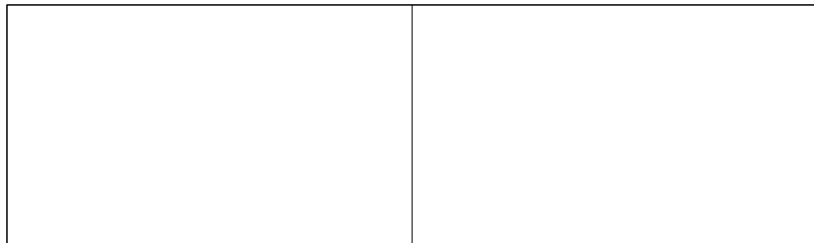
■ 사회적으로 천연향미제 제품의 수요가 증대됨에 따라 점차적으로 천연원료에 관심과 요구를 가속화시키고 있는 실정

- 아토피와 같은 환경에 질병들이 확대됨에 따라 합성색소를 대안하는 천연색소를 이용한 천연 페인트, 천연염색에 대한 실질적인 수요가 지속적으로 증가
- 최근 식량의 수요를 충족시키지 못하고 있어 식량 증량과 환경 위해성이 없는 저독성 고효율을 보이는 신개념 생화학제 개발 요구 확대

■ 국제 환경규제는 점점 강화되는 추세

- 기후변화 및 환경오염 문제가 국제적으로 크게 부각
 - 로마클럽 보고서(1972), 제1차 세계기후회의(WCC,1979), 리우선언(1991), 교토의정서의 출범(1997) 등 지구온난화와 환경오염 확산을 막기 위한 수많은 국제적 논의가 진행
 - '17년 환경보호를 목적으로 하는 전 세계의 기술규제는 322건에 달함
 - 한국무역협회의 '전세계 환경규제 강화 추이와 수출기업의 대응 전략' 보고서에 따르면 환경보호를 위한 기술규제 도입이 선진·개도국뿐만 아니라 최근 개도국으로까지 확대되고 있는 중

[그림 3-33] 환경규제 추이(건)(좌), 경제개발별 환경규제 비중(%)(우)



※ 출처 : 한국무역협회. (2018). 전세계 환경규제 강화 추이와 수출기업의 대응 전략. TRADE BRIEF No.6.

2. 국내

가. 그린바이오

■ 기후변화로 인한 농작물 생산성 저하 대비 필요성 증가

- 기상청은 한반도 평균기온이 '20년에는 0.9℃, '50년에는 2℃, 2100년대에는 4.2℃ 상승할 것으로 보고
- 국립기상연구소 연구에 따르면 한반도의 기후가 세계 평균보다 1.5~2℃더 높을 것으로 전망

- 지금과 같은 온난화가 지속된다면 태백산과 소백산 인근을 제외한 대부분 지역이 아열대 기후로 변할 것으로 예측
- 앞으로 지구 온난화가 현재처럼 그대로 진행되어 평균기온이 2℃ 상승하면 우리의 주식인 벼 수확량은 4.4%, 사과 재배면적은 34%, 고랭지채소 재배면적은 89%이상 줄어들 것으로 예상
- 기후변화로 인한 농작물 수량과 품질 변화, 재배적지 변동 및 감소, 아열대 병해충 유입에 따른 해충 발생 양상 변화 등이 우려
- 농작물 품질저하, 흉작, 이로 인한 국제적인 식량수급 불안정이 우려되므로 이에 대한 대책 마련이 시급

※ 출처 : 이진용. (2018). 식물 병해 예측 연구 및 활용 현황.

■ '15년 기준 우리나라 곡물자급률은 23.8%로 OECD 34개국 중 32번째를 기록

- '13년부터 '15년까지 평균 전 세계 곡물자급률은 102.5%이며, 한국은 23.8%로 낮은 수준
- 주요 곡물을 대부분 수입에 의존하고 있어 자칫 기후 변화 등으로 세계 곡물 파동이 일어나면 식량 대란에 직면할 가능성이 높은 상황
- 선진국 대부분은 식량자급률을 높이는 정책을 추진 중

※ 출처 : 이코노믹리뷰. (2018.07.03). 세계 평균 곡물자급률 102%, 한국 20%대 '식량후진국'.

■ 인구 고령화로 인해 경제활동인구 대비 농림어업 취업자 비중은 지속적으로 감소 중

- '13년부터 '15년까지 우리나라의 평균 농림어업 취업자 비중은 5.4%이며, '02년 8.8%에서 '14년 5.0%로 감소
- '13년부터 '15년까지 주요국의 농림어업 취업자 비중을 살펴보면, 네덜란드 1.9%, 미국 1.3%, 독일 1.3%, 영국 1.1%로 선진국은 대부분 2% 이하 수준
- 선진국에 비해 한국은 비교적 높은 수준이지만 향후 지속적으로 감소할 것으로 예상
- 호주와 프랑스 비중은 각각 2.6%로 최근 낮아지는 추세

※ 출처 : 농림축산식품부 주요통계, ILO(laborsta.ioo.org).

■ **농촌진흥청에 따르면 우리나라는 다국적기업에 농작물 로열티로 한 해 평균 150억여 원을 지급**

- '06년부터 '15년까지 10년간 우리나라에서 해외로 지급된 로열티는 약 1,457억 원에 달함
 - 무, 배추 등 토종 채소 종자의 50%, 양파, 당근 토마토 종자의 80%가 외환위기 당시 인수 과정에서 해외로 넘어감
 - 막대한 금액의 종자 로열티로부터 자유로워지기 위해서는 경쟁력을 갖춘 토종 종자 개발이 시급

※ 출처 : 파이낸셜뉴스. (2013.06.25). 우수 신품종 개발 로열티 줄인다.

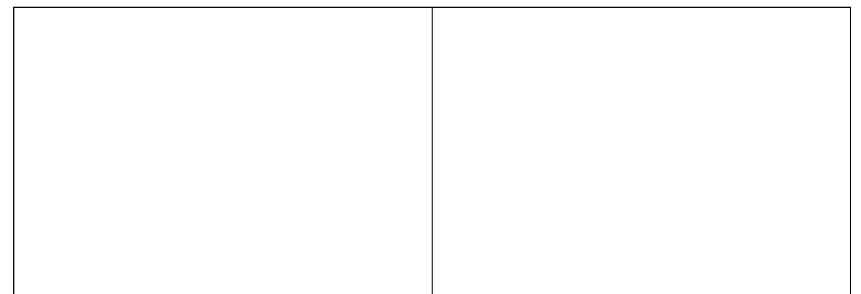
■ **'18년 8월부터 국내서 시행된 나고야의정서에 따라 수입 원료이용 때는 추가비용이 발생할 가능성 증가**

- 나고야의정서 발효로 국내 업체들이 해외에서 원료를 수입하거나 전통지식 등을 이용할 때는 추가 비용을 부담해야 하며 생물자원에 대한 특허권을 확보하는 절차도 좀 더 까다로워짐
 - 인도, 브라질, 베트남 등의 생물자원을 이용해 제품을 개발할 경우 수익의 1% 이내 범위로 이익 공유 필요

※ 출처 : 한국 ABS연구센터 홈페이지

- 나고야의정서 발효에 따른 국내의 상황 변화에 능동적으로 대처하기 위해서는 법·정책 차원의 대응 전략을 마련 필요
 - 나고야의정서에 대한 선제 대응을 위해서는 국내에서도 생물자원 주권확보를 위한 정부 차원의 노력이 절실
- 나고야의정서에 대응하기 위한 최선책은 국내 자원을 적극 활용하는 것
 - 과기정통부 생명연구자원정보센터(ARIS) 등 부처별로 다양한 유전자원을 활용하고 국내 자원보유량 확충을 위해 노력, 국가 경쟁력을 향상 필요
 - 고가 외국 자원을 수입하는 것보다 우리 국내 자원을 이용하는 것이 필요

[그림 3-39] 국내 바이오기업 해외 생물자원 원산지 비율(좌), 나고야 의정서 적용 품목 수입액(우)



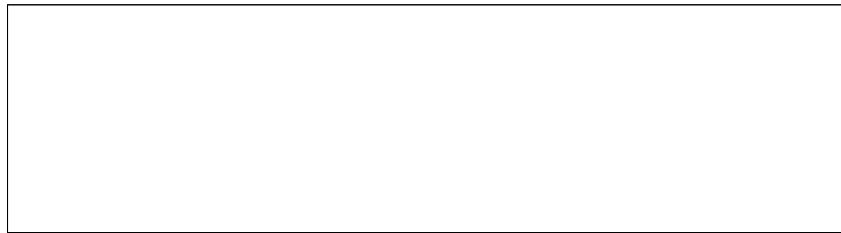
※ 출처 : 한국경제. (2018.11.05). 해외원료 '비용 폭탄'...비상 걸린 바이오업계.

나. 화이트바이오

■ 중국의 나고야의정서 발효('16년 9월)로 인한 국내 바이오 업계의 부담액은 연간 최대 5,000억 원

- 한반도 자생 생물자원 발굴·활용 및 해외 생물소재 대체연구 확대에 국가적 노력 강화 중
 - 생물자원 주권 확보를 위한 생물자원의 수집, 국가 생물자원 현황 파악 및 전산화에 관한 국가 차원의 노력이 본격화
 - 전 세계 생물자원의 가치는 700조 원이상으로 추정되며, 향후 의약, 식품, 환경, 에너지 등 전 산업 분야에서 경제를 선도할 핵심 사업으로 성장할 것으로 예상
 - 나고야의정서 발효에 따른 자원주권주의 강화에 대비한 해외의존 자원 확보 및 대응 필요

[그림 3-40] 나고야의정서 발효에 따른 문제점



■ 우리나라는 중국의 폐플라스틱 수거거부사태로 인해 감당할 수 없는 양의 폐플라스틱으로 인해 사회문제가 발생 될 것으로 예측

- 세계 최대의 폐플라스틱 수입국인 중국에서 '17년 7월 페비닐 등 일부 재활용 고체 쓰레기 수입을 중단하기로 발표
 - 로이터 통신에 따르면 중국은 '16년 730만 톤, 금액으로는 37억 달러에 달하는 폐플라스틱·비닐을 수입하였으며, 이는 세계 플라스틱·비닐 수입량의 56%에 해당하는 규모
 - 중국의 수입 금지 조치로 우리나라 일부 공동주택에서는 재활용 쓰레기 수거 거부 사태가 일어났으며, 중국 정부가 '18년 말부터는 폐 PET(페트병)·전자제품 등의 수입도 금지한다고 발표함으로써 대안을 마련해야 하는 상황
- '16년 기준 플라스틱 폐기물 발생량은 약 10.1백만 톤
 - 생활폐기물 중 플라스틱 폐기물의 양이 5.2백만 톤으로 약 50%를 차지하며, 사업장폐기물 중 플라스틱 폐기물이 4.4백만 톤, 건설폐기물 중 플라스틱 폐기물이 0.5백만 톤을 차지
 - 소각되는 양이 4백만 톤, 재활용되는 양이 5백만 톤, 매립되는 양이 1백만 톤으로 확인

[그림 3-41] 플라스틱 폐기물 연간 배출량 변화



※ 출처 : 한겨레. (2018.04.04). 폐기물 감량화 정책, 이명박 정부가 후퇴시켰다.

■ 우리나라의 에너지소비량은 세계 8위이며 에너지 수입액은 94.2%에너지 자체 생산량이 매우 취약

- '15년 기준 우리나라의 에너지소비량은 273백만toe로 세계 8위이며, 석유소비 및 전력소비 모두 8위 규모로 이는 세계 14위인 경제규모에 비해 높은 수준
- 우리나라의 산업구조 자체가 석유, 철강, 시멘트 등 에너지를 많이 쓰는 구조로 부가가치 한 단위를 생산하는데 들어가는 에너지의 양도 OECD 국가의 1.7~1.8배 수준

<표 3-15> 국가별에너지 순위('15년)

순위	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
에너지 소비량 (백만 toe)										
에너지 수입액 (억 달러)										

주) 석유소비는 '16년 기준

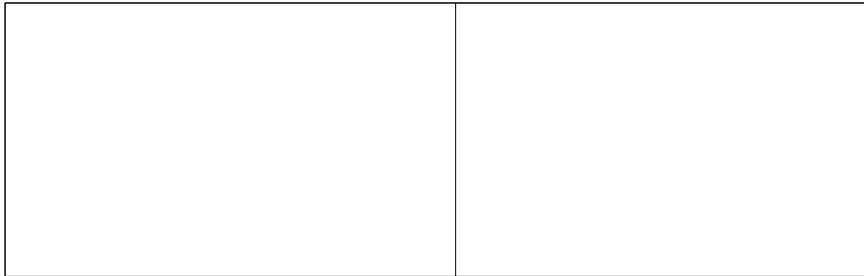
※ 출처 : IEA. (2017). World Energy Balance 2017.
BP. (2017). Statistical Review of World Energy 2017.

- 우리나라의 '17년도 에너지 수입액은 1,095억 달러로(수입의존도 94.2%) 에너지 안보에 매우 취약한 수급구조
 - 국가 간 자원 및 에너지 확보 분쟁 가능성이 높아지고 있으며 우리나라가 석유를 공급받는 중동이 언제든지 정치적으로 불안해질 수 있다는 위험이 존재
- 우리나라 에너지 수입 의존도는 '16년 94.7%로 에너지 자립 대책 마련이 시급
 - 세계 에너지 수요 전망이 점점 증가하는 가운데 국가 간 자원 및 에너지 확보 분쟁 가능성

이 높아지는 중

- 해외 에너지 의존도가 94.7%에 달하는 우리나라는 큰 타격을 입을 가능성이 큼

[그림 3-42] 국내 에너지관련 의존도 추이(좌) 및 에너지 수입 의존도(우)



※ 출처 : 에너지경제연구원. (2018). 에너지통계월보.

6절. 기술적 환경분석

1. 국외

가. 그린바이오

■ 식물/식품분야에서 유전자가위를 활용한 유전자 편집기술 적용 제품 개발 성공

- CRISPR 기술을 적용한 비GMO 식물개발
 - '16년 미국 펜실베니아 주립대학 연구진은 CRISPR 기술을 이용하여 갈변되지 않는 버섯을 개발
 - 미 농무부(U.S. Department of Agriculture)는 CRISPR 기술에 기반하여 개발된 해당 버섯을 비GMO 대상으로 분류

※ 출처 : 이신우. (2018). 유전자편집 작물의 개발 현황 및 농업생명공학기술의 국가 경쟁력 강화. Journal of Plant Biotechnology 45(3), 155-170.

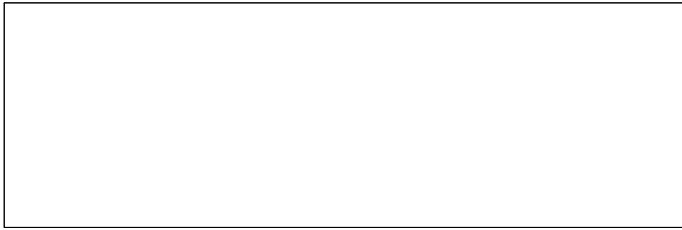
- 유전자가위 기술을 활용하여 양조한 맥주 개발
 - '18년 미국 UC버클리와 수제맥주 제조업체 라구니타스 공동 연구진은 유전자가위로 효모의 유전자를 교정해 홉을 넣지 않고도 맥주 특유의 향과 맛을 내는 기술 개발에 성공

※ 출처 : 매일경제. (2018.03.28). 놀라운 유전자가위...‘홉’ 안 넣고도 맥주 만든다.

■ 광호흡 경로 개조를 통한 작물생산성 증산

- 작물의 광호흡을 짧게 개조하여 실제 농경 조건에서 수확량 40% 증대
 - 미국 일리노이대와 농무부 농업연구청(Agricultural Research Service) 연구팀은 식물 세포의 세 구획을 통과하는 복잡한 광호흡 경로를 대체하는 통로를 개발해 식물의 성장을 40%까지 향상시키는 연구결과 도출

[그림 3-44] 광호흡 경로를 개조한 식물과 현장에서 재배하는 모습



※ 출처 : ScienceTimes. (2019.01.04). “광합성 결함 수정해 작물 40% 증산”.

■ 가축 생산효율 향상 및 개체 건강관리를 위한 낙농용 IoT 센서 기술 개발

- 가축의 열, 건강 상태 및 사료 관리를 지속적으로 모니터링 할 수 있는 낙농용 센서 시스템 개발
 - '17년 오스트리아의 스막텍(Smaxtec)은 센서가 내장된 소형기기를 젖소의 체내에 삽입하여 질병과 건강상태 등을 개체별로 모니터링하고 데이터를 추적 및 분석이 가능한 센서 시스템 기술 개발
 - 해당 시스템은 개별 가축의 정보와 지역별 기후정보를 실시간으로 클라우드에 전송할 수 있으며, 전 세계 목장의 데이터를 빅데이터로 활용이 가능
- ※ 출처 : GT온라인. (2017.03.08). 생산성 및 건강관리를 위한 낙농용 센서 시스템(H2020).

[그림 3-45] Smaxtec이 개발한 센서 시스템



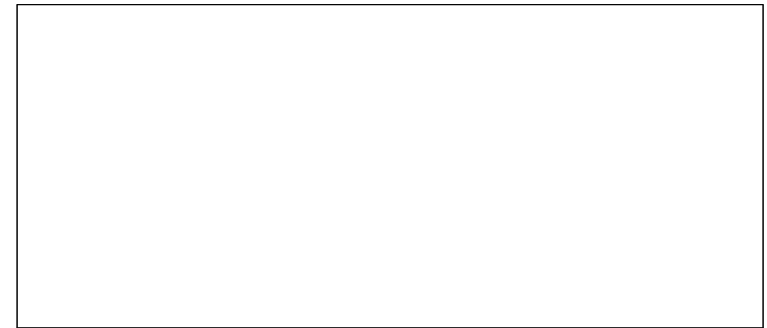
※ 출처 : Hogeveen, H., Rutten, N., Kamphuis, C., & van der Voort, M. (2017). Economics of Precision Dairy Monitoring Techniques. In Conference on Precision Dairy Farming(pp. 87-97).

- 네덜란드 스타트업 ‘커넥테라’는 만보게 형태의 젖소 농장용 스마트 센서 개발 및 서비스
 - 젖소에게 목걸이 형태의 센서를 부착해 젖소의 운동량 및 건강상태, 가임기 여부 등의 정보를 농장주에게 제공
 - 센서를 통해 받은 건강 정보를 기반으로 최적의 번식기를 고를 수 있고 이를 통해 우유 생산량을 더 늘릴 수 있음
- ※ 출처 : 매일경제. (2017.12.03). 글 로벌 기업들, IoT 낙농시장 앞다퉀 진출.

■ 식물과 마이크로바이옴 간 상관관계 규명에 대한 가시적인 연구 성과 도출

- 미국 연구팀을 중심으로 식물과 미생물간 상호작용을 마이크로바이옴 수준에서 설명할 수 있는 작물 홀로바이옴* 연구에 대한 기초 학술성과 도출
 - * 작물을 한 개의 생물체로 보지 않고 작물가 주변의 셀 수 없는 미생물 군집의 연합체로 간주해 연합체의 유전체정보 간 상호작용을 통해 작물의 기능이 조절될 수 있다는 개념
- '12년 미국 노스캐롤라이나 대학 연구팀은 토양이 애기장대와 마이크로바이옴 형성의 가장 중요한 요인임을 확인하고, 근권-내생 미생물 군집상이 토양에 따라 달라지며 식물 발달단계나 식물의 유전형은 마이크로바이옴 형성에 상대적 영향이 낮음을 규명

[그림 3-46] 애기장대 근권, 내생 마이크로바이옴의 군집 연구



※ 출처 : Lundberg, D. S., Lebeis, S. L., Paredes, S. H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., ... & Edgar, R. C. (2012). Defining the Core Arabidopsis Thaliana Root Microbiome. Nature, 488(7409), 86.

- '14년 미국 코넬대학 연구팀은 홀로바이옴 연구에서 옥수수 품종의 낮은 유전력(Heritability) 차이와 마이크로바이옴의 연관성을 분석하여 토양 특성이 미생물군집 형성에 중요한 요인임을 확인
 - 인디애나 및 듀크 대학 연구팀은 '14년 각각 십자화과 작물과 야생 애기장대 개화시기가 근권 마이크로바이옴에 의해 조절되는 것을 확인
- ※ 출처 : 농림식품기술기획평가원. (2017). 마이크로바이옴 연구개발 동향 및 농식품 분야 적용 전망.

■ 농림업의 병충해 종합관리 실행을 지원하기 위한 새로운 생물학적 방제 기술 개발

- '17년 유럽 농림업의 주요 시장을 위한 11개의 새로운 생물학적 식물 보호제(BCAs) 개발
 - 본 연구는 유럽연합 제7차 프레임워크 프로그램에서 주관하는 바이오컴즈(BIOCOMES) 프로젝트로 독일, 스페인 등 14개국에서 27개 연구진이 참여하였으며 12,086,533유로가 지원
 - 연구팀은 곤충·회충·바이러스·박테리아·곰팡이를 연구해 무척추동물의 생물학적 통제제, 해충을 통제하기 위한 바콜로 바이러스, 해충 및 균병 억제제를 위한 박테리아와 균에 기

초한 식물 보호제(BCAs)를 개발

- BIOCOMES의 새로운 생물학적 방제제는 농업 생산량을 향상시키는 동시에 합성 살충제를 대체하는 환경 친화적인 해결책이 될 것으로 기대

※ 출처:GT온라인. (2016.04.12.). BIOCOMES : 유럽의 생물학적 방제 제조업자들이 농림업의 병충해 종합관리 실행을 지원하기 위한 새로운 생물학적 방제 제품을 개발함.

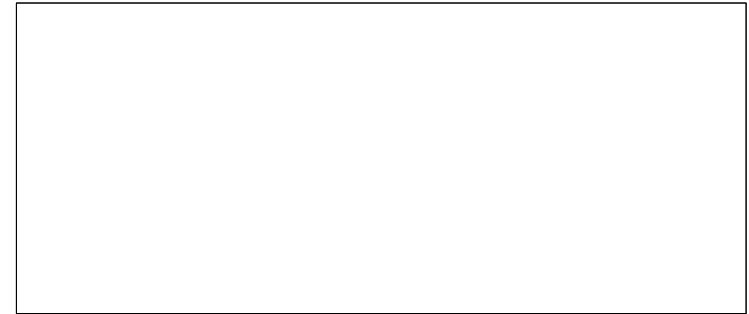
※ 출처: BIOCOMES. (2017). BIOCOMES Project Deliverables.

나. 화이트바이오

■ 실제 세포에 근접한 플라스틱으로 만든 인공세포 개발

- '18년 미국 UC샌디에이고 연구진은 병든 세포에 약물전달 역할이 가능한 플라스틱 껍질 속에 DNA를 갖춘 인공세포 개발
 - 혈액 성분 분석 시 사용하던 작은 플라스틱 칩에 세포 내부에 들어가는 DNA와 무기물, 세포막을 이루는 고분자 플라스틱인 아크릴산염과 지방성분, 세포 밖을 감싸는 액체성분을 동시에 주입해 인공세포를 합성
 - 합성된 구형의 인공세포구조에 자외선을 방사하여 고분자 플라스틱을 서로 연결시켜 세포막을 만들고, 마지막으로 에탄올을 처리하면 세포막에 끼어있는 지방성분이 물질을 투과하게 되고 세포 안쪽의 DNA와 무기물이 뭉쳐 일종의 핵막구조를 이루는 진핵세포를 합성
 - 세균의 유전자를 합성 DNA로 교체하는데서 시작해 이제 세포막과 핵까지 만들어내고 광합성을 하는 세포 소기관인 엽록체 모방까지 성공

[그림 3-48] 미 UC샌디에이고 연구진의 플라스틱 소재 인공세포 합성 과정



※ 출처: 조선비즈. (2018.11.22). 플라스틱으로 만든 인공 세포... “실제 세포에 가장 근접”.

■ 플라스틱 분해 가능한 인공효소 개발

- 개발된 인공효소는 분해에 수백 년이 걸리는 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)를 며칠 만에 분해 가능
 - '18년 존 맥기한 영국 포츠머스대 생명과학대 교수팀은 PET를 먹고 자라는 미생물에서 분리한 분해효소 페테이스(PETase)의 3차원 단백질 구조를 강력한 X선을 이용해 규명하고, 이를 바탕으로 효소의 구조를 개선해 PET 분해 효율을 향상시키는 데 성공

[그림 3-49] 페테이스와 인공 합성 효소의 PET분해 성능 비교



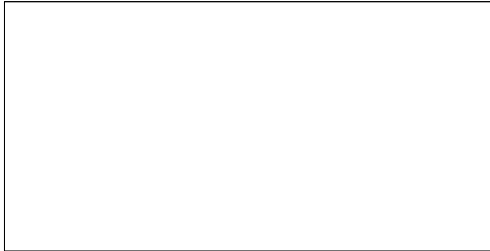
※ 출처: 동아사이언스. (2018.04.18). 썩는데 수백년 걸리는 플라스틱, 며칠 만에 분해하는 효소 개발.

■ 2세대 바이오매스의 고효율 생물전환 기술 개발

- 네덜란드, 독일, 핀란드 등 유럽 연구팀은 2세대 바이오매스의 고효율 전환을 위한 BioConSepT 공정기술 개발
 - BioConSepT는 현존 화학적 방법이나 1세대 공정보다 30% 더 저렴하고 30% 더욱 지속가능하며, 식품으로 이용할 수 없는 싸고 풍부한 공급 원료로서 리그노셀룰로오스와 먹을 수 없는 기름 및 지방을 이용

- BioConSepT로 인해 총 공정비용을 줄일 수 있으며, 재생 가능한 바이오매스를 이용함으로써 폐기물 발생의 감소뿐만 아니라 온실가스 배출의 상당한 감소를 가져오고, 공급원료와 에너지 및 물의 공급을 더욱 확보 가능

[그림 3-50] 바이오콘셉트(BioConSepT) 프로젝트



※ 출처 : GT온라인. (2017.03.07). BIOCONCEPT: 2세대 바이오매스의 화학물질 플랫폼의 생산과 응용을 위한 생물전환 및 분리 기술의 통합.

■ 100% 자연분해 가능한 천연 플라스틱 용기 제작기술 개발

- 핀란드의 중소기업 Sulapac은 생분해성 100%, 마이크로 플라스틱 함유량이 0%인 지속가능한 친환경 포장 용기 제작기술 개발
 - 생분해성 100%, 마이크로 플라스틱 함유량이 0%인 이 제품은 플라스틱의 모든 이점을 가지고 있는 것과 동시에 친환경적으로 제작
 - 지속가능한 목재 기반 소재로 제작되어 뛰어난 성형성 및 실용성을 갖춘 저가의 제품으로 물, 기름 등이 스며들지 않아 화장품, 식품 등의 포장용기로 사용되기에 매우 적합

※ 출처 : KIAT유립. (2018.11.29). 핀란드, 100% 자연분해 가능한 천연 플라스틱 용기 개발.

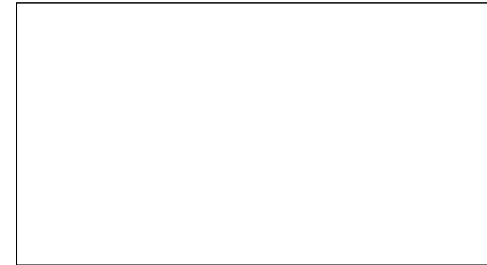
2. 국내

가. 그린바이오

■ 3세대 유전자 가위기술인 크리스퍼(CRISPR) 기반으로 유전체편집 가속 개발

- 한국-중국 공동연구팀은 유전자가위 기반 유전체편집 기술을 적용한 돼지 개발
 - '15년 서울대 김진수 교수 연구팀과 중국 옌벤대 윌희준 교수 연구팀은 유전자가위를 이용해 돼지의 유전체에서 근육을 없애는 기능의 마이오제닌 이라는 단백질을 제거하여 슈퍼근육 돼지 개발에 성공

[그림 3-52] 유전자 가위 기술로 개발한 슈퍼돼지



※ 출처 : 매일경제. (2015.07.01). 유전자가위로 근육 많은 '슈퍼돼지' 만들었다.

■ 크리스퍼(CRISPR) 기반 유전자 교정기술의 핵심 단백질 절단 메커니즘 규명

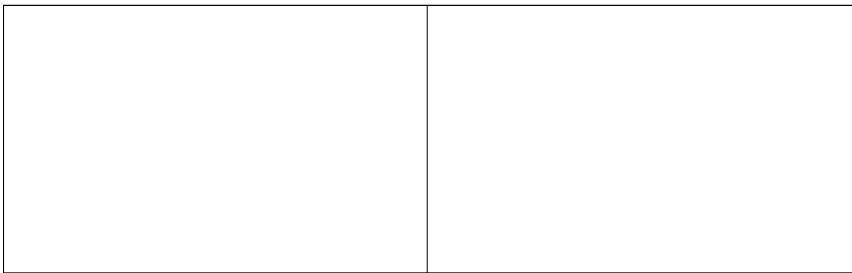
- '18년 GIST와 KIST는 CRISPR 기반 유전자 교정기술의 핵심 단백질 중 하나인 Cas12a의 DNA 표적 탐색 및 절단 메커니즘 규명 성공
 - 연구팀은 단일분자 형광 이미징 기술을 이용해 새로운 CRISPR 기반 기술의 핵심 단백질 중 하나인 Cas12a(또는 Cpf1)가 표적 DNA를 탐색하고 절단하는 전 과정을 실시간으로 관찰하는 데 성공
 - 연구팀은 이번 연구에서 Cas12a가 긴 DNA 상에서 1차원 확산 운동을 통해 특정 표적을 탐색하는 것을 확인했으며 표적 DNA와 만나 안정되게 결합한 후 비표적 가닥-표적 가닥 순서로 시간차를 두고 순차적으로 절단한다는 사실을 세계 최초로 규명

※ 출처 : 한양뉴스. (2018.08.01). 배상수 교수 공동연구팀, 유전자 교정기술 핵심 단백질 절단 메커니즘 규명.

■ 뿌리 구조 재구성을 통한 가뭄 저항성 벼 개발

- 유전자 교정/noncoding RNA 기술을 이용한 환경 적응형 벼 개발
 - '17년 서울대학교 연구팀은 뿌리 특이적 과발현 전사인자의 생명공학작물을 이용한 뿌리 구조 재구성을 통해 가뭄 저항성을 증대시켜 가뭄에 견디는 벼를 개발하고 뿌리 구조 재구성을 통한 가뭄저항성 메커니즘 규명
 - 본 연구에서 밝혀진 가뭄저항성 관련 뿌리 구조 재구성과 가뭄 유전자 네트워크는 다양한 작물의 분자유종에 활용될 수 있어 다국적기업으로 기술이전 되었으며, 현재 글로벌 생명공학종자 개발에 이용

[그림 3-54] 전사인자의 과발현 식물체를 이용한 전사 조절 네트워크 구축(좌), OsNAC6 생명공학작물의 가뭄저항성 증대(우)

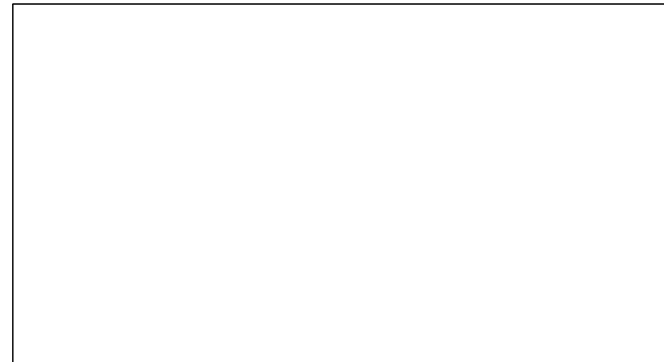


※ 출처 : 농진청. (2018). 국가연구개발 100선, 뿌리 구조 재구성을 통한 가뭄 저항성 벼 개발.

■ 체계적 가축관리를 위한 ICT 융합기술 개발·적용

- 가축의 질병 및 신체변화 모니터링이 가능한 ICT-바이오 융합형 낙농기술 개발
 - SK텔레콤과 바이오벤처기업 유라이크코리아는 IoT 전용망 'LoRa'를 활용해 질병, 임신 등 소의 신체 변화를 모니터링하는 '라이브케어(Live Care)' 서비스 기술 개발
 - 해당 서비스 기술은 소의 반추위에 로라 통신 모듈이 탑재된 바이오캡슐을 투입하여 소의 체온과 위산 산도, 질병 징후 및 발정, 수정 적기, 분만 징후, 물 마실 횟수 등의 다양한 정보를 수집·분석하여 제공

[그림 3-55] 커넥티드 카우 시스템 개발 국가 및 센서 종류



※ 출처 : 매일경제. (2017.12.03). IoT로 소 키우는 '커넥티드 카우' 뜬다.

■ 한국형 스마트팜 2세대 기술 개발

- '18년 인공지능 데이터와 영상정보를 활용해 농작물의 생육을 진단하고, 영농활동의 의사결정을 돕는 차세대 한국형 스마트팜 기술 개발
 - 농진청은 보다 고도화된 스마트팜 기술로 농업을 과학화하고 농업 혁신의 토대를 마련하기 위해 3단계 기술 개발 전략을 추진 중
 - * 스마트팜 모델 : 1세대(2016) 편이성 향상 → 2세대(2018) 생산성 증대 → 3세대(2020) 수출형
 - 이번에 개발된 2세대 스마트팜은 인공지능이 데이터와 영상정보로 작물의 성장과 생육, 질병 상태를 진단하고 의사결정을 돕는 데 활용 가능
 - 특히, 인공지능 기반의 음성지원 플랫폼 '팜보이스'와 재배 전 과정에서 적합한 의사결정을 지원하는 '클라우드 플랫폼'은 농사 경험이 적은 젊은 창농인이나 ICT에 미숙한 고령 농업인에게도 큰 도움이 예상

※ 출처 : 농진청. (2018.11.15.). 농촌진흥청, 인공지능이 농사짓는 시대를 연다.

※ 출처 : 농진청. (2019.01.10). 이달의 농업기술-인공지능이 농사짓는 시대.

■ 병 저항성과 관련된 식물 마이크로바이옴 구조와 기능 발견

- 흙 속에 있는 토양미생물이 풋마름병에 대한 저항성을 높여준다는 사실 최초 규명
 - '18년 연세대와 동아대 연구진은 토마토 근권의 미생물 및 메타유전체 분석을 통해 병에 대한 저항성이 있는 식물의 뿌리 부분에 사는 특정 미생물이 토마토 풋마름병의 발생과 진전을 억제한다는 것을 확인

[그림 3-57] 병저항성과 관련된 식물마이크로바이옴의 구조와 기능 연구



※ 출처: Kwak, M. J., Kong, H. G., Choi, K., Kwon, S. K., Song, J. Y., Lee, J., ... & Jung, E. J. (2018). Rhizosphere Microbiome Structure Alters to Enable Wilt Resistance in Tomato. Nature Biotechnology, 36(11), 1100.

- 이는 식물 내부나 표면, 주변에 사는 바이러스나 세균 등 다양한 생명체의 전체 유전정보인 마이크로바이옴의 구조와 기능을 분석, 미생물이 식물의 병저항성에 미치는 영향을 처음으로 밝혀낸 것
- 이 연구로 인해 토양미생물의 군집 수준에서 가지과 작물의 풋마름병을 효과적으로 제어할 수 있어 실제 농작물의 병 발생 억제와 관련한 친환경 농약, 비료 등 개발이 가능

※ 출처: ScienceTimes. (2018.10.10). 토마토 병저항성 높여주는 미생물 발견.

■ 산업동물의 장내 마이크로바이옴 뱅크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발을 위한 연구 진행 중

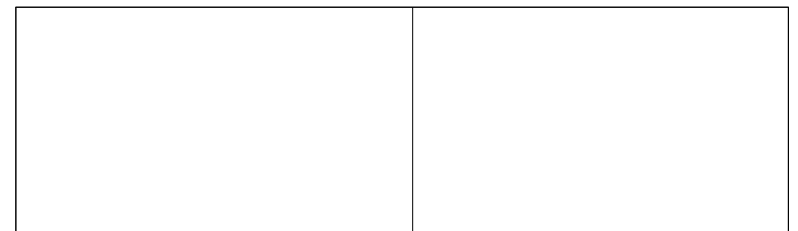
- 농진청, 과기정통부, 농식품부는 산업동물의 장내 마이크로바이옴 뱅크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발을 추진
 - 생산성이 높은 산업동물(닭/돼지/소)의 장내 마이크로바이옴 분석 및 기능을 검증하고, 산업동물 마이크로바이옴 뱅크 구축 및 다목적 복합 생물제제 효능/안전성 연구
 - 면역증진 및 생산성 증진용 복합 생물제제 개발 및 농가 효능평가를 통한 실증 및 산업화를 통한 제품화

※ 출처: 한국원자력연구원. (2017). 「산업동물의 장내 마이크로바이옴 뱅크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발」 사전기획연구 보고서.

■ 작물의 생육과 면역력을 키우는 친환경 작물보호제 개발

- '11년 국립농업과학원 농업미생물팀은 식물의 뿌리 주변 토양에서 작물의 생육촉진·면역력·내한성 등을 증가시키는 바실러스속의 일종인 '바실러스 발리스모르티스 BS07M' 균주 개발
 - BS07M 균주는 작물의 생육을 촉진하는 '옥신(auxin)'과 같은 식물 성장호르몬을 분비하며, 균주를 작물의 뿌리에 처리하면 세포벽이 두꺼워지고 뿌리가 잘 자라 잎의 엽록소를 증가시키는 등 작물의 생육을 도와 수확량을 증대시킴을 확인
 - 또한 개발 균주는 병원균을 억제하는 강력한 항균 물질을 생산하여 작물의 면역기능을 증가시키고, 작물이 추위에 잘 견딜 수 있는 내한성도 높여주는 것으로 확인

[그림 3-59] BS07M균주에 의한 고추 생육촉진 및 면역기능 증가(좌), BS07M균주 처리에 의한 냉해 방제효과(우)



※ 출처: 농촌진흥청. (2011.08.02). 작물 생육촉진·면역력·내한성 돕는 미생물 개발.

나. 화이트바이오

■ 빛을 사용해 스스로 광합성하는 인공세포 개발

- 서강대학교 연구팀은 성균관대, 미국 하버드대와 공동연구를 통해 스스로 광합성하는 인공세포를 개발
 - 시금치의 광합성 단백질과 박테리아의 광전환 단백질을 추출해 생체에너지(ATP)를 생산할 수 있는 인공 미토콘드리아를 제작하고 이 미토콘드리아를 인공세포막에 삽입해 인공세포를

완성

- 개발된 인공세포는 골격 단백질을 스스로 합성하고, 빛에 반응해 움직였으며, 한 달 가량 대사활동을 유지
- 향후 세포내에서 발생하는 다양한 대사활동 중에서 비정상적인 대사의 원인을 밝히고 기능이 저하된 세포를 대체할 것으로 기대

※ 출처: 동아사이언스. (2018.07.19). 스스로 광합성하는 인공세포 개발.

■ 합성 조절 RNA를 이용한 세포공장 기술 개발

- '13년 KAIST 연구팀은 합성 조절 RNA 기술을 활용하여 세포공장을 효율적이고 대규모로 구현하는 기술 개발
 - 연구팀은 합성조절 RNA 기술을 활용해 의약 화합물의 전구체로 사용되는 타이로신(Tyrosine)과 다양한 석유화학 제품에 활용되는 카다베린(Cadaverine) 생산에 도입, 세계 최고의 생산율을 보이는 세포공장을 개발하는데 성공
 - 합성조절 RNA를 이용한 이 기술은 기존 방식과 달리 균주 특이성이 없어 수개월이 소요되던 실험을 수일로 단축

※ 출처: BRIC동향. (2013.01.21). 합성 조절 RNA를 이용한 세포공장 기술 개발...한국과학기술원 이상엽 특훈교수팀.

■ 유전자회로 기술을 개발해 미생물 유전체에서 유용한 물질을 합성하는 유전자 발견

- '19년 한국생명공학연구원 합성생물학전문연구단은 유전자회로 기술을 개발해 서해안 갯벌에서 발견한 미생물의 유전체군(메타게놈)에서 나일론을 생산하는 물질인 엡실론(ϵ)-카프로락탐을 합성하는 효소 유전자 발견
 - 연구진은 엡실론-카프로락탐이 만들어질 때에만 세포가 녹색 형광을 내도록 DNA를 설계한 뒤 이를 미생물에 넣어 일종의 센서로 이용, 엡실론-카프로락탐을 만드는 효소를 빠르게 찾아냄

- 이 기술은 단일세포 수준에서 일어나는 미량의 활성조차도 고감도로 감지해 전통적인 분석법이 갖는 민감도 및 속도의 한계를 동시에 극복

[그림 3-62] 특정 물질을 감지하면 빛을 내도록 만든 미생물의 개념도



※ 출처: 동아사이언스. (2019.01.22). DNA를 회로처럼...원하는 효소 찾는 '인공 유전자 회로' 기술 나와.

■ 나노입자모양의 봉합체(Inclusion Body)가 형성하는 성질을 이용한 인공효소체인 개발

- '17년 한국생명공학연구원 CBD(Cellulose-binding Domain)가 대장균에서 발현되면 나노입자모양의 봉합체(Inclusion Body)가 형성되는 성질을 이용한 인공효소체인 개발
 - 개발팀은 CBD의 N-말단과 효소의 N-말단에 Leucine Zipper를 부착하여 대장균 내에서 인공효소체인 발현
 - 발현된 'Leucine Zipper-효소'들은 대부분 CBD 나노입자에 부착하였고, 부탄올 생합성 효소 5개를 발현한 예를 통하여 생산성이 7.9배 향상됨을 확인

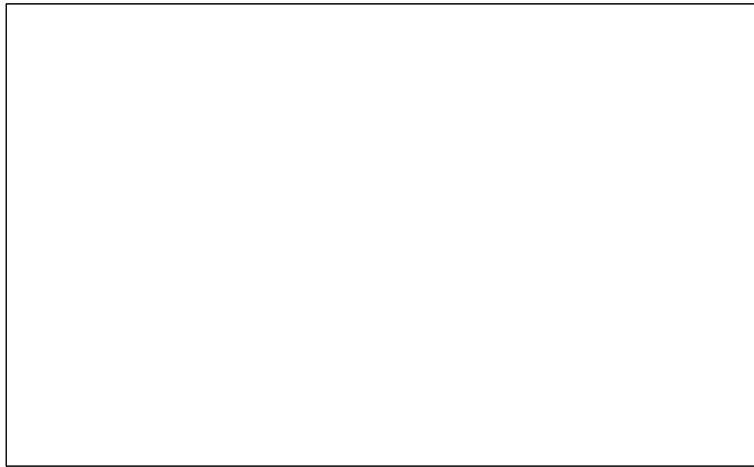
※ 출처: 생명공학정책연구센터. (2018). 2018 미래유망기술 (상) BioNpro Vol 50.

※ 출처: Han, G. H., Seong, W., Fu, Y., Yoon, P. K., Kim, S. K., Yeom, S. J., ... & Lee, S. G. (2017). Leucine Zipper-mediated Targeting of Multi-enzyme Cascade Reactions to Inclusion Bodies in Escherichia Coli for Enhanced Production of 1-butanol. Metabolic Engineering, 40, 41-49.

■ 해양 녹조류 등으로 친환경 바이오플라스틱 제조 기술 개발

- '16년 이화여대 연구팀은 해양 녹조류 등으로 인체에 무해한 친환경 바이오플라스틱을 제조하는 기술을 세계 최초로 개발
 - 연구팀은 녹조류나 미세조류 등에서 쉽게 채취할 수 있는 지방·지방산을 원료로 사용해 고성능 엔지니어링 플라스틱 등을 만들 때 쓰는 '증쇄 카복실산'을 친환경적으로 생산하는 데 성공
 - 이 기술은 상온에서 생물체 세포가 보유하고 있는 효소 기능을 기반으로 한 합성 기술을 활용하기 때문에 에너지 소모율이 낮고 상대적으로 유해 부산물이 적게 발생하며, 원료로 사용되는 해양 녹조류의 가격이 저렴

[그림 3-64] 해양유래 지방/지방산으로부터 얻는 바이오폴리에스터/나이론 생산 경로



※ 출처 : The Science Times. (2016.11.30). 녹조류로 친환경 플라스틱 만든다.

7절. 종합분석(PEST)

		▪	▪
		▪	▪
		▪	▪
		▪	▪

		▪	▪
		▪	▪
		▪	▪
		▪	▪

제4장. 그린·화이트바이오 R&D 역량분석

1절. R&D 투자 현황

1. 투자 현황 분석개요

■ 분석목적

- 그린·화이트바이오 분야의 최근 정부 R&D 투자 현황을 토대로 그린·화이트 분야의 Gap 분석을 통한 본 사업기획의 투자 우선순위 등 기획방향 설정을 위한 기초자료로 활용

■ 분석대상

- 바이오 관련 R&D사업에 투자하고 있는 10개 부처*의 최근 5년간('13년~'17년) 실시한 R&D 과제 34,251개
 - * 과학기술정보통신부, 교육부, 농림축산식품부, 농촌진흥청, 산림청, 보건복지부, 산업통상자원부, 식품의약품안전처, 해양수산부, 환경부

■ 분석대상 선별 과정

- ① NTIS에 등록된 전체 정부 R&D 과제 중 최근 5년간('13년~'17년) 10개 부처(다부처 포함)에서 수행한 과제 121,980개 추출
- ② 과제의 6T 분류 중 BT 분야에 속한 과제 86,879개 추출
 - * 6T 분야의 데이터가 없는 과제도 포함
- ③ 그린·화이트바이오 분야의 키워드*를 포함하는 과제 420개 추출
 - * 기획위원회의 논의를 거쳐 8개 분야별 최소 5개, 최대 12개의 키워드를 추출

<표 4-1> 그린·화이트바이오 분야 분류(안)

▪	▪	▪

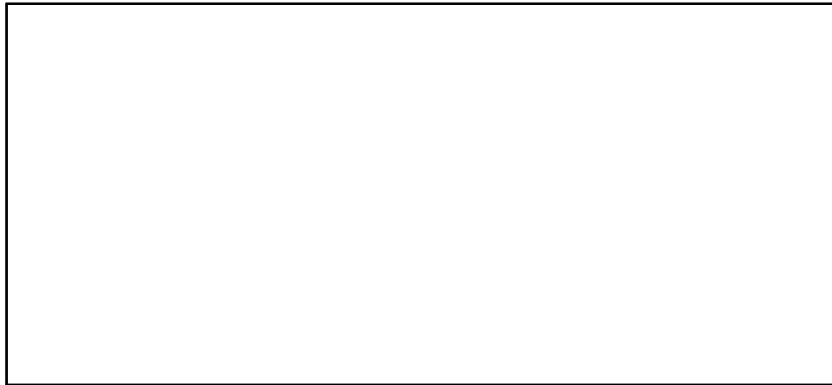
- ④ 최종적으로 215개의 R&D 과제를 추출하여 연도별, 부처별, 연구수행기관별, 국가과학기술 표준분류별, BT 세부분야별, 연구개발단계별 등 10개 관점별로 그린·화이트바이오 8개 중점분야의 투자규모를 분석

2. 투자 현황 분석결과

■ 그린·화이트분야 정부R&D 투자액

- NTIS 기준 최근 5년간 그린·화이트바이오 핵심기술에 대한 정부 R&D 투자는 총 981.7억 원(총 215건 과제)
 - 과제 수는 친환경 소재 생산 그린바이오 기술(74건, 34%) > 그린바이오-ICT 융복합 기술(41건, 19%) > Earth-Care 생물화학 소재(30건, 14%) 순
 - R&D 투자액은 그린바이오 유전체공학 기술(289.4억 원, 29%) > Earth-Care 생물화학 소재(184.1억 원, 19%) > 친환경 소재 생산 그린바이오 기술(181.0억 원, 19%) 순
 - 과제 1건 당 투자액은 그린바이오 유전체공학 기술(10.0억 원) > 인공세포 플랫폼 기술(8.3억 원) > Earth-Care 생물화학 소재(6.1억 원) 순

[그림 4-1] 그린·화이트바이오 핵심기술별 정부 R&D 지원 과제 수('13~'17)



[그림 4-2] 그린·화이트바이오 핵심기술별 정부 R&D 투자액(억 원)('13~'17)



■ 부처별 그린·화이트바이오 정부투자액

- 부처별 R&D 투자액은 과기정통부(519억 원, 52.9%) > 농식품부(148억 원, 15.1%) > 산업부(95억 원, 9.7%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 투자액은 과기정통부(387.6억 원, 88.3%), 농진청(37.2억 원, 8.5%), 농식품부(7.7억 원, 1.8%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 농식품부(132.7억 원, 41.9%), 과기정통부(81.9억 원, 25.9%), 농진청(41.7억 원, 13.2%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 해수부(70.6억 원, 31.3%), 산업부(54.2억 원, 24.0%), 과기정통부(50.3억 원, 22.3%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 부처별 그린·화이트바이오 지원 과제 수

- 부처별 R&D 지원 과제 수는 농식품부(61개, 28.4%) > 과기정통부(55개, 25.6%) > 농진청(47개, 21.9%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 과기정통부(30개, 63.8%), 농진청(10개, 21.3%), 교육부(4개, 8.5%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 농식품부(56개, 45.2%), 농진청(30개, 24.2%), 산업부(16개, 12.9%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 과기정통부(12개, 27.3%), 산업부(11개, 25.0%), 농진청(7개, 15.9%) 순

■ 연구수행기관별 그린·화이트바이오 정부투자액

- 연구수행기관별 R&D 투자액은 대학(618억 원, 63.0%) > 기업(181억 원, 18.5%) > 출연연구소(119억 원, 12.1%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 투자액은 대학(367.9억 원, 83.8%), 출연연구소(54.5억 원, 8.5%), 기업(16.7억 원, 3.8%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 기업(139.5억 원, 44.0%), 대학(100.2억 원, 31.6%), 출연연구소(39.4억 원, 12.4%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 대학(149.9억 원, 66.4%), 출연연구소(25.2억 원, 11.2%), 기업(25.1억 원, 11.1%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 연구수행기관별 그린·화이트바이오 지원 과제 수

- 연구수행기관별 R&D 지원 과제 수는 대학(114개, 53%) > 기업(56개, 26%) > 국공립연구기관(24개, 11%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 대학(39개, 83.0%), 기업·출연연구소(각 4개, 8.5%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 대학(48개, 38.7%), 기업(46개, 37.1%), 국공립연구기관(19개, 15.3%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 대학(27개 61.4%), 기업(6개, 13.6%), 국공립연구기관(5개, 11.4%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 국가과학기술분류별 그린·화이트바이오 정부투자액

- 국가과학기술분류별 R&D 투자액은 농림수산식품(424.7억 원, 43.3%) > 생명과학(343.1억 원, 34.9%) > 화공(105.5억 원, 10.7%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 투자액은 생명과학(218.9억 원, 49.8%), 농림수산식품(184.4억 원, 42.0%), 화공(15.4억 원, 3.5%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 농림수산식품(218.1억 원, 68.9%), 생명과학(44.2억 원, 14.0%), 정보/통신(32.5억 원, 10.3%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 화공(90.1억 원, 39.9%), 생명과학(80.0억 원, 35.4%), 농림수산식품(22.2억 원, 9.8%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 국가과학기술분류별 그린·화이트바이오 지원 과제 수

- 국가과학기술분류별 R&D 과제 수는 농림수산식품(115개, 53.5%) > 생명과학(63개, 29.3%) > 화공(12개, 5.6%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 생명과학(27개, 57.4%), 농림수산식품(12개, 25.5%), 화공(2개, 4.3%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 농림수산식품(95개, 76.6%), 생명과학(17개, 13.7%), 기계(4개, 3.2%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 생명과학(19개, 43.2%), 화공(10개, 22.7%), 농림수산식품(8개, 18.2%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 6T분야별 그린·화이트바이오 정부투자액

- 6T 분야별 R&D 투자액은 생물공정기술(281.3억 원, 28.7%) > 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술(140.3억 원, 14.3%) > 기타 농업/해양/환경 응용기술(134.5억 원, 13.7%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 투자액은 생물공정기술(225.2억 원, 51.3%), 유전체기반기술(61.5억 원, 14.0%), 기타기초/기반기술(44.0억 원, 10.0%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 기타 농업/해양/환경응용기술(118.8억 원, 37.5%), 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술(51.7억 원, 16.4%), 동식물 병해충 제어기술(47.4억 원, 15.0%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술(84.6억 원, 37.5%), 생물공정기술(53.1억 원, 23.5%), 단백질체 연구(21.3억 원, 4.8%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 6T분야별 그린·화이트바이오 지원 과제 수

- 6T 분야별 R&D 지원 과제수는 기타 농업/해양/환경응용기술(55개, 25.6%) > 동식물 병해충 제어기술(28개, 13.0%) > 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술(26개, 12.1%) 순으로 조사
- 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 유전체기반기술(11개, 23.4%), 유전자 변형 생물체 개발기술(10개, 21.3%), 생물공정기술(7개, 14.9%) 순
- 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 기타 농업/해양/환경응용기술(47개, 37.9%), 동식물 병해충 제어기술(27개, 24.2%), 농업/해양 생물자원의 보존 및 이용기술(20개, 16.1%) 순
- 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 생물공정기술(12개, 27.3%), 기능성 바이오소재 기반기술·기타 농업/해양/환경응용기술·환경 생명공학기술(각 6개, 13.6%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 연구개발단계별 그린·화이트바이오 정부투자액

- 연구개발단계별 R&D 투자액은 기초연구(448.2억 원, 45.7%) > 개발연구(303.6억 원, 30.9%) > 응용연구(207.2억 원, 21.1%) 순으로 조사
- 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 투자액은 기초연구(317.1억 원, 72.2%), 응용연구(69.1억 원, 15.7%), 개발연구(40.1억 원, 9.1%) 순
- 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 개발연구(201.0억 원, 63.5%), 응용연구(65.2억 원, 20.6%), 기초연구(46.9억 원, 14.8%) 순
- 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 투자액은 기초연구(84.2억 원, 37.3%), 응용연구(72.9억 원, 32.3%), 개발연구(62.5억 원, 27.7%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

■ 연구개발단계별 그린·화이트바이오 지원 과제 수

- 연구개발단계별 R&D 지원 과제수는 개발연구(85개, 39.5%) > 기초연구(80개, 37.2%) > 응용연구(45개, 20.9%) 순으로 조사
 - 그린·화이트바이오공통기반기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 기초연구(35개, 74.5%), 응용연구(6개, 12.8%), 개발연구(5개, 10.6%) 순
 - 그린바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 개발연구(67개, 45.2%), 응용연구(34개, 27.4%), 기초연구(20개, 16.1%) 순
 - 화이트바이오핵심기술분야 정부 R&D 지원 과제 수는 기초연구(25개, 56.8%), 개발연구(13개, 29.5%), 응용연구(5개, 11.4%) 순

※ 상기 그린·화이트바이오 8개 중점 기술은 기획위원회의 논의를 거쳐 선정된 분야

2절. 기술수준 현황

■ 그린·화이트바이오 기술수준 현황

- '16년 기술수준평가에 따르면, 대다수의 그린·화이트바이오 분야 기술은 최고기술국 대비 평균 4.4년의 기술격차를 나타냄
 - 120개 국가전략기술에 대하여 실시된 기술수준평가에서 그린·화이트바이오 분야로 분류 가능한 기술들은 전체적으로 '추격' 그룹에 해당
 - '16년도 기준 그린·화이트바이오 분야의 기술들은 최고기술국과 3.4~5.4년의 기술격차가 나타남
 - 일부 기술을 제외한 대다수의 기술들은 '14년보다 기술격차가 증가한 상황

<표 4-2> 그린·화이트바이오 기술수준 및 기술격차

기술명	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차	기술수준	기술격차

※ 참조 : KISTEP. (2017). '2016년 기술수준평가'로부터 STSI 재구성

3절. R&D 인프라 현황

1) 연구인력 현황

■ 본 사업수행을 위한 연구인력은 충분한 수준

- '17년 기준 본 사업 관련 연구인력은 총 401,111명으로 사업 수행에 충분
 - 그린·화이트바이오 연구개발사업은 이학, 공학, 농업과학의 전 분야와 연관되어 있는 범위가 넓은 사업으로 대다수의 관련 분야 연구자들이 참여 가능
 - '17년 기준 이학분야 연구인력은 67,736명, 공학분야 연구인력은 322,952명, 농업과학분야 연구인력은 10,423명으로 본 사업 수행을 위한 인력은 충분한 상황

<표 4-3> 우리나라 분야별, 전공별, 학위별 연구원 수 현황

구분	학위	전공																		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10									
인원	박사																			
	석사																			
	학사																			
비율	박사																			
	석사																			
	학사																			

※ 참조 : 과기정통부, KISTEP. (2018). '2017년도 연구개발활동조사보고서(통계표)'로부터 STSI 재구성

2) 연구시설·장비 현황

■ 그린·화이트바이오 연구개발사업 수행을 위한 연구시설·장비 인프라 수준은 적절한 것으로 조사

- 국내 연구시설·장비* 중 그린·화이트바이오 연구개발사업을 수행하기 위한 연구시설·장비**는 총 60,079점으로 조사
 - * ZEUS 장비활용종합포털(www.zeus.go.kr)에 등록되어 있는 모든 연구시설·장비
 - ** 그린·화이트바이오 분야는 주로 바이오와 화학과 관련된 분야로, 바이오·화학과 관련된 연구수행에 활용이 가능한 장비를 추출
- 조사된 연구시설·장비는 그린·화이트바이오 연구개발사업을 수행하는데 있어 충분한 수준으로 파악

<표 4-4> 그린·화이트바이오 관련 주요 연구시설·장비 현황

구분	연구시설·장비명	수량	비고
인원			
비율			

※ 참조 : '국가연구시설장비진흥센터(NFEC) ZEUS장비종합포털 연구시설·장비 현황 내부자료'로부

타 STSI 재구성.

<표 4-5> 그린·화이트바이오 연구개발사업 수행을 위한 주요 연구시설·장비 리스트

※ 참조 : '국가연구시설장비진흥센터(NFEC) ZEUS장비종합포탈 연구시설·장비 현황 내부자료'로부터 STSI 재구성.

4절. 주요 시사점

■ 그린·화이트바이오 분야의 부처 R&D 투자 및 기술역량은 부족

- 그린·화이트바이오 중점분야에 대한 과기정통부의 R&D 투자는 미진한 상황
 - 최근 5년간 그린·화이트바이오 각 분야에 대한 과기정통부의 R&D 투자액은 연간 100억 원 이하**
 - * 그린·화이트바이오공통기반기술분야, 그린바이오핵심기술분야, 화이트바이오핵심기술분야
 - ** 그린·화이트바이오공통기반기술분야 : 연평균 77.5억 원, 그린바이오핵심기술분야 : 연평균 16.4억 원, 화이트바이오핵심기술분야 : 연평균 10억 원
 - 또한, 과기정통부가 지난 5년 간 그린·화이트바이오 중점분야에 지원한 과제 수는 총 55개로 농식품부보다도 적은 상황

- 그린·화이트바이오 분야의 선진국과의 기술수준 격차는 점차 벌어지는 상황
 - 현재 그린·화이트바이오 분야의 기술격차는 선진국 대비 3~5년의 기술격차를 나타내는 중
 - 최근 몇 년간 일부 기술을 제외한 그린·화이트바이오 분야의 대다수의 기술들은 오히려 기술격차가 증가하고 있는 상황

■ 그린·화이트바이오 연구개발에 필요한 인프라 상황은 충분한 수준

- 그린·화이트바이오 연구개발사업 추진에 필요한 인력 및 시설·장비 인프라는 이미 충분히 갖추어진 상황
 - 그린·화이트바이오 중점분야 연구개발에 필요한 연구인력과 연구시설·장비는 이미 충분히 확보된 것으로 조사

■ 연구 인프라 확보보다 정부의 R&D 투자지원 확대가 보다 시급

- 그린·화이트바이오 분야 기술역량 확보 및 기술격차 해소를 위해서는 인프라 확보보다는 정부의 적극적인 R&D 투자확대가 보다 시급한 상황
 - 연구개발에 필요한 인프라는 이미 충분히 확보된 상황으로, 선진국과의 기술격차를 좁히기 위해서는 정부의 R&D 투자 확대 및 적극적 지원이 필요할 것으로 판단

제5장. 그린·화이트바이오 중점기술분야 도출

1절. 중점기술분야 도출 절차

■ 분과위원회의 발의와 기획위원회 검토 및 기술수요조사 결과에 기반하여 중점기술분야 선정

- 그린·화이트바이오 기획위원회 및 기획위원회 산하 분과위원회를 구성하여 중점기술분야를 사전 발굴하고, 이에 기반한 기술수요조사 실시 및 재검토를 통한 중점기술분야 확정

[그림 5-1] 중점기술분야 선정 프로세스



- (1단계) 분과위원회 내부 논의를 통한 그린·화이트바이오 전략분야 후보 발굴
 - 분과위원회 내부 검토 및 논의를 통하여 그린·화이트바이오 R&D 추진필요 전략분야 후보군을 발굴
 - 전략분야 후보군은 최근 전 세계적인 기술개발 트렌드와 국내 R&D 투자동향 및 연구개발사업 추진동향 등을 분석하여 그린·화이트바이오 분야의 R&D투자 GAP을 찾아 시급성, 전략성, 중요도 등의 우선순위가 상대적으로 높은 분야로 선별
 - ※ 본 단계에서 전략분야 후보는 그린·화이트바이오 분야구분 없이 발굴 진행
- (2단계) 부처 R&D 전략방향과 부처계획을 고려하여, 각 분과별 전략분야 발의
 - 발굴된 전략분야 후보군으로부터 과기정통부의 R&D 전략방향과 「제3차 생명공학육성기본계획」을 고려하여, 그린·화이트바이오 6개 전략분야* 발의
 - * 합성생물학 기술분야, ICT 활용 스마트팜 기술분야, 오믹스 활용 기술분야, 우주생물학 기술분야, 생체모방 기술분야, GW바이오 플랫폼 기술분야

<표 5-1> 그린·화이트바이오 6개 전략분야의 정의 및 범위

- (3단계) 발의된 전략분야에 대한 기획위원회 검토
 - 발의된 6개 전략분야에 대한 기획위원회의 내부 검토를 통하여 일부 보완 및 수요기술조사 추진 승인
- (4단계) 기술수요조사 기획 및 실시
 - 제안기술명, 제안기술 개요, 배경 및 필요성, 목표, 연구내용 등 11개 항목으로 기술수요조사 항목을 설계하고, 기획위원 13인을 대상으로 이메일을 이용한 기술수요조사 실시

<표 5-2> 그린·화이트바이오 기술수요조사 항목

- (5단계) 기술수요조사 결과를 기반으로 분야별 중점기술분야(안) 도출
 - 기획위원회를 통하여 기술수요조사 결과로부터 그린·화이트바이오 각 분야별 3개의 중점기술분야(안) 도출

<표 5-3> 기술수요조사로부터 도출된 그린·화이트바이오 중점기술분야(안)

- (6단계) 도출된 분야별 중점기술분야에 대한 초안 작성
 - 그린·화이트바이오 각 분야별로 도출된 중점기술분야에 대해 분과별 논의를 통한 기술정의 및 세부예시에 대한 초안 작성
- (7단계) 중점기술분야 초안에 대한 분과위원회 내부 검토 및 기획위원회의 총괄검토를 통한 수정(안) 작성
 - 그린·화이트바이오 중점기술분야 초안에 대한 분과 내부 검토의견 취합 및 조정과 기획위원회 총괄의견에 따라 중점기술분야명, 정의, 세부기술 예시 등을 보완한 수정(안) 작성
- (8단계) 수정(안)에 대한 부처 및 기획위원회 심의·의결을 통한 중점기술분야 확정
 - 수정·보완된 중점기술분야에 대한 과기정통부 및 기획위원회의 최종 심의·의결에 따라 최종적인 그린·화이트바이오 중점기술분야 확정

2절. 그린바이오 중점기술분야 도출

※ 그린바이오 중점기술분야 도출과정은 중점기술분야 도출 절차 중 그린·화이트바이오 분야 공통으로 진행된 5단계까지의 과정은 제외하고 이후(6단계부터 8단계) 과정만을 기술

■ 그린바이오 중점기술분야 도출 프로세스



■ 그린바이오 중점기술분야 초안 작성

○ 수요기술조사 및 생명공학육성기본계획 기반 초안 작성

			-
			-

■ 그린바이오 중점기술분야 초안에 대한 검토

○ 중점기술 1에 대한 의견

- 중점기술분야명을 '그린바이오-ICT 융복합기술'로 변경
- 세부기술예시의 '농작물 생육 정밀 모니터링'을 '농작물 병충해 예찰 및 재배환경 정밀 모니터링'으로 명칭 변경
- 세부기술의 예시를 '생산성 증대 ICT 융복합', '마이크로바이옴 ICT 융복합 활용기술'로 변경
- '동/식물 미생물 세포공장 활용 유용물질 생산', '유용 대사물질 생산/활용기술'을 중점기술 2인 '마이크로바이옴 활용기술'로 이동
- 세부기술예시를 '농작물 생육 정밀 모니터링 및 DB 구축', '식물세포공장', '식물세포 활용 유용단백질 생산기술', '고부가가치 식물생산 시스템 구축'등으로 변경

○ 중점기술 2에 대한 의견

- 중점기술분야명은 '마이크로바이옴 활용기술'을 '마이크로바이옴 활용 플랫폼 구축 기술'로, 정의는 '농작물, 동식물과 관련된 마이크로바이옴 정보를 기반으로 작물 및 가축 질환 예방과 생산성을 향상시키는 기술'로 변경
- 중점기술분야명을 '미생물활용기술'로 변경하고 정의를 '전통발효식품유래, 기타 그린바이오(농생명) 영역에서 유래한 미생물의 유용한 효소, 유용물질 등의 대량생산을 위한 기초원천 또는 기반 기술 및 마이크로바이옴(파이토타바이옴 포함)의 농식품 활용 기술'로 수정
- 또한, 세부기술예시는 '발효미생물의 유용물질 및 효소 대량생산기술, 미생물세포공장기술, 마이크로바이옴 활용 기능성종균 활용 기술, 종균 발굴 및 기능성유지 기술 등'으로 변경

○ 중점기술 3에 대한 의견

- 중점기술분야명을 '차세대 친환경소재 활용기술'에서 '친환경 그린바이오 소재 개발 기술'로 변경하고, 정의는 '그린바이오 분야에 적용 가능한 차세대 천연 소재 개발 및 활용 기술'로 수정
- 세부기술예시의 '화학물질 대체 친환경 바이오신소재 개발'을 '화학물질 대체 또는 사용량 감소를 위한 친환경소재 개발'로 변경
- 중점기술분야명을 '차세대 친환경소재 활용기술'을 '차세대 친환경 소재'로 변경하고 세부 기술예시에서 '스마트 작물보호제 개발기술'을 친환경 작물보호제로 변경
- 세부기술예시의 '화학물질 대체 친환경바이오 소재'는 화이트바이오에 해당되므로 제외
- '차세대'라는 용어는 농진청 R&D사업에 10년 이상 사용되어 왔기에 중복 이미지를 주며 '소재'라는 용어도 광범위하여, '친환경'의 용어와 가장 적절하게 매칭되는 '작물보호기술'로 한정하는 것이 중점기술분야명으로 적절

○ 4번째 중점기술분야 추가의견

- '고부가가치 소재개발 원천기술'을 중점기술분야에 추가

■ 그린바이오 중점기술분야 수정(안)

○ 검토의견을 반영하여 수정(안) 작성

○ 최종 보완의견을 수렴하여 아래와 같이 중점기술분야 작성

3절. 화이트바이오 중점기술분야 도출

※ 그린바이오 중점기술분야 도출과정은 중점기술분야 도출 절차 중 그린·화이트바이오 분야 공통으로 진행된 5단계까지의 과정은 제외하고 이후(6단계부터 8단계) 과정만을 기술

■ 화이트바이오 중점기술분야 도출 프로세스



■ 화이트바이오 중점기술분야 초안 작성 방향 설정

○ 기획위원회에서 도출된 키워드 및 수요기술조사에 기반하여 중점기술분야 작성방향 설정

■ 화이트바이오 중점기술분야 초안 작성 방향성 검토

- 전체 중점기술분야에 대한 의견
 - 융합, 플랫폼기술을 강조하면서 타부처와의 차별성을 가질 수 있도록 고려할 필요
 - 크리스퍼, 합성생물학, 마이크로바이옴 등의 '과기혁신전략 2020' 키워드의 반영 필요
- 중점기술분야 2에 대한 의견
 - 스마트 생물-화학 프로세스의 세부기술예시에는 다운스트림(분리정제) 또는 화학 전환, 폴리머 합성 등을 추가하는 것을 고려할 수 있음
 - 유기산 정제 기술로서 Acid Form 정제기술을 포함하거나, 바이오화학제품 생산하는데 있어 극복이 필요한 플랫폼기술 또는 와해기술을 추가하는 것도 생각해 볼 수 있음
- 중점기술분야 3에 대한 의견
 - 중·단기적으로 화장품과 Health-care에 대한 내용을 포함하는 것도 생각해 볼 필요

■ 화이트바이오 중점기술분야 초안

○ 검토의견을 반영하여 초안 작성

○ 최종 보완의견을 수렴하여 아래와 같이 중점기술분야 작성

제6장. 그린·화이트바이오 기술수요조사

1절. 기술수요조사 개요

■ 기술수요조사의 목적

- 그린·화이트바이오 원천기술개발을 위한 산·학·연 전문가 대상 기술수요 조사
 - ‘그린·화이트바이오 R&D 전략 수립’을 위한 기초자료로서 그린·화이트바이오 분야 원천기술 개발수요 발굴

■ 기술수요조사 결과 활용

- 그린·화이트바이오 분야 원천기술개발과 R&D 전략 수립을 위한 기초자료로서 활용
 - 그린·화이트바이오 분야 원천기술개발의 영역에 대한 수요를 확인하여, 향후 기술개발 투자 영역 설정에 적극 활용

■ 기술수요조사 방법

- 조사기간
 - '18.12.7(금) ~ '18.12.14(금) (8일간)
- 조사대상
 - 그린·화이트바이오 기획위원(산·학·연 전문가) 13인
- 조사방법
 - 이메일을 통한 수요조사 실시
- 수요조사 항목
 - 제안기술 분류, 제안기술명, 제안기술의 개요 (정의 및 개념), 제안 기술의 배경 및 필요성, 기술의 국내·외 동향, 제안기술 수준, 제안기술 연구개발 내용, 제안기술 차별성 및 독창성, 제안기술의 기대 및 파급효과, 제안기술의 예상되는 총 연구기간 및 연간 소요연구개발비

2절. 기술수요조사 종합결과

■ 그린·화이트바이오 분야 기술수요 리스트

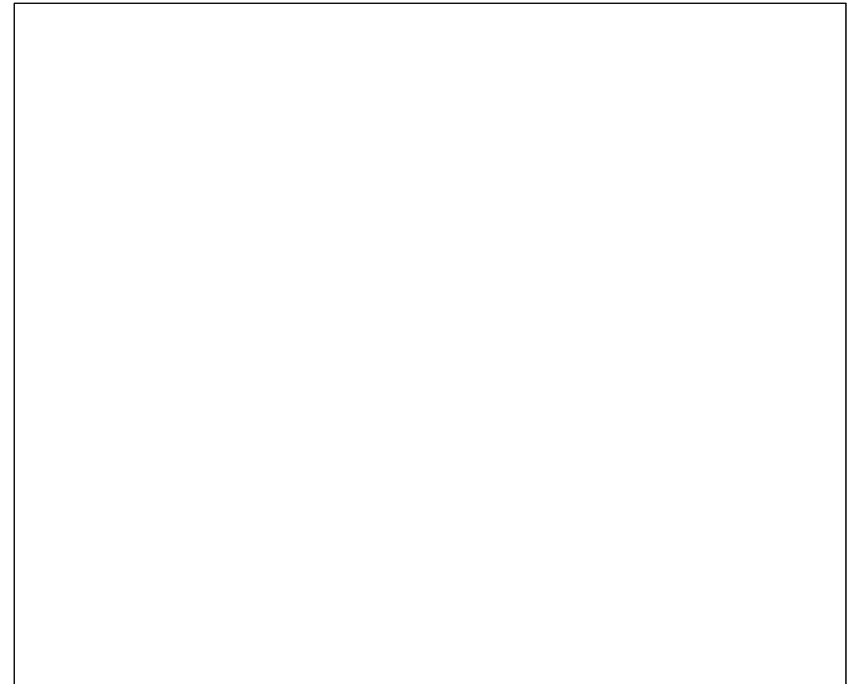
구분	기술명	주요내용	기술수요	기술수요			비고
				수요	수요	수요	

■ 그린·화이트바이오 중점기술분야별 수요기술의 분포

■ 그린·화이트바이오 수요기술의 주요 키워드

- 그린·화이트바이오 수요기술의 키워드 분석
 - 조사된 그린·화이트바이오 수요기술에서 나타나고 있는 주요 키워드를 도출하기 위하여 데이터분석을 실시
 - 데이터 분석프로그램인 'R'을 활용하여 44개 수요기술서 내용을 개별 단어로 분리한 후, 상위빈도 200개 단어를 추출하고 이를 워드클라우드로 이미지화

[그림 6-2] 상위빈도 200개 단어 추출결과



※ 위 그림은 데이터분석 프로그램인 'R'을 통해 분석한 내용

- 그린·화이트바이오 수요기술에서의 주요 키워드 분석 결과
 - 데이터 분석을 통해 나타난 그린·화이트바이오 수요기술 내용에서의 주요 키워드는 '미생물', '합성', '소재', '작물', '식물', '유전', '유전자', '플랫폼', '효소', '세포', '단백질', '대사', '공정' 등으로 나타남
 - 상기 키워드들은 그린·화이트바이오 분야 8개 중점기술분야와도 매우 일치

[그림 6-3] 그린·화이트바이오 수요기술의 워드클라우드



■ 그린·화이트바이오 분야 기술수요

- 그린·화이트바이오 분야 기술수요는 총 44건으로 Earth-care 생물화학소재 기술(10건), 인공세포 플랫폼 기술(7건), 친환경 소재 생산 그린바이오 기술(6건), 효소 및 대사공학 기술(6건) 순으로 나타남

- 그린·화이트바이오 중점기술분야별 연구비 총액은 농생물 미생물활용 기술 480억 원(8년 과제), 인공세포 플랫폼 기술 365억 원(5년과제), Earth-care 생물화학소재 기술 325억 원(5년과제) 순으로 나타남

- 중점기술분야별 연간 평균 연구비는 농생물 미생물활용 기술 60억 원(8년과제), 그린바이오 유전체공학 기술 13.3억 원(5년과제), 인공세포 플랫폼 기술 10.4억 원(5년과제) 순으로 나타남

- 그린·화이트바이오 분야 연구개발기간의 수요는 3년(3건), 5년(40건), 8년(1건)이었으며, 연구개발에 필요한 연간 연구개발비는 10억(18건), 5억(14건) 순으로 나타남

[그림 6-8] 그린·화이트바이오 연구개발비 수요

--	--

- 그린·화이트바이오 분야 기술수준에 따른 기술수요는 '추격'에 해당하는 것이 가장 많은 것으로 나타남

- 수요기술 분야의 선진국대비 과학기술 수준은 '후발'에서 '추격', 인력 수준은 '추격'에서 '유사', 인프라 수준은 '추격'에 해당되는 것으로 나타남

3절. 수요기술 우선순위 도출 결과

1. 수요기술 검토의 개요

■ 수요기술 검토의 목적

- 그린·화이트바이오 기술수요조사에 따른 각 기술별 중요도, 성공가능성, 파급효과에 대한 검토
 - 각 기획위원의 검토를 통해 그린·화이트바이오 분야 각 수요기술의 전략적 중요도, 기술적 성공가능성, 경제(사회)적 파급효과에 대한 객관화된 자료 확보

① 전략적 중요도

- 전략적 중요도는 제안기술 자체의 중요성과 기술개발 환경 변화에 따라 제안기술과 관련하여 정부의 실질적인 지원 필요성이 있는지에 대해 검토
 - 기술수요조사서 '제안기술 필요성', '제안기술 목표' 내용을 참고하여 검토

② 기술적 성공가능성

- 기술적 성공가능성은 제안기술 자체의 핵심 기술개발 내용과 타 기술과의 독창성 및 차별성, 기술실현 및 향후 발전 가능성 등을 검토
 - 기술수요조사서의 '제안기술 내용', '제안기술 차별성 및 독창성'에 기재된 내용을 참고하여 검토

③ 경제(사회)적 파급효과

- 경제(사회)적 파급효과는 제안기술이 관련 산업분야를 포함하여 타 분야로 활용이 가능한지에 대한 확장 가능성을 검토
 - 기술수요조사서의 제안기술의 '기대 및 파급효과' 부분을 참고 및 검토

■ 수요기술 검토결과활용

- 그린·화이트바이오 분야 기술개발 우선순위 도출을 위한 기초자료로서 활용
 - 그린·화이트바이오 분야 각 수요기술의 우선순위를 도출하여, 향후 기술개발 방향과 전략 설정에 활용

■ 수요기술 검토방법

- 검토기간
 - '18.12.21(금) ~ '19.1.11(금)
- 검토전문가
 - 그린·화이트바이오 기획위원(산·학·연 전문가) 13인
- 조사방법
 - 이메일을 통한 개별 검토결과 회신

○ 검토 항목

- 수요기술(50개)의 전략적 중요도, 기술적 성공가능성, 경제(사회)적 파급효과

○ 검토방법

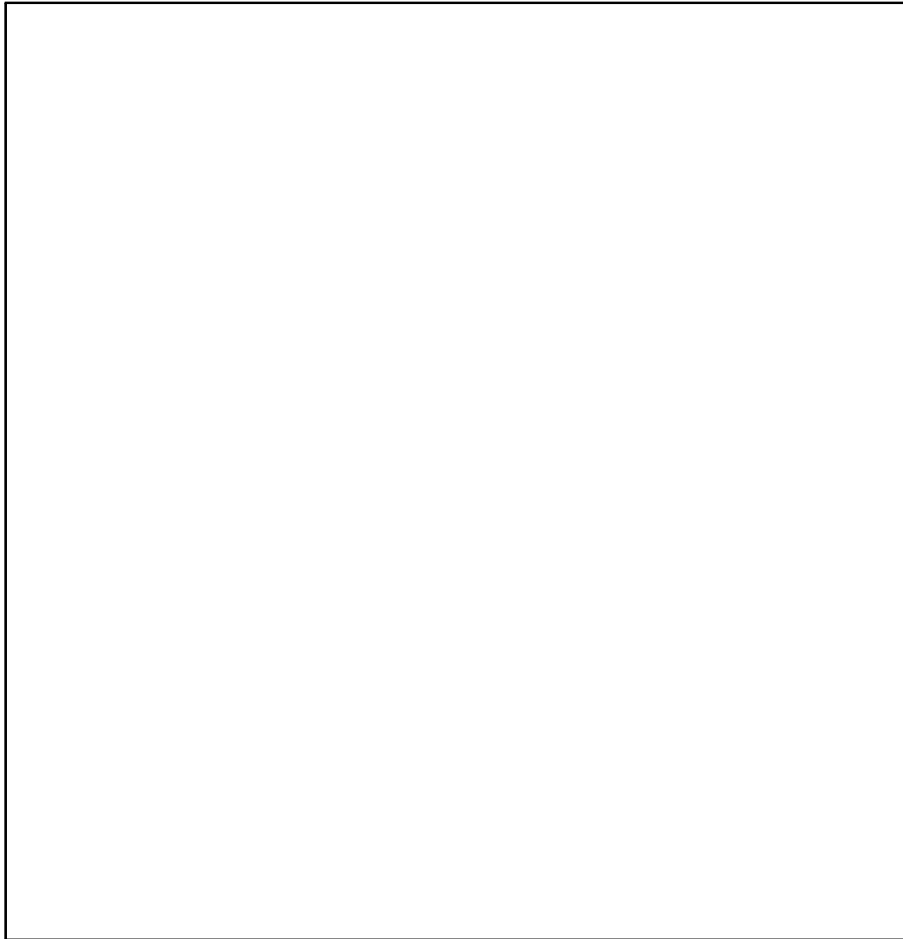
- 본 사업의 목적과 상이하거나 제안된 수요기술이 검토자와 직·간접적인 관련이 있는 경우 검토 제외
- 수요기술별 각 검토항목에 대해 5점 척도(매우낮음, 낮음, 보통, 높음, 매우높음)로 점수부여
- 매우낮음은 1점, 낮음은 2점, 보통은 3점, 높음은 4점, 매우높음은 5점으로 점수 산정

2. 수요기술 검토결과

■ 그린·화이트바이오 수요기술 검토결과 리스트

<표 6-1> 44개 수요기술에 대한 검토결과

■ 그린·화이트바이오 수요기술별 전략적 중요도, 기술적 성공가능성, 경제(사회)적 파급효과



주) 그래프에서 번호 1~44는 수요기술 리스트 상에서의 번호를 의미

○ 전략적 중요도

- 그린·화이트바이오 분야 수요기술의 전략적 중요도는 평균 2.9점(보통)으로, 높음(3~4점) 19개, 보통(2~3점) 25개로 나타남

<표 6-2> 전략적 중요도 '높음'에 해당하는 수요기술

○ 기술적 성공가능성

- 그린·화이트바이오 분야 수요기술의 기술적 성공가능성은 평균 3.0(높음)으로, 높음(3~4 점) 24개, 보통(2~3점) 20개로 나타남

<표 6-3> 기술적 성공가능성 '높음'에 해당하는 수요기술

○ 경제(사회)적 파급효과

- 그린·화이트바이오 분야 수요기술의 사회경제적 파급효과는 평균 3.0점(높음)으로, 높음(3~4 점) 23개, 보통(2~3점) 21개로 나타남

<표 6-4> 경제(사회)적 파급효과 '높음'에 해당하는 수요기술


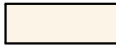
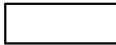
■ 그린·화이트바이오 수요기술 우선순위 도출

- 그린·화이트바이오 수요기술의 우선순위 도출은 BMO 평가모형*을 변형하여 적용
 - * 개발 프로젝트의 사업화를 추진할 것인지, 아니면 추진하지 않을 것인지를 판단하는 평가기법
 - BMO 평가모형 변형을 이용하여 그린·화이트바이오 수요기술의 우선순위 및 핵심기술 후보군* 도출
 - * (최우선군) : 국가과학기술 경쟁력 제고를 위해 최우선적으로 추진할 수 있는 그룹, (우선군) : 과학기술적 또는 국가전략적 중요성 및 활용성이 어느정도 인정되는 그룹, (차선군) : 향후 환경변화에 따라 정책적 고려가 필요한 그룹
- 기술매력성
 - 기술적 성공가능성 및 경제(사회)적 파급효과를 바탕으로 수요기술에 대해 최우선군, 우선군, 차선군 후보를 도출
- 기술적합성
 - 전략적 중요도 및 기술적 성공가능성에 관한 검토결과를 기반으로 수요기술의 우선순위 도출
- 기술대표성
 - 제안기술의 전략적 중요도와 경제(사회)적 파급효과 검토 결과를 바탕으로 우선순위 도출
- 기술핵심성
 - '전략적 중요도 + 경제(사회)적 파급효과'와 '기술적 성공가능성'의 검토결과를 종합하여 최우선군, 우선군, 차선군 등 핵심기술 후보 도출
 - 기술핵심성 분석은 핵심기술을 찾아내기 위한 종합 분석의 과정

■ 기술매력성 분석

- 기술매력성에서는 1개 최우선군과 11개의 우선군이 분포
 - 44개의 수요기술의 기술매력성 분석결과 최우선군은 효소 및 대사공학 기술 1개, 우선군은 Earth-care 생물화학소재 기술 5개, 효소 및 대사공학 기술 2개, 그린바이오 유전체공학 기술 1개, 그린바이오-ICT 융복합기술 1개, 농생명 미생물 활용 기술 1개, 인공세포 플랫폼 기술 1개로 나타남

<표 6-5> 기술매력성 분석 결과

 : 최우선군  : 우선군  : 차선군					

■ 기술적합성 분석

- 기술적합성에서는 12개의 우선군이 분포
 - 44개의 주요기술의 기술적합성 분석결과 최우선군은 0개, 우선군은 Earth-care 생물화
학소재 기술 3개, 농생명 미생물 활용 기술 2개, 친환경 소재 생산 그린바이오 기술 2
개, 효소 및 대사공학 기술 2개, 그린바이오 유전체공학 기술 1개, 인공세포 플랫폼 기술 1
개로 나타남

<표 6-6> 기술적합성 분석 결과

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 30px; height: 15px; background-color: #D2691E; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> : 최우선군 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 30px; height: 15px; background-color: #FFDAB9; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> : 우선군 </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 30px; height: 15px; background-color: #FFFACD; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> : 차선군 </div> </div>					

■ 기술대표성 분석

- 기술대표성에서는 14개의 우선군이 분포
 - 44개의 수요기술의 기술대표성 분석결과 최우선군은 인공세포 플랫폼 기술1개, 우선군은 Earth-care 생물화학소재 기술 4개, 인공세포 플랫폼 기술 3개, 효소 및 대사공학 기술 3개, 그린바이오 유전체공학 기술 1개, 농생명 미생물 활용 기술 1개, 친환경 소재 생산 그린바이오 기술 1개로 나타남

<표 6-7> 기술대표성 분석 결과

■ 기술핵심성 분석

○ 기술핵심성에서는 13개의 우선군이 분포

- 44개의 주요기술의 기술핵심성 분석결과 최우선군은 0개, 우선군은 Earth-care 생물화
학소재 기술 4개, 효소 및 대사공학 기술 3개, 농생명 미생물 활용 기술 2개, 친환경 소
재 생산 그린바이오 기술 2개, 그린바이오 유전체공학 기술 1개, 인공세포 플랫폼 기술 1
개로 나타남

<표 6-8> 기술핵심성 분석 결과

<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="background-color: #d9534f; width: 30px; height: 15px; border: 1px solid black;"></div> : 최우선군 <div style="background-color: #f1c40f; width: 30px; height: 15px; border: 1px solid black;"></div> : 우선군 <div style="background-color: #f9cb9c; width: 30px; height: 15px; border: 1px solid black;"></div> : 차선군 </div>					

- 기술핵심성 분석결과에 따라 그린·화이트바이오 연구개발사업에서 우선 기술개발 추진을 고려해야할 분야는 총 13개 세부기술
 - 기술핵심성 분석에서 우선군 이상의 범위에 포함되는 13개의 세부기술*은 조사된 수요기술 중에서 타 세부기술 보다 우선적으로 연구개발 추진 고려가 필요한 것으로 조사
 - * <표 6-8>의 1번에서 13번 순위에 해당하는 세부기술

제7장. 사업 추진계획(안)

1절. SWOT 분석

■ 강점(Strength) 요인

- 한국 정부의 글로벌 바이오 강국 및 바이오경제 실현을 위한 강한 의지
 - 그린·화이트바이오 기술 개발과 기술혁신 및 기술 간 융·복합을 통해 신시장 창출 및 미래성장동력 확보를 추진 중
- 그린·화이트바이오 분야의 최신기술 및 핵심기술 개발에 필요한 연구개발 인력 증가
 - 다양한 연구자들이 최신 기술분야 중 하나인 유전자 편집기술의 응용, ICT 기술의 접목 등을 통해 새로운 핵심기술 확보를 위한 다양한 연구를 추진함에 따라, 그린·화이트바이오 분야의 핵심인력 pool이 증가 중

■ 약점(Weakness) 요인

- 국내 그린·화이트바이오 분야의 낮은 기술개발 수준
 - 120개 국가전략기술에 대하여 실시된 기술수준평가에서 그린·화이트바이오 분야로 분류 가능한 기술들은 전체적으로 ‘추격’ 그룹에 해당
 - '16년도 기준 국내 그린·화이트바이오 분야의 기술들은 최고 기술국과 3.4~5.4년의 기술격차
- 글로벌 그린·화이트바이오 시장에 대비 협소한 국내 시장 상황
 - 그린바이오 분야의 글로벌 합성생물학 시장 규모 확대 중이나 한국 합성생물학 시장은 거의 전무하며, 글로벌 바이오 작물보호제 시장은 빠르게 성장 중이나, 한국 작물보호제 시장은 글로벌 시장 대비 매우 작은 수준
 - 화이트바이오 글로벌 산업시장 규모는 연평균 18% 성장 중이나, 한국의 화이트바이오 시장은 답보 상태이며, 바이오플라스틱 제품 상용화 역시 미미

■ 기회(Opportunity) 요인

- 전 세계적인 그린·화이트 바이오 분야 육성에 대한 적극적인 움직임
 - 미국·유럽·중국 등은 중장기적인 바이오화학 육성 정책 추진 중이며, 유럽과 일본은 바이오플라스틱 개발과 사용을 적극 장려
 - 한국은 혁신 및 첨단화를 통한 미래 성장산업으로서 농업을 주목 중이며, 생명자원 및 생명공학 기술개발을 통한 신산업 창출 및 에너지/소재 혁신을 추진 중
- 글로벌 그린·화이트 바이오 시장규모의 지속적 확대
 - 글로벌 그린바이오 시장은 연평균 8% 성장 중이며, 화이트바이오 시장은 연평균 18%로 고성장 중

■ 위협(Threat) 요인

- 사회적·환경적 요인에 따른 식량·에너지 수급의 불확실성의 증가
 - 전 지구적 평균기온 상승, 인구 및 소득증가에 따라 글로벌 식량생산 증대 요구가 강화 중이며, 한국은 기후변화와 인구고령화에 따라 농산물 생산성 저하 우려 증가
 - 한국의 높은 에너지 소비에 따른 에너지 수입 부담 증가
- 그린·화이트바이오 분야 제도·규제의 강화
 - 나고야의정서 발효에 따른 농작물 로열티 부담 증가
 - 전 세계적으로 식품안전성, 친환경성, 생물보전에 대한 요구 증대
 - 전 세계적인 플라스틱에 대한 사용 규제가 강화되고 천연지향 제품 수요가 증가

■ 사업 추진전략 도출

- 그린·화이트바이오 분야 대내·외 환경분석을 통하여 강점(Strengths)·약점(Weaknesses)·기회(Opportunities)·위협(Threats) 요인 분석에 따른 SWOT 매트릭스 구성 및 사업 기획 전략방안 도출

■ 사업 추진 전략방향에 따른 중점분야 도출

2절. 사업의 정의 및 범위

※ 출처 : 국가과학기술진흥원, (2010). '연구개발 단계별 개념 정립에 관한 연구'로부터 STSI 재구성.

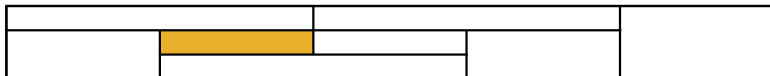
■ 그린·화이트바이오 기술개발사업의 정의

◆ '그린·화이트바이오 기술개발사업'은 지구온난화, 자원고갈 등 환경변화에 대응하여 생물 자원 및 생물공학 기술을 활용해 안전한 먹거리 공급과 고부가가치 농생명 소재산업을 육성하는 그린바이오와 에너지와 소재 등을 생산하고 관련 산업과 서비스를 창출하는 화이트바이오 분야의 원천·핵심기술을 연구 및 개발하는 사업

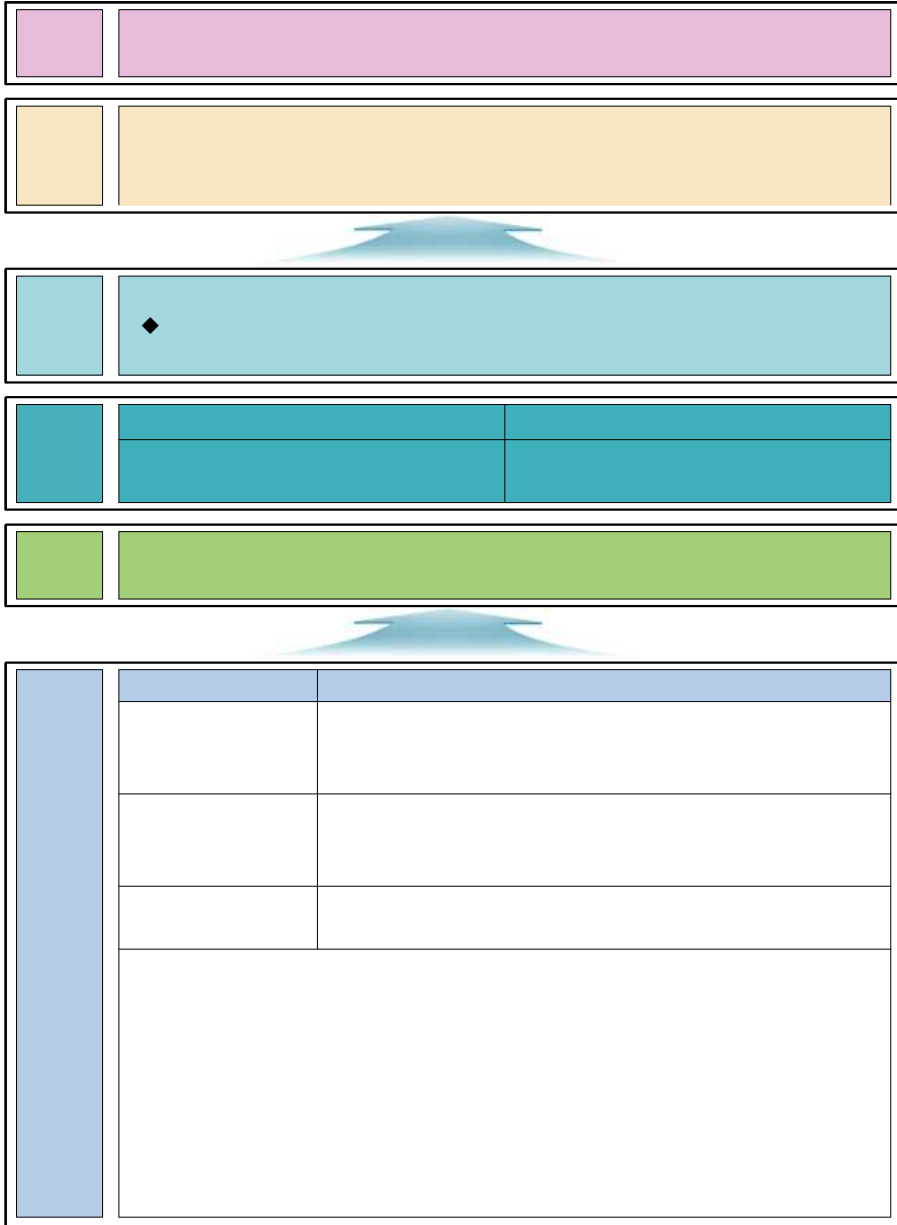
■ 그린·화이트바이오 기술개발사업의 범의

- 그린·화이트바이오 기술개발사업은 '그린·화이트핵심기술개발'과 '그린·화이트공통기반기술개발'로 구분
 - '그린·화이트바이오핵심기술개발'은 그린·화이트바이오 분야의 새로우면서도 핵심적인 원천기술을 개발해 나감으로써, 미래에 발생 가능한 문제에 대한 선제적 해결법 제시 및 지속가능한 바이오경제 실현을 위한 기술 기반을 마련하는 사업
 - '그린·화이트바이오공통기반기술개발'은 그린·화이트바이오 분야의 핵심기술의 개발·확보와 다양한 바이오 산업분야로 응용·연계 할 수 있는 기초기반을 마련하는 사업
- 그린바이오핵심기술개발
 - 그린바이오 제품이나 서비스를 생산하는데 독창적이며, 향후 지속적으로 부가가치를 창출하고 다양한 그린바이오 분야에 응용이 가능한 원천기술연구를 수행
 - 그린바이오핵심기술개발의 연구개발단계 유형은 목적기초연구*로 분류 가능
 - * 목적기초연구란 인식되거나 기대되는 현재 또는 미래의 문제나 가능성을 해결할 수 있는 광범위한 기반지식을 제공할 것이라는 기대 하에 수행되는 연구활동
 - ※ 출처 : KISTEP, (2008). 기초원천연구의 개념 정립 및 추진방안에 대한 정책제언. R&D focus 제9호.
- 화이트바이오핵심기술개발
 - 화이트바이오 제품이나 서비스를 생산하는데 독창적이며, 향후 지속적으로 부가가치를 창출하고 다양한 그린바이오 분야에 응용이 가능한 원천기술 연구를 수행
 - 화이트바이오핵심기술개발은 그린바이오핵심기술개발과 같이 연구개발단계 유형은 목적기초연구로 분류 가능
- 그린·화이트바이오공통기반기술개발
 - 그린·화이트바이오 분야의 제품이나 서비스의 생산 뿐 아니라 그린 또는 화이트바이오 핵심기술을 개발·확보하는데 적용할 수 있는 기반기술을 개발하는 연구를 수행
 - 그린·화이트바이오공통기반기술개발의 연구개발단계 유형도 목적기초연구*로 분류 가능

[그림 7-1] 그린·화이트바이오핵심기술개발의 연구개발단계 구분



3절. 사업 비전 및 목표(안)



4절. 사업 추진전략(안)

■ 사업 추진전략 개요

- 그린·화이트바이오 분야 기술격차 해소와 산업 확대를 통한 미래 바이오경제 실현을 위해 각 분야의 핵심기술과 두 분야가 공동으로 활용이 가능한 기반기술의 개발을 통하여 전략적 대응 추진
 - 핵심기술개발은 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발을 추진하고, 공통기반기술개발은 2개의 단일기술 개발을 추진
 - 각 기술개발사업은 시작품 단계(TRL 5)를 지나 사업화 단계(TRL 9)까지 도달 가능성이 있는 기술에 한해서는 산업부, 농진청 등의 사업으로 연계하거나, 범부처 사업으로 확장하여 후속 연구개발 사업을 추진

[그림 7-2] 그린·화이트바이오 기술개발 단계별 추진 전략



■ 내역사업별 사업추진 전략

① 그린바이오핵심기술개발

- ‘그린바이오핵심기술개발’은 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발 추진
 - (단일기술) 미생물 마이크로바이옴 정보에 기반한 농생물 자원의 생산성 향상 기술과 질 환제어(질병예방/치료) 기술 등의 ‘미생물 기술’과 화학소재 대체 기술 및 친환경 소재 개발 기술 등의 ‘그린바이오소재 기술’ 개발 추진
 - (융합기술) 농생물 생산성 증대를 위한 정밀제어, 정보수집, 정밀진단 등의 ICT 기술과 바이오 기술 간의 융합기술을 개발하는 ‘BT-ICT 융복합기술’ 개발 추진
 - ※ 융합기술은 BT분야 외 IT분야의 세부과제를 반드시 포함하여 추진

② 화이트바이오핵심기술개발

- ‘화이트바이오핵심기술개발’은 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발 추진

- (단일기술) 화이트바이오 응용기술과 제품생산에 활용 가능한 고효율 인공효소 설계·제작기술과 대사회로 설계·효율화 기술 등을 포함하는 ‘효소공학기술’과 기후변화, 케모포비아, 환경오염 등에 대응하기 위한 친환경 바이오화학소재 개발기술을 포함하는 ‘생물화학소재 기술’ 개발 추진
- (융합기술) 바이오제품 생산성과 수율 향상 및 안정화를 위하여 생물-화학-ICT 기술 융합을 통한 최적 공정기술을 개발하는 ‘융합공정 기술’ 개발 추진
 - ※ 융합기술은 BT분야 외 IT분야의 세부과제를 반드시 포함하여 추진

④ 그린·화이트바이오공통기반기술개발

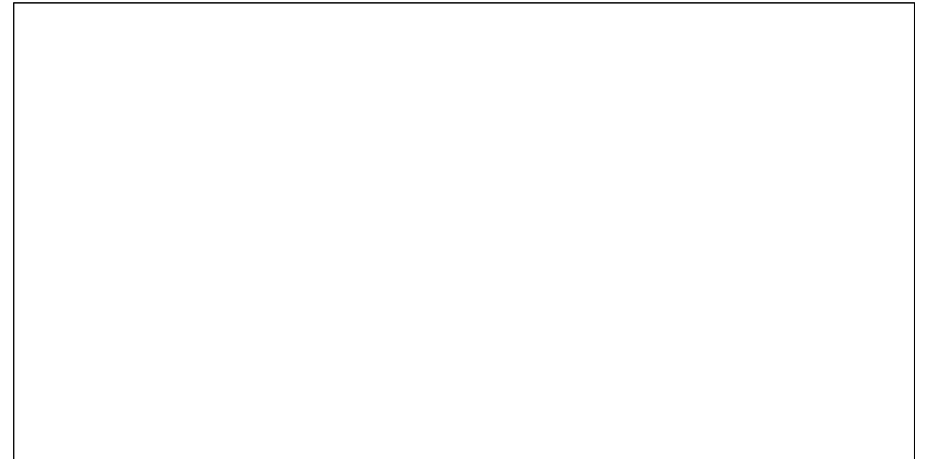
- ‘그린·화이트바이오공통기반기술개발’은 2개의 기반기술 개발 추진
 - (기반기술) 유전체 정보를 활용한 유전체의 설계·합성·교정·제어 등의 ‘유전체기술’과 유전체기술을 응용 및 활용하여 새로운 인공세포를 설계·제작하는 ‘인공세포 제작기술’ 개발 추진

5절. 사업의 추진체계

■ 그린·화이트바이오 기술개발 사업 추진체계(안)

- 그린·화이트바이오 기술개발 사업은 기초기반 기술의 확보와 기술의 고도화 및 응용의 2 단계로 구분하여 추진
 - 1단계(2020~2021, 총 2년) ‘그린·화이트핵심기술개발’과 ‘그린·화이트공통기반기술개발’에 서는 기초·기반기술의 개발 및 확보를 추진
 - 2단계(2022~2024, 총 3년) ‘그린·화이트핵심기술개발’과 ‘그린·화이트공통기반기술개발’에 서는 1단계에서 개발된 기초·기반기술의 고도화 및 응용·활용을 추진
- 2단계 사업 종료 후 연계 사업을 통하여 후속연구 추진 및 기술의 제품화·사업화 추진
 - 1, 2단계 사업기간(2020-2024, 총 5년) 동안 과기정통부는 기초·기반연구를 추진하고, 이 후 산업부, 농진청 등의 범부처 연계사업을 통하여 후속연구의 진행과 기술의 사업화를 추 진

[그림 7-3] 그린·화이트바이오 기술개발 사업 추진체계(안)



6절. 사업의 운영체계

■ 그린·화이트바이오 기술개발 사업 운영체계(안)

- 사업단
 - 기술 개발 및 사업단 운영(예산 확보·배분·집행, 과제평가 등)에 관한 총괄 관리
- 운영지원팀
 - 사업단 운영에 대한 행정지원, 사업단 성과관리 및 홍보 등의 실무 추진
- 운영위원회 및 자문위원회
 - (운영위원회) 사업단 운영에 대한 전반적인 자문 지원
 - (자문위원회) 세부과제 연구개발 추진에 대한 과학적·기술적 자문 지원
- 연구개발 수행주체
 - 사업단 및 내역사업의 세부과제별 최종목표에 따른 연구개발 수행

[그림 7-4] 그린·화이트바이오 기술개발 사업 운영체계(안)



7절. 사업의 구성(안)

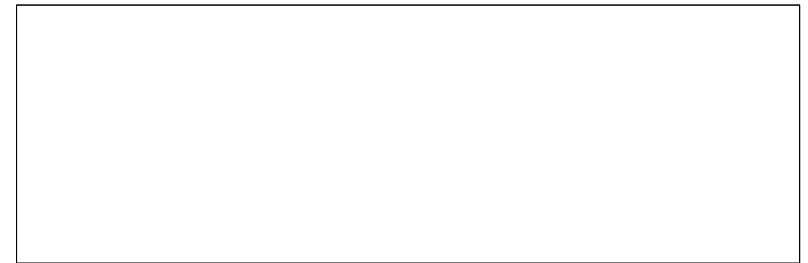
■ 그린·화이트바이오 기술개발사업의 구성 개요

- 본 사업은 총 3개의 내역사업, 8개 중점기술 개발과제로 구성
 - 그린·화이트핵심기술개발 사업은 각각 2개의 단일기술과 1개의 융합기술 개발과제(총 6개 과제)로 구성
 - 그린·화이트공통기반기술개발 사업은 2개의 기반기술 개발과제(총 2개 과제)로 구성

■ 그린바이오핵심기술개발 사업

- 그린바이오핵심기술개발 사업에는 2개의 단일기술 개발과제와 1개의 융합기술 개발과제가 포함
- ① (단일기술 1) 농생명 미생물 활용기술
 - 마이크로바이옴⁶⁾(미생물군의 유전체) 정보를 활용하여, 유용 농생물 자원을 발굴하고 농생물의 생산성 향상과 농생물 질환을 제어(질병예방/치료)하는 기술을 연구
 - 농생명 자원에 대한 마이크로바이옴 정보, 생육 정보, 질환 정보 등의 통합 구축을 통해 성장 및 질환과 연관된 미생물을 특정하고 이들 미생물의 농생명 자원 생산성 향상과 질환 제어 기능에 대한 기반 기술 개발에 집중

[그림 7-5] 농생명 미생물 활용기술(예시)

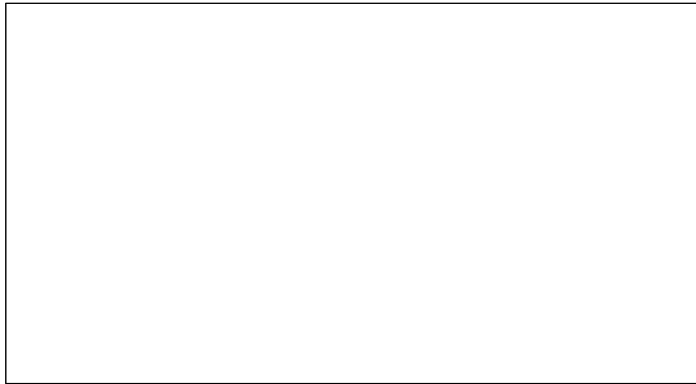


② (단일기술 2) 친환경 소재 생산 그린바이오 기술

- 화학소재의 대체 및 그린바이오 분야 적용을 위한 친환경 소재 개발 기술 및 활용에 관한 연구
- 친환경 바이오 소재 기술은 기존 타 부처의 응용위주 기술개발보다는 기술장벽 극복 및 기술경쟁력 확보를 위한 원천기술 개발에 집중

6) 마이크로바이옴(Microbiome) : 미생물군집(Microbiota)과 유전체(Genome)의 합성어로 '미생물군유전체'라고 할 수 있으며 인간, 동·식물, 토양, 바다, 호수, 암벽, 대기 등에 공존하는 미생물 군집과 유전체 전체를 의미
 - 주어진 환경에 서식하거나 또는 다른 생물과 공존하는 모든 미생물의 총체적인 유전정보 또는 '미생물군 자체'를 의미

[그림 7-6] 친환경 소재 생산 그린바이오 기술 개발(예시)



③ (융합기술) 그린바이오-ICT 융복합기술

- 농산물 분야 생산성 증대를 위한 환경제어, 정보수집 및 분석, 원격 모니터링, 정밀진단 및 제어 등의 ICT 기술과 바이오 기술 간의 융복합 기술을 연구
- 기존의 스마트팜과 같은 한정된 시설 공간에서 뿐만 아니라 노지(기존의 야외에 있는 논과 밭)에서도 적용이 가능한 기반 기술 연구를 추진
- 농생물의 생육 및 질병발생-제어 등의 보다 복잡하고 다양한 정보를 분석하여, 넓은 노지 공간에서도 농생물의 다양한 상태를 정확하게 분석하여 정밀하게 제어할 수 있는 기술 개발을 진행

[그림 7-7] 그린바이오-ICT 융복합기술 개발(예시)



■ 화이트바이오핵심기술개발 사업

○ 화이트바이오핵심기술개발 사업에는 2개의 단일기술 개발과제와 1개의 융합기술 개발과제가 포함

① (단일기술 1) 효소 및 대사공학 기술

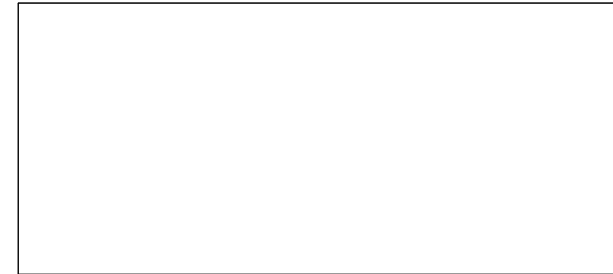
- 화이트바이오 분야의 제품 생산성 향상을 위하여 높은 효율성을 가지는 효소를 설계하

고 제작하는 기술과 인공 대사경로 설계* 기술을 연구

* 인공 대사경로 설계 : 기존의 생체 내에서 물질이 변화하는 경로를 인위적으로 조작하여 새로운 물질 변화 경로로 만드는 것

- 상용화된 효소 및 기존에 알려진 대사경로 설계 기술을 응용하여 단순하게 생산성을 높이는 연구가 아닌, 새롭고 높은 효율성을 나타내는 효소를 설계하고 제작하는 기술과 혁신적인 대사경로 설계 기술 등 보다 원천성을 가지는 기술개발에 집중

[그림 7-8] 효소 및 대사공학 기술 개발(예시)



② (단일기술 2) Earth-care 생물화학소재 기술

- 기후변화, 케모포비아*, 환경오염 등 전 지구적 삶의 문제에 대응하기 위한 생물화학소재 생산 기술을 연구

* 화학물질들의 광범위한 사용과 인체 노출로 인하여 화학물질에 대한 공포를 느끼는 새로운 사회적 현상

- 다양한 종류의 생분해성 생물화학 소재(생분해성 플라스틱*)를 개발할 수 있는 원천기술을 확보함으로써 최근 사회적으로 부각되고 있는 케모포비아 문제, 미세플라스틱과 같은 환경오염 문제 해결에 기여할 수 있는 방향으로 연구개발을 추진

* 사용 중에는 통상적인 플라스틱의 물성 및 특성을 나타내지만 사용한 후 자연환경에서 미생물에 의해 완전히 분해되는 플라스틱을 지칭

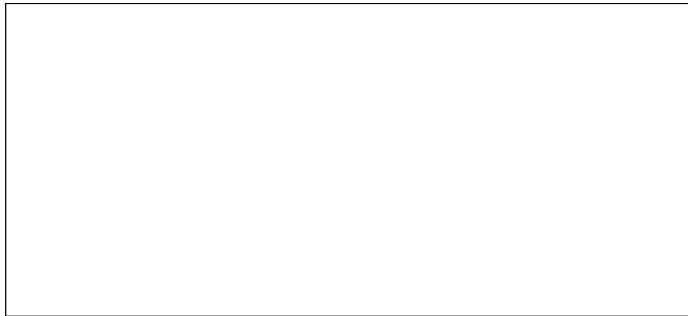
[그림 7-9] Earth-care 생물화학소재 기술 개발(예시)



③ (융합기술) 스마트 생물-화학 융합프로세스

- 바이오 제품의 생산성과 최종 농도, 수율을 극대화하기 위한 생물-화학-ICT 융합 최적 공정 기술을 연구
- 다양한 기술 및 산업 분야에 적용이 가능한 원천기술 확보를 위한 연구 개발을 집중 추진

[그림 7-10] 스마트 생물-화학 융합프로세스 기술 개발(예시)



■ 그린·화이트바이오공통기반기술개발 사업

○ 그린·화이트바이오공통기반기술개발 사업에는 2개의 기반기술 개발과제가 포함

① (기반기술 1) 그린·화이트바이오 유전체공학 기술

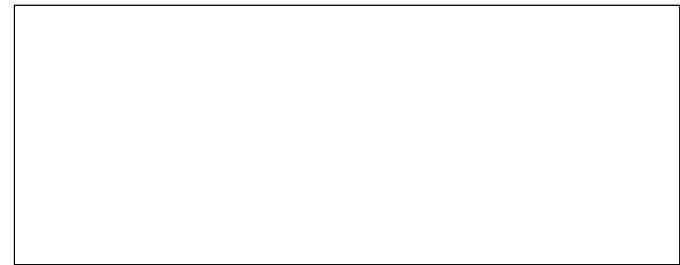
- 생명체가 생산하는 유용물질*의 생산성을 증진시키도록 생명체가 가지고 있는 기존의 유전체 정보를 교정 또는 제어하거나, 완전히 새로운 유전체를 설계하여 합성하는 기술을 연구

* 항산화물질, 약리활성 물질 등이 포함되며 인삼의 사포닌이 대표적

- 각 개별 작물을 대상으로 신육종 및 개량종을 생산하는 것이 목표가 아닌 작물/동물에 모두 적용 가능한 유전체 기술 및 차세대 유전자가위* 기술과 같은 원천성이 매우 높은 범용 기술을 개발

* 유전자가위는 동식물 유전자에 결합해 특정 DNA부위를 자르는데 사용하는 인공 효소로 유전자의 잘못된 부분을 제거해 문제를 해결하는 유전자 편집 기술을 의미

[그림 7-11] 그린·화이트바이오 유전체공학 기술 개발(예시)



② (기반기술 2) 인공세포⁷⁾ 플랫폼 기술

- 유전체 정보의 교정 및 제어, 새로운 유전체의 설계 및 합성을 통하여 바이오 활성소재 등을 높은 효율로 생산하는 인공세포의 제작기술을 연구하는 분야
- 이전 수행되었던 연구에서와 같이 소극적 개량이 아닌 바이오 활성소재와 같이 목적하는 유용산물의 효율적 생산이 이루어지도록 불예측성을 최소화하고, 범용적인 활용이 가능한 인공세포 제작기술 개발을 추진

[그림 7-12] 인공세포 플랫폼 기술 개발(예시)



7) 생명체에 관한 지식과 정보를 활용하여 유전체를 설계하고 화학 합성한 다음, 인공유전체(Artificial Genome)를 인공막(Artificial Membrane)에 주입하여 살아가도록 만든 세포를 의미하며, 그 범위는 자연계에는 존재하지 않는 완전히 합성한 새로운 세포로 한정(참고 : 김영창, (2004), (특별논단) 인공세포기술과 가상세포기술, 타카라코리아 Life Science & Biotechnology)

제8장. 세부 기술개발 내용

1절. 세부 기술개발 사업 개요

■ 내역사업별로 세부과제 개발계획(안) 작성

- 그린·화이트바이오 수요기술의 기술핵심성 분석결과 기반으로 상위군에 속한 13개의 핵심 기술 대상으로 내역사업별 세부과제 핵심기술 개발계획(안) 작성
 - 7장의 내역사업별 추진계획에서는 중점기술분야 수준에서 단일기술과 융합기술로 구분하였으나, 세부과제 기술개발 내용이 융합기술 개발 형태로 진행되는 것이 타당할 경우, 해당 세부과제의 중점기술분야가 단일기술 개발로 구분이 되었더라도 융합기술 개발로 구분
 - ※ 상기의 사유에는 아래 표의 '1-1', '2-5', '2-6' 과제가 해당

<표 8-1> 세부사업별 핵심기술 개발 구성 총괄표

2절. 내역사업별 핵심기술 개발 내용

내역사업 1

그린바이오핵심기술개발

1-1 친환경 정밀농업을 위한 파이토바이옴뱅크 구축 및 활용 원천기술 개발

※ 기술수요조사 제안기술명 : 친환경 정밀농업을 위한 파이토바이옴 활용 원천기술 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 기후변화에 따른 작물 생산 불안정 대응 지속가능한 첨단 농업기술 개발 필요성 증가
 - 지구온난화의 가속으로 인해 작물의 병·해충 발생 빈도 및 규모가 증가
 - 국제적인 화학농약 사용 규제와 환경친화적 농산물에 대한 수요 증가에 따라 미생물농약·비료 등을 이용하는 지속가능한 고부가가치 친환경 농업기술 개발의 필요성이 대두
- 친환경 정밀농업을 통한 고품질 고부가가치 작물 생산은 바이오경제의 요체
 - 세계경제포럼(The World Economic Forum)은 '15년에 도시농업(urban farming)을 10대 도시 혁신기술로 선정한 바 있으며, '17년에는 정밀농업(Precision Farming)을 10대 유망기술(Top 10 Emerging Technologies)로 선정
 - 미래 유망기술인 도시농업 및 정밀농업 기술은 파이토바이옴(Phytobiome) 식물자원 확보 및 활용 연구를 통해 구현 가능
- 생명공학 육성 관련 정부의 연구개발 투자 방향과 중장기 전략에 부합
 - 「제3차 생명공학육성기본계획」 '과학기술 기반 바이오경제 혁신전략 2025'의 30대 전략분야 중 '창의적 R&D'에는 '마이크로바이옴 통합 분석'이 포함
 - 마이크로바이옴 통합분석 연구는 '풍요로운 삶'의 '기후변화 대응 병충해관리 및 친환경작물 보호'와 '식량·자원작물 개발 및 첨단생산관리'에 해당

■ 추진 필요성

- 생물다양성협약 발효에 따른 토종 생물자원 확보 및 유전자원 보호 필요
 - 생물다양성협약 부속으로 유전자원에 대한 접근 및 이용 이익의 공정하고 공평한 공유에 관한 나고야의정서(Nagoya Protocol)가 발효됨에 따라, 생물자원에 대한 소유권 보호에 차원에서 유전체 및 메타유전체(Metagenome) 연구개발 확대 필요성이 제기
- 지속가능한 친환경 정밀농업에 필요한 다양한 기본 정보 및 기술 개발 필요
 - 파이토바이옴의 여러 구성 요소와 이들 간의 상호작용을 시스템 수준에서 이해하고 이를 활용하기 위한 응용기술을 개발함으로써 지속가능한 식량생산을 위한 농업생태계 복원 및 정밀농업에 필요한 다양한 기본 정보 및 기술 제공 가능
- 글로벌 수준의 친환경 농산업 경쟁력 확보를 위한 선제 투자 및 비중 확대 필요
 - 식물 마이크로바이옴(Plant Microbiome) 연구를 통한 바이오 기반 농업기술 개발은 기존의 화학비료·농약과 항생제 기반에서 친환경 친소비자 농업으로 전환하는 계기 마련 가능

능

- 파이토바이옴 분야의 국제 경쟁력을 확보하고 연구개발을 선도하기 위해 기초원천기술과 핵심기반기술을 확보할 수 있는 체계적인 투자 필요

■ 기술의 해외 동향

- 테라지놈 컨소시엄(Terragenome Consortium)을 통한 공동연구 수행
 - 미국, 프랑스, 네덜란드, 영국 과학자들의 주도로 농업 토양을 분석하기 위한 국제공동연구가 진행 중이며, 다양한 토양환경의 메타유전체 데이터베이스 확립 및 토양 미생물 군집의 다양성과 기능 연구를 수행
- 미국에서는 파이토바이옴 연구를 위한 이니셔티브 본격 추진
 - 미국 정부의 대규모 투자를 이끌어내기 위한 '파이토바이옴 이니셔티브(Phytobiomes Initiative)'가 학계와 산업을 중심으로 추진
 - 오바마 정부는 '16년 대형 과학프로젝트로 '국가 마이크로바이옴 이니셔티브(National Microbiome Initiative)'를 발표하였으며, 농작물과 토양, 환경 미생물을 비롯해 인체 미생물 등에 대한 연구에 2년간 1억 2,100만 달러(약 1,440억 원) 투자 결정
 - 민간 분야의 빌&멜린다 게이츠재단(Bill and Melinda Gates Foundation)은 4년간 1억 달러를 인간과 농업 마이크로바이옴 연구에 투자 예정
 - 미국 에너지성(DOE)에서는 대평원 초지 토양 메타게놈 분석 프로젝트가 진행되고 있으며, '17년에는 미국식물병리학회(APS)에서 파이토바이옴즈(Phytobiomes)라는 전문학술지가 창간
- '12년 이후 마이크로바이옴에 대한 가시적인 연구 확대가 진행
 - '12년 미국의 Jeffery Dangl 그룹과 독일의 Paul Schulze-Lefert 그룹은 각각 애기장대의 근권과 내권의 미생물 군집을 분석한 논문을 게재
 - 이후, 밀, 옥수수, 감자, 보리, 벼, 콩, 토마토, 사탕무, 배추 등 다양한 작물과 관련된 근권 및 내생 마이크로바이옴에 대한 연구가 수행되고, 작물의 품종 및 토양별 미생물 군집 분석이 추진
 - 최근 NGS 기술의 발달로 메타유전체 수준의 마이크로바이옴 연구가 확대되고 있는 추세

■ 기술의 국내 동향

- 식물과 관련된 마이크로바이옴 연구개발 사업은 초기 단계
 - 국내에서는 마이크로바이옴과 작물 발육 및 생장에 대한 연구가 농식품부의 미생물유전체 전략연구사업(다부처유전체사업)과 농촌진흥청의 농생물게놈활용연구사업(차세대바이오그린21사업), '작물 홀로바이옴 구멍을 통한 작물활성 증대 기술 개발' 과제(우장춘프로젝트) 등을 통해 일부 진행되고 있으나 그 외에는 연구가 극히 미진한 실정임
- 최근 마이크로바이옴과 관련한 의미 있는 연구 결과들이 지속 창출 중

- 경상대 광연식 교수 연구팀은 푸자리움(Fusarium)균에 의한 시들음병을 억제하는 토양의 미생물 군집을 분석하여 길항균인 방선균이 중요한 역할을 한다는 것을 발견하고 미생물로부터 항진균 펩타이드를 동정하여 '16년 ISME Journal에 발표
- 생명연 류충민 박사 연구팀은 '03년과 '13년에 발표한 토양세균이 만드는 휘발성 물질에 대한 연구 성과를 바탕으로 식물 또는 다른 세균이 이에 반응하는 것을 평가할 수 있는 전략을 서술한 연구결과를 '17년 Nature Protocols에 게재
- 연세대 김지현 교수와 동아대 이선우 교수 공동연구팀은 랄스토니아(Ralstonia) 균에 의해 발생하며 가지과 작물에 치명적인 풋마름병에 저항성 또는 감수성인 토마토 품종의 근권 메타유전체를 분석하여 병 진전을 억제하는 플라보박테리아(Flavobacteria) 종류의 새로운 미생물을 발굴하여 '18년 Nature Biotechnology에 연구결과를 발표

※ 출처 : Kwak, M. J., Kong, H. G., Choi, K., Kwon, S. K., Song, J. Y., Lee, J., ... & Jung, E. J. (2018). Rhizosphere Microbiome Structure Alters to Enable Wilt Resistance in Tomato. Nature Biotechnology, 36(11), 1100.

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 산업작물의 파이토바이옴 실물자원 확보와 बैं크 구축 및 친환경 정밀농업 적용을 위한 원천기술 개발
 - (1단계(1~3년차) 목표) 표준 파이토바이옴 실물자원 확보와 बैं킹 및 미생물군집과 메타유전체 정보 인프라 구축
 - ※ 경제사회적, 과학기술적 파급효과를 고려하여 2종 이상의 산업작물을 대상으로 선정
 - ※ 미생물자원의 경우, 한국생명공학연구원 내 KCTC에 등록 및 기탁
 - (2단계(4~5년차) 목표) 친환경 정밀농업 적용을 위한 원천기술 및 합성마이크로바이옴제제 개발

■ 최종 결과물

- 과학적 성과
 - (1, 2단계) SCIE논문 JCR 분야별 상위 10% 이내
- 기술적 성과
 - (1, 2단계) 국제특허 출원 및 등록(3건 이상)
- 인프라 성과
 - (1, 2단계) 확보 미생물 종 수, 유전체 분석 및 분양 실적
- 경제적 성과
 - (2단계) 기술/노하우 이전 또는 기술이전 지원

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 파이토바이옴 자원 및 기반기술 확보를 통한 친환경, 고품질, 고부가가치 경제작물 생산
 - 파이토바이옴은 식물, 주변 환경, 그리고 마이크로바이옴 등 식물과 관련된 생물 군집의 총합으로 정의되는데, 이를 구성하는 각 요소 간의 역동적인 상호작용은 식물의 생산성과 토양의 지력 그리고 농업생태계에 결정적 영향을 미칠 수 있으며, 파이토바이옴 기반 정밀농업 기술은 식물공장 또는 스마트팜 기술과의 시너지 효과가 기대
 - 본 연구에서는 마이크로바이옴 분석 대상으로 식물의 근권(Rhizosphere), 엽권(Phyllosphere), 내권(Endosphere)을 아우르며, 식물의 유전체 정보와 더불어 메타유전체학(Metagenomics) 등 각종 메타오믹스(Meta-omics) 연구기법을 활용하여 식물과 마이크로바이옴의 상호작용을 시스템 수준에서 이해하고 이를 조절하여 정밀농업에 응용할 수

있는 원천기술을 개발

[그림 8-2] 파이토바이옴과 인체 마이크로바이옴 비교



※ 출처 : Donald Danforth Plant Science Center 홈페이지.

■ 주요 연구(개발) 내용

- 파이토바이옴 बैं크 및 연구개발 기반 구축
 - 2종 이상의 산업작물에 대한 표준 파이토바이옴 식물자원 확보 및 बैं킹
 - 파이토바이옴 데이터베이스 및 미생물군집/메타유전체 정보 분석 플랫폼 구축
- 파이토바이옴 활용 원천기술 및 제제 개발
 - 식물-마이크로바이옴-환경 다중오믹스 분석과 상호작용 연구 및 원천기술 개발
 - 정밀농업을 위한 합성마이크로바이옴제제 개발 및 유효성, 안정성, 안전성 평가

4 차별성 및 독창성

- 파이토바이옴 연구개발을 통한 친환경 정밀농업 구현
 - 숙주와 마이크로바이옴을 하나의 연합체 또는 공동운명체(Holobiont)로 간주하는 것은 발상의 전환이자 사고의 변혁으로, 독창적 연구성과 창출 가능
 - 식물과 관련된 마이크로바이옴 연구개발은 초기 단계이며 토양은 물리화학적 이질성으로 인해 배양할 수 있는 미생물의 비율이 매우 낮는데 토양에 존재하는 원핵생물 중 99% 이상의 미생물이 배양된 적이 없는 미지의 미생물로서 활용 가능성이 매우 높으나, 작물의 성장 발달 등에 미치는 영향에 대한 연구는 미비하여 기존 연구에 대해 차별성을 보유
 - 수십 년 동안 개발되어 활용되어 온 미생물비료 또는 미생물농약과는 달리 마이크로바이옴 기반의 식물프로바이오틱스(Plant Probiotics) 개발은 아직 이루어지지 않은 상황

5 기대 및 파급효과

- 경제사회적 파급효과

- 식물-마이크로바이옴-환경 상호관계에 대한 이해를 바탕으로 개별 미생물 또는 미생물 군집을 이용하는 농식품 소재 및 제제, 미생물 군집의 조성을 조절하는 물질 등을 이용하는 미생물 기반 농생명 산업은 미래가 매우 밝으며 새로운 개념의 바이오상품 개발로 이어질 것으로 기대
 - 식물 마이크로바이옴 분석을 바탕으로 파이토바이옴의 구성과 기능에 대한 정보를 통합하여 ICT 기반 지속가능한 농업생태계 구축을 위한 종합관리체계를 마련할 경우 4차 산업혁명에 부응하는 농업혁명의 원동력이 될 가능성이 높음
 - 핵심기술을 개발하고 사업화함으로써 친환경적이고 친소비자적인 농산업 구현과 더불어 안전한 고품질 먹거리의 안정적 생산을 통해 '풍요로운 삶'을 구현하는데 한걸음 더 나가는 계기가 될 것
- 과학기술적 파급효과
- 파이토바이옴 연구개발을 위해서는 미생물학자(세균학, 진균학 등)와 식물학자뿐만 아니라 토양학, 동물학, 유전체학, 생물정보학, 유전학, 생리학, 분자생물학 등 여러 분야의 전문가가 참여하고 협력하는 다학제 연구가 필수적이며, 이를 통해 융합연구 성과 창출에 기여할 것으로 기대
 - 식물-마이크로바이옴-환경 상호관계에 대한 이해는 농학뿐만 아니라 농생물학, 환경생물학 등 유관 학문 분야 발전과 지구온난화 대응에 핵심적 역할을 할 것으로 기대

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

1-2 식물세포로부터 단백질기반 바이오 소재의 저비용 대량 생산 시스템 및 활용 기술 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 유전자로부터 얻어진 단백질 소재는 g당 수억 원*에 달하며, 종류에 따라서 의약품 제품에서부터 환경 및 산업용 효소 등 활용성이 무한
 - * ZIKA 등 바이러스 진단제용 항원과 인터페론, 줄기세포용 성장인자 및 사이토카인 등
- 다양한 학술적 연구를 통하여 다량의 유전자를 확보하였으나, 실제 활용률은 매우 저조
 - 기초생명과학연구와 12,000종의 게놈분석으로 무수히 많은 유전자가 확보되었으나 확보된 유전자들 중 극히 일부의 유전자만 활용

■ 추진 필요성

- 기술적 한계*와 고비용** 문제로 현재 다양한 유전자를 활용한 단백질 생산은 제한적
 - * 단백질 inclusion body, 단백질 불안정성, 낮은 발현 level 등
 - ** 단백질 순수 분리정제, 세포배양용 배지, 무균 세포배양용 설비 등
- 대부분의 경우 유용 유전자를 발굴한 생물체 자체에서 있는 그대로는 코딩한 단백질을 대량생산하는 것은 효율이 낮음
- 미국, 일본 등 선진국에서는 외래 유전자의 식물체 고발현을 통한 안전한 재조합 단백질의 저비용 대량 생산과 산업적 활용 기술을 개발 중
- 한국도 식물기반 재조합 단백질 생산 시스템을 시급히 구축할 필요
 - 단백질 기반 고부가가치 제품 생산 목적의 산업적 활용기술 개발이 시급

■ 기술의 해외 동향

- 독일, 미국 등 주요 선진국에서는 식물을 이용하여 다양한 유용 유전자로부터 단백질을 저비용 대량 생산하는 Host 및 Vector 개발과 생산된 단백질을 다양한 용도로 활용하는 기술의 개발이 활발하게 진행
- '12년 당근배양세포에서 생산한 고서병 치료제는 미국 FDA에 허가 후 시판 중이며, 담배 생산 Zmapp*으로 에볼라 감염환자 치료
 - * 미국의 제약회사 Mapp Biopharmaceutical 회사에서 개발한 에볼라 바이러스 치료제
- 일본에서는 '13년 인터페론알파 생산 딸기를 고양이 치주염치료제로 품목 허가 후 시판 중이며, '10년 보리유래 상피세포증식인자(EGF) 포함 화장품 시판 중

■ 기술의 국내 동향

- 국내에서도 식물생산 단백질기반 벤처기업들(바이오엠, 엔비엠, G-플러스, 바이오컴 등)이 설립되었으며, 추가 설립이 진행 중으로 파악
- '19년 돼지열병 식물유래 재조합 단백질 활용 그린백신 개발 후 품목 허가획득, 식물생산 단백질 활용 화장품 개발, 진단키트 등 다양한 제품 개발 연구가 진행 중이나 전체적으로 한국은 아직 산업화 초기 진입 단계
- 국제경쟁력 확보를 위해서는 글로벌 수준의 기술력 확보 및 산업적 활용에 있어서 원천 기술 및 활용기술 개발이 필요한 상황

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 식물기반 단백질 저비용 대량 생산 시스템 구축 및 식물생산 단백질 활용 원천기술 개발
 - 1단계 목표 (1, 2년차) : 식물생산 목표 단백질 유전자 확보와 식물기반 단백질 저비용 대량생산 및 분리정제기술 개발
 - 2단계 목표 (3-5년차) : Target 단백질의 종류에 따른 활용 기술 개발

■ 최종 결과물

- 과학적 성과
 - 식물기반 단백질 저비용 대량 생산, 분리정제 및 식물 생산 단백질 활용 관련 SCI 논문 (JCR 분야별 상위 10% 이내)
- 인프라 성과
 - 외래 유전자의 식물체 고발현 Vector, 단백질 분리정제요소 기술, 단백질 생산 Host 식물, 단백질 종류에 따른 활용기술 확립
- 기술·경제적 성과
 - 식물기반 단백질 저비용 대량 생산, 분리정제 및 식물 생산 단백질 활용 기술 관련 국내·외 특허 출원 및 기술이전

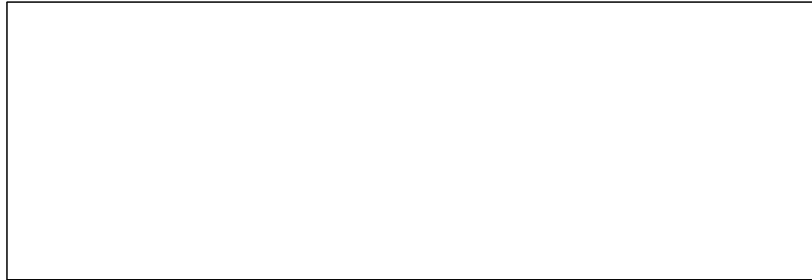
3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 식물기반 유전자 고발현 기술, 식물생산 단백질 고효율 분리정제 기술 개발
- 식물생산 재조합 단백질 기반의 다양한 산업적 활용기술 개발
- Host 식물의 유전적 재프로그래밍(Re-programming)으로 단백질 생산 효율 증대 또는 생산된 단백질의 인체 활용성을 높인 Host 개발

- 유전자 발현 증진, 단백질 분리 등 관련 유전자의 재프로그래밍
- 식물의 N-glycosylation Pattern의 인간화를 위한 재프로그래밍

[그림 8-3] 외래 유전자의 식물도입 후 재조합 단백질 저비용 대량 생산 및 활용



■ 주요 연구(개발) 내용

- 식물기반 재조합 단백질 고발현용 Expression Vector 개발
 - 국내 개발로 *N. benthamiana*(담배) 등의 Stable Expression용 Vector 개발
 - 국내 개발로 담배 잎에서 Transient Expression용 고발현 Vector 개발
 - 식물 발현 단백질의 Solubility 증진기술 개발
- 식물에서 생산한 단백질의 순수 분리정제 기술 개발
 - 식물 잎, 씨 등의 추출물에서 단백질의 효율적 분리 정제용 신규 Tag 개발
 - Affinity Tag 제거용 외부 Protease 첨가 없이 Target 단백질과 Tag 제거용 Furin Protease의 Coexpression을 통한 Tag 제거 시스템 개발
 - 단백질 분리정제용 Affinity Tag 제거용 신규 Protease 개발
- 단백질 생산 효율 및 생산 단백질의 인체 적응성 증진 Host 식물 개발
 - Humanized N-glycosylation Pattern을 갖는 Host 식물 개발
 - Gene Silencing이 Suppression된 Host 식물 개발
 - 엽록체, 단백질 저장액포 등에 재조합 단백질 저장 능력 증진 식물 개발
- 보호종, 해조류, 곰팡이 등 단백질 대량 생산이 어려운 생체 유래 유전자의 식물체 이용 단백질 저비용 대량 생산과 산업적 활용 기술개발
 - CO₂ 저감용 효소의 식물이용 생산과 CO₂ 감축기 개발 등 활용기술 개발
 - 곰팡이 유래 Protease 생산과 단백질 분리 정제, Collagen 제거제 등의 산업적 활용 기술 개발

4 차별성 및 독창성

- 식물에서의 단백질 저비용 고효율 생산 시스템 구축
 - 다양한 전사, 번역 및 Coding Domain을 이용한 유전자 고발현 Vector
 - 외부 Protease 없이 Furin과 Target의 Coexpression 기반의 Tag 제거 기술
- 식물에서 생산된 단백질의 활용 기술 개발
 - 식물에서 생산된 만성 대사성질환 치료용 의료단백질 경구 투여 기술 개발
 - 단백질의 고체표면 고정을 통한 단백질 활성화 및 내구성 증진 기술 개발
- 보호종 동물, 대량 배양이 어려운 생체 유래 유전자의 식물도입과 고발현을 통한 안전한 단백질의 저비용 대량 생산 및 분리 정제 기술 개발

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 단백질 소재 기반의 다양한 제품 가격의 획기적인 절감이 가능
- 산업생산 공정에 식물생산 효소 도입으로 친환경적 공정 전환이 가능

■ 과학기술적 파급효과

- 12,000 종 이상 생체 게놈서열로부터 확보된 유전자의 획기적 활용 증대
- 단백질 기능 규명을 통해서 생명현상에 대한 이해도 제고 가능

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

1-3 토종 가축 장내미생물총 표준화 및 합성장내미생물총 플랫폼 기술개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 장내미생물의 동물/인간 강건성(強健性)*과 식품 안전에 대한 중요성 부각
 - * 생리 작용이 활발하여 환경 적응성 및 내병성 따위가 뛰어난 성질
- 장내미생물총 연구가 활발해짐에 따라 동물 및 인체 마이크로바이옴 보건 및 강건성에 미치는 영향 등의 보고 및 관심 증가
- 장내미생물총을 이용한 가축 질병 개선 필요성 증가
 - 분변미생물이식(Fecal Microbiota Transplantation, FMT)* 기술이 글로벌 제약사 중심으로 개발되어 시장이 형성되고 있으나, 사람중심의 연구개발만 진행되고 있는 상황으로 가축 질병 개선을 위한 합성미생물총 개발에 대한 필요성 부각
 - * 건강한 개체의 대변을 통해 장내 세균을 이식

■ 추진 필요성

- 토종(한국형) 가축 장내미생물총 배양기술 및 기초 연구 필요
 - 국내의 경우 미생물은행을 기반으로 하는 미생물 분리/동정, 보존에 편중되어 있으며, 장내미생물총의 구현 및 미생물총의 거동 역학 연구는 기초수준
 - 마이크로바이옴의 산업화 및 실용화를 위해서는 대사체 분석 및 합성장내미생물총 연구가 반드시 필요

■ 기술의 해외 동향

- 가축, 반려동물의 장내미생물총 연구가 활발히 진행되고 있으며, 장내세균총 연구에서 곱광이를 포함한 장내미생물총 연구로 발전
- 다양한 프리바이오틱스, 프로바이오틱스 및 식이에 따른 장내미생물총 변화에 대한 연구가 활발히 진행 중
- 미국, 유럽 등 선진국에서는 합성미생물총 구축 연구 및 거동 역학 연구 수행
 - 절대혐기성 및 난배양성 미생물을 포함한 장내미생물의 거동 역학 및 대사체 분석을 통해 합성미생물 구축 연구 초기 진행 중

■ 기술의 국내 동향

- 한국인 장내 표준 마이크로바이옴 बैं크가 진행 중으로, 장내미생물총 표준화 연구는 사람에 국한되어 진행 중
- 최근 포스트게놈다부처유전체 사업의 일환으로 반려동물 및 가축의 장내미생물총 연구가

- 시작되어 진행 중
- 가축의 경우 장내미생물총을 기본으로 하는 생산성 향상을 위한 연구의 중요도는 커지고 있으나, 생물정보학 및 축산학 전문인력의 부족으로 기술적 한계에 도달
 - 각종 소재의 급여를 통한 생산성 향상 및 질병 감소, 약제 억제, 육질 개선 등의 연구결과가 많으나, 구체적인 작용기작에 대한 연구는 미흡
 - 단일 미생물의 대사체 분석 연구는 수행중이나, 대사체를 통한 미생물의 상호작용 관련 연구는 미흡
 - 합성미생물총에 대한 필요성은 인지하고 있으나, 절대혐기성 및 난배양성 미생물의 배양기술 부족으로 연구 미진

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 토종 가축 사육단계별 장내미생물총 표준화 및 합성장내미생물총 구축 및 배양 원천기술의 개발 및 확보
 - 표준 장내 마이크로바이옴 표준화 지도 작성
 - 가축 장내미생물총 대사체 분석 데이터 확보
 - 합성장내미생물총 구축 및 배양 원천기술의 개발 및 확보

■ 최종 결과물

- 과학적 성과
 - 토종 가축 사육단계별 장내미생물총 표준화 지도 및 합성장내미생물총 플랫폼 기술 개발 관련 SCI 논문(JCR 분야별 상위 10% 이내)
- 기술·경제적 성과
 - 토종 가축 사육단계별 장내미생물총 표준화 지도 및 합성장내미생물총 플랫폼 기술 관련 국내·외 특허 출원 및 기술이전

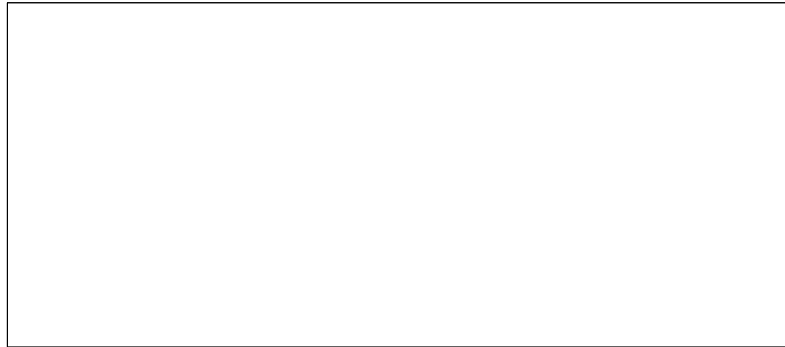
3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 토종 가축 장내미생물총의 표준화 및 합성장내미생물총 배양체 기술 개발
 - 자연형의 장내미생물총은 매우 복잡한 상호작용 시스템으로 구성되어 있으며, 이와 같은 복잡성은 각 미생물간 상호작용 및 외부요인에 대한 연구의 어려움 존재
 - 배양기술등의 발전에 따라 자연형의 특징을 유지하는 합성장내미생물총을 재현 가능
 - 본 기술은 미생물집단의 상호복잡성을 이해하고, 미생물 집단 및 외부요인에 따른 거동

및 역학 등 장내미생물의 모델링에 적합한 합성장내미생물총을 연구하는 플랫폼 역할 가능

[그림 8-4] 합성미생물총 플랫폼 기술 개발 개요도



※ 출처 : Venturelli, O. S., Carr, A. V., Fisher, G., Hsu, R. H., Lau, R., Bowen, B. P., ... & Arkin, A. P. (2018). Deciphering Microbial Interactions in Synthetic Human Gut Microbiome Communities. *Molecular Systems Biology*, 14(6), e8157

■ 주요 연구(개발) 내용

- 축종별 장내미생물총 분석 및 표준화
 - 가축(소, 돼지 등) 사육단계별, 연령별 장내미생물총 분석 및 표준화
 - 표준 장내미생물총과 기능적 유사성을 가지는 합성장내미생물총 디자인
 - 합성장내미생물총 모델 시스템 구축
- 가축 장내미생물총의 대사체 분석
 - 가축과 장내미생물의 대사물질 분석을 통한 상호작용 연구
 - 진핵 미생물이 생산하는 대사물질과 장내미생물 군집 변화와의 상관관계 연구
 - 장내미생물간의 상호작용 연구를 통한 가축의 생산성과 강건성 향상 연구
- 합성장내미생물총 배양기술 개발
 - 난배양성/절대혐기성 장내미생물 배양 기술 개발
 - 표준형 대비 기능적 유사성을 확보할 수 있는 합성장내미생물총 배양체 개발
- 합성장내미생물총 기반 활용체계 구축
 - 식품, 의약품, 질병상태 등에 따른 장내미생물총의 모델링

4 차별성 및 독창성

- 토종 가축 장내미생물군총 표준화 지도 작성
 - 세균에 한정되어 연구되고 있는 가축의 장내미생물군총 표준화를 곰팡이를 포함시켜 분석하여 미생물군총에 대한 총괄적인 이해도 증진 가능
- 합성장내미생물총 플랫폼 기술개발
 - 합성장내미생물총은 자연형 대비 높은 기능적 유사성, 복잡성 감소 등을 통해 다양한 외부 요인에 대한 장내미생물총 모델링이 가능한 기술

5 기대 및 파급효과

■ 과학기술적 파급효과

- 가축의 사육단계, 연령별 장내미생물총 데이터 확보 및 표준화 지도 작성
 - 가축의 강건성 및 생산성 증대를 위한 장내미생물 유래 원천 기술 개발
 - 장내미생물총과 동물의 상호작용을 통한 생산성과 면역 반응 연구를 통하여 인체에도 적용 가능한 포괄적인 연구의 발판 마련이 가능
 - 우수한 장내미생물총을 기반으로 하는 고효율 미생물제제 개발
- 가축의 장내미생물총 모델링을 통한 합성미생물총 개발
 - 가축의 사육단계 및 연령별, 질병 발생에 따른 장내미생물총 거동 데이터 구축 가능
 - 난배양/절대 혐기성 미생물 연구를 통한 합성미생물총 플랫폼 확보
 - 대사체 분석을 통한 동물과 장내미생물, 장내미생물간의 상호작용 이해 가능

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

1-4 고효율 미생물 기반 식물질병 제어소재 개발기술

※ 기술수요조사 제안기술명 : 고효율 미생물 기반 스마트 작물보호소재 개발기술

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 세계적인 친환경 정책 및 안전한 농산물에 대한 관심 증가로 바이오작물보호제* 시장이 지속적 성장
 - * 바이오작물보호제(Biopesticide)란 자연계에 존재하는 재료를 이용하여 작물 재배 중에 발생하는 병해충 및 잡초를 방제하는 약제이며, 미생물농약은 곰팡이, 세균 등 살아있는 유용미생물을 이용하여 방제하는 작물보호제를 의미
- '13~'20년의 바이오작물보호제 시장의 연평균 성장율은 14.3%에 이를 것으로 예상되며, '25년에는 바이오작물보호제 시장규모는 약 74억 달러 규모로 추정
- 바이오작물보호제 시장은 성장단계로 진입
 - 국내 바이오작물보호제 개발을 위해 기존 농약회사들 이외에 많은 벤처기업 및 중소기업들이 참여하고 있으며, 시장은 진입 단계를 지나 성장단계에 접어들어 급속하게 성장 중
 - 따라서, 글로벌 등록이 가능한 수출주도형 바이오작물보호제의 개발이 요구

■ 추진 필요성

- 합성작물보호제 대해 내성을 가지는 해충, 병원균, 잡초의 증가로 농작물의 피해가 증대
 - 합성작물보호제의 개발에 진전이 없는 상황에서 합성작물보호제에 견줄만큼 우수한 약효를 보이는 바이오작물보호제 개발이 요구
- 합성작물보호제에 대한 대안으로 바이오작물보호제가 대두되고 있으나, 세계시장 대비 국내 업체의 바이오작물보호제 개발은 미미
 - 식물공장 및 스마트팜 등 정밀농업을 통해 재배되는 고부가가치 작물에 대한 친환경 바이오작물보호제의 수요가 증가하고 있으나, 우수한 약효를 보이는 바이오작물보호제가 거의 전무

■ 기술의 해외 동향

- 바이오작물보호제는 '13년 기준 전체 1,020개의 제품 가운데 바이오살충제가 81.4%로 가장 많은 비중을 차지하고 있으며, 바이오살균제는 16.1%를 차지
 - 바이오살충제 또는 제초제는 몇 개의 제품만이 개발되어 있으며, 전체 작물보호제 시장 구조와는 상이한 구조
- 글로벌 작물보호제 기업들은 기존 작물보호제에 대한 대안으로 바이오작물보호제 연구개발을 강화
 - 글로벌 기업들은 미생물을 포함한 바이오소재 기반 벤처와의 M&A 등을 통해 연구개발을 강화 중

- 합성작물보호제에 견줄만큼 우수한 약효를 보이는 바이오작물보호제 개발을 위해 RNAi, CRISPR 유전자가위 등 분자생물학적 기술을 접목하는 연구가 세계적으로 진행 중
- 최근 바이오살충제 개발 회사들은 미생물의 대량생산뿐만 아니라 안정성을 확보할 수 있는 각 미생물에 적합한 제형 개발 등의 분야에서도 기술력이 크게 향상
 - 바이오살충제의 경우, Bt 독소를 생산하는 *Bacillus thuringiensis*를 이용한 제품이 대부분이었으나, 곤충, 기생성 곰팡이, 선충, 바이러스 등 다양한 소재들을 이용한 바이오살충제들이 개발

■ 기술의 국내 동향

- 발효와 수확을 위한 설비 및 장치 부족, 발효기술 부족, 제형기술 부족으로 국내 바이오작물보호제의 경우 아직까지 산업적으로 큰 성공을 거두지 못하는 상황
 - 생물농약의 경우, 살균제 22개(국내 개발 16개, 수입 6개), 살충제 13개(국내 개발 6개, 수입 7개), 제초제 1개(수입) 등 총 36개 품목이 등록
 - 국내 바이오작물보호제는 대다수가 유기농업 자재로 등록되어 있으며, 대부분은 약효성에 있어서 신뢰를 받지 못해 산업적 성공이 미진
 - 이에 범국가적이며 지속적인 지원에 따른 시스템 구축이 요구
- 약효 및 안전성에서 글로벌 등록이 가능한 수출주도형 바이오작물보호제(생물농약)의 개발이 요구
 - 글로벌 등록을 통한 수출주도형으로 가기 위해서는 원천기술 확보 및 투자 확대가 필요

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 미생물 또는 미생물 대사물질 등 다양한 생물소재를 기반으로 한 고효율의 바이오작물보호제 개발

■ 최종 결과물

- 합성작물보호제 대체 가능한 고효율의 미생물 기반 바이오작물보호제
 - 글로벌 등록이 가능한 수출 주도형 바이오작물보호제
 - 국내를 포함한 전 세계적으로 중요한 식물병원균 및 해충을 제어할 수 있는 바이오작물보호소재

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

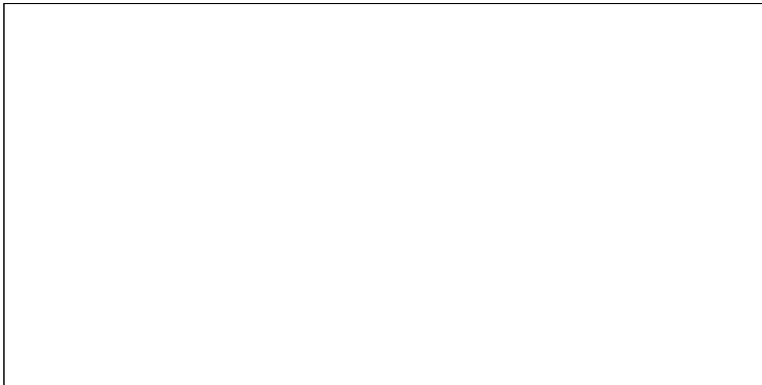
- 주요 식물병원균 및 해충으로부터 식물을 보호할 수 있는 고효율의 유용미생물 및 미생물의 대사산물을 발굴하는 원천기술 개발

- 우수 살균·살충 활성의 미생물 또는 대사산물의 특성 및 작용기전을 규명할 수 있는 기초 기술 개발
- 미생물 대량배양, 유효물질 정제기술, 제형화 기술, 미생물 안정성 향상 기술, 물리화학적 특성평가 기술 등을 포함하는 산업화 기술 개발

■ 주요 연구(개발) 내용

- 우수 살균·살충활성 미생물 소재 선별 및 유효물질 분리정제 기술개발
- 글로벌 주요 식물병원균 및 해충에 대한 선별 미생물의 생물활성 평가
- 선별 미생물 및 유효물질의 생물활성 특성 및 작용기전 규명
- 선별 미생물의 최적 제형화 및 물리이화학적 특성 평가
- 선별 미생물의 생물활성 지표물질 대량생산 기술 개발 및 약효 최적화 기술 개발
- 해외진출을 위한 GLP수준의 미생물 독성실험
- 시제품 제작 및 현장적용 기술 개발

[그림 8-5] 제안기술의 주요연구 내용



4 차별성 및 독창성

- 본 연구에서 개발하고자 하는 것은 천연소재 기반 바이오작물보호제로서 기존 합성작물 보호제의 약효 대체가 가능
- 또한, 주요 식물병원균 및 해충을 제어할 수 있는 소재로써 기존 연구에서 찾아볼 수 없었던 고효율의 미생물을 기반으로 한 수출주도형 바이오작물보호 소재

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 신규 작물보호제의 개발을 통하여 현재 시장규모가 급속히 확대되고 있는 동남아 및 중국 시장에 주도적 진출이 가능
- 전체적인 합성작물보호제 사용량 절감을 통해 환경에 대한 오염을 줄이고, 지속가능한 생태 보전형 농산업 구현

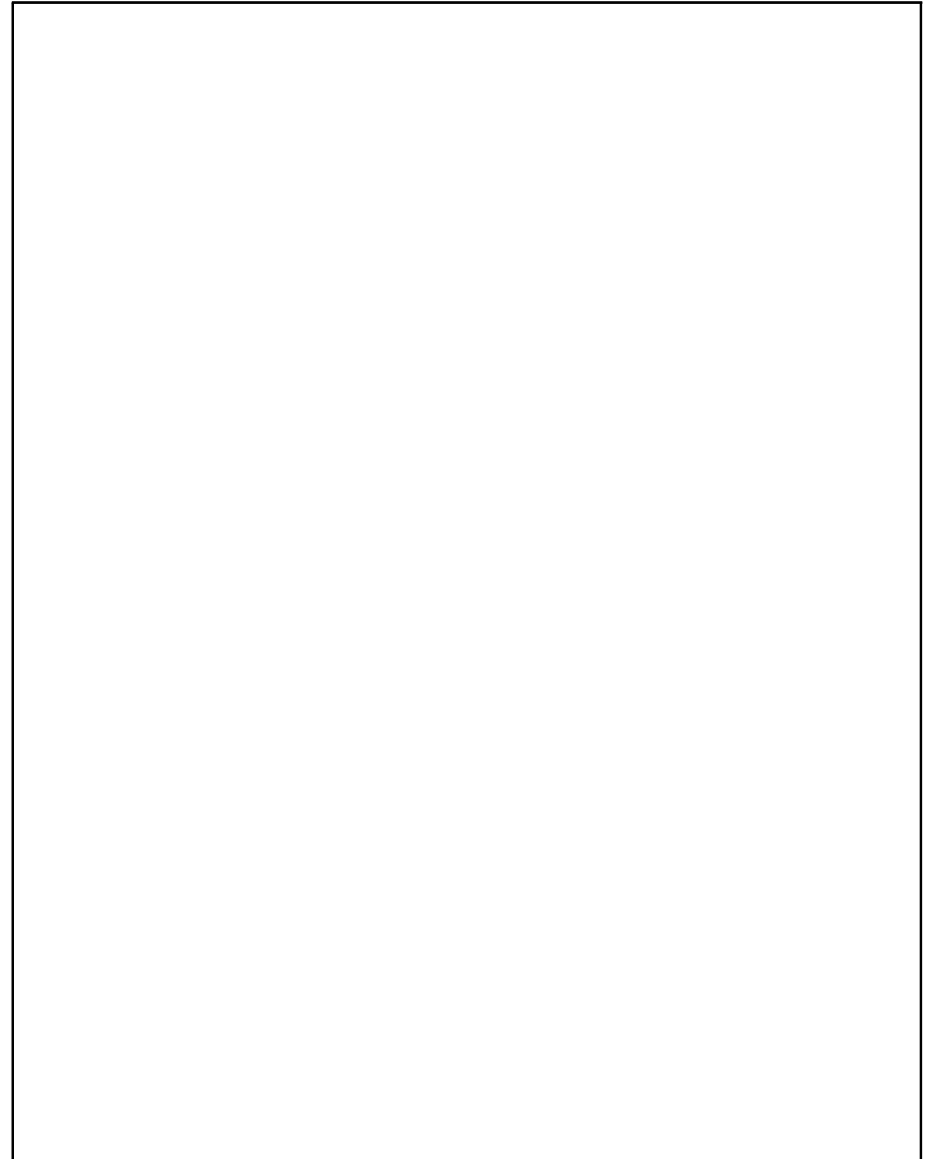
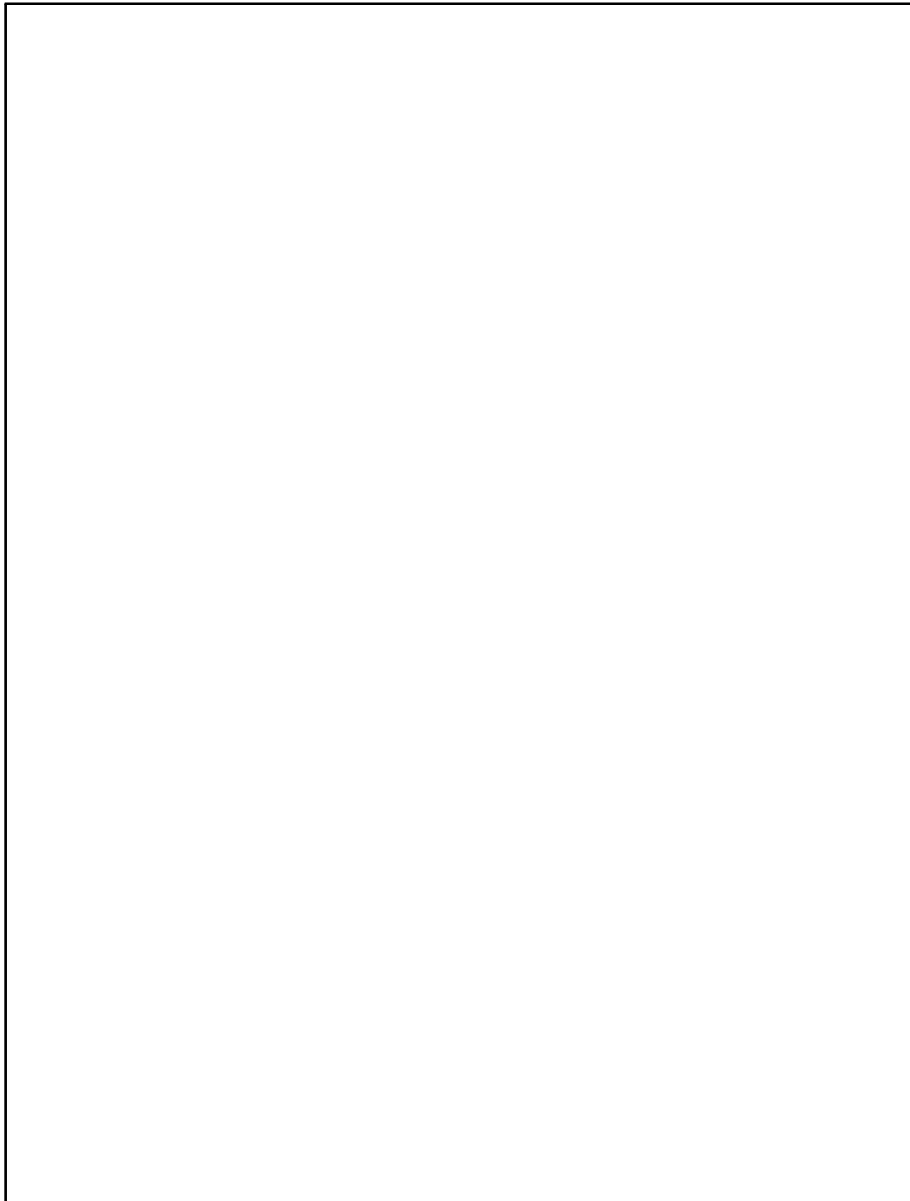
■ 과학기술적 파급효과

- 바이오작물보호제 개발 기술의 선진화를 통한 식물공장 및 스마트팜 등의 정밀농업 기술에 적용 및 확산

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

내역사업 2 화이트바이오핵심기술개발



2-1 바이오화학소재의 산업적 생산을 위한 Enzyme Toolbox 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 제한적인 인공 미생물 세포공장 활용도
 - 합성생물학 기술의 발달로 바이오화학소재를 생산하는 인공 미생물 세포공장이 성공적으로 개발되고 있으나, 산업적 생산은 아미노산(라이신, 글루탐산, 메티오닌 등)과 젖산 등 일부 바이오화학소재에 국한

■ 추진 필요성

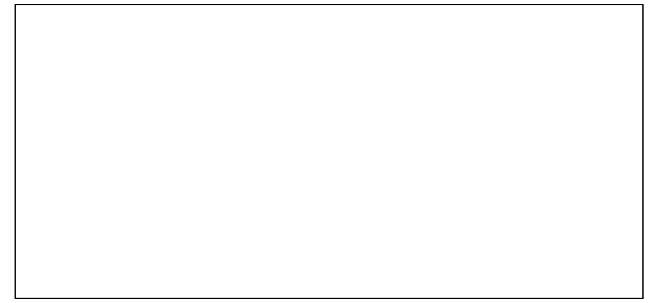
- 바이오화학소재의 생산 효율 증대를 위한 맞춤형 기술 필요
 - 고부가 바이오화학소재는 신규 생합성 경로상 병목반응 효소 발현 조절을 통해 생산 최적화가 가능하나 핵심 효소의 약한 활성, 기질·산물 저해, 대상 반응 효소 부재로 인한 복수 효소 사용 등으로 생산 효율이 낮아지는 문제점이 지속적으로 발생
 - 이를 근본적으로 해결할 수 있는 바이오화학소재 맞춤형 Enzyme Toolbox의 확보가 시급
- Enzyme Toolbox는 바이오화학소재 생산을 위한 생물공정의 핵심기술이자 민간부문에서 연구개발이 어려운 공백기술
 - 바이오화학소재를 생산하는 생물공정(효소공정, 미생물공정)에서 핵심기술은 전환반응을 담당하는 고기능성 효소의 확보이나 단순 유전자원 확보 수준이 아닌 생물전환 주요 효소의 발굴 및 개량 등 효소 활성을 확보(Enzyme Toolbox)하고 이의 데이터베이스화가 필요
 - 매출 중심 민간 R&D로는 미래산업 원천기술 및 생물전환산업 공백기술에 해당하는 Enzyme Toolbox 구축 및 데이터베이스화는 불가능하므로 국내 바이오화학산업 경쟁력 강화를 위해 정부에서 집중 투자 필요

■ 기술의 해외 동향

- 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 목적 바이오화학소재 생산용 효소를 지속적으로 발굴, 개량, 최적화하여 상업용 효소의 라이브러리를 확보 중
 - Novozymes는 다양한 상업용 효소자원을 지속적으로 확보, 개량, 제품화하고 있으며 CalB가 가장 대표적
 - Merck는 의약품 원료소재 화학합성공정을 생물공정으로 대체하기 위한 Enzyme Toolbox 확보 중
 - EU는 'Framework 7, Horizon 2020'의 R&D 프로그램을 통해 BIOOX, PEROXICATS, IRENE, BIONEXGEN, OPTIBIOCAT, OXYGREEN, INDOX, KYROBIO 등 바이오화학소재의 상업적 생

산에 필요한 핵심 효소를 확보하는 과제를 지속적으로 진행

[그림 8-6] Enzyme Toolbox 모식도



※ 출처 : Scheller, P. N., Fademrecht, S., Hofelzer, S., Pleiss, J., Leipold, F., Turner, N. J., ... & Hauer, B. (2014). Enzyme Toolbox: Novel Enantiocomplementary Imine Reductases. ChemBioChem, 15(15), 2201-2204

■ 기술의 국내 동향

- 국내의 경우, 개별 효소에 대한 일반연구지원이 집중적으로 이루어졌으나 학술적 연구수준에 그치고 있으며 바이오화학소재 산업적 생산을 위한 효소군 확보에 대한 연구는 전무
 - 아미코젠, 제노포커스 등 국내 효소 전문기업이 효소발굴, 개량, 제품화를 추진하고 있으나 특정 효소에 한정되어 민간영역이 아닌 정부차원의 연구지원을 통해 공공 활용이 가능한 효소 데이터베이스 구축 필요
 - 기존 논문 및 특허상의 효소 유전자를 활용하거나 상동성이 높은 유전자를 선정하여 생합성경로 구축에 활용하고 있으나 효소활성이 낮은 문제점이 여전히 존재
 - 생물자원센터는 유용 효소 생산용 미생물 및 유전자 정보를 보유하고 있으나 새로운 생물자원 확보에 주력

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 바이오화학소재의 산업적 생산을 위한 Enzyme Toolbox 개발
 - 고부가 바이오화학소재의 산업적 생산을 위한 소재 맞춤형 핵심효소 발굴 및 개량을 통해 Enzyme Toolbox 구축
 - Enzyme Toolbox와 기존 합성생물학 기반 인공 미생물 세포공장기술의 접목을 통한 바이오화학소재 맞춤형 생산 시스템 구축

■ 최종 결과물

- 바이오화학소재 맞춤형 Enzyme Toolbox 및 데이터베이스
 - 바이오화학소재 생산용 대사경로 지도화 및 이를 활용한 효소군
 - 바이오화학소재 맞춤형 효소 개발 및 데이터베이스
 - Enzyme Toolbox 활용 한국형 바이오화학소재 맞춤형 생산 시스템

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 본 제안기술은 바이오화학소재의 산업적 생산을 위한 핵심효소의 발굴, 개량, 적용을 위한 Enzyme Toolbox를 구축하는 기술로서, 신규 합성성 경로가 도입된 인공 미생물 세포공장이 산업적 수준으로 생산능력을 갖출 수 있도록 바이오화학소재 맞춤형 효소군의 확보 및 소재 대량생산에 적용하는 원천기술

■ 주요 연구(개발) 내용

- 바이오화학소재 맞춤형 핵심 효소 반응 선정을 통한 Enzyme Toolbox 확보
 - 산업적 활용도가 매우 높으나 생물학적 생산 효율이 낮은 정밀화학소재(테르펜(Terpene), 스테로이드계 소재, 세라미아드계 소재 등)와 범용화학소재(이소프렌노이드(Isoprenoid), 아디프산(Adipic Acid), 카프로락탐(Caprolactam) 등)을 선정(한국형 바이오화학소재에 집중 가능)
 - 선정된 소재별 핵심 효소반응군(탈수·가수반응, 키랄 산화환원·아민화반응, CoA 전달 반응, 카르보닐화 반응, 알돌 반응, 탈탄산·탄산화반응, 메틸화반응 등) AI 기술을 이용하여 EC Number 별로 선정
 - 소재 맞춤형 활성(기질특이성, 기질·산물저해, 조효소 특이성 등)을 가지는 효소의 발굴 및 개량
 - 합성생물학 기반 인공 미생물 세포공장에 확보된 효소의 활성 및 미생물 생산성을 데이터베이스화하여 Enzyme Toolbox를 구축하고 점차 다양한 바이오화학소재로 확대
 - 확보된 효소 및 미생물 정보를 데이터베이스화하여 연구공공성 강화

4 차별성 및 독창성

- Enzyme Toolbox 확보 시 파급성 높은 지적재산권 및 논문 확보 가능
- 다양한 효소군 활용을 통해 생물학적 제조공정에서 공백기술이 상당 부분 해소 가능
- 기존 고부가 및 범용소재뿐만 아니라 한국형 바이오소재의 산업적 생산에 기여 가능
- 산업원천핵심기술로 확보가 가능하며 점차적으로 바이오산업 전반(식품, 뷰티, 헬스케어 등)에 확대 가능

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 식품, 코스메틱 제품, Personal Care 제품 등 다양한 바이오화학소재 생산 기술에 적용 가능하여 국내 바이오정밀화학산업에 새로운 원료 소재 시장 창출 가능
- 국내 바이오정밀화학 산업(식품, 뷰티, 의약품 등) 육성 및 고용창출 유도

■ 과학기술적 파급효과

- Enzyme Toolbox의 데이터베이스화를 통한 국내 연구진 공동 활용 추진 및 이를 통한 연구 공공성 향상
- 신규 효소의 확보 및 적용을 통한 효소공학, 대사공학, 합성생물학, 시스템생물학 분야의 발전에 기여
- 바이오화학소재 생산을 위한 고난이도 원천기술 확보에 기여

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-2 고부가가치 화장품 소재 생산 기술 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 고부가가치 화장품 소재 산업은 지속가능한 성장이 기대되는 산업분야
 - 최근 경제 성장, 소비 계층 확대, 고령화 등의 영향으로 글로벌 경제위기에도 불구하고 지속적으로 새로운 시장 창출이 기대되는 분야
 - 화학공업과 피부과학의 접목이 화장품 산업의 근본적 속성이고, 화장품은 화학공업으로부터 출발하여 기초원료 개발의 중요성이 강조되는 추세
 - 화장품 원료 생산은 전체 화장품 생산액의 약 10%를 차지
- 제품의 인체 안정성에 대한 사회적 요구 증대
 - 화장품 산업은 인체에 적용되는 제품의 특성상 안전 측면이 매우 강조되는 분야
 - 과거에는 피부특성에 맞는 화학소재 개발이 중요하였으나 최근에는 천연유래 소재에 대한 사회적 관심이 증가

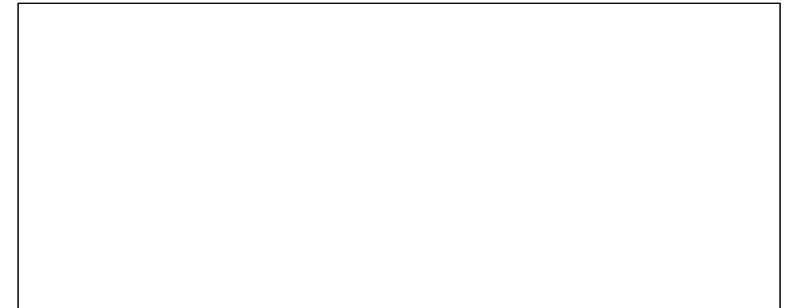
■ 추진 필요성

- 화장품 업계의 친환경 및 안전한 원료에 대한 니즈(Needs) 증가
 - 환경오염 및 자원고갈 등의 사회적 문제, 최근 인체 노출 화학물질에 대한 공포증(Chemophobia) 등에 의해 소비자와 직접 연관되어 있는 화장품 원료에 대한 친환경, 지속가능성, 안전성에 대한 요구가 증가 중
 - 로레알은 '20년부터 모든 신제품에 천연지수(Naturalness Index) 적용 선언
 - 바이오 기술을 통한 화장품 소재 개발은 친환경 이점을 기반으로 고부가가치 산업 활용성 제고가 가능

■ 기술의 해외 동향

- 글로벌 화장품 산업은 '17년 4,648억 달러 규모로 전년대비 5.2%의 높은 성장세로 전환, '22년까지 연평균 5% 성장 전망
 - 글로벌 화장품 산업의 주요 트렌드인 천연원료와 프리미엄 제품을 중심으로 큰 폭의 성장세를 기록
- 화장품 주요 기초 소재들은 해외 기업 중심으로 생산
 - 화장품 보습, 용제 등의 기본 원료인 1,3-butanediol은 미국(Oxea)과 일본(Daicel), 1,3-propanediol은 미국(Dupont Tate&Lyly)에서 주로 생산

[그림 8-7] 글로벌 화장품 시장 규모 추이 (단위 : 억 달러, %)

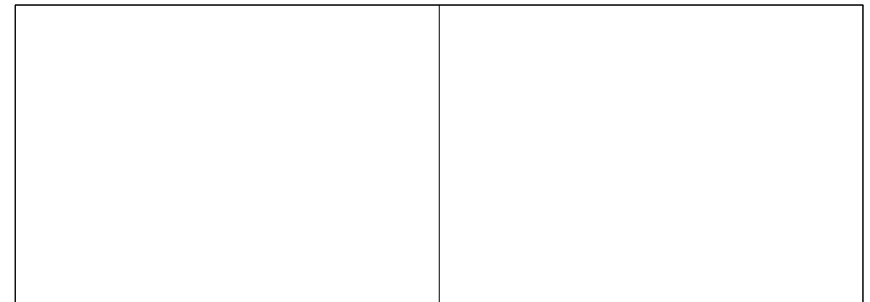


※ 출처 : Kotra. (2018). 2018 글로벌 화장품 산업백서

■ 기술의 국내 동향

- 화장품 제형 기술 수준은 선진국 대비 동등한 위치에 이른 것으로 판단되나, 화장품 소재 탐색 및 소재 확보 기술에서는 선진국과의 격차 존재

[그림 8-8] 화장품 기술별 기술 수준



※ 출처 : KB투자증권. (2015). 바이오 화장품의 미래 & 원료 기술의 진화

- 화장품 원료의 80% 정도 수준을 수입에 의존
 - 천연 자원이 국내에 부족하여 천연 소재를 발굴하여 생산하는데 한계 존재
- ※ 출처 : 윤한솔. (2017). 화장품 기술개발 동향 및 정책 방향. KHIDI 전문가 리포트 2017-4

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 개발 소재에 대한 화장품 응용 기술 개발
 - 안전성 평가, 효능 평가, 제형 평가, 인증, 등록 등

■ 최종 결과물

- 고부가가치 화장품 소재 생산 기술 개발 5종 이상
- 2종 이상 화장품 제품화
 - 화장품 회사에 원료 진입, 화장품 제품 출시

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 화장품에 적용이 가능하고 자연계에 존재하거나 존재하지 않는 소재 발굴
- 합성생물학을 활용하여 해당 소재를 고효율로 합성하는 세포를 개발하는 원천 기술 확보 및 화장품 소재 응용처 발굴

■ 주요 연구(개발) 내용

- 소재 발굴, 미생물 동정, 합성생물학 활용 유전자 개량 등 화장품 소재 전환 기술 개발
 - 화장품에 범용으로 적용될 수 있는 기초 소재 또는 기능성 소재를 천연물로부터 전환하여 생산할 수 있는 기술(미생물, 추출 등) 개발
 - 화장품 소재에는 생리 활성 물질이 많아 미생물의 생장에 영향을 미칠 수 있기에 이를 해소하여 고성능으로 생산할 수 있는 원천기술을 확보
- 발효, 분리정제, 탈색탈취 등 화장품 소재 생산 기술 개발
 - 발효 제품의 경우 고순도로 색깔과 냄새 없이 생산하는 것이 중요하기 때문에 경제성이 있는 분리정제/탈색탈취 원천기술 개발·확보 추진
- 안전성·효능 평가, 제형 등 화장품 소재 응용기술 개발
 - 화장품과 같이 인체 적용 제품의 경우, 안전성 평가가 중요하고 이를 통한 인증 등록이 필요
 - 화장품에 사용되기 위한 효능을 발굴하는 것이 중요하고, 제형을 통한 효능 평가 등 응용기술 개발 병행이 필수
 - 기 개발된 국산 신규 기초 원료들(예시 : 2,3-butanediol)에 대해 효능 평가, 제형 평가 수행

4 차별성 및 독창성

- 화학공정으로 생산되던 화장품 소재를 친환경 바이오 공정으로 생산하는 기술개발 연구
- 기존 화학 유래 화장품 소재를 바이오 소재로 대체하여 생산 가능
- 화장품 시장의 메가트렌드에 적합한 기술로 향후 사업화와 시장 진입에 용이

5 기대 및 파급효과

- 경제사회적 파급효과
 - 화장품 소재의 국산화 가능
 - 수입의존도가 80% 가량인 상황에서 해당 기술들을 확보함으로써 화장품 소재 자원 개발국으로서의 발돋움 및 수출증가 기대
 - 친환경 안전한 소재 개발로 케모포비아(Chemophobia) 극복 가능
 - Specialty 바이오화학산업 활성화
- 과학기술적 파급효과
 - 화장품 소재 개발 원천 기술 확보 및 관련 업계 활성화
 - 자체 원료 개발 및 원료 산업 활성화 가능
 - 화장품 소재 개발 기술에 대한 선진국과 격차 감소

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-3 합성생물학 기반 엔지니어링 플라스틱 전구체 생산 미생물 플랫폼 시스템 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 플라스틱 폐기물 문제 심각성이 대두됨에 따라 고기능성 생분해성고분자의 개발의 필요성 증가
 - 산업에 다양한 적용이 가능하도록 물질이 확보된 폴리에스터 등의 생분해성 플라스틱의 개발을 통해, 플라스틱 폐기물 문제를 근본적으로 해결할 필요

■ 추진 필요성

- 생분해성 플라스틱 중 GBL(Gamma-butyrolactone)은 플라스틱 환경오염에 대응할 수 있는 가능성 있는 원료로 이를 적극적으로 활용할 수 있는 기반 기술의 개발이 필요
 - GBL은 생분해성 폴리머 합성을 위한 모노머, 나일론 합성원료 등 다양한 분야에서 광범위하게 사용되는 중요 화합물
 - C4 락톤 중 GBL은 중요한 유기화학 원료이자 정밀화학 중간제품으로, 용해성, 전기적 성질, 안정성이 우수하고 독성이 없어 석유화학, 제약 및 농약 분야 등 다양한 곳에서 사용이 가능

■ 기술의 해외 동향

- 다양한 탄소수와 기능기를 지닌 바이오기반 락톤 생산에 관한 연구는 초기단계
 - 바이오기반 카프로락톤 생산의 전구체로 활용될 수 있는 Hexanoic Acid 생산연구가 수행되고 있으나 생산수율은 높지 않은 상황
- 현재 기술적으로 제안되어 연구되고 있는 바이오기반 GBL 합성 방법은 최근에 알려진 2가지 방법으로 연구개발이 진행
 - 바이오매스로부터 생산된 숙신산을 1,4 BDO로 화학 전환하고 이를 다시 GBL로 전환 생산
 - 바이오매스로부터 미생물발효공정을 통하여 1,4 BDO로 전환하고 이를 다시 GBL로 전환 생산

■ 기술의 국내 동향

- 숙신산 또는 말레익산을 기반으로 GBL을 화학적으로 전환하는 다수의 연구결과가 보고되었으나 생물학적 기반의 연구결과는 미흡

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 합성생물학 기반 엔지니어링 플라스틱 전구체 생산 미생물 플랫폼 시스템 개발
 - 재조합 대장균, 코리네박테리움 등 산업에 적용가능한 플랫폼 균주의 합성생물학 기반 엔지니어링
 - 이를 통해 바이오락톤 대량생산을 위해 생합성 대사경로가 최적화된 산업용 균주의 개발

■ 최종 결과물

- 엔지니어링 플라스틱 전구체 생산 미생물 플랫폼 시스템

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 합성생물학 기반 엔지니어링 플라스틱 전구체 생산 플랫폼 균주 시스템 개발
 - 엔지니어링 플라스틱의 모노머로 사용 가능한 다양한 탄소수와 기능기를 보유한 바이오락톤 생산을 위한 효소 유전자 발굴 및 개량
 - 바이오락톤 프리커서 생산 대사경로 구축 및 최적화
 - 바이오락톤 생합성 대사경로 구축 및 바이오락톤 생산 플랫폼 균주개발

■ 주요 연구(개발) 내용

- 합성생물학 기반 바이오락톤 생산 플랫폼 균주 시스템 개발
 - 대장균, 코리네박테리움 등 산업에 적용가능한 플랫폼 균주의 합성생물학 기반 엔지니어링
 - 상업적 적용이 가능한 바이오락톤 생산균주 개발 및 이를 이용한 바이오매스 기반 바이오락톤 생산 기술 개발
 - 바이오락톤의 생산을 위한 효소유전자 발굴 및 개량
 - 바이오락톤 대량생산을 위한 생합성 대사경로 최적화 및 산업용 균주개발
 - 바이오매스 기반 바이오락톤 대량 생산·분리·정제 공정 개발

4 차별성 및 독창성

- 상업적으로 응용가능성이 높은 바이오락톤의 효율적인 생산을 위한 균주개발은 아직까지 초기단계
- 합성생물학 기반으로 시스템 수준의 엔지니어링을 통해 바이오락톤의 생산에 성공하고, 생산수율을 획기적으로 높일 수 있을 것으로 기대

5 기대 및 파급효과

■ **경제사회적 파급효과**

- 바이오기반 바이오락톤 생산방법의 순수 국산 기술화를 통한 생산성과 시장성 확보 가능
 - 전 세계적으로 바이오락톤 생산연구는 아직 초기 단계에 있으므로 경제성 있는 대량생산 생물공정을 개발한다면, 바이오락톤을 모노머로 사용하여 합성한 고부가가치 엔지니어링 플라스틱의 해외시장 공략 가능

■ **과학기술적 파급효과**

- 산업용 플랫폼 균주의 개발을 위해 개발된 합성생물학 기반 기술은 다양한 분야의 플랫폼 프로덕트를 만드는 균주 개발에 응용 가능

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-4 케모포비아 대응 바이오보존제 생산을 위한 인공 미생물 세포공장 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ **추진 배경**

- 전 세계적인 화학물질공포증(Chemophobia)의 확산으로 이에 대한 국내·외 대응과 관심이 증가하는 추세
 - 선진국은 환경 및 국민건강을 지키기 위해 산업제품군(범용화학물질)에 대한 유해화학물질(Phthalate 계열, Bisphenol A, Volatile Organic Compounds 등) 규제 강화 및 범위 확대
 - 산업제품군에 대한 국가적 규제 이외에, 최근 옥시사태로 인해 생활밀착형 정밀화학제품군(코스메틱, Personal Care, 식품첨가제) 전반에 화학물질공포증(Chemophobia)이 확산되어 있어 국내 중소·중견 기업 중심 정밀화학소재산업의 위축이 우려
 - 특히, 생활화학물질을 기피하는 케모포비아 현상이 대중에 확산됨에 따라 화장품 및 생활용품에 사용되는 보존제인 파라벤계 소재를 대체할 수 있는 안전한 보존제에 대한 소비자 및 기업의 니즈가 증가

■ **추진 필요성**

- 안전한 바이오보존제 표준화 기술의 부재
 - 깨끗하고 안전한 바이오보존제(Bio-based Preservative)에 대한 수요가 증가하고 있으나 보존제의 항균력으로 인해 생물학적 제조 원천기술 확보가 어려움
 - 생산원료는 식물 추출에 의존하고 있으나 표준화에 어려운 상황
- 케모포비아 확산에 대응하고 정밀화학산업의 미래 제시 필요
 - 바이오매스 유래 바이오보존제를 개발하여 식유유래 화학소재를 대체함으로써 소비자에게 유해한 화학물질이 없는 자연에 가까운 제품 제공 필요
 - 바이오정밀화학소재에 대한 의식을 소비자에게 제고함으로써 생활밀착형 정밀화학제품에 대한 케모포비아 확산에 대응하며 바이오화학소재 제품의 시장 프리미엄 확보에 기여 필요

■ **기술의 해외 동향**

- 유럽을 중심으로 천연소재, 친환경 공정 이용 제품에 대한 인증 실시 중
 - EcoCert 등 소비자 신뢰를 바탕으로 상당한 영향력 행사 중
 - BASF, DSM, Evonik, DuPont 등 글로벌 화학회사는 생축매를 활용하여 천연원료 기반 바이오 정밀화학소재를 개발하여 원료소재 및 완제품 시장 확대

- 미국, 유럽 등 주요 선진국에서는 비교적 안전한 화학보존제(Phenoxyethanol, Polyol 등)를 사용하거나 식물 유래 항균 물질 추출 혼합물을 사용
 - Dupont은 Zemea(1,3-propanediol)을 보존제 향상 보습제로 홍보, California Baby는 식물유래 바이오보존제 판매

■ 기술의 국내 동향

- 코스메틱 소재, Personal Care 소재를 중심으로 천연소재, 생촉매 이용 친환경 제품생산이 증가 추세
- 합성생물학 기반 균주 개발 기술은 확보하고 있으나 바이오보존제 원천기술은 전무하며 원료 소재의 해외의존도가 높아 신소재 발굴 및 생물전환공정 개발 시급

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 화학보존제를 대체할 수 있는 깨끗하고 안전한 바이오보존제 생산 기술 개발
 - 화학보존제의 독성 문제 및 식물 추출 천연보존제의 표준화 어려움을 극복하기 위한 합성 생물학 기반 바이오보존제 생산기술 개발
 - 바이오보존제의 생산을 위한 인공 미생물 원천기술 확보 및 이를 통한 바이오보존제 생산 표준화 및 스케일-업

■ 최종 결과물

- 화학보존제 대체 가능한 바이오보존제 생산기술
 - 바이오보존제 생합성 경로 구축 및 생산용 인공 미생물 확보
 - 바이오보존제 저항성 조절 기술을 통한 보존제 생산 원천 균주 확보
 - 바이오보존제 생산 표준화, 분리정제, 스케일-업을 통한 바이오공정 확보

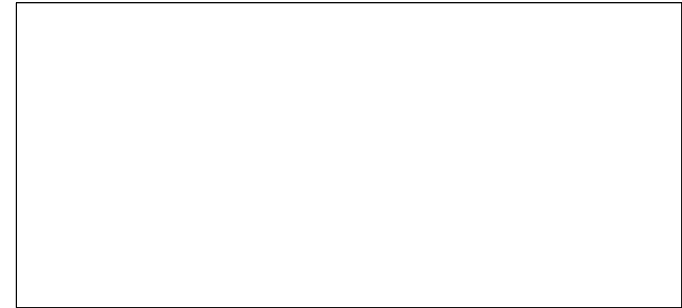
3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 안전한 생활제품에 대한 소비자의 니즈가 급증함에 따라 코스메틱, 퍼스널케어 분야에서 기존 화학소재를 천연물 등 친환경 소재로 대체
- 화학보존제 대체를 위한 안전하고 깨끗한 바이오보존제 생산 기술 개발
 - 식품, 화장품, 의약품 산업에서 가장 폭넓게 사용되는 화학보존제인 파라벤계 소재가 전 세계적으로 사용 금지 원료로 지정됨에 따라 이를 대체할 수 있는 안전한 바이오보존제 (Bio-based Preservative)를 생산할 수 있는 인공 미생물 세포공장 시스템을 개발하는 원천

기술

[그림 8-10] 케모포비아 극복을 위한 화학소재 대체 바이오기술개발



■ 주요 연구(개발) 내용

- 바이오보존제 생산 고효율 인공 미생물 제작 및 대량생산 원천 기술 확보
 - 안전성이 확보된 화학보존제(polyol 등) 또는 천연보존제 유효 성분을 생산할 수 있는 신규 합성 경로 설계 및 검증
 - 고효율 및 신기능을 가지는 효소의 발굴 및 개량
 - 멀티�믹스 기반 바이오보존제가 생산세포에 대한 독성 유발 기작 및 내성 유전자 규명
 - 대사산물 감지를 위한 바이오센서(Biosensor) 기술 개발
 - 대사산물 생산 극대화를 위해 독성이 약한 대사중간체 생산과 바이오보존제의 감지를 통해 역동적 대사 조절(Dynamic Regulation) 기술 개발
 - GRAS 균주 확보를 통하여 식품, 뷰티 등의 다양한 분야에 안전하게 사용할 수 있는 미생물 플랫폼 구축

4 차별성 및 독창성

- 기존 경제성 문제로 의약품으로 사용되던 것을 생활밀착형제품으로 사용이 가능하도록 하는 바이오보존제 생산 원천기술
- 바이오보존제 물질과 관련된 고효율 효소, 내성 유전자, 대사 물질 탐지 바이오센서, 역동적 대사조절 등 요소기술 개발 시 파급성 높은 지적재산권 및 논문 확보가 가능한 기술

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 바이오보존제는 식품, 코스메틱 제품, Personal Care 제품 등 개인생활 중에 개인이 직접적으로

접촉하고 사용하는 모든 생활화학제품에 적용 가능하여 원천기술 확보 시 국내 바이오 정밀화학 산업에서 새로운 원료 소재 시장 창출 가능

- 또한, 국내 바이오정밀화학 산업(식품, 뷰티 등) 육성 및 고용창출 유도 가능

■ 과학기술적 파급효과

- 케모포비아 대응 세계 수준의 바이오보존제 생산기술 확보
- 미개척 바이오소재 생산을 위한 고난이도 원천기술 확보(효소공학, 대사공학, 합성생물학, 시스템생물학)

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-5 구조기반 효소 설계/재설계를 통한 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체 생합성 플랫폼 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 환경오염 및 자원고갈 등의 문제가 초래함에 따라 바이오플라스틱에 대한 사회적 중요성이 증대
- 현재까지 개발된 대부분의 바이오플라스틱은 기존 석유화학 플라스틱 대비 물성 및 가격 경쟁력 측면에서 불리한 단점 존재

■ 추진 필요성

- 바이오플라스틱의 물성과 가격 경쟁력 확보를 위한 기술개발 필요
 - 키랄순수형 바이오플라스틱 단량체를 이용하여 바이오플라스틱을 (공)중합할 경우 다양한 물성을 지닌 신규 바이오플라스틱 소재를 개발할 수 있으며, 인체에 유해한 첨가제를 사용하지 않고 플라스틱의 물질 특성을 조절 및 개선 가능
 - 효소 설계/재설계 기술을 이용하는 경우 기질에 대한 선택도가 높은 효소의 특성상 화학적 합성법 대비 보다 고순도의 키랄순수형 단량체를 합성할 수 있으며, 기존의 화학합성 및 생합성법 대비 유리한 가격 경쟁력 확보 가능

■ 기술의 해외 동향

- 주요 선진국에서는 다양한 바이오플라스틱 전구체 합성에 대한 연구가 본격 추진
 - 가소제, 난연제 등의 유해성 첨가물이 사용된 플라스틱의 사용 및 수입 금지에 관한 규정 강화로 기존 석유화학 기반 플라스틱을 대체할 수 있는 신규 바이오플라스틱 기술 개발에 대한 요구가 확대
 - 글로벌 화학소재 기업들은 기존 석유화학 기반 플라스틱을 대체할 수 있는 물성 및 가격 경쟁력을 확보하기 위해 신규 바이오플라스틱 개발에 관한 연구 투자 확대

■ 기술의 국내 동향

- 국내 키랄 순수형 젖산 관련 연구는 아직 초기 단계
 - 바이오 플라스틱 생산을 위한 키랄순수형 산업용 소재로 키랄 순수형 젖산 (Lactic Acid) 을 이용한 연구가 진행된 바 있으나, 젖산 이외의 소재에 대한 연구는 거의 전무
 - 또한, 플랫폼 기술의 개념을 기반으로 한 연구는 아직 활발히 이루어지고 있지 않고 있는 실정
 - 단백질공학 및 분자모델링 기술의 발달로 인해 구조기반 효소개발 기술의 수준은 상당 수준 도달하였으나, 이를 합성생물학과 연계한 플랫폼 기술 개발에 대한 연구는 초기 단계
 - 글로벌 기술력 확보 및 미래시장 선점을 위해서는 해당 기술에 대한 선도적 연구개발 투자 및 기술 개발이 필요한 상황

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체를 생합성하는 플랫폼 기술의 개발
 - 구조기반 효소 설계/재설계 기술과 대사공학 및 합성생물학 기술을 접목
 - 산업화 및 대량생산을 위한 플랫폼 기술 구축 및 산업용 균주 개발

■ 최종 결과물

- 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체 생산 플랫폼 및 산업용 개발균주

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 단백질/효소공학 기술과 합성생물학 기술의 접목을 통한 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체 생합성 플랫폼 기술 개발
 - 화학촉매 대비 선택도가 높은 효소의 특성을 이용한 생합성 플랫폼 기반 기술 개발
 - 구조기반 효소 설계/재설계 기술을 통한 효소 성능 개량 및 원천기술 확보
 - 단백질/효소공학 기술과 합성생물학 기술과의 접목을 통해 보다 효율적인 생합성 시스템 개발
 - 플랫폼 기술 구축 및 산업용 균주 개발을 통한 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체의 산업화 및 대량생산 시스템 구축

■ 주요 연구(개발) 내용

- 구조기반 효소 설계/재설계 기술과 합성생물학 기술의 접목을 통해 산업적으로 유용한 키랄순수형 바이오플라스틱 전구체를 효율적으로 생합성할 수 있는 플랫폼 기술 개발
 - 단백질 구조해석 및 분자모델링(Homology Modeling, Molecular Docking, Molecular Dynamics 등)을 이용하여 효소 (산화환원효소, 아미노기전이효소, 모노산소첨가효소 등)의 촉매활성, 기질특이성, 광학선택성, 위치선택성 등을 조절할 수 있는 기술의 개발
 - 개발된 효소의 유전자 합성, 단백질 발현 및 합성생물학 기술과의 접목을 통한 효율적 생합성 시스템 개발(in vivo 시스템 구축, 조효소 재생, 고효율 생산균주 개발, 생산물 독성에 대한 내성 증가, 대사경로 최적화, 생산조건 최적화 등)
 - 개발된 생산 시스템을 적용하여 신규 바이오플라스틱 합성 및 기존 바이오플라스틱 (PLA, PHA, 지방족폴리에스터, 바이오나일론 등)의 물성 (내열성, 내충격성, 강도, 가공성 등) 개선에 적용될 수 있는 키랄순수형 단량체들 (Hydroxy Acids, Diacids, Amino Acids, Diamines, Diols 등)을 생산

4 차별성 및 독창성

- 본 연구를 통해 생산된 다양한 키랄소재들은 신규 바이오플라스틱 개발의 스펙트럼을 확장시킬 수 있으며, 기존의 유해 첨가제 투입 방식을 극복하고 보다 환경 친화적이고 독창적인 물성 개량 기법의 원천기술을 확보 가능
- 구조기반 효소개량 기술과 합성생물학 기술의 접목을 통해 차별화된 신규 플랫폼 기술이며, 본 기술을 적용할 경우 기존의 화학합성을 통한 생산 대비 제품 순도 및 가격 경쟁력에서 우위확보 가능

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 환경친화적 기술 적용을 통한 케모포비아 극복, 바이오소재 개발을 통한 석유 의존도 감소 및 글로벌 기술력 확보를 통한 미래시장 선점 효과

■ 과학기술적 파급효과

- 효소/단백질 공학과 합성생물학의 접목을 통한 산업용 키랄소재 생산의 새로운 기술분야 개척

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-6 합성생물학 기반 고부가 단백질 세포외 분비 생산 세포공장 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 세계 단백질 시장의 확대 및 가격 경쟁력 시스템 개발의 요구
 - OECD는 '30년경에는 바이오산업이 세계경제를 이끌 것으로 전망하고 있으며, 바이오 제품의 품질과 함께 생산비용의 경쟁이 더 치열해 질 것으로 예상
 - 이러한 추세에 맞춰 가격경쟁력을 갖춘 저비용의 미생물 기반 고효율 단백질 생산 시스템 개발의 중요성이 크게 증가
 - 그러나, 미생물에서 재조합 단백질의 세포외 분비생산은 목적 단백질에 따라 분비 생산능에 상당한 차이를 보여주고 있어, 목적 단백질에 따라 매년 새로운 시스템을 시행착오적 방법으로 제작할 수밖에 없으며, 이는 현재 기술 수준으로 많은 시간과 비용이 요구

■ 추진 필요성

- 미생물 기반 재조합 단백질의 세포외 분비생산의 장점
 - 대장균과 같이 단백질이 주변세포질(Periplasm)로 분비 생산되는 경우 미생물 배양 후 매우 복잡하고 고비용의 단백질 정제과정을 거쳐야하며 이로 인해 생산비용의 상승을 초래
 - 세포외 분비생산 시스템은 미생물 배양 후 세포를 과쇄할 필요 없이 단백질 정제가 가능하기 때문에 단백질 생산 공정을 매우 단순화 할 수가 있고 높은 가격 경쟁력을 가진 기술
- 목적단백질 맞춤형 분비생산 시스템의 필요
 - 여러 가지 미생물에서 단백질의 세포외 분비생산 시스템이 개발되어 있으나 단백질 종류에 따라 분비생산 효율은 천차만별이며 목적단백질이 달라질 때마다 이에 맞는 최적 발현시스템 구축이 필요
 - 일본의 AJINOMOTO사에서는 하나의 단백질 분비생산을 위해 200여개의 Signal Peptide를 Test하여 가장 효율이 우수한 분비생산 시스템을 구축하는 전략을 취해오고 있으나, 이는 많은 시간과 자본이 투자되어야 가능한 일이며 적지 않은 경우에서 고효율 생산 시스템 개발에 실패
 - 다양한 조합에서 목적단백질 맞춤형 최적 분비생산 시스템을 초고속 스크리닝 기법으로 단시간에 확보할 수 있는 기술의 개발이 절대적으로 필요

■ 기술의 해외 동향

- Plate 기반 High Throughput Screening 기술로 최적 분비시스템 구축
 - 일본 오기노 교수 그룹(오사카 부립 대학)에서는 *Bacillus* 균주에서 Lipase의 분비생산

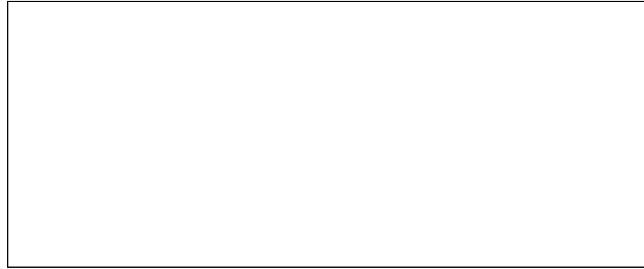
을 위해 15 Promoter, 15 Secretion Signal, 15 Terminator 조합의 라이브러리를 구축하고 96 Well Plate에서 초고속 스크리닝 기법으로 Lipase 최적 분비 생산 시스템을 구축 (기존 대비 130배 향상)

- 중국의 Zhang 교수 그룹(중국과학아카데미, CAS)은 *Bacillus subtilis* 균주에서 Amylase 분비생산을 위해 173개의 Signal Peptide를 조합한 라이브러리를 구축하고 96 Well Plate에서 스크리닝을 통하여 최적의 분비생산 시스템을 구축
- 독일의 Skoczinski 교수 그룹에서는 *Bacillus subtilis* 균주에서 Cutinase와 Lipase 단백질의 분비생산성을 향상시키기 위하여 Split GFP를 활용한 스크리닝 기법으로 목적단백질의 활성에 의존하지 않고 순수하게 분비성으로만 스크리닝을 진행하여 최적의 분비생산 시스템을 구축

※ 출처 : Underhaug et al., (2012). Phenylalanine Hydroxylase Misfolding and Pharmacological Chaperones. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 12(22), 2534-2545.

- 마이크로유체(Microfluidic) 기반 단백질 분비생산 모니터링 시스템
 - 미국의 Alper 그룹(UT at Austin)은 RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) Screening 기술을 개발하였으며, 이를 통하여 개별 클론을 Oil-droplet에 담고 세포외로 분비 생산된 단백질을 RNA-aptamer를 통하여 인식함으로써 각 클론에서 단백질 분비생산 정도를 초고속으로 모니터링 할 수 있는 시스템을 개발

[그림 8-12] RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) Screening 프로세스



※ 출처 : Abatemarco et al., (2017). RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) High-throughput Screening for Secretory Phenotypes. Nature Communications, 8(1), 332.

■ 기술의 국내 동향

- High Throughput Screening을 통한 분비시스템 구축보다 단일 시스템을 이용한 분비효율 증대에 치중
 - 한국생명공학연구원 손정훈 박사팀은 *Saccharomyces cerevisiae* 유래 ATPase를 Fusion Tag으로 활용하여 분비효율이 매우 낮은 단백질들의 세포외 분비효율을 크게 향상시키는 결과 확보
 - KAIST 정기준 교수팀은 *Corynebacterium glutamicum*에서 세포외 분비에 탁월한 Signal Peptide을 발굴하고 이를 이용하여 재조합단백질의 세포외 분비 생산성을 1g/L이상으로 크게 향상시키는데 성공

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 고부가 단백질(효소제품, 바이오의약품 등)의 분비 효율이 극대화된 맞춤형 생산시스템을 초고속으로 제작 할 수 있는 미생물 세포공장을 구축하며, 이를 기반으로 목적단백질의 세포외 분비생산 공정의 개발(세포외 단백질 농도 2g/L이상 확보)

■ 최종 결과물

- 재조합 단백질의 세포외 분비를 모니터링 할 수 있는 Genetic System 및 이를 기반으로하는 초고속 스크리닝 시스템
- 다양한 목적단백질에 범용적으로 적용가능한 합성생물학 기반의 발현시스템 및 Signal Peptide 라이브러리

- 3종 이상의 목표단백질에 대해 세포외 분비생산성 2g/L이상이 가능한 미생물 세포공장

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 본 연구에서는 미생물에서 새로운 목적단백질이 주어질 때마다 그 목적단백질의 분비 효율을 극대화할 수 있는 목적단백질 맞춤형 생산 시스템을 초고속으로 제작 할 수 있는 기반을 구축하는 것으로, 이를 통해 궁극적으로 목적단백질의 고효율 생산 공정 개발을 추진
- 합성생물학 Tool을 이용하여 미생물에서 목적단백질(인체용 의약품단백질 및 산업용 생물전환 효소 포함)에 최적의 분비생산 시스템을 초고속으로 제작하고 이를 통하여 목적단백질의 세포외 분비생산 효율을 극대화하는 세포공장을 개발
- 임의의 목적단백질이 주어졌을 때 단백질에 맞는 맞춤형 분비 생산 시스템을 수천만 개 이상의 조합으로부터 초고속으로 구축하는 기술로서, 특정단백질에 한정되지 않고 다양한 단백질에 폭넓게 적용될 수 있는 범용적 기반 기술 개발

[그림 8-13] 고부가 단백질 세포외 분비 생산 세포공장 연구개발 모식도

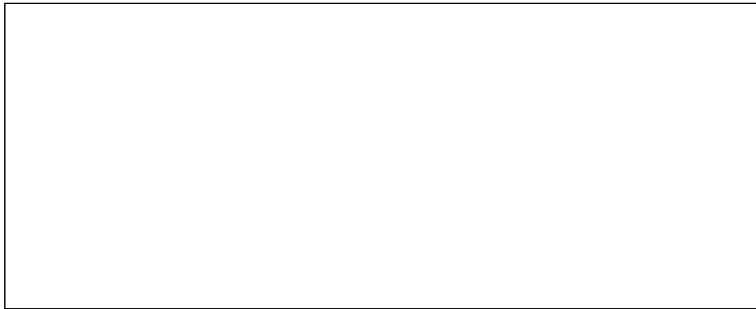


■ 주요 연구(개발) 내용

- 다양한 목적단백질에 범용적으로 적용 가능한 합성생물학 기반의 발현시스템 및 Signal Peptide 라이브러리 구축
 - 미생물에서 유전자 발현 조절이 가능한 다양한 세기의 합성 Promoter의 발굴, 다양한 분비 효율을 갖는 Synthetic Signal Peptide의 제작, 각 Promoter와 Signal Peptide가 조합된 라이브러리 구축(10⁸개 이상)
- 미생물에서 재조합 단백질의 세포외 분비를 직접 모니터링 할 수 있는 Genetic System 구축

- 단백질의 분비 Event가 있을때 나타나는 분비 인자를 발굴하고, 이 분비인자를 Input으로 하고 형광인자를 Output으로 하는 Genetic Circuit을 제작
- 궁극적으로 분비 효율에 따른 형광신호의 증가가 나타나는 시스템을 구축함으로써 형광세기 분석을 통해 목적단백질의 분비효율 정도를 모니터링할 수 있는 시스템의 구축

[그림 8-14] 세포의 분비를 직접 모니터링 할 수 있는 Genetic System 모식도



- 3종 이상의 목적단백질에 대해 세포의 분비생산성 2g/L이상이 가능한 미생물 세포공장 구축
 - 상기 구축된 시스템을 이용하여 3종 이상의 목적단백질에 대해 최적의 분비발현 시스템을 구축하고, 이를 고농도배양을 통하여 세포의 분비생산성 2g/L이상 확보

4 차별성 및 독창성

■ 기술의 차별성

- 기존의 단백질 분비 생산 시스템은 상대적으로 우수한 Signal Peptide들의 시행착오적 조합을 통해 고효율 분비 생산성을 획득하였으며, 이러한 과정은 상대적으로 많은 시간과 경비를 소모하며, 많은 단백질의 경우 원하는 수준의 분비 생산성 확보가 어려움
- 본 기술의 경우 목적단백질 분비생산에 적합한 Signal Peptide를 소수의 Signal Peptide중에서 시행착오적 반복 실험으로 찾는게 아니라 수천만 개 이상의 합성 라이브러리로부터 초고속 스크리닝에 의해 최적 단백질 분비생산 시스템을 개발하는 것이며, 이를 통한 단백질 분비생산성 향상 가능

■ 기술의 독창성

- 대장균의 주변세포질로의 분비 생산 등으로의 스크리닝 기술은 개발된 사례가 있으나 세포외로 완전히 분비 생산에 대한 초고속 스크리닝 기술은 아직 개발된 사례 전무

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 본 연구를 통하여 효소제품, 바이오의약품 등 고부가/고기능 단백질 고효율 생산이 가능하며 가격 경쟁력을 갖추므로써, 향후 급증하는 생산 수요에 적극 대응 가능
- 본 시스템을 활용하여 효소 생산비용을 크게 절감할 수 있으며, 이는 효소기반 바이오공정 전반에 큰 파급력을 미칠 것으로 기대

■ 과학기술적 파급효과

- 합성생물학 연구 분야에 있어 분비시스템 개량 연구는 처음 시도되는 사례로서, 이의 성공적 연구 수행 시 향후 합성생물학 활용 범위를 더욱 확대하고 미생물 개량 연구에 큰 기여 가능

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

2-7 난분해성 Polyamide(PA)의 분해 및 분해 산물의 재활용 바이오 공정 기술의 개발

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 최근 심각한 미세 플라스틱 오염 문제가 시급한 해결 문제로 대두
 - 폴리아마이드(PA)는 세계 최초의 상용화된 플라스틱으로 Caprolactam의 Amide 중합에 의한 PA6와 Hexamethylenediamine(HMDA)과 Adipic Acide의 Amide 중합에 의한 PA66 제품이 주종을 이루며 최근에는 HMDA와 Diacid의 축중합에 의한 PA610, PA612 등이 엔지니어링 플라스틱의 소재로 생산되는 중
 - 카페트, 그물, 선박용 밧줄 등의 PA 폐기물의 화학적 분해를 통한 Caprolactam, HMDA 및 Adipic Acid의 생산 및 재활용을 통한 순환 생산에 대한 시도가 이루어지고 있으나 대부분은 매립 등에 의해 처리되고 있으며 이로 인한 환경 문제가 대두

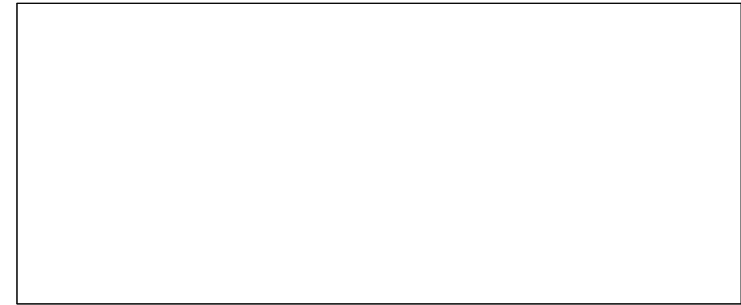
■ 추진 필요성

- 미세 플라스틱 환경오염 문제 해결을 위한 PA 폐기물에 의한 환경생물학적 생산 기술 개발 필요
 - PA 폐기물의 효율적 처리를 위한 PA 분해 미생물 및 그 유래의 효소 선별을 통해 그 기작을 규명함과 동시에 PA 분해 미생물 및 효소의 개량을 통한 PA 분해공정 기술 및 분해 산물의 산업적 재활용 기술 개발이 필요
 - PA 폐기물의 생물학적 처리에 대한 기초연구 보고는 있으나 산업적 공정 개발에 대한 보고는 미미하며, PA 분해 산물을 활용한 고부가가치 생산 기술의 경우 보고된 바 없는 독창적 기술

■ 기술의 해외 동향

- PA 폐기물의 분해 공정과 이를 통해 생산된 원료 물질의 회수 및 PA 재생산 기술 개발에 집중
 - Solvolysis, Ozonolysis, Oxidation, Galvanic Action, Chlorine-induced Cracking 등의 화학적 분해공정 개발이 집중
 - 1987년 Hudson과 Crugnola에 의해 PA의 생물학적 분해가 가능하다는 보고를 시작으로 PA의 원료인 Caprolactam의 분해 미생물과 효소 기작의 규명, PA 생산 공정의 부산물인 PA Oligomer의 분해에 관여하는 다양한 박테리아, 곰팡이 등의 미생물에 대한 연구가 일본 및 독일 그룹에 의해 꾸준히 보고
 - 또한, 미생물로부터 PA분해에 관여하는 6-aminohexanoate Cyclic Dimer Hydrolase, 6-aminohexanoate Dimer Hydrolase 등 다양한 효소의 특성에 대한 보고가 이루어지는 중

[그림 8-15] 미생물에 의한 폴리머의 생물학적 분해



※ 출처 : Pathak, V. M. (2017). Review on the Current Status of Polymer Degradation: A Microbial Approach. Bioresources and Bioprocessing, 4(1), 15.

■ 기술의 국내 동향

- PA에 의한 미세 플라스틱 환경오염 문제 연구는 전무한 상황
 - 한국생명공학연구원에는 다양한 환경의 생물종으로부터 미세 플라스틱 분석법 개발 등에 대한 연구가 진행
 - 최근 PET의 생물학적 분해에 관여하는 PETcase에 대한 분해 기작 규명이 경북대 김경진 교수 등에 의해 세계 최초로 규명
 - 반면, PA의 생물학적 분해에 대한 연구는 거의 없는 실정

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- PA 폐기물을 분해 미생물 및 효소자원의 확보와 합성생물학 기반의 개량
- 분해 미생물을 활용한 PA 폐기물의 생물학적 처리 공정 기술 개발과 이를 통해 생산된 물질의 수집 및 재활용 공정의 개발

■ 최종 결과물

- PA 분해 미생물 및 효소의 확보
- PA의 생물학적 분해 기작의 규명
- PA 폐기물의 생물학적 처리 공정 기술 및 이로부터 생산된 화학 물질의 회수 공정 기술
- PA 분해물을 활용한 고부가가치 생화학 제품의 생물학적 생산 공정 기술

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- PA 폐기물을 분해할 수 있는 생물학적 분해 공정 기술 및 이로부터 생산되는 주요 화학 물질의 회수 및 재활용 공정 기술 개발의 개발

[그림 8-16] PA 폐기물의 생물학적 분해 공정 및 재활용 공정 기술 개발



■ 주요 연구(개발) 내용

- PA 분해 미생물의 선별 및 효소의 확보
 - PA 분해 미생물의 선별
 - 다양한 환경원에서의 PA 분해 가능 미생물의 선별 및 분해 특성 규명
 - PA 분해 미생물 유래의 PA 효소의 선별 및 개량
 - 선별된 PA 분해 미생물의 유전체 확보 및 이로부터 PA 분해 미생물 유전자 확보
- PA 분해 기작 규명 및 PA 분해 효소 개량
 - PA 분해 효소의 정제, 효소 특성 및 구조 생물학 기반의 효소 구조 규명
 - PA 분해 효소의 구조 생물학 및 합성 생물학 기반의 개량
- PA 폐기물의 생물학적 분해 공정 개발
 - 선별된 PA 분해 미생물 또는 분해 효소 과발현 균주를 활용한 PA 폐기물의 발효 공정 또는 효소분해 공정의 개발
 - 시스템 생물학(전사체, 단백질체, 대사체등) 기반의 생물학적 공정 특성 분석 및 최적화
- PA 분해 공정에서 유래하는 화학물질의 회수 공정 기술 개발
 - PA의 생물학적 분해 공정에서 생산되는 주요 화학물질의 규명
 - 주요 화학물질의 회수 공정 기술 개발
 - 회수된 주요 화학물질의 재활용 공정 기술 개발
- PA 분해 산물 활용 고부가가치 생산 생물 공정 개발
 - 대사체 활용 PA 분해 산물 분석 및 이를 활용한 고부가가치 생산물 후보 선정
 - 생물학적 생산 공정 생산 균주 또는 효소 공정 개발
 - 고부가가치 제품의 회수 공정 개발

4 차별성 및 독창성

- 에너지 소비가 높은 화학 공정 대비 저에너지 소비 공정 기술
- 화학적 분해 공정에 의해 생산된 산물이 나일론의 원료인 반면 생물학적 분해 공정의 경우 적용되는 생물공정에 따라 다양한 산물의 생산 가능

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 사회적으로 대두되고 있는 미세 플라스틱에 의한 환경오염 문제 저감 및 PA 폐기물에 의해 발생하는 사회적 비용의 절감 가능
- PA 폐기물 수집, 생물학적 분해 공정 등과 연관된 새로운 산업군 생성과 이로 인한 고용 유발 효과 발생
- PA 분해물을 활용한 고부가가치 생화학 제품의 생물공정 생산 기술의 적용을 통한 신규 부가가치 창출

■ 과학기술적 파급효과

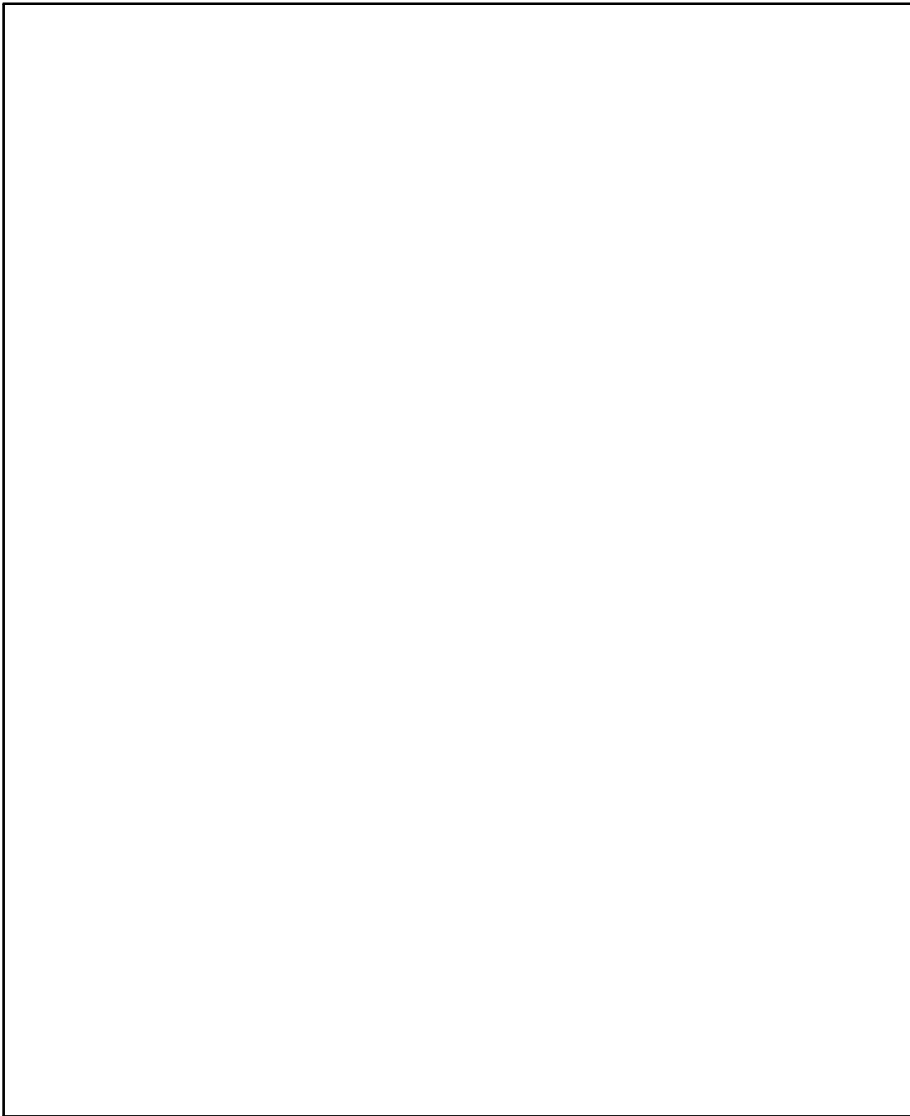
- 난분해성 플라스틱의 분해 기작 규명을 통한 난분해성 물질 분해 기작 연구 모델 제시

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

내역사업 3

그린·화이트바이오공통기반기술개발



3-1

Genomes to Natural Products(유전체 기반의 New Synthetic Biology 플랫폼 기술개발)

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 나고야 의정서(ABS)발효에 따른 생물자원 수급 전략 확보
 - ABS 비준 및 발효에 따른 생물자원의 주권강화 양상이 심화되고 있고, 해외 유전자원 접근 규제 및 의무적 이익공유 요구로 추가 비용 발생(추가 비용 연간 3,500~5,000억 원)이 예상
 - ※ 출처 : 한국생명공학연구원 ABS연구지원센터. (2015). 나고야의정서 및 생물자원 관련 국내의 동향 자료. 제43호.
 - 또한, 의약품, 화장품 등 생물 산업체의 67%가 해외 생물자원에 의존하고 있는 실정
- 오믹스 연구를 통한 천연물 생합성의 통합적 이해 및 적용연구 활발
 - 세계적으로 생체 내 천연물질 함량 및 동태를 대사체학을 적용하여 규명함과 동시에 약용 식물의 유전체 연구 및 유전자 발현 패턴을 파악하여 해당 천연물의 생합성에 관여하는 유전자에 대한 연구가 활발히 추진 중
- 국내 유전체 연구 활발
 - 국내 독자기술로 주요 작물의 유전체 해독이 진행되고 있으며, 차세대바이오그린21사업 및 포스트다부처유전체사업 등을 통해 다양한 생물자원의 유전체 해독연구가 진행되고 있어 유전체 정보의 활용기반 확보
- 합성생물학적 접근을 통한 유용물질생산 연구가 활발히 진행
 - 효모를 이용하여 개똥쑥 유래 말라리아 치료제(Artemisinin)의 생산, 대마의 주요 성분인 카나비노이드(Cannabinoids)의 생산 및 양귀비의 주요 성분인 오피오이드(Opioids)의 생산 등 식물 유래 천연물의 생산에 관한 연구가 활발히 진행

■ 추진 필요성

- 생물자원 유래 천연물 활용에 관한 연구 연계
 - 국내·외 자원으로부터 유래된 천연물을 다양한 용도로 개발하고자 하는 연구가 활발히 추진되고 있어, 이들 사업과의 연계 필요성이 제기
- 유용 천연물 생산 생물자원의 유전체 및 대사체적 접근을 통한 대체 소재 개발 필요성 증대
 - 오믹스 정보의 통합 분석을 통한 천연물 생합성 기작 규명 및 재설계를 통한 신규 고부가 천연물 개발 및 이를 통한 바이오경제 활성화 필요성 증가

■ 기술의 해외 동향

- 미국 및 영국에서는 Genomes to Natural Products Network를 구성하여 협력 연구가 활발히 추진 중
- 식물, 박테리아, 곰팡이를 대상으로 천연물의 발굴 및 활용 극대화를 위해 유전체 정보 기반 생합성 경로 및 생합성 조절에 대한 이해를 위해 다양한 분야의 연구팀이 협력연구 추진

[그림 8-17] Genomes to Natural Products Network의 식물분야 주요 연구목표



※ 출처 : GNPN 홈페이지.

- 천연물 생산 호스트가 아닌 다른 종(異種)에서 천연물 생산연구가 활발히 진행되고 있고, 산업화를 위한 연구가 진행 중

■ 기술의 국내 동향

- 다양한 생물자원으로부터 천연물을 추출하여 기능을 확인하고 다양한 용도로 활용하고자 하는 연구가 활발히 진행되고 있으나, 대상 자원의 유전체 정보 분석 등 오믹스 정보연계 연구는 극히 제한적
- 다양한 생물자원의 유전체 정보 해독이 진행되고 있으며, 제안 연구를 수행하기 위한 기반은 이미 확보

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 유용 천연물 생산 생물자원의 오믹스(유전체/전사체/대사체 등) 정보 연계분석을 통한 유용 대사산물 생합성 경로/조절 기작 상세 규명, 대사경로 재설계 기술/형질전환 및 유전자 교정 기술의 접목을 통한 대량생산 기반 구축, 신규 천연물 소재 생산 및 공급체계 구축
- 1단계(1~3년) : 주요 천연물 생산 생물자원의 오믹스 정보 연계 분석을 위한 기반 구

- 축(대상 생물자원은 산업적/과학기술적 파급효과를 고려하여 선정)
- 2단계(4~5년) : 대사 재설계를 통한 주요 천연물 생산 고도화 및 산업적 활용 연구

■ 최종 결과물

- 과학적 성과 : 산업적으로 중요한 생물자원 유래 천연물의 생합성 경로 심층규명(Genome-guided Pathway Discovery) 및 대사재설계 관련 논문(JCR 상위 10% 이내) 및 원천 특허 확보
- 사회경제적 성과: 나고야 의정서 대응 국가 생물주원 강화(생물자원의 독점적 권한 및 우선권 확보를 통한 바이오 경제 기반 제공) 및 그린/화이트 바이오 분야의 미래트렌드 확보를 통한 국제 경쟁력 확보

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 유전체 정보 등 오믹스 정보의 다차원 분석을 통한 천연물 생합성 대사경로의 정밀 해석, 생합성 경로 및 대사회로의 모듈화를 통한 대사재설계 기반 구축 및 생물자원 주권확보
- 유전체 정보 기반 천연물 생합성 대사경로 해석(Genome-enabled Pathway Discovery)을 위해 다양한 생물자원의 유전체 정보 등 오믹스 정보의 통합분석
- 식물유래 천연물(Artemisinin, Cannabinoids, Opioids 등)의 이중생산에 관한 연구 및 이들의 상업적 생산을 위한 연구 추진
- 유전자 편집 기술이 보편화됨에 따라 중요 천연물 생합성 경로에 관여하는 유전자의 편집을 통한 천연물 생합성 효율 증진에 관한 연구 진행

■ 주요 연구(개발) 내용

- 천연물 생산 생물자원의 유전체 및 전사체 비교연구
 - 천연물 생합성 경로의 다차원 전사체 분석 및 대사체 연관분석 모델 확립
- 천연물 생합성 대사경로 재설계 핵심 기술 개발
 - 생합성 유전자 기능 규명 및 대사경로 재설계 기술 개발 및 활용기반 구축
- 주요 생물자원의 천연물 분석 및 대사체 DB 구축
 - 대사체 프로파일링, 성능 및 효능별 기능성 DB 구축, 동물모델 이용 효능 검증
- 유용 천연물 생산 식물의 분화조절 및 유전자 교정 식물체 제작
 - 고기능성 천연물 생산 식물체의 재분화 시스템 구축, 유전자 교정기술을 이용한 유용 대사체 생합성 재설계 및 물질생산 증대 식물체 제작
- 생합성 경로 및 조절기작의 이해를 통한 이중생산 기반 구축(합성생물학적 접근)
 - (예시) 대사회로 모듈화를 통한 말라리아 치료제 전구물질(Artemisinic Acid)의 생산

4 차별성 및 독창성

- 오믹스 정보 통합 분석을 통한 유용 천연물의 생합성 경로 심층 이해 및 대사제설계를 통한 천연물 수급 안정화에 기여
- 이용 가능한 천연물 다변화를 통한 신규 수요 창출 및 바이오산업 활성화

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 나고야의정서 대응 국가 생물자원 주권 확보
 - 생물자원의 독점적 권한 및 우선권 확보를 통한 바이오경제 기반 제공
- 그린바이오 분야의 미래 트렌드 확보
 - 대사제설계를 통한 그린바이오 기반 산업 경쟁력 확보
- 나고야의정서 대응 국가 생물자원 주권 확보
 - 생물자원의 독점적 권한 및 우선권 확보를 통한 바이오경제 기반 제공

■ 과학기술적 파급효과

- 생물소재 유래 유용 천연물의 생합성 심층이해 및 생명공학적 접근을 통한 신규 천연물 생산 원천기술 확보 및 신규 수요창출을 통한 글로벌 선도기술 확보

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

3-2 고기능성 펩타이드/단백질 대량생산을 위한 신규 유전자암호 도입 및 발현 플랫폼

1 추진 배경 및 필요성

■ 추진 배경

- 펩타이드/단백질 시장의 확대 및 고기능성 수요 증대
 - 기존 단백질 의약품에 비해 기능성이 향상된 단백질이나, 안정성이 크게 향상된 효소 등 고기능성 단백질에 대한 수요가 증가 중이며, 의약품, 화장품 재료로서의 고기능성 펩타이드 또한 그 수요가 계속 증가할 것으로 예상
 - 펩타이드/단백질의 기능성을 극대화하기 위해 세포의 생합성 기작을 사용한 비천연아미노산을 포함한 단백질 생산 기술이 꾸준히 발전해 왔으나, 비천연아미노산 도입을 통해 고기능성 펩타이드/단백질을 경제적으로 대량 발현할 수 있는 생산 플랫폼은 아직 개발되지 않은 상황

■ 추진 필요성

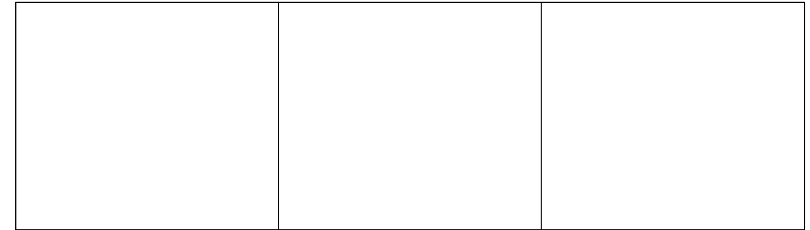
- 고기능성 부여를 위한 생합성 기작 기반 비천연아미노산 포함 펩타이드/단백질의 생산기술 개발 필요성 증대
 - 기존 화학합성 방법을 사용하는 경우 상대적으로 짧은 펩타이드를 합성하거나 짧은 펩타이드를 이어 붙이는 방법으로 단백질을 합성하였으나, 이런 방법은 매우 복잡하고 수율이 낮아 실제로 사용되기에는 어려움이 있으며 매번 새로운 펩타이드에 대한 공정 합성 및 최적화가 요구
 - 이에 반해, 일반적인 생명체와 다른 방식으로 유전정보를 해독하는 단백질 합성계를 개발할 경우 유전암호를 조작하여 천연아미노산과 더불어 비천연아미노산을 위치 특이적으로 포함하는 펩타이드/단백질을 기존의 재조합 단백질 생산 기술에 사용된 요소 기술들로 생산 가능
 - 다양한 서열의 펩타이드/단백질에 필요한 비천연아미노산이 위치 선택적으로 포함되도록 하면서도 기존에 잘 정립되어 있는 재조합 단백질 생산 기술을 활용할 수 있는 신규 유전자암호가 도입된 발현 시스템의 개발이 매우 필요

■ 기술의 해외 동향

- 번역중단코돈 기반 유전자 암호체계 수정
 - 미국 Church 교수 그룹(Harvard Medical School)에서는 가장 사용 빈도가 낮은 번역중단코돈인 UAG를 유전체에서 완전히 UAA로 치환한 대장균을 개발하였으며, UAG 코돈을 비천연아미노산 도입을 위한 새로운 암호체계로 사용한 경우 비천연아미노산 도입 효율이 높아짐을 보였으나, 해당 균주는 원래 균주에 비해 성장 속도가 느린 한계 존재
 - 미국의 Jewett 교수 그룹(Northwestern University)에서는 UAG의 일부가 UAA로 치환된 대장균을 이용한 무세포단백질생산시스템을 구축하여 비천연아미노산 도입을 위한 단백질 생산계로 활용하는 결과 도출

- 미국의 Sutro사는 대장균 유래 무세포 단백질생산시스템을 이용한 고기능성 단백질(항체-약물 복합체, 항체조각 등) 생산 프로세스를 산업적 스케일로 구축하는 시도 중

[그림 8-18] 번역중단코돈 UAG의 UAA로의 치환 과정



※ 출처 : New Scientist. (2013.10.23.). Reprogrammed Bacterium Speaks New Language of Life.

○ 독성이 있는 펩타이드의 세포 내 생합성

- 이탈리아의 Notomista 그룹 등은 호스트 세포에 독성이 있는 항생 펩타이드의 과발현을 위해 캐리어 단백질과의 융합 방법을 사용하였으며 봉입체 형태로 생산된 융합 단백질을 회수, 절단 등의 과정을 거쳐 목적 펩타이드를 15 mg/L의 수율로 얻은 바 있으나, 세포의 자원 대부분이 캐리어 단백질의 합성으로 소모된다는 단점 존재

■ 기술의 국내 동향

- 산업적 규모의 생산 시스템 구축보다는 특정 비천연아미노산을 포함하는 단백질의 활용에 중점
 - KAIST 박희성 교수팀에서는 번역중결코돈인 UAG 코돈의 암호재설정을 통해 목적단백질에 Phosphoserine을 도입하고 이를 화학적 변환을 거쳐 다른 번역 후 수식 아미노산으로 치환하는 데 성공
 - 아주대 유태현 교수팀과 동국대 강택진 교수팀에서는 여러 개의 코돈으로 암호화된 아르기닌을 각각 다른 방법으로 암호재설정하여 다양한 비천연아미노산을 목적 단백질로 도입하는 데 성공

2 목표 및 최종 결과물

■ 연구 목표

- 기존 생명체가 공유하는 유전자암호 체계와 상이한 유전자암호 체계로 작동되어 비천연아미노산이 도입된 고기능성 펩타이드/단백질을 생산할 수 있으면서도 생산된 펩타이드/단백질의 불활화가 최소화된 단백질 발현 시스템(세포 및 무세포단백질 생산 시스템) 구축

■ 최종 결과물

- 번역중결코돈을 활용하는 기존 유전자 암호체계 변형 방법과 달리 호스트 세포의 성장에 영향이 작은 새로운 유전자 암호체계 1건 이상

- 다양한 펩타이드/단백질, 특히 40~100개 아미노산으로 이루어진 펩타이드/단백질의 캐리어 없는 안정적 발현 및 재접힘 구현
- 3종 이상의 비천연아미노산 혹은 특이 구조 포함 고기능성 펩타이드/단백질에 대해 1L 호스트 배양 당 50mg 이상의 수율 획득 및 가능성 증명

3 기술개발 내용

■ 기술개발 개요

- 기존 개발된 펩타이드/단백질, 혹은 신규 펩타이드/단백질에 고기능성을 부여하기 위해 미생물의 암호체계를 변경하여 비천연아미노산을 유전암호 번역에 사용
- 발현된 펩타이드/단백질 혹은 변경된 암호체계에 의해 단백질 발현 시스템이 받는 부정적 영향을 최소화함으로써 고기능성 펩타이드/단백질을 고효율로 생산하는 세포 및 무세포단백질 생산 시스템을 개발
- 본 기술은 인의의 목적단백질과 비천연아미노산에 대해 범용적으로 사용할 수 있는 기술이며 기존의 화학합성 방법이나 재조합 단백질 생산 방법의 한계를 넘어설 수 있는 기술

[그림 8-19] 고기능성 펩타이드/단백질 고효율 생산 모식도

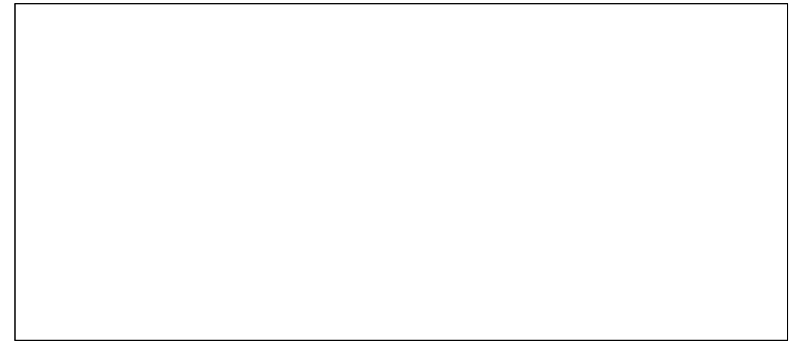


■ 주요 연구(개발) 내용

- 신규 유전자 암호체계 도입을 위한 호스트 유전체의 재설계 및 최적화
 - 유전자 암호를 재설계를 위해 기존 세포가 사용하던 암호 중 하나를 무력화하고 해당 암호를 비천연아미노산의 번역에 사용하는 번역 시스템 구축
- 비천연아미노산 생합성 혹은 비천연아미노산-tRNA 생합성 극대화
 - 최저량의 비천연아미노산을 사용하고도 비천연아미노산-tRNA 생합성 효율을 극대화 (50mg/L 이상의 수율) 할 수 있는 기술 개발
- 생산된 펩타이드/단백질에 의한 단백질 생산 시스템 저해 완화 기술 개발
 - 캐리어 없이 펩타이드 및 단백질을 활성형으로 효과적으로 생산하면서도 이들 생산물에

의한 단백질 생산 시스템의 활성 저해를 완화할 수 있는 기술 개발

[그림 8-20] 비천연아미노산/천연아미노산-tRNA 생합성 극대화 기술개발의 도식화



4 차별성 및 독창성

■ 기술의 차별성

- 기존 화학 합성을 통한 생산기술의 한계 극복 가능
 - 화학 합성을 통한 비천연아미노산 포함 고기능성 펩타이드 생산은 기술적 어려움으로 인해 산업적으로 필요한 수요를 충족시키기 어려웠으나, 본 기술의 경우 신규 유전자 암호체계와 단백질 생합성 기작을 이용하여 기존의 화학합성의 길이 한계와 미생물 발현 시스템의 산물 불활화 문제 해결 가능

■ 기술의 독창성

- 대장균을 포함한 다양한 세포에서 비천연아미노산을 포함한 단백질을 생산한 사례는 많으나, 본 기술과 같이 고기능성 펩타이드/단백질의 불활화를 최소화하는 합성생물학 기술이 집약된 시스템의 개발 사례는 아직 전무

5 기대 및 파급효과

■ 경제사회적 파급효과

- 본 기술 개발로 인하여 극도로 안정한 효소, 신(고)기능 펩타이드/단백질 의약품 등 증가하는 고기능성 물질 수요에 적극 대응 가능

■ 과학기술적 파급효과

- 기존에 합성이 어려운 긴 펩타이드/짧은 단백질의 생산 비용이 크게 절감되어 펩타이드/단백질 활용도 증대 가능

6 유사성 검토

7 연구기간 및 소요예산

제9장. 사업 관리방안

1절. 사업 관리방안

1. 성과도출계획 수립

■ 체계적인 R&D 프로그램 추진체계 구축

- 효율적인 프로그램 기획(안)의 수행이 가능하도록 비전 및 목표, 정량적·정성적 성과목표를 설정하고, 성과목표 달성을 위한 사전계획 수립을 통해 체계적인 R&D 프로그램 추진체계 구축

2. 성과보고 및 모니터링

■ 주기적인 모니터링 및 R&D 운영

- 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술 확보를 위한 성과목표 도출을 위해 R&D 진행의 주기적·정기적인 모니터링 실시를 통해 체계적인 프로그램 관리 추진
 - 관련 기관 및 전문가로 구성된 한국연구재단(전문관리기관)을 통해 연구 성과 및 프로그램의 체계적 관리를 위하여 정기적인 모니터링 진행

<표 9-1> 그린·화이트바이오 기술개발사업 모니터링 항목

- 프로그램의 성과목표 달성, 사업운영에 관한 현황 및 문제점을 파악하여 지속적인 운영 관리를 위한 수정·보완을 위한 R&D 체계 구축

■ **최소성과 목표제 도입**

- 연구개발 성과의 극대화를 위하여 ‘최소성과 목표제’를 공고 단계에서부터 시작하여 사업에 관한 목표의식 고취, 기술검증 및 실용적 성과 향상 유도
- ‘최소성과 목표’란 연구기간 동안 달성해야 할 과제별 최소 목표로서 전문기관이 사업시작 단계의 RFP(제안요구서)에 제시
- 최종평가 뿐만 아니라 연차평가에서도 설정된 ‘최소성과 목표’에 대한 검토를 통해 미진한 경우 과제중단 등의 제재 가능

■ **중간평가를 통한 사업추진 성과평가 및 세부 추진방향 보완**

- 1단계 연구개발이 마무리되는 2021년 2단계 기획을 실시하여 그간의 사업 추진성과를 평가하고 투자 미진분야를 점검하여 사업추진계획 보완
 - 사업의 평가를 위한 평가가 아닌 그간의 국·내외 그린·화이트바이오 분야의 환경변화에 부합하고 대응하는 연구개발 방향 설정

3. 성과평가절차 및 평가항목

■ **선정평가**

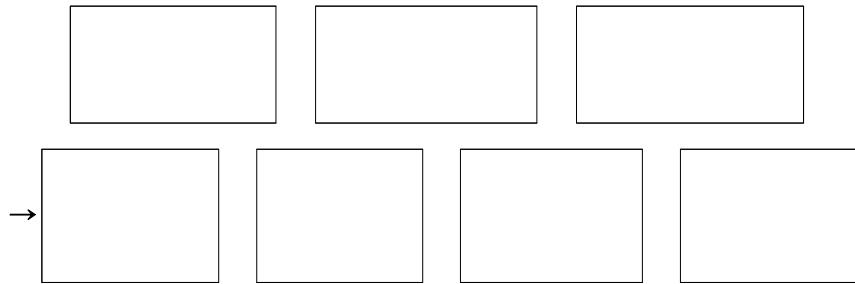
- 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정을 준수하여, 기술개발의 필요성, 추진계획의 타당성, 구체성 및 기술의 우수성 등에 대한 가중치를 부여하여 평가를 진행함에 따라 목적지향형 R&D 사업을 추진할 수 있도록 평가항목을 설정하여 적합한 기관 선정
- On/Off-Line을 통한 정보공개로 사업선정에 있어 객관성, 투명성 및 공정성 확보로 사업 선정평가 근거 마련과 동시에 선정평가 시 중복성 검토를 통하여 기개발되었거나 기존 사업과 유사한 경우 중복성 검토 후 배제

<표 9-2> 그린·화이트바이오 기술개발사업 선정평가 기준

■ 진도관리

- 사업단을 통해 사업수행 과정을 정기적으로 모니터링하여 사업의 실패 확률 감소를 위해 노력
 - 진도점검을 통해 단계별 기술개발 성과가 미흡한 과제 의 경우 탈락시키고, 우수한 성과를 나타낸 과제를 대상으로 선택적 집중을 통한 원천기술개발 확보
- 연구책임자가 제시한 마일스톤에 입각하여 목표달성도에 대한 평가 실시·관리
 - 연구책임자가 제시한 마일스톤의 목표 달성여부를 확인 및 평가하고, 프로젝트의 성과 및 진척도 판단
 - 과제 진척도 및 성과추적 등이 가능하도록 전주기적 온라인 연구실적·성과정보 모니터링 시스템 구축 및 운영

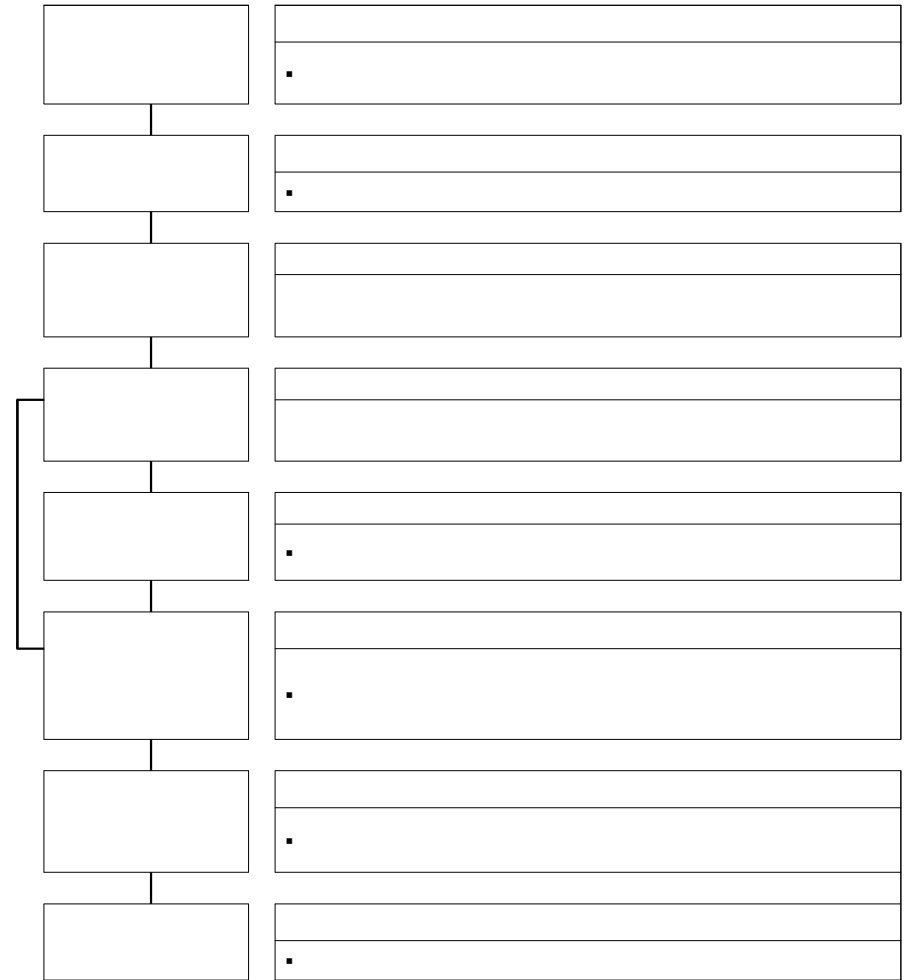
[그림 9-1] 진도관리 절차



■ 연차평가

- 연차평가는 사업별 개별 과제 대상으로 매 사업연도 종료 시 실시
- 총괄주관기관, 핵심과제 주관기관은 연차평가를 위해 연차보고서를 작성하여 제출
 - 핵심과제 주관기관은 과제별 연차보고서를 작성하여 총괄주관기관에 제출하고, 총괄주관기관은 각 핵심과제의 연차보고서를 취합하여 제출
- 주관기관이 제출한 연차보고서 점검, 현장실태조사, 평가위원회 심의 등을 거쳐 ‘계속’, ‘중단’, ‘조기완료’로 성과 구분
 - 상대평가에 따라 예산차등지원 및 하위등급과제 집중관리 조치
 - 평가위원회는 아래의 항목을 평가
 - 당해연도 실적 및 차년도 계획 평가
 - 차년도 연구개발비의 계상의 적정성 검토
 - 연구개발과제의 의견 사항

[그림 9-2] 중간평가 절차



■ 최종평가

- 사업단은 사업 종료시점에 최종보고서 점검, 현장실태조사 또는 평가위원회 심의를 통하여 과제의 추진실적 및 성과에 관한 종합평가 실시
- 주요 판단기준으로는 과제책임자가 제시한 사업 최종목표의 달성여부 및 사업화 가능성, 기술개발비 집행의 적정성 등을 평가

- 최종평가 결과는 ‘성공과제’ 또는 ‘실패과제(성실, 불성실)’로 구분
 - 최종평가 결과 100점 만점을 기준으로 배점 평가를 실시하여 60점 이상 과제는 ‘성공과제’, 60점 이하 과제는 ‘실패과제’로 구분
 - 실패과제는 계획된 최종 기술개발목표를 달성하지 못하였으나, 기술개발은 성실히 수행한 경우 ‘성실실패’로 판단하며, 그렇지 않은 경우는 ‘불성실실패’로 구분
 - 성실수행과제는 제재를 면제하되, 불성실수행과제는 연구 수행상황 및 실적 등을 고려하여 제재 차등화
 - (평가지표) 연구개발결과 평가·검토의견

[그림 9-3] 최종평가 절차



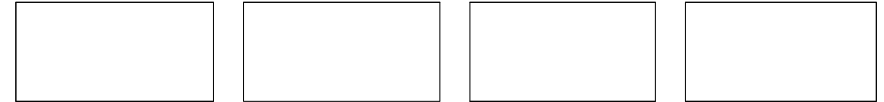
■ 추적평가

- 추적평가 방안
 - 본 사업의 추적평가 체계 및 조사는 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정 제16조(연구개발성과의 평가)에 의거하여 과제종료 후 3년 이내에 수행
 - 연구성과의 사업화 여건 분석 및 적시 환류를 통한 R&D 투자 효율성 및 정책 실효성

제고를 위해 추적평가 실시

- 계속과제로서 연구기간을 단계로 나누어 협약한 연구개발과제의 경우에는 단계 중의 중간평가를 하지 아니하고 연차실적·계획서에 대한 검토로 대체하며, 단계가 끝나는 때에 단계평가 수행

[그림 9-4] 추적평가 절차



* 매년 2월 말까지 전문기관에 제출

○ 추진절차 : 3단계 (사전분석 → 현장조사 → 최종평가)

- 사전분석
 - 정량분석 결과에서 상위권에 해당하는 과제를 현장조사 대상으로 선정(산업화/공공분야 특성을 반영해 가중치를 달리 적용하여 평가)
 - 사전분석 결과는 현장조사 대상과제 도출을 위함과 동시에 최종평가 시 활용
- 현장조사
 - BT를 포함하여 IT, ET, NT 등의 R&D 분야별 전문가를 동반한 현장조사를 실시하여 그린·화이트바이오 기술개발사업 R&D 성과의 추세·활용현황 및 애로사항 등을 파악
 - 현장조사 수행을 위하여 과제(기술) 관련 연구기관 전문가 또는 유사과제를 수행한 경험이 있는 전문가 등을 활용하여 인터뷰 진행
- 최종평가
 - 사전분석 및 현장조사 결과를 반영하여 우수과제에 대한 최종평가를 실시하여 점수를 배점한 이후 등급 확정

○ 추적평가 결과 활용

- 성과 활용·확산의 우수사례 발굴 및 성과 미흡요인 파악을 통한 실질적 개선방안 도출
- 그린·화이트바이오 R&D 성과확산을 위한 과제기획·선정·모니터링 방안 등 R&D 프로세스 전반에 걸친 환류체계 구축방안 수립에 활용

○ 추적평가 결과 활용

- 전문가에 의한 현장중심의 정성평가 및 연구 종료 이후 성과활용 미흡요인 분석과 정량적인 성과활용 결과 데이터를 종합하여 우수과제를 발굴

○ 업무효율화

- 매년 수행하는 성과분석 연구용역에 포함하여 실시

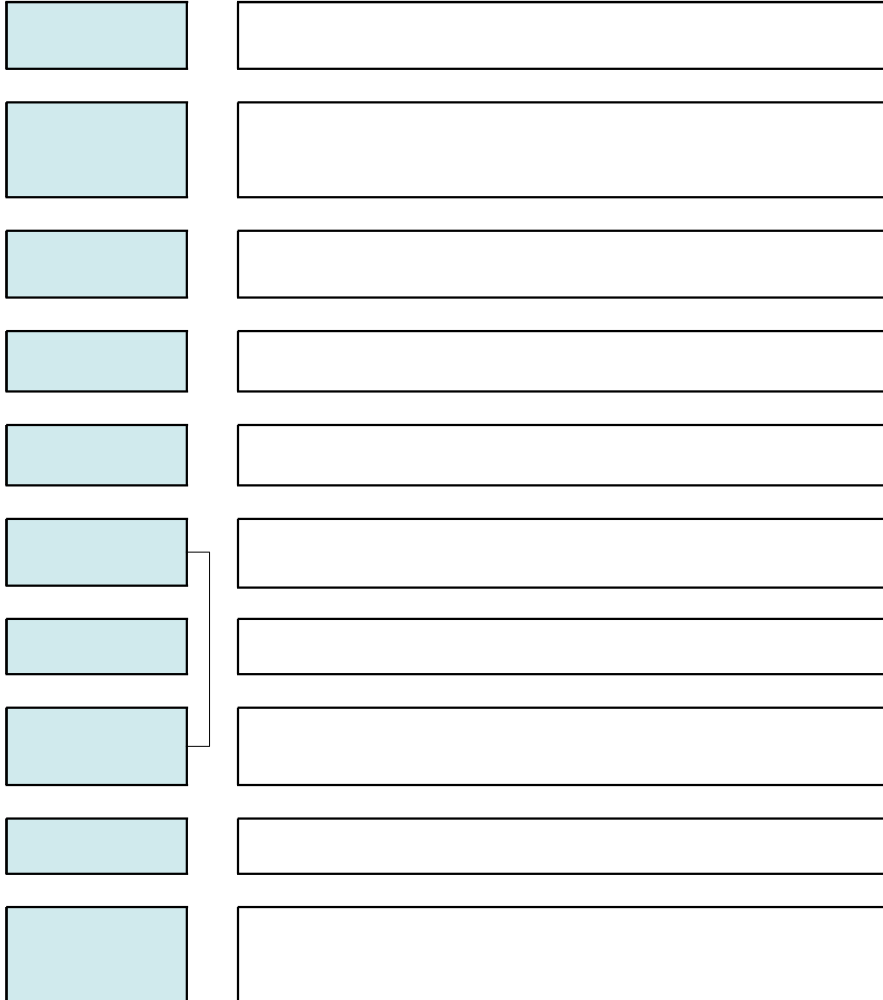
○ 환류체계

- 우수과제 발굴 및 성과활용 미흡요인 분석

■ 사업 관리체계

○ 「국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정」에 의거하여 그린·화이트바이오 기술개발 과제 관리

[그림 9-5] 사업 관리체계



4. 사업단 운영규정

GW바이오 사업단 운영 규정

제정 2020. 00. 00.

제1장 총 칙

제1조(목적) 이 규정은 유망 범용 그린·화이트바이오 기술개발사업을 수행하는 사업단의 조직과 운영에 관한 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다.

제2조(사업단 설립목적) 이 사업단은 유망 범용 그린·화이트바이오 기술개발사업을 통해 글로벌 현안문제 해결 및 바이오경제 선도를 위한 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술의 확보에 필요한 연구수행을 목적으로 한다.

제3조(사업단 명칭) 이 규정이 적용되는 사업단의 명칭은 “유망 범용 그린·화이트바이오 기술개발 사업단”(이하 “사업단”으로 한다)으로 한다.

제4조(사업) 사업단은 다음 각 호의 사업을 수행한다.

1. 유망 범용 그린·화이트바이오 기술개발사업의 수행
2. 산·학·관 협동 공동연구 및 연구 시설의 상호 이용
3. 산·학·관 상호 기술정보 교류, 자문 및 교육
4. 사업단 운영위원회 및 유망 범용 그린·화이트바이오 기술개발 협의회 구성·운영
5. 기타 사업단 목적 달성을 위하여 필요한 사업

제2장 사업단 조직 및 업무

제5조(사업단의 구성) ① 사업단은 내역사업을 수행하는 주관연구기관과 협동연구기관 및 사업단 사무국 등으로 구성되며 주관연구책임자가 사업단장이 된다.

② 사업단의 사무국은 주관연구기관에 두며, 다음 각 호의 업무를 수행한다.

1. 사업단의 서무 및 회계업무 지원
2. 세부과제 행정 지원 업무
3. 기타 본 사업 지원 업무

③ 사업단 사무국에 사무국장과 필요한 직원, 연구원을 둘 수 있다.

④ 이 사업단에 연구원을 둘 수 있으며, 임용에 관한 사항은 주관연구기관의 임용 관련 규정에 따른다.

제6조(참여기관의 구성) ① 연구과제의 원활한 수행을 위하여 주관연구기관 및 각 협동연구기관은 공동연구기관, 위탁연구기관을 구성할 수 있다.

제7조(사업단장) ① 이 사업단의 장(이하 “사업단장”이라 한다)은 주관연구기관의 연구책임자가 담당한다.

- ② 사업단장은 사업단을 대표하며, 다음 각 호의 사업단 업무를 총괄한다.
 1. 사업단 및 관리조직 구성, 운영, 사업단 운영기준 제정, 시행
 2. 사업단 내 과제외 기획, 진도관리, 평가, 예산조정
 3. 그 밖의 해당 연구간 내 과제의 효율적 추진을 위하여 필요한 사항

제3장 사업단 운영위원회

제8조(운영위원회의 구성) ① 이 사업단의 연구수행과 관련하여 중요한 사항을 심의하고 원활한 운영을 하기 위하여 사업단 운영위원회(이하 “위원회”라 한다)를 둔다.

② 위원회는 사업단장, 과학기술정보통신부 과제 담당관, 한국연구재단 사업 담당자, 외부전문가를 위원으로 하여 구성된다.

제9조(운영위원회의 장) ① 위원장은 사업단장, 외부 전문가 1인이 공동 위원장이 되고 위원의 임기는 2년이며, 재임용이 가능하다.

② 위원장은 운영위원회 회의록을 작성·비치하여야 하며, 사업주관기관(과학기술정보통신부 장관)의 요청이 있을 경우 이를 제출한다.

제10조(운영위원회의 심의사항) 위원회는 다음 사항을 심의한다.

- 1. 사업단운영규정의 개정에 관한 사항
- 2. 연도별 세부사업계획(사업비집행계획을 포함)의 수립에 관한 사항
- 3. 기타 사업단 추진을 위하여 필요하다고 인정되는 사항

제11조(회의) ① 회의는 위원장이 소집하고 재적위원 과반수의 출석과 출석위원 과반수의 찬성으로 의결한다.

② 위원장은 회의록을 작성·비치하여야 한다.

제4장 자문위원회

제12조(자문위원회의 구성 및 기능) ① 사업단의 연구 및 운영방향, 연구결과의 활용 등에 관한 자문을 위하여 자문위원회를 둘 수 있다.

② 자문위원회의 위원은 그린·화이트바이오 관련 전문가, 공학전문가, 산업전문가, 정책전문가 등으로 구성하고 위원장은 사업단장이 된다.

제5장 평가위원회

제13조(평가위원회의 구성 및 기능) ① 사업단에서 수행하는 연구과제 및 공모하는 과제를 평가하기 위하여 평가위원회를 둘 수 있다

② 평가위원회는 관계 전문가로서 단장이 위촉한 위원장과 위원 약간 명으로 구성하고, 단장이 임명하는

간사를 둘 수 있다. 단, 사업단 운영위원회에 소속된 운영위원은 평가위원으로 위촉할 수 없다
③ 연구과제 선정 및 진도관리, 연구결과 평가를 위한 평가위원은 평가 때마다 단장이 위촉하여 선임할 수 있다.

제6장 연구비 관리

제14조(재정 및 운영) ① 이 사업단의 재정은 국고지원금, 산업체 및 대학교 연구지원금 등의 수입으로 충당한다.

② 연구비는 각 주관연구기관, 협동연구기관, 참여기관의 산학협력단 산학협력회계 안에서 기관별로 별도 계정을 설정하여 관리한다.

③ 연구비 사용의 기본 운영은 과학기술정보통신부의 국가연구개발사업 연구비 관리 표준매뉴얼에 준하여 운영한다.

제7장 보 칙

제15조(규정변경) 이 규정은 운영위원회의 심의를 거쳐 변경할 수 있다.

제16조(운영세칙) 이 규정의 운영에 필요한 운영세칙은 운영위원회의 심의를 거쳐 사업단장이 따로 정할 수 있다.

제17조(기타) 이 규정에 명시되어 있지 않은 사항 또는 해석상 논란이 발생하는 사항은 과학기술정보통신부 국가연구개발사업의 관리 등에 관한 규정의 해석에 따른다.

부 칙

① (시행일) 이 규정은 발령한 날로부터 시행한다.

② (효력기간) 이 규정은 사업단이 그린·화이트바이오 기술개발사업을 종료하는 기간까지 효력을 가진다.

③ (경과조치) 이 규정 시행 이전에 결정·수행한 모든 행위는 이 규정에 의하여 이루어진 것으로 본다.

- * 「2017년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」에 따르면, 과기정통부 주요 R&D사업 BT분야 SCI 논문의 표준화된 순위보정영향력 지수(mrnIF)는 68.04로 나타남
- ** 「2017년도 과학기술정보통신부 주요 연구개발사업 성과분석보고서」에 따르면, 과기정통부 주요 R&D사업 우수특허(SMART AAA-A등급) 비율은 16.6으로 나타남
- *** 「2017 국가연구개발사업 조사·분석보고서」에 따르면, BT분야 기술이전(건)은 10억 원 당 0.6건으로 나타남
- ※ 일반지표의 논문건수, 특허출원건수, 특허등록건수는 「2017 국가연구개발사업 조사·분석보고서」의 '17년도 BT분야 성과 기준으로 작성
- ※ 일반지표의 사업성과 홍보(건)는 8개 중점기술분야별 연간 1회, 사업성과 책자 발간(권)은 내역사업 당 1회 기준으로 작성
- ※ 일반지표의 사업단 운영위원회 및 협의회 운영은 분기당 1회 기준으로 작성
- ※ 상기 성과지표의 목표치는 변경 가능

제10장. 소요예산 및 재원조달방안

1절. 사업 소요예산

■ 총 사업비 소요예산

- 매년 약 60억 원 규모의 예산을 3개의 신규 사업에 투자하여, 5년간 총 300억 원 사업비가 소요 예상

<표 10-1> 사업의 총 소요예산

(단위 : 백만 원)

- * 기존 연속사업이 존재하지 않거나 일몰하여, 새로운 사업으로 추진되는 것을 의미
- ** 기존 연속사업이 존재하여 후속사업으로 추진되는 것을 의미

■ 내역사업별 소요예산

○ 그린바이오핵심기술개발

- 그린바이오핵심기술개발 사업의 단일기술 개발과제는 연간 6억 원 규모의 예산을 지원하고 융합기술 개발과제는 연간 8억 원 규모의 예산을 지원하여 총 5년간 연구개발을 추진
- 산출내역 : 총 20억 원(신규과제 3개, 단일기술 : 6억 원×2개 = 12억 원, 융합기술 : 8억 원×1개 = 8억 원)

<표 10-2> 그린바이오핵심기술개발 과제별 소요예산

(단위 : 백만 원)

- ※ 상기 제시된 과제수는 각 상위영역(단일기술개발, 융합연구개발)에서의 숫자이므로, 실제 사업 추진 시 각 영역의 하위과제의 수는 영역에 따라 차이가 발생할 수 있음

○ 화이트바이오핵심기술개발

- 화이트바이오핵심기술개발 사업의 단일기술 개발과제는 연간 6억 원 규모의 예산을 지원하고 융합기술 개발과제는 연간 8억 원 규모의 예산을 지원하여 총 5년간 연구개발을 추진
- 산출내역 : 총 20억 원(신규과제 3개, 단일기술 : 6억 원×2개 = 12억 원, 융합기술 : 8억 원×1개 = 8억 원)

<표 10-3> 화이트바이오핵심기술개발 과제별 소요예산 (단위 : 백만 원)

구분	과제명	예산액(백만 원)	비고
단일기술개발	과제1		
	과제2		
융합기술개발	과제3		
합계			

※ 상기 제시된 과제수는 각 상위영역(단일기술개발, 융합연구개발)에서의 숫자이므로, 실제 사업 추진 시 각 영역의 하위과제의 수는 영역에 따라 차이가 발생할 수 있음

○ 그린·화이트바이오공통기반기술개발

- 그린·화이트바이오공통기반기술개발 사업의 기술 개발과제는 연간 10억 원 규모의 예산을 지원하여 총 5년간 연구개발을 추진
- 산출내역 : 총 20억 원(신규과제 2개, 10억 원×2개 = 20억 원)

<표 10-4> 그린·화이트바이오공통기반기술개발 과제별 소요예산 (단위 : 백만 원)

구분	과제명	예산액(백만 원)	비고
과제1	과제1-1		
	과제1-2		
과제2	과제2-1		
합계			

※ 상기 제시된 과제수는 상위영역(기반기술개발)에서의 숫자이므로, 실제 사업추진 시 해당영역의 하위과제의 수는 각 영역에 따라 차이가 발생할 수 있음

2절. 재원조달방안

■ 국고 소요액 규모

- 그린·화이트바이오 기술개발사업의 5년 간 총 예산 소요액은 300억 원으로, 전액 과기정통부의 R&D 신규예산(국비 100%)을 통해 조달할 예정

■ 과기정통부 R&D 예산 증가율

- 최근 5년간 과기정통부의 R&D 예산은 '15년 6조 4,976억 원에서 '19년 6조 9,977억 원으로 5,001억 원이 증가하였으며, 연평균 증가율은 1.49%

<표 10-5> 과기정통부 R&D 예산현황('15~'19) (단위 : 억 원)

연도	R&D 예산(억 원)	연평균 증가율(%)
'15	64,976	
'16		
'17		
'18		
'19	69,977	1.49%

※ 출처 : 안승구, 이의재. (2016). 2016년 정부R&D 예산의 투자 방향과 특징. KISTEP InI Vol 12.
이경재. (2018). 2019년도 정부연구개발 투자의 방향과 의미. KISTEP InI Vol 25.
과기정통부 홈페이지 '2019년 예산'.

■ 과기정통부 R&D 예산전망

- 본 사업기간 동안의 과기정통부의 R&D 예산전망
 - '15년부터 '19년까지 5년간 과기정통부의 R&D 예산의 연평균 증가율(CAGR)을 통한 향후 5년간의 예산 추정
 - CAGR 1.49%를 적용하였을 때, 과기정통부의 R&D 예산은 '20년 7조 1,019억 원에서 '24년 7조 5,347억 원으로 증가 전망
 - 매년 R&D 증가액은 1,000억 원 이상의 규모가 될 것으로 추정되며, 이를 신규 R&D 예산 가용액으로 활용할 경우 본 사업에서 필요로 하는 매년 60억 원 규모의 R&D 예산 조달은 가능할 것으로 판단

<표 10-6> 과기정통부 R&D 예산전망('20~'24) (단위 : 억 원)

연도	R&D 예산(억 원)	연평균 증가율(%)
'20	71,019	
'21		
'22		
'23		
'24	75,347	1.49%

※ 상기 표는 매년 과기정통부 R&D 예산이 1.49% 증가한다는 가정 하에, 본 사업 추진기간(5

년) 동안 총 R&D 예산과 전년대비 증가액을 추정할 자료

제11장. 기대효과

1절. 사업 기대효과

■ 과학적 기대효과

- 과학적 접근방법 확립에 따른 기대효과
 - 그린·화이트바이오 기술에 대한 기능 및 원리를 과학적으로 규명·분석하고 공학적 응용을 통하여 실제 생활에서 활용이 가능하도록 상용화에 연계한 후, 그 결과를 반영하여 과학기술을 개선·발전시켜 나감으로써 지속적인 학문적 순환구조체계 확립이 가능
 - 그린·화이트바이오 원천·요소기술에 대한 체계적인 연구를 통하여 새로운 현상을 발견하고 기존의 지식들을 재정립해나감으로써 다양한 기술적·공학적 응용으로 활용될 수 있을 것으로 기대
- 학제간 융복합 연구기반 조성에 따른 기대효과
 - 학제간 융복합 연구활동을 통하여 그린·화이트바이오 분야에서의 새로운 학문적 발견과 공학적 응용개발을 추구하는 협력적 연구풍토 조성에 기여
 - 생물학 기반 기술에 ICT 등의 공학기술의 응용으로 미래 시장의 창출이 가능한 융복합 기술의 발굴과 발전으로 이어질 것으로 기대
 - 생물학자와 공학자들 간의 상호협력과 교류를 통하여 학문간의 장벽 및 경계를 낮추고 상호 학문을 함께 발전시켜나가는 시너지 확보 가능

■ 기술적 기대효과

- 기술의 융복합을 통한 기술 경쟁력 제고
 - 생물학과 공학의 기술개발 협력을 통하여 새로운 고부가가치 융복합 기술을 창출함으로써 글로벌 기술 경쟁력을 확보해 나갈 것으로 기대
 - BT와 ICT의 융복합 기술을 통하여 4차 산업혁명을 견인하는 근간을 마련하고 다양한 기술 분야로 연계해 나감으로써 기술·산업적 파급효과를 이끌어 낼 것으로 기대
- 지속가능한 친환경 기술의 개발 및 확보
 - 전 지구적 기후변화, 환경오염 등의 문제에 대응하고 미래세대에서도 지속적으로 활용할 수 있는 친환경 바이오 기술 확보 가능
 - 기존의 전통적인 화석자원 활용 기반 기술에서 탈피하여 지속가능한 발전에 중요한 역할을 수행할 미래지향적 친환경 기술의 확산에 기여 가능

■ 경제적 기대효과

- 그린·화이트바이오 신기술 및 혁신기술 개발·확보에 따른 산업 파급효과
 - 핵심원천기술과 원천요소기술의 다양한 응용은 기존에 없던 새로운 산업을 창출할 수 있는 원동력으로 작용할 것으로 기대

- 혁신기술은 기존 산업의 효율성을 보다 업그레이드함으로써 산업 전반에 걸친 이익을 증대시킬 것으로 기대
- 그린·화이트바이오 신기술(핵심원천기술, 원천요소기술) 및 혁신기술의 성공적 개발은 향후 바이오 또는 바이오 융복합 분야의 고부가가치 산업의 형성과 시장 확대·발전으로 이어질 것으로 기대

○ 그린·화이트바이오 기술개발 사업에 따른 경제효과

- 본 사업의 추진으로 발생 가능한 취업유발효과*는 594명이며, 생산유발효과**는 872억 원
- * 취업유발효과 = 총 사업비(460.5억 원)X 취업유발계수(12.9)⁸⁾ / 10억 원
- ** 생산유발효과 = 총 사업비(460.5억 원) X 생산유발계수(1.893)⁹⁾
- ※ 총 사업비는 '20년 예산 요구 내용(총 92.1억 원)에 기반하여 총 사업기간 5년으로 산출
- ※ 그린·화이트바이오 업종을 명확하게 구분하는 것이 모호하여 취업유발계수와 생산유발계수는 산업 전체의 평균값을 사용

[그림 11-1] 연도별 평균 취업유발계수(좌) 및 생산유발계수(우)

<p>※ 참고 : 한국고용정보원 웹사이트 '통계로 보는 노동시장'</p>	<p>※ 참고 : 한국은행. (2016). 2014년 산업연관표 작성결과.</p>
--	---

8) 특정 상품에 대한 최종수요가 1단위(10억 원)가 발생할 경우 해당 상품을 포함한 모든 상품에서 직·간접적으로 유발되는 취업자(피용자) 수
 9) 소비, 투자, 수출 등 최종수요가 1단위 증가할 때 이를 충족시키기 위해 필요한 직·간접의 생산량

2절. 세부사업별 기대효과

1. 그린바이오핵심기술개발

■ 농생명 미생물 활용 기술

- 식물 마이크로바이옴 활용을 통한 농생명 자원 생산성 향상 도모
 - 마이크로바이옴과 농생물 자원의 상호작용 구명을 통한 면역체계 활성화 및 생장 환경 개선에 따른 농생명 자원 생산성 향상 가능
- 농생명 자원 병해충 및 생육모델 원천기술 확보에 따른 기술적 성과 기반 마련 가능
 - 농생명 자원의 생육 및 병해충과 관련된 마이크로바이옴의 구조, 조성 등에 관한 정보를 활용하여 농생명 자원의 생육, 병해충 및 질환진단을 예측할 수 있는 원천기술 확보 가능

■ 그린바이오-ICT 융복합기술

- 첨단기술과의 융복합을 통한 그린바이오 분야 미래 신성장동력 확보
 - 빅데이터, 인공지능, ICT 등의 첨단 융복합 기술 기반의 스마트팜을 활용한 고품질의 연중 안정적인 농생명 자원 생산 및 공급으로 그린바이오의 고부가가치 창출 기대
 - 농생명 자원의 체계적이고 효율적인 계획생산 및 출하를 통한 손실 예방으로 현장애로사항 해결 및 전후방적산업의 긍정적 유발효과에 기여
- 첨단기술을 활용한 스마트 정밀농업으로 생산성 향상, 시설 표준화 및 산업분야 활성화에 기여
 - 효율적인 농생명 자원의 활용에 따른 스마트 정밀농업을 통하여 단순한 생산성 향상만이 아닌 품질 향상, 유관산업 발전의 촉진제 역할 수행 가능

■ 친환경 소재 생산 그린바이오 기술

- 저독성의 친환경 그린바이오 분야 소재 개발에 따른 기존 화학제재 대체로 환경오염 방지 및 지속가능한 생태계 보전에 기여
 - 그린바이오 분야 적용을 위한 고부가가치 친환경 소재 개발로 다국적 기업들이 독과점하고 있는 작물보호제 및 생장조절제 분야의 글로벌 기술경쟁력 확보 가능
 - 고효성의 면역기능을 가진 친환경 농생명 자원 생장 조절 소재 개발을 통한 기존의 석유·화학물질 대체로 환경피해 최소화
 - 바이오 작물보호제(biologicals) 개발로 독성이 낮아 잔류농약에 대한 우려가 없으며, 내성을 가진 잡초나 병해충 발생에 대한 우려 해소
- 그린바이오 분야 전후방산업의 소득증대 창출 효과 기대
 - 친환경 바이오 작물보호제, 생장조절제 등의 개발 및 적용에 따른 농생명 자원의 생산성 향상으로 농업소득 및 유관산업의 소득을 동시에 창출함으로써 전체 그린바이오 분야의 소득 증대효과 기대

2. 화이트바이오핵심기술개발

■ 효소 및 대사공학 기술

- 바이오화학소재 생산을 위한 고난이도 원천기술 확보와 신규 효소의 확보 및 적용으로 효소, 대사공학, 합성생물학 등 분야에 기여
 - 효소/단백질 공학과 합성생물학 접목을 통한 산업용 키랄소재 생산 등 신기술 분야 개척 가능
 - 합성생물학 생합성 경로 기반기술 확보와 분비시스템 개량 연구를 통해 연구 활용범위 확대 및 미생물 개량 연구에 활용 가능

■ Earth-care 생물화학소재 기술

- 친환경 생물화학소재 생산 원천기술의 확보와 활용을 통해 관련 분야 선도
 - 난분해성 플라스틱 분해 기작 규명, 바이오와 화학기술 융합 공정 기술, 아쿠아포린 단백질 대량생산 등 다양한 원천기술 확보 가능
- 산업용 플랫폼 균주의 개발을 위해 개발된 합성생물학 기반기술 활용을 통해 다양한 분야의 플랫폼 생산물을 만드는 균주 개발에 응용 가능
- 케모포비아 대응 세계 수준의 바이오보존제 생산기술과 화장품 원료 개발 및 원료 산업 활성화를 통해 선진국과의 기술 격차 감소 가능

■ 스마트 생물-화학 융합프로세스

- 바이오화학 분야 연구 이외에 전자, 정보, 전기, 기계 등의 복합적인 연구로 식품, 농업, 바이오화학 등 다양한 산업에 응용과 적용이 가능
- 바이오테크놀로지와 공학기술 융합 촉진으로 산업적 대량생산을 위한 연속식 생산 공정 구축이 가능하고, 이를 통한 경제적 경쟁력 확보
 - 추출발효 공정과 같은 생물소재 산업화를 위한 생물공정 핵심기반기술 구축 가능
 - 바이오화학소재 양산기술과 프로세스 개발을 통한 가격경쟁력 확보로 원유가격 등 외부 환경요인에 대한 독립성을 확보

3. 그린·화이트바이오공통기반기술개발

■ 그린·화이트바이오 유전체공학 기술

- 유전체 교정 작물의 상용화로 단위면적당 작물 수확량이 증대되고, 고품질의 생육 스트레스 내성을 지닌 종자 개발이 가능
 - 작물 묘목의 작은 일만으로도 생산성, 품질, 병 저항성 등의 표지 분석을 통해 향후 어떠한 형질의 작물로 자라날지 예측이 가능하여 고품질 종자 개발 가능성 증대
 - 기존 생산성과 잡초, 해충 등 생물학적 스트레스(biotic stress) 극복 중심의 종자개발에서 가뭄, 염분, 더위 등의 생육 스트레스에 강한 종자 개발이 가능

- 식의약, 효소산업, 소재산업 등 연관 산업분야에서 생물자원 및 미생물자원의 활용 스펙트럼을 보다 다양화
 - 유전체기술에 기반하여 다양한 생물자원과 미생물자원의 발굴 및 개량을 통하여 산업적 활용도를 확대하고 새로운 제품의 개발로 연계 가능

■ 인공세포 플랫폼 기술

- 바이오화학제품에 대한 높은 수요에 대응하여 산업용 미생물의 생산성 및 공정의 경제성 향상
 - 다중신호와 논리회로에 기반한 지능형 인공전사조절 인공세포 기술 개발을 통해 외부 간섭 없이 미생물을 통해 산업적 유용물질을 경제적으로 생산할 수 있는 공학적 활용도 증대
- 고기능성 펩타이드 및 단백질의 산업적 대량생산을 위한 플랫폼 제공 가능
 - 기능성 펩타이드 및 단백질 대량생산을 통해 고가의 단백질부터 일상용품까지 다양한 제품 생산에 활용이 가능하여 산업·경제적 효과 증대 가능
 - 플랫폼 기술을 활용하여 유용물질을 생산할 수 있는 다양한 인공세포의 기능 연구 가능

참고문헌

1. 정부지침

- 관계부처합동. (2006). 제2차 생명공학육성기본계획('07~'16).
- 관계부처합동. (2012). 제1차 산업융합 발전 기본계획(안)('13~'17).
- 관계부처합동. (2014). 제3차 에너지기술개발계획('14~'23).
- 관계부처합동. (2016). 제4차 소재·부품발전 기본계획('17~'21).
- 관계부처합동. (2017). 제3차 생명공학육성기본계획('17~'26).
- 관계부처합동. (2018). 제4차 국가과학기술기본계획('18~'22).
- 관계부처합동. (2018). 제4차 환경기술·환경산업·환경기술인력육성계획('18~'22).
- 국정기획자문위원회. (2017). 문재인정부 국정운영 5개년 계획.
- 농림축산식품부. (2013). 종자산업 육성 5개년 계획('13~'17).
- 농림축산식품부. (2016). 제4차 친환경농업 육성 5개년 계획('16~'20).
- 농림축산식품부. (2017). 제2차 농림식품과학기술 육성 종합계획('15~'19).
- 농촌진흥청. (2013). 제6차 농업과학기술중장기 연구개발 계획(안)('13~'22).

2. 보고서

- Biozine. (1999). 기술동향 보고서(생명공학기술분야).
- BP. (2017). Statistical Review of World Energy 2017.
- FNR. (2016). BIOPLASTICS.
- Frost & Sullivan. (2013). Emerging Trends in Bio-chemicals.
- IEA. (2017). World Energy Balance 2017.
- ISAAA. (2017). Global Status of Commercialized Biotech/GM Crops in 2017 : Biotech Crop Adoption Surges as Economic Benefits Accumulate in 22 Years.
- KB투자증권. (2015). 바이오 화장품의 미래 & 원료 기술의 진화.
- Kotra. (2018). 2018 글로벌 화장품 산업백서.
- LG경제연구원. (2017). 그린 바이오 기술 차세대 녹색혁명 예고.
- National Geographic. (2018). 2018년 6월호.
- UK Department for Business, Energy & Industrial Strategy. (2018). Growing the Bioeconomy : A National Bioeconomy Strategy to 2030.
- 과학기술정보통신부. (2018). 4차 산업혁명의 원동력인 미래소재 원천기술 확보전략.
- 과학기술정책연구원. (2010). 농산업 R&D투자/생산성 국제비교 및 포트폴리오 분석.
- 관계부처 합동. (2017). 2017년 이상기후 보고서.
- 국제식량정책연구소(IFPRI). (2017). 2017년 세계 식량 정책보고서.

- 국토교통부. (2013). 2040 국토교통 미래기술.
- 기상청. (2017). 기후변화감시 용어 해설집.
- 김영창. (2004). (특별논단) 인공세포기술과 가상세포기술, 타카라코리아 Life Science & Biotechnology
- 김현아 등. (2014). 효모 합성생물학의 최신 연구 동향.
- 농림식품기술기획평가원. (2017). 마이크로바이옴 연구개발 동향 및 농식품 분야 적용 전망.
- 농림축산식품기술기획평가원. (2017). 가축질병대응기술개발 현황 및 관련 분야 R&D 동향.
- 농진청. (2018). 국가연구개발 100선, 뿌리 구조 재구성을 통한 가뭄 저항성 벼 개발.
- 박경문, 고혜원, 전경아. (2016). 수요중심의 정부 지원전략 마련을 위한 국내 바이오기업 지형 분석(바이오화학 및 소재 중심으로).
- 박경문. (2011). 바이오화학산업의 현황과 전망. KEIT PD ISSUE REPORT Vol 6.
- 산업연구원. (2015). 신성장동력으로서의 바이오화학산업의 정책과제.
- 생명공학정책연구센터. (2015). 글로벌 유기농 퍼스널케어 제품 시장현황 및 전망.
- 생명공학정책연구센터. (2016). 글로벌 CRISPR 시장 현황 및 전망.
- 생명공학정책연구센터. (2018). 2018 미래유망기술 (상) BioNpro Vol 50.
- 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.
- 생명공학정책연구센터. (2018). 글로벌 합성생물학 시장 현황 및 전망.
- 안승구, 이의재. (2016). 2016년 정부R&D 예산의 투자 방향과 특징. KISTEP InI Vol 12.
- 에너지경제연구원. (2018). 에너지통계월보.
- 유거승, 박철환, 박경문. (2017). 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언.
- 유영선. (2016). 국내외 산화생분해 플라스틱 인증 라벨 및 제품 동향. 포장계 통권 276호.
- 윤한술. (2017). 화장품 기술개발 동향 및 정책 방향. KHIDI 전문가 리포트 2017-4.
- 이진웅. (2018). 식물 병해 예측 연구 및 활용 현황.
- 이경재. (2018). 2019년도 정부연구개발 투자의 방향과 의미. KISTEP InI Vol 25.
- 이예원. (2018). 바이오 기술 주도의 5차 산업혁명을 준비하는 일본의 전략.
- 중소기업기술정보진흥원. (2014). 2014 중소기업 기술로드맵 전략보고서-바이오 신소재 분야.
- 중소기업기술정보진흥원. (2016). 중소기업 기술로드맵 2016~2018-바이오.
- 지식경제부. (2010). 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연

- 구.
- 지형 분석(바이오화학 및 소재 중심으로), 한국과학기술기획평가원.
 - 최수진 등. (2015). 친환경 신물질 작물보호제로 글로벌 시장 진출. KEIT PD Issue Report Vol 15-11.
 - 한국과학기술기획평가원. (2012). 제4회 과학기술예측조사 2012~2035.
 - 한국무역협회. (2018). 전세계 환경규제 강화 추이와 수출기업의 대응 전략. TRADE BRIEF No.6.
 - 한국바이오안전성정보센터. (2018). 농업 생명공학 기술 발전 전망 보고서 요약정리.
 - 한국바이오협회. (2017). 2015년 기준 국내바이오산업 실태조사 보고서.
 - 한국산업기술진흥원. (2013). 미국의 바이오 산업 현황 및 정책 동향.
 - 한국산업기술평가관리원. (2013). IT 미래기술예측 2025-20대 미래유망기술 및 IT 미래시나리오.
 - 한국생명공학연구원 ABS연구지원센터. (2015). 나고야의정서 및 생명자원 관련 국내외 동향 자료. 제43호.
 - 한국원자력연구원. (2017). 「산업동물의 장내 마이크로바이옴 벡크 구축을 통한 다목적 생물제제 개발」 사전기획연구 보고서.
 - 한국은행. (2016). 2014년 산업연관표 작성결과.
 - 한국정보화진흥원. (2010). 한국사회의 15대 메가트렌드.

3. 논문

- Abatamarco, J., Sarhan, M. F., Wagner, J. M., Lin, J. L., Liu, L., Hassouneh, W., ... & Abate, A. R. (2017). RNA-aptamers-in-droplets(RAPID) High-throughput Screening for Secretory Phenotypes. *Nature Communications*, 8(1), 332.
- An Analysis of the Biopesticide Market Now and Where it is Going.
- Bud. (1989). History of 'Biotechnology'.
- Bull, Holt & Lilly. (1982). *Biotechnology: International Trends and Perspectives*.
- Han, G. H., Seong, W., Fu, Y., Yoon, P. K., Kim, S. K., Yeom, S. J., ... & Lee, S. G. (2017). Leucine Zipper-mediated Targeting of Multi-enzyme Cascade Reactions to Inclusion Bodies in Escherichia Coli for Enhanced Production of 1-butanol. *Metabolic Engineering*, 40, 41-49.
- Hogeveen, H., Rutten, N., Kamphuis, C., & van der Voort, M. (2017). Economics of Precision Dairy Monitoring Techniques. In *Conference on Precision Dairy Farming*(pp. 87-97).
- Kafarski. (2012). *Rainbow Code of Biotechnology*.
- Kwak, M. J., Kong, H. G., Choi, K., Kwon, S. K., Song, J. Y., Lee, J., ... & Jung,

- E. J. (2018). Rhizosphere Microbiome Structure Alters to Enable Wilt Resistance in Tomato. *Nature Biotechnology*, 36(11), 1100.
- Lundberg, D. S., Lebeis, S. L., Paredes, S. H., Yourstone, S., Gehring, J., Malfatti, S., ... & Edgar, R. C. (2012). Defining the Core Arabidopsis Thaliana Root Microbiome. *Nature*, 488(7409), 86.
- Matyushenko, Sviatukha & Grigorova-Berenda. (2016). Modern Approaches to Classification of Biotechnology as a Part of NBIC-Technologies for Bioeconomy.
- McCreath & Delgoda. (2017). *Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies*.
- Pathak, V. M. (2017). Review on the Current Status of Polymer Degradation: A Microbial Approach. *Bioresources and Bioprocessing*, 4(1), 15.
- Scheller, P. N., Fademrecht, S., Hofelzer, S., Pleiss, J., Leipold, F., Turner, N. J., ... & Hauer, B. (2014). Enzyme Toolbox: Novel Enantiocomplementary Imine Reductases. *ChemBioChem*, 15(15), 2201-2204.
- Singh. (2014). *Industrial Biotechnology: An Overview*.
- Underhaug, J., Aubi, O., & Martinez, A. (2012). Phenylalanine Hydroxylase Misfolding and Pharmacological Chaperones. *Current Topics in Medicinal Chemistry*, 12(22), 2534-2545.
- Venturelli, O. S., Carr, A. V., Fisher, G., Hsu, R. H., Lau, R., Bowen, B. P., ... & Arkin, A. P. (2018). Deciphering Microbial Interactions in Synthetic Human Gut Microbiome Communities. *Molecular Systems Biology*, 14(6), e8157.
- 이신우. (2018). 유전자편집 작물의 개발 현황 및 농업생명공학기술의 국가 경쟁력 강화. *Journal of Plant Biotechnology* 45(3), 155-170.

4. 웹 자료

- BRIC동향. (2013.01.21). 합성 조절 RNA를 이용한 세포공장 기술 개발...한국과학기술원 이상엽 특훈교수팀.
- Donald Danforth Plant Science Center 홈페이지(<https://www.danforthcenter.org>).
- EBN. (2018.03.07). 뜨는 '그린바이오', 화학·식품·제약사 눈독.
- GNPN 홈페이지(<https://gnpn-genome.org/plants>).
- GT온라인. (2016.04.12). BIOCOTES: 유럽의 생물학적 방제 제조업자들이 농림업의 병충해 종합관리 실행을 지원하기 위한 새로운 생물학적 방제 제품을 개발함.
- GT온라인. (2017.03.07). BIOCONCEPT: 2세대 바이오매스의 화학물질 플랫폼의 생산과 응용을 위한 생물전환 및 분리 기술의 통합.
- James Kennedy. (2016.08.11). *Chemophobia: How We Became Afraid of Chemicals and What to Do About It*.

- KIAT유럽. (2018.11.29). 「핀란드, 100% 자연분해 가능한 천연 플라스틱 용기 개발」.
- MoneyS. (2018.06.05). '바이오'에 케미칼을 접목하는 화학업계.
- New Scientist. (2013.10.23.). Reprogrammed Bacterium Speaks New Language of Life.
- Pintels 홈페이지(<http://www.pintels.com>).
- ScienceTimes. (2018.10.10). 토마토 병저항성 높여주는 미생물 발견.
- ScienceTimes. (2019.01.04). “광합성 결합 수정해 작물 40% 증산”.
- The Bell. (2018.10.24). CJ제일제당, '바이오 사업 선전' 역대급 임원 승진.
- The Science Times. (2016.11.30). 녹조류로 친환경 플라스틱 만든다.
- 경향신문. (2018.02.27). 전 세계 버려지는 음식물 한 해 438조 원 어치.
- 과기정통부 홈페이지 '2019년 예산'.
- 농림축산식품부 주요통계, ILO(laborsta.ioo.org).
- 농진청. (2018.11.15.). 농촌진흥청, 인공지능이 농사짓는 시대를 연다.
- 농진청. (2019.01.10). 이달의 농업기술-인공지능이 농사짓는 시대.
- 농촌진흥청. (2011.08.02). 작물 생육촉진·면역력·내한성 돕는 미생물 개발.
- 대한민국정책브리핑. (2018.06.05). 플라스틱 오염 없는 지구 '나부터 먼저'.
- 동아사이언스. (2018.04.18). 썩는데 수백년 걸리는 플라스틱, 며칠 만에 분해하는 효소 개발.
- 동아사이언스. (2018.07.19). 스스로 광합성하는 인공세포 개발.
- 동아사이언스. (2019.01.22). DNA를 회로처럼...원하는 효소 찾는 '인공 유전자 회로' 기술 나와.
- 동아일보. (2018.03.27). 축사 물린 익산 '나뽀' 年68일 최다... 공장 많은 평택 年60일.
- 매일경제. (2015.07.01). 유전자가위로 근육 많은 '슈퍼돼지' 만들었다.
- 매일경제. (2017.12.03). IoT로 소 키우는 '커넥티드 카우' 뜬다.
- 매일경제. (2017.12.03). 글 로벌 기업들, IoT 낙농시장 앞다퉈 진출.
- 매일경제. (2018.03.28). 놀라운 유전자가위...‘흡’ 안 넣고도 맥주 만든다.
- 매일경제. (2018.08.15). 천연물질 신약·화장품 ‘로열티 참사’...이익 10% 내줄수도.
- 사이언스온. (2016.09.30). GMO작물, 살충제 사용 줄었지만 제초제 사용은 늘어.
- 위키백과(<https://ko.wikipedia.org>).
- 유엔 홈페이지(<https://www.un.org>).
- 이코노믹리뷰. (2018.07.03). 세계 평균 곡물자급률 102%, 한국 20%대 '식량후진국'.
- 조선비즈. (2018.09.09). 크리스퍼 가위로 유전자 조작한 생물, GMO로 규제해야 하나.

- 조선비즈. (2018.11.22). 플라스틱으로 만든 인공 세포... “실제 세포에 가장 근접”.
- 중앙일보. (2018.09.13). ‘플라스틱 먹고 죽어가는 아기거북’ 위에서 발견된 329개의 조각.
- 중앙일보. (2018.12.12). GMO작물 속 발암물질을 보는 두 가지 시각.
- 쿠키뉴스. (2018.05.28). [GMO 찬반논란]① “우리는 이래서 GMO가 무섭다”.
- 파이낸셜뉴스. (2013.06.25). 우수 신품종 개발 로열티 줄인다.
- 한겨레. (2018.04.04). 폐기물 감량화 정책, 이명박 정부가 후퇴시켰다.
- 한국 ABS연구센터 홈페이지(<https://www.abs.re.kr/app/absInfo/nagoyaView.do>).
- 한국경제. (2018.11.05). 해외원료 ‘비용 폭탄’...비상 걸린 바이오업계.
- 한국고용정보원 웹사이트 ‘통계로 보는 노동시장’(<https://statistics.keis.or.kr>).
- 한양뉴스. (2018.08.01). 배상수 교수 공동연구팀, 유전자 교정기술 핵심 단백질 절단 매커니즘 규명.

5. 기타

- 국가연구시설장비진흥센터(NFEC) ZEUS장비종합포탈 연구시설·장비 현황 내부자료
- 「과기정통부 과학기술분야 연구개발사업 처리규정(과기정통부 훈령)」 제4조.
- 「과학기술기본법」 제11조(국가연구개발사업의 추진).
- 「생명공학육성법」 제13조(생명공학 육성시책 강구 등).

--

--

--

--

구분	내역			
	구분	구분	구분	구분
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				

--

구분	내역			
	구분	구분	구분	구분
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				
17				
18				
19				
20				
21				
22				
23				
24				
25				
26				
27				
28				
29				
30				
31				
32				
33				
34				
35				
36				
37				
38				
39				
40				
41				
42				
43				
44				
45				
46				
47				
48				
49				
50				

	-			

--

--

--

--

--

부록 2. 기획위원회 회의록

1. 1차 기획위원회(Kick-off 회의)

	•
	•
	•

첨부 1 | 참석자 명단

첨부 2

상세 논의내용

■ 그린화이트바이오 연구개발사업 추진방향 상세 논의사항

첨부 3

회의사진

2. 2차 기획위원회

	•
	•
	•

첨부 1

참석자 명단

첨부 2

상세 논의내용

■ 그린·화이트바이오 연구개발사업 추진방향 상세 논의사항

3. 3차 기획위원회

	•
	•
	•

첨부 1 참석자 명단

첨부 2 상세 논의내용

■ 그린·화이트바이오 R&D 전략 수립을 위한 중점기술분야 및 메가트렌드 검토 및 논의

4. 4차 기획위원회

•	
•	
•	

첨부 1

참석자 명단

첨부 2

상세 논의내용

■ 그린·화이트바이오 R&D 전략 수립을 위한 중점기술분야 검토 및 논의

주 의

1. 이 보고서는 한국연구재단에서 위탁받아 수행한 연구보고서입니다.
2. 본 연구보고서에 기재된 내용들은 연구책임자의 개인적 견해이며 한국연구재단의 공식견해가 아님을 알려드립니다.
3. 국가과학기술 기밀유지에 필요한 내용은 대외적으로 발표 또는 공개하여서는 아니 됩니다.