

통권 제331호

화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망 분야 도출 및 정부지원 방안

KISTEP 생명기초사업센터 박지현
KISTEP 사업조정전략센터 홍미영



화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망 분야 도출 및 정부지원 방안

(Deduction of promising areas for vitalization of white biotechnology industry
and government support plan)

박지현·홍미영

Jihyun Park·Miyoun Hong

I. 연구 배경 및 목적

II. 화이트바이오 개념 정의 및 분류체계 정립

III. 특허 빅데이터 분석을 통한 화이트바이오
유망 분야 도출

IV. 화이트바이오 유망 분야별 주요 동향 및
국내 현황 진단

V. 화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망
분야별 정부지원 방안

[참고문헌]

I. Research Background and Purpose

II. Definition of white biotechnology and
establishment of classification system

III. Deduction of white biotechnology
promising areas through patent big
data analysis

IV. Diagnosis of major trends and
domestic status of white
biotechnology promising areas

V. Government support plan of promising
areas for vitalization of white
biotechnology industry

[References]



한국과학기술기획평가원
Korea Institute of S&T Evaluation and Planning



요약

■ 연구 배경

- 주요국의 탄소중립 선언에 따라 전 세계적으로 저탄소·친환경 경제에 대한 요구가 증대되고, 기존 석유화학 산업이 바이오 기반으로 빠르게 전환
- 저탄소·친환경적인 새로운 화학산업 모델로써 화이트바이오 산업의 중요도를 고려할 때, 화이트바이오 R&D와 유망 분야에 대한 현황 진단을 토대로 한 추진방안 마련이 필요한 시점
- 본고에서는 그린뉴딜 시대에 미래 성장 잠재력이 크고 저탄소·친환경 경제구현에 기여도가 큰 화이트바이오 산업 육성을 위한 유망 분야를 도출하고 정부지원 방안을 제시

■ 연구 결과

- 화이트바이오(대분류) 분야를 바이오탄소, 바이오에너지, 바이오화학소재(중분류)로 구분하였으며, 소분류 단위에서 핵심분야 및 세부 기술로 구성된 분류체계를 마련
- 화이트바이오 15대 핵심분야에 속한 주요 5개국 특허를 대상으로 기술부상도, 특허 시장성, 기술 파급성, 기술 장벽도, 한국의 경쟁력 등 종합분석을 통해 유망 분야를 도출
 - 특허분석 결과와 전문가 검토를 통해 액체 바이오연료와 생분해플라스틱 분야가 우선순위가 높은 유망 분야로 도출되었으며, 이들 분야는 공통적으로 특허의 시장성과 기술 파급성이 높게 나타남
 - 액체 바이오연료, 생분해플라스틱 다음으로 천연물대체소재와 세포공장개발기술이 유망 분야로 도출되었으며, 이들 분야는 공통적으로 기술 부상도와 특허의 시장성이 높게 나타남
- 화이트바이오 4대 유망분야별 주요 동향 및 국내 현황 분석결과, 정부 주도의 원천기술 개발과 기업수요 지원 등을 통한 산업 경쟁력 강화가 필요
 - (액체 바이오연료) 우리나라에서는 발전용 증유를 대체하는 바이오증유가 개발·보급되어 있으며, 수송용 바이오에탄올은 아직 상용화 이전 단계로 실증 기반의 R&D만 진행되고 있음

- (생분해플라스틱) 국내는 기존의 석유계 플라스틱에 비해 생분해플라스틱의 경제성이 낮아 개별 기업이 독자적으로 사업화를 추진하기 어려운 실정
- (천연물 대체소재) 국내는 식품기업 중심으로 천연물대체소재 산업수요를 맞추기 위해 산·학·연 컨소시엄을 통해 업스트림(Upstream) 소재생산기술 개발에 치중하고 있으며, 데이터 기반의 생산공정 고도화는 아직 초기단계임
- (세포공장 개발 기술) 다국적 대기업들은 바이오 전문기업과의 협력·합작을 통해 원료공급부터 제품생산까지 통합 시스템을 구축하고 있으며, 국내는 다양한 세포공장 원천기술과 바이오매스 원료가 부족하여 국내 기업들은 원료가 있는 해외 바이오기업과의 협력을 추진

■ 결론

- 본고에서는 화이트바이오 유망 분야 중심으로 글로벌 동향 및 국내 기업 여건 등을 고려하여 정부R&D의 역할과 초기 시장 창출을 위한 정부지원 방안을 구체화
- (액체 바이오연료) 석유 유가변동, 자동차 내연기관 발전 동향 등을 감안하여 국내 중점분야에 대한 기술개발 전략 마련 및 수송 분야의 바이오선박유와 바이오항공유에 대한 국내 보급 인프라와 제도 개선
- (생분해플라스틱) 기업 유형별(대/중견/중소) 주력분야에 따른 수요자 맞춤형 정부지원 전략이 필요하며, 생분해플라스틱 소재 다양화와 제품개발 스케일업을 위한 지원 확대
- (천연물 대체소재) 바이오공법 기반 소재 자원의 한계 극복을 위한 소재 생산 원천기술을 확보하고, 데이터 기반의 스마트 자동화 생산체계 구축을 통해 최종산물의 가격 경쟁력 등 산업 경쟁력 확보
- (세포공장 개발 기술) 시스템대사공학, 합성생물학 기술 등을 활용한 세포공장 원천기술의 확보가 중요하며, 기업 참여에 의한 다양한 세포공장 활용 생산제품의 상용화를 위해 파일럿 실증까지 고려한 쉐공정 개발 지원

※ 본 이슈페이퍼는 2021년 「그린뉴딜 연계 그린바이오·화이트바이오 핵심분야 도출 및 정부R&D 지원방향 수립 연구」의 화이트바이오 분야 관련 연구내용을 수정요약한 것으로, 필자의 개인적 견해이며 한국과학기술기획평가원의 공식 의견이 아님을 알려드립니다.



Abstract

■ Background

- Following the declaration of carbon neutrality in major countries, the global demand for a low-carbon and eco-friendly economy is increasing, and the existing petrochemical industry is rapidly shifting to bio-based.
- Considering the importance of the white biotechnology industry as a new low-carbon, eco-friendly chemical industry model, it is necessary to prepare an action plan based on the diagnosis of the current status of white biotechnology.
- In this paper, promising areas for fostering the white biotechnology industry with high contribution to the realization of a low-carbon and eco-friendly economy in the era of the Green New Deal are presented and government support measures are presented.

■ Results

- White biotechnology (large category) was divided into biocarbon, bioenergy, and biochemical materials (medium category), and a classification system consisting of core fields and detailed technologies was prepared in the sub-category unit.
- Promising fields are derived through comprehensive analysis of patents from 5 major countries belonging to the 15 core areas of white biotechnology, such as technological rise, patent marketability, technology ripple, technological barriers, and Korea's competitiveness.
- The fields of liquid biofuel and biodegradable plastic were identified as promising fields with high priority through the patent analysis results and expert review, and these fields have high marketability and technological ripple effect in common.

- After liquid biofuel and biodegradable plastic, natural substitute material and cell factory development technology were identified as promising fields, and these fields have a high degree of technological advancement and high marketability of patents in common.
- According to the results of analysis of major trends and domestic status in the four promising fields of white biotechnology, it is necessary to strengthen industrial competitiveness through government-led development of source technology and support for corporate demand.
- (Liquid biofuel) In Korea, bio-heavy oil to replace heavy oil for power generation has been developed and distributed, and bio-ethanol for transportation is still in the stage of commercialization and only empirical R&D is being carried out.
- (Biodegradable plastic) In Korea, the economic feasibility of biodegradable plastics is lower than that of petroleum-based plastics, making it difficult for individual companies to independently promote commercialization.
- (Natural substitute material) Domestically, food companies are focusing on the development of upstream material production technology through a consortium of industry, academia, and research institutes to meet the industrial demand for natural substitute materials centered on food companies.
- (Cell factory development technology) Multinational conglomerates are establishing an integrated system from raw material supply to product production through cooperation with bio-specialized companies, and domestic companies are promoting cooperation with overseas bio companies due to the shortage of various cell factory source technologies and raw materials.

■ Conclusion

- In this paper, the role of government R&D and government support measures for initial market creation are specified in consideration of global trends and domestic business conditions, focusing on promising fields of white biotechnology.

- (Liquid biofuel) It is necessary to prepare technology development strategies for domestic key areas in consideration of oil price fluctuations and development trends of automobile internal combustion engines, and to improve domestic supply infrastructure and systems for bio-vehicle oil and bio-jet fuel in the transportation field.
- (Biodegradable plastic) It requires a government supply strategy tailored to consumers according to major fields by company type (large/medium/small) and to support for diversifying biodegradable plastic materials and expanding support for product development scale-up.
- (Natural substitute material) It is necessary to secure the source technology for material production to overcome the limitations of material resources based on the biotechnology method, and to secure industrial competitiveness such as price competitiveness of final products through the establishment of a data-based smart automated production system.
- (Cell factory development technology) It is important to secure the cell factory source technology using system metabolism engineering and synthetic biology technology, and to support the entire process development, including pilot demonstration for the commercialization using various cell factories through corporate participation.

I

연구 배경 및 목적

■ 주요국의 탄소중립 선언에 따라 전 세계적으로 저탄소·친환경 경제에 대한 요구가 증대되고, 기존 석유화학 산업이 바이오 기반으로 빠르게 전환

- 미국은 저탄소·친환경 정책을 내세운 바이든 대통령이 취임한 즉시 파리기후협정 재가입('21.2)을 통해 '청정에너지·인프라 계획'을 추진하여 2050년까지 100% 청정에너지 경제 및 탄소 순 배출량 0(Net Zero)을 달성 목표로 제시

※ 미국 에너지부, 바이오연료 기술 투자 방안 발표('21.5) : 탄소 배출량을 줄이고 재생 가능한 바이오연료 전환 과정에 필요한 기술개발에 3,500만 달러 투자 계획

- EU는 2050년까지 유럽을 세계 최초의 탄소중립 대륙으로 만드는 비전과 함께 유럽그린딜(European Green Deal)('19.12)을 제시하고, 2030년까지 탄소배출 감축목표 상향, 재생에너지 비중 증가를 목표로 조정

※ 2030년 석유계 원료의 25%를 바이오매스 기반 원료로 대체하기 위한 화이트바이오 분야 연구개발 로드맵 'RoadToBio' 수립('19)

■ 우리나라 정부는 '한국형 그린뉴딜' 추진을 결정('20.7.14)하고, 주요 수단으로 신재생에너지 활성화 등 정부 정책 방안을 제시

- 탄소중립 실현을 위해 신재생에너지 확산기반 구축, 전기차·수소차 등 그린 모빌리티, 공공시설 제로 에너지화, 저탄소·녹색산업단지 조성 등을 제시하고, 스마트 관련 기술 및 친환경 기술 개발을 10대 과제로 설정

〈표 1〉 그린뉴딜 대표 10대 과제

1	데이터 댐	6	국민안전 사회간접자본(SOC) 디지털화
2	지능형(AI) 정부	7	스마트 그린 산업단지
3	스마트 의료 인프라	8	그린 리모델링
4	그린 스마트 스쿨	9	그린 에너지
5	디지털 트윈(Digital Twin)	10	친환경 미래 모빌리티

- 2050년 탄소중립 사회 실현을 위한 10대 핵심 투자분야에 ‘청정연료 및 자원순환’이 포함되어 있으며, 청정연료로 바이오에너지가 세부분야에 포함되어 추진(탄소중립 연구개발 투자전략(‘21.3))

■ 저탄소·친환경적인 새로운 화학산업 모델로써 화이트바이오 산업의 중요도를 고려할 때, 화이트바이오 R&D와 유망 분야에 대한 현황 진단을 토대로 한 추진방안 마련이 필요한 시점

- 화이트바이오는 석유 대신 바이오매스에 저장된 유기물을 생물학적 공정을 활용하여 제조업에서 필수적인 소재로 전환하는 기술 분야로, 온실가스인 CO₂ 배출량을 감축하고, 친환경 기술을 개발하는데 기여도가 큼
- 2020년 12월 혁신성장전략회의에서 발표된 「화이트바이오 산업 활성화 전략」에서는 바이오 플라스틱 등 유망 산업분야를 주목하였으나, 화이트바이오 산업 전반을 대상으로 저탄소·친환경에 기여할 수 있는 신규 지원대상 발굴 노력은 부족
- 화이트바이오 분야에 대한 R&D투자 저조, 산업 인프라 미비 등 그간의 한계를 극복하고 그린뉴딜 정책 구현에 기여하기 위해서는 저탄소·친환경과 연계하여 유망 분야를 발굴하여 집중 육성하는 것이 필요

■ 본고에서는 그린뉴딜 시대에 미래 성장 잠재력이 크고 저탄소·친환경 경제 구현에 기여도가 큰 화이트바이오 산업 육성을 위한 유망 분야를 도출하고 정부지원 방안을 제시

- 화이트바이오 기술·산업과 관련된 기존의 분류체계를 활용하여 저탄소·친환경과 연관된 화이트바이오 분류체계를 새롭게 정립하고, 이를 활용한 특허 빅데이터 분석을 통해 유망 분야를 도출
- 화이트바이오 유망 분야별 주요 동향과 국내 현황 진단, 국내 유관 기업의 현장수요 파악 등을 통해 정부R&D의 역할과 초기 시장 창출을 위한 정부지원 방안을 도출
- 상기 연구결과로부터 저탄소·친환경과 연관된 화이트바이오 유망 분야별 정부R&D의 투자방향 및 기업 주도의 상용화를 위한 정부지원 방안을 제시

II

화이트바이오 개념 정의 및 분류체계 정립

■ 그린뉴딜 정책과 연계하여 화이트바이오는 에너지, 산업소재 분야의 신산업 창출을 목적으로 하는 생물공학 기반의 바이오 분야로 정의할 수 있음¹⁾

- 기존 문헌에서는 친환경 제품 생산과정에서 생명공학기술(biotechnology)을 이용하는 분야로 정의
 - McCreath & Delgoda.(2017)에 의하면, 화이트바이오는 재생 가능한 원료를 활용하여 산업적 목적의 최종 및 중간제품을 생산하는 과정에 생명공학을 이용 및 응용하는 분야로 정의
 - ※ 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
 - 지식경제부에서 발간한 연구보고서(2010)에 따르면, 화이트바이오는 지노믹스(Genomics), 프로테오믹스(Proteomics), 바이오인포메틱스(Bioinformatics) 등의 바이오기술을 기반으로 바이오촉매(효소, 발효미생물 등 생촉매) 및 바이오공정(Bioprocess)을 활용하는 기술로 정의
 - 제3차 생명공학기본계획(2017)에 의하면, 화이트바이오는 지구온난화, 자원고갈 등 환경변화에 대응하여 생물자원 및 생물공학 기술을 활용해 에너지와 소재 등을 생산하고 관련 산업과 서비스를 창출하는 바이오 분야임
 - ※ 화이트바이오 기술의 가치사슬에 따라 ①바이오화학·에너지, ②생물자원관리, ③환경바이오로 분류
- 본고에서는 다양한 탄소자원을 활용하여 탄소중립 구현 및 환경 친화적인 에너지·산업소재의 안정적 생산과 고부가가치화를 통한 지속가능한 신산업 창출을 목적으로 하는 생물공학 기반의 (에너지·화학)바이오 분야로 정의

■ 본 연구에서는 화이트바이오(대분류)에 대한 정의에 기반하여 전문가 그룹의 브레인스토밍과 자문 과정을 거쳐 3대 중분류를 설정하고, 하위 소분류와 15대 핵심분야를 도출

- 화이트바이오 기술·산업과 관련된 기존 분류체계를 활용하여 본 연구진이 저탄소·친환경과 연관된 화이트바이오 분류체계의 기본 틀을 구성

1) 기존의 개념 정의를 토대로 그린뉴딜 연계 화이트바이오의 범주 및 개념을 재정립

- 화이트바이오 분야의 산·학·연 전문가(총 7인) 브레인스토밍을 걸쳐 화이트바이오(대분류) 하위를 구성하는 중분류 및 소분류 체계를 확정
- 바이오탄소, 바이오에너지, 바이오화학소재 등 3대 분야별 전문가(총 8인)의 심층 검토를 통해 하위 소분류와 15대 핵심분야를 도출
 - 핵심분야는 기술적 특성, 상용화 수준 등을 고려하여 최종 제품으로 구성하되, 바이오화학소재 플랫폼의 핵심분야는 대표적인 핵심 기술로 설정
 - 정밀/특수화학소재, 기능성소재 등 소재 분야는 본 연구에서 분석대상으로 하는 화이트바이오 분야에 해당하는 범주로 한정

■ 기존의 기술·산업과 관련된 화이트바이오 분류체계로부터 새롭게 정립한 그린뉴딜 정책에 부합하는 화이트바이오 분류체계는 다음과 같음

- (바이오탄소) 유기성 폐자원 등의 미활용탄소를 자원으로 활용하거나 바이오매스의 탄소자원화를 추구하는 분야
- (바이오에너지) 바이오매스 등 바이오원료의 전환 과정을 통해 고체·액체·기체연료를 생산하는 분야
- (바이오화학 소재) 기존 석유화학 기반의 소재를 생물공학적인 기법을 통해 생산하는 제품 혹은 기반기술로서, 바이오플라스틱, 정밀/특수화학 소재, 기능성 소재와 바이오화학소재를 생산하기 위한 플랫폼으로 구분

〈표 2〉 화이트바이오 분류 및 정의

대분류	중분류	소분류		핵심분야
화이트 바이오	바이오 탄소	미활용 탄소 재자원화	• (정의) 환경오염 유발원인 온실가스, 유기성 폐기물의 미활용 탄소 재자원화 기술	C1 가스 탄소자원화
				유기성 폐자원의 탄소자원화
		바이오매스 탄소자원화	• (정의) 바이오매스탄소자원의 원료화를 위한 요소 및 통합기술	C5/C6/지질 탄소자원화
				리그닌 탄소자원화
	바이오 에너지	바이오연료	• (정의) 바이오원료의 물리·화학· 생물학적 변환을 통해 고체/액체/ 기체연료로 생산하여 열·발전 또는 수송용 연료로 활용	고체 바이오연료
				액체 바이오연료
				기체 바이오연료

대분류	중분류	소분류		핵심분야
화이트 바이오	바이오 화학 소재	바이오 플라스틱	• (정의) 생물공학 기반 기술을 통해 생산되는 생분해성 또는 바이오 기반 플라스틱	생분해플라스틱
				바이오매스 기반 플라스틱
		정밀/특수화학 소재	• (정의) 생물공학 기반 기술을 통해 생산되는 고부가가치 정밀/특수화학소재	정밀/특수 화학소재 (용매/계면활성제/염료/향료/가소제/점·접착제/항산화제/X-cides 등)
		기능성 소재	• (정의) 지속가능한 생산을 위한 생물공정 기반 천연소재 및 기능성 소재	천연물 대체소재
				기능성 산업소재
		바이오화학 소재 생산 플랫폼	• (정의) 화이트바이오 생산 고도화를 위한 생물학기반기술	생촉매 개발 기술
				세포공장 개발 기술
				스마트 바이오공정 개발 기술

〈표 3〉 화이트바이오 15대 핵심분야별 세부기술(예시)

핵심분야	세부기술 (예시)
C1 가스 탄소자원화	• 온실가스 활용 생촉매 개발기술 • 온실가스 전환 생물공정 기술 • 온실가스의 탄소자원화 생물공학 기반 통합기술
유기성 폐자원의 탄소자원화	• 생활 유기성 폐기물(음식물쓰레기 등) 탄소자원화 기술 • 농축산 유기성 폐기물(분뇨, 축산폐기물, 농업부산물 등) 탄소자원화 기술 • 산업유래 유기성 폐기물(플라스틱, 폐수슬러지 등) 탄소자원화 기술
C5/C6/지질 탄소자원화	• 바이오매스 분해 생촉매 기술 • 생물공정 기반 C5 탄소 자원화 기술 • 생물공정 기반 C6 탄소 자원화 기술 • 생물공정 기반 지질 탄소 자원화 기술 • 전처리&당화 공정의 효율화 및 통합 공정 개발
리그닌 탄소자원화	• 리그닌 활용 생촉매 개발기술 • 리그닌 전환 생물공정 기술 • 리그닌 탄소자원화 생물공학 기반 통합기술
고체 바이오연료	• 고체연료화(SRF제조) 기술 • 열화학적 전환 기술 • 보일러 고효율 연소기술, 열병합 등 시스템기술
액체 바이오연료	• 바이오디젤, 바이오에탄올, 바이오부탄올 생산기술 • 바이오오일 기반 합성연료 제조 기술 • 바이오항공유 생산 기술 • 액상 바이오 연료 정제, 분리, 가공 기술 • 바이오리파이너리 기술

핵심분야	세부기술 (예시)
기체 바이오연료	• 합성가스, 바이오가스, 바이오메탄, 수소가스 생산기술 • 유기화학적 전환기술 • 혐기소화, 호기소화, 알콜소화, 병합소화, 에너지화 플랜트 기술 • 바이오가스 분리정제기술
생분해플라스틱	• 생활계 플라스틱(포장재, 용기 등) 생산 기술 • 농축수산 플라스틱(멀칭필름, 어망, 어구, 부표 등) 생산 기술 • 의료용 플라스틱(봉합사, 인공피부 등) 생산 기술 • 생분해플라스틱 기능 개선 첨가제(가소제 등) 생산 기술 • 생분해플라스틱 신소재 개발 및 생산 기술 • 생분해 촉진 생촉매첨가제 개발 및 생산 기술
바이오매스 기반 플라스틱	• 범용 바이오플라스틱의 생산 기술 • 엔지니어링 플라스틱급 바이오플라스틱 생산 기술 • 바이오플라스틱 기능 개선 첨가제(가소제 등) 생산 기술 • 바이오플라스틱 신소재 개발 및 생산 기술
정밀/특수 화학소재 (용매/계면활성제/염료/향료/가소제/점·접착제/향산화제/X-cides 등)	• 산업용 정밀/특수 화학소재 생산 기술 • 생활용 정밀/특수 화학소재 생산 기술 • 농축수산용 정밀/특수 화학소재 생산 기술 • 의료용 정밀/특수 화학소재 생산 기술 • 정밀/특수화학 신소재 개발 및 생산 기술 • 정밀/특수화학 제품 생산용 생촉매 및 공정기술
천연물 대체소재	• 식물추출천연물의 생물공정기반 대체생산기술 • 비거노믹스 대응 동물 유래 소재 대체생산기술
기능성 산업소재	• 생리활성 기능성 소재 생산 기술 • 화장품용 기능성 소재 생산 기술 • 식품 및 식품첨가물 소재 생산 기술 • 웰니스 기능성 소재 생산 기술 • 생활속 화학제품의 안전 개선을 위한 기능성 소재 생산 기술
생촉매 개발 기술	• 생촉매 스크리닝 기술 • 생촉매 개량 기술 • 생촉매 반응 최적화 기술 • 생촉매 반응기 기술
세포공장 개발 기술	• 세포 대사관련 빅데이터 수집, 해석 및 표준화 기술 • 인공지능기반 세포공장 설계기술 • 세포공장 • 대용량 계층 편집 기술 • 세포공장 초정밀 분석기술
스마트 바이오공정 개발 기술	• 미생물 발효공정 스마트 최적화 기술 • 바이오공정 빅데이터 수집 기술 • 인공지능 기반 바이오공정 설계 기술 • 인공지능 기반 바이오공정 제어 기술 • 바이오공정 디지털 트윈 기술 • 바이오공정 장비 개발 기술

III

특허 빅데이터 분석을 통한 화이트바이오 유망 분야 도출

■ 화이트바이오 각 15대 핵심분야에 속한 특허를 다각도로 면밀히 분석하여 특허 관점의 유망 분야를 도출

- 이를 위해 한국특허전략개발원(KISTA)에서 기 수립한 특허 분석방법론²⁾을 적용하고 바이오연료 관련 특허 데이터 연계 활용 등 협업³⁾을 수행
 - 기술부상도, 특허 시장성, 기술 파급성, 기술 장벽도, 한국의 경쟁력 등 특허 빅데이터 분석결과를 종합하여 유망 분야를 도출
- 특허분석 기반의 화이트바이오 유망 분야 도출을 위해 주요 5개국 특허를 대상으로 유효특허 추출, 양적·질적 경쟁력 등 지표 분석, 세부분야별 유망 분야에 대한 우선순위 도출 순으로 수행

〈표 4〉 특허데이터 분석 절차

분석 단계	분석 내용	
특허 조사	IP5의 최근 12년간 특허	• 최근 12년간 주요국 특허를 대상으로 특허 동향 및 트렌드, 증감률 등 분석
유효특허 도출	노이즈 필터링 및 보강조사	• 특허 키워드 검색으로 분석 대상 풀을 구축하고, 연관성이 낮은 특허 제거 및 유효특허만으로 데이터 분석 대상 풀 구축
지표 분석	양적·질적 경쟁력 등 도출	• 국내 출원경쟁력, 시장 진입도, 해외 주요국 대비 국내 특허의 경쟁력 등 평가지표별 데이터 정량 분석
유망분야 도출	세부분야별 유망성 도출	• 특허 평가지표별 분석 결과를 토대로 점수를 산정하고, 종합적으로 종합점수를 산출하여 세부 분야별 특허 유망분야에 대한 우선순위를 도출

■ 지난 12년간(2008.1.~2019.12.) 출원·공개된 한국·미국·일본·EU·중국특허청 데이터부터 키워드⁴⁾ 검색, 노이즈 제거 등을 통해 추출한 유효특허는 39,613건에 달함

2) 특허청·한국특허전략개발원(2021), 2020년 특허빅데이터를 활용한 산업혁신전략 보고서(재생에너지 산업)
 3) 특허청·한국특허전략기술개발원(2021), 2021년 특허 빅데이터 기반 산업혁신 지원(그린에너지·바이오에너지)
 4) 특허검색 키워드는 “그린뉴딜 연계 그린바이오·화이트바이오 핵심분야 도출 및 정부R&D 지원방향 수립 연구” 최종보고서 참조.

〈표 5〉 화이트바이오 15대 핵심분야별 유효특허 건수

중분류	소분류	핵심분야	특허건수
바이오탄소	미활용 탄소 재자원화	C1 가스 탄소자원화	237
		유기성 폐자원의 탄소자원화	1,019
	바이오매스 탄소자원화	C5/C6/지질 탄소자원화	422
		리그닌 탄소자원화	443
바이오에너지	바이오연료	고체 바이오연료	509
		액체바이오연료	6,636
		기체 바이오연료	4,967
바이오화학 소재	바이오플라스틱	생분해플라스틱	21,329
		바이오매스기반플라스틱	418
	정밀/특수 화학소재	정밀/특수 화학소재	561
	기능성 소재	천연물 대체소재	461
		기능성 산업소재	420
	바이오화학 소재 생산 플랫폼	생촉매 개발 기술	618
		세포공장 개발 기술	758
		스마트 바이오공정 개발 기술	815

■ 화이트바이오 15대 핵심분야별 특허 빅데이터 상세 지표 분석 결과

- (최근 3년 특허출원율) 전체 기간 중 최근 3년간 출원된 한국 특허의 비중이 평균 30.7%로 세포공장개발기술, 바이오매스기반플라스틱 분야가 최근 특허출원율은 가장 높음
- (최근 3년 특허점유율) 최근 3년간 출원된 특허건수 기준으로 화이트바이오 15대 핵심분야 중에서 생분해플라스틱 분야가 60.2%를 점유
- (최근 3년 특허증가율) 최근 3년간 C1가스 탄소자원화 분야가 특허증가율이 가장 높았으며, 고체/액체/기체 바이오연료와 생분해플라스틱 분야는 최근 3년간 특허출원이 감소 추세임
- (한국의 점유율) 전체 기간 동안의 8.1% 대비 최근 3년간 5.9%로 감소하였으며, 최근 3년간 한국의 점유율은 C1가스 탄소자원화, 유기성 폐자원의 탄소자원화 분야에서 높게 나타남
- (Top5 출원인점유율) Top5 국내 출원인 점유율은 C1가스 탄소자원화, 기능성 산업소재에서 높게 나타남
- (기술성장주기) 중분류 기준으로 바이오탄소와 바이오화학소재 분야는 성장기인 반면, 바이오에너지 분야는 성숙기에 도달함

- (시장확보력) 중분류 기준으로 바이오탄소 분야보다는 바이오에너지, 바이오화학 소재 분야에서 평균(1.0)보다 높은 것으로 분석되었으며, 소분류 기준으로 C1가스 탄소자원화 분야가 평균 이상으로 가장 높음
- (특허영향력) 중분류 기준으로 바이오화학 소재 분야보다 바이오탄소, 바이오에너지 분야가 평균(1.0)보다 높은 것으로 분석되었으며, 소분류 기준으로 C5/C6/지질 탄소자원화가 평균 이상으로 가장 높음

〈표 6〉 화이트바이오 15대 핵심분야별 특허 빅데이터 상세 지표 분석 결과

핵심(품목/기술)분야	최근 3년 동향			한국의 점유율		Top 5 출원인 점유율 (특허청기준)		외국인 진입도	기술성장 주기	시장확보 력(PFS)	특허영향 력지수 (PII)	공동출원 비중
	최근3년/전체 기간	특허점유율	특허증가율	전체기간	최근3년	해외	국내					
C1 가스 탄소자원화	25.3%	0.5%	22.5%	11.8%	35.0%	62.9%	83.7%	☆ 0.7	태동기	▲ 2.3	▼ 0.4	7.2%
유기성 폐자원의 탄소자원화	31.3%	2.6%	-2.7%	31.0%	24.8%	3.6%	6.0%	☆ 0.0	성장기	▼ 0.5	▲ 1.3	14.1%
C5/C6/지질 탄소자원화	13.3%	0.5%	0.0%	9.0%	5.4%	10.2%	44.7%	☆ 0.1	성숙기	▼ 0.8	▲ 1.9	13.3%
리그닌 탄소자원화	35.4%	1.3%	1.0%	10.6%	10.2%	14.1%	46.8%	☆ 0.1	성장기	▼ 0.8	▼ 0.8	12.2%
고체 바이오연료	34.4%	1.4%	-33.5%	11.4%	6.3%	16.5%	32.7%	☆ 0.2	성장기	▼ 0.9	▼ 0.3	10.0%
액체 바이오연료	15.6%	8.5%	-10.7%	10.1%	8.6%	8.2%	18.1%	☆ 0.2	성숙기	▲ 1.3	▲ 1.3	13.7%
기체 바이오연료	28.8%	11.7%	-5.5%	5.4%	5.7%	3.5%	20.8%	☆ 0.4	성숙기	▲ 1.1	▲ 1.2	8.0%
생분해플라스틱	34.3%	60.2%	-18.3%	6.4%	4.1%	6.2%	16.3%	☆ 0.5	성장기	▼ 0.9	▼ 0.8	6.6%
바이오매스기반플라스틱	44.3%	1.5%	3.5%	7.7%	3.8%	32.7%	44.4%	☆ 0.6	성장기	▲ 1.5	▼ 0.3	13.4%
정밀/특수 화학소재	32.6%	1.5%	-3.1%	15.0%	13.1%	12.4%	18.5%	☆ 0.3	성장기	▼ 1.0	▼ 0.7	12.8%
천연물 대체소재	38.6%	1.5%	3.2%	14.5%	10.1%	10.3%	13.5%	☆ 0.2	성장기	▲ 1.1	▼ 0.8	10.4%
기능성 산업소재	37.9%	1.3%	0.9%	3.3%	0.6%	11.5%	63.6%	☆ 0.0	성장기	▼ 0.5	▼ 0.3	12.1%
생촉매 개발 기술	29.8%	1.5%	9.4%	15.2%	16.3%	11.3%	33.0%	☆ 0.1	성장기	▼ 0.8	▼ 0.4	10.2%
세포공장 개발기술	57.3%	3.6%	-3.9%	12.3%	5.3%	18.2%	28.8%	☆ 0.3	성장기	▲ 1.5	▼ 0.7	14.9%
스마트 바이오공정 개발기술	36.0%	2.4%	-1.0%	5.6%	4.1%	8.2%	20.0%	☆ 0.8	성장기	▲ 1.5	▼ 0.6	8.2%
전체	30.7%	100.0%	-13.1%	8.1%	5.9%	3.7%	8.2%	0.3	성장기	1.0	1.0	8.9%

■ 특허 빅데이터 상세 지표 분석결과로부터 기술부상도, 특허 시장성, 기술 파급성, 기술 장벽도, 한국의 경쟁력 등 종합분석을 통해 화이트바이오 유망 분야 도출

- (기술부상도) 전체기간 대비 최근 3년의 특허 점유율과 출원 증가율을 고려한 기술부상도는 C1가스 탄소자원화, 바이오매스기반 플라스틱, 천연물대체소재, 세포공장개발기술에서 높은 것으로 나타남

• 전체기간('08~'19년) 대비 최근 3년('17~'19년)의 출원 점유율 및 최근 3년간 연평균 출원 증기를 반영
기술부상도 = 전체기간 대비 최근 3년의 출원 점유율 + 최근 3년간 연평균 출원 증가율

- (특허 시장성) 특허 점유율과 시장확보력(PFS)을 반영한 특허 시장성은 C1가스 탄소자원화, 액체/기체 바이오연료, 생분해플라스틱, 바이오매스기반 플라스틱, 천연물대체소재, 세포공장개발기술, 스마트 바이오공정 개발기술에서 높은 것으로 분석됨

• 최근 3년('17~'19년)의 전체 화이트바이오 분야 출원 대비 해당 기술 분야의 특허 점유율 및 시장 확보력(PFS)* 반영
 특허 시장성 = 특허점유율 + 시장확보력
 * 시장확보력(PFS, Patent Family Size) : 발명 1건당 평균적으로 출원하는 대상 국가의 수로서 해당 기술분야의 시장성을 판단하는 지수(평균 1보다 클수록 시장 확보력이 큰 것으로 해석)

- (기술 파급성) 최근 3년 특허 점유율과 특허영향력지수(PII)를 반영한 기술 파급성은 액체 바이오연료와 생분해플라스틱에서 가장 높은 것으로 분석됨

• 최근 3년 특허 점유율 및 특허영향력지수(PII)* 반영
 기술 파급성 = (특허영향력 × 특허점유율) + 특허영향력지수
 * 특허영향력(CPP, Cites per Patent) : 피인용지수로 특허의 질과 기술적 영향력을 의미
 * 특허영향력지수(PII, Patent Impact Index) : 특허의 기술적 가치, 중요도 및 영향력을 판단하는 지표로 미국등록특허를 기준으로 분석 대상의 평균 피인용도를 산출하여 해당 분야별 특허영향력을 확인하는 지수 (평균 1보다 클수록 특허 영향력이 큰 것으로 해석)

- (기술 장벽도) 국내외 TOP5 출원인 점유율과 기술성장주기를 반영한 기술 장벽도는 고체/액체/기체 바이오연료, 유기성 폐자원의 탄소자원화, 생분해플라스틱, 정밀/특수화학소재, 천연물대체소재, 생촉매개발기술, 세포공장개발기술, 스마트 바이오공정 개발기술에서 진입 장벽이 낮음

• 해외 및 국내의 TOP5 출원인 점유율과 기술성장주기* 반영
 기술 장벽도 = (해외 TOP5 출원인 점유율 + 국내 TOP5 출원인 점유율 + 기술성장주기) / 3
 * 기술성장주기는 태동기 0.2, 성장기 0.4, 성숙기 0.6, 쇠퇴기 0.8로 변환하여 계산에 적용

- (한국의 경쟁력) 전체 기간과 최근 3년 한국의 점유율을 반영한 한국의 경쟁력은 바이오탄소(중분류 기준) 하위 C1가스탄소자원화와 유기성 폐자원의 탄소자원화에서 우수한 것으로 분석됨

• 전체 기간 한국의 점유율 및 최근 3년 한국의 점유율 반영
 한국의 경쟁력 = 전체기간 한국의 점유율 + 최근 3년 한국의 점유율

〈표 7〉 화이트바이오 15대 핵심분야별 특허 빅데이터 평가결과

중분류	핵심분야	기술 부상도	특허 시장성	기술 파급성	기술 장벽도	한국의 경쟁력
바이오 탄소	C1 가스 탄소자원화	0.48	2.27	0.40	0.56	0.47
	유기성 폐자원의 탄소자원화	0.29	0.55	1.52	0.17	0.56
	C5/C6/지질 탄소자원화	0.13	0.79	2.06	0.38	0.14
	리그닌 탄소자원화	0.36	0.84	0.85	0.34	0.21
바이오 에너지	고체 바이오연료	0.01	0.91	0.37	0.30	0.18
	액체 바이오연료	0.05	1.34	3.11	0.29	0.19
	기체 바이오연료	0.23	1.24	2.44	0.28	0.11
바이오 화학 소재	생분해플라스틱	0.16	1.48	3.91	0.21	0.10
	바이오매스기반 플라스틱	0.48	1.54	0.30	0.39	0.11
	정밀/특수 화학소재	0.29	1.00	0.76	0.24	0.28
	천연물 대체소재	0.42	1.13	0.86	0.21	0.25
	기능성 산업소재	0.39	0.53	0.34	0.38	0.04
	생촉매 개발 기술	0.39	0.80	0.41	0.28	0.32
	세포공장 개발기술	0.53	1.53	0.81	0.29	0.18
	스마트 바이오공정 개발기술	0.35	1.48	0.72	0.23	0.10

* (지표별 판단기준) 기술 부상도 : 0.2 미만(△), 0.2 이상 0.4 미만(O), 0.4 이상(◎)

특허 시장성 : 0.7 미만(△), 0.7 이상 1.0 미만(O), 1.0 이상(◎)

기술 파급성 : 1.5 미만(△), 1.5 이상 3.0 미만(O), 3.0 이상(◎)

기술 장벽도 : 0.3 미만(△), 0.3 이상 0.4 미만(O), 0.4 이상(◎)

한국의 경쟁력 : 0.15 미만(△), 0.15 이상 0.4 미만(O), 0.4 이상(◎)

〈표 8〉 화이트바이오 15대 핵심분야별 유망 우선순위 평가결과 종합

(◎ : 좋음, O : 보통, △ : 나쁨)

중분류	핵심분야	기술 부상도	특허 시장성	기술 파급성	기술 장벽도	한국의 경쟁력	종합*
바이오 탄소	C1 가스 탄소자원화	◎	◎	△	높음	◎	◎
	유기성 폐자원의 탄소자원화	O	△	O	낮음	◎	◎
	C5/C6/지질 탄소자원화	△	O	O	보통	△	△
	리그닌 탄소자원화	O	O	△	보통	O	O
바이오 에너지	고체 바이오연료	△	O	△	낮음	O	O
	액체 바이오연료	△	◎	◎	낮음	O	◎ (1위)
	기체 바이오연료	O	◎	O	낮음	△	◎
바이오 화학 소재	생분해플라스틱	△	◎	◎	낮음	△	◎ (2위)
	바이오매스기반 플라스틱	◎	◎	△	보통	△	O
	정밀/특수 화학소재	O	O	△	낮음	O	O

중분류	핵심분야	기술 부상도	특허 시장성	기술 파급성	기술 장벽도	한국의 경쟁력	종합*
바이오 화학 소재	천연물 대체소재	◎	◎	△	낮음	○	◎ (3위)
	기능성 산업소재	○	△	△	보통	△	△
	생촉매 개발 기술	○	○	△	낮음	○	○
	세포공장 개발기술	◎	◎	△	낮음	○	◎ (4위)
	스마트 바이오공정 개발기술	○	◎	△	낮음	△	○

* 종합 - ◎(2점), ○(1점), △(0점) 기준으로 점수 부여 및 합산을 통해 상위 분야 선별, 산업동향 고려한 유망 분야 도출(총점 6점 이상은 좋음, 총점 4점 이상은 보통, 총점 4점 미만은 나쁨으로 종합 평가)

- 화이트바이오 15개 핵심분야에 대한 특허분석 결과를 토대로 전문가 검토를 통해 액체 바이오연료와 생분해플라스틱 분야가 우선순위가 높은 유망 분야로 도출되었으며, 이들 분야는 공통적으로 특허의 시장성과 기술 파급성이 높게 나타남
 - (액체 바이오연료) 최근 3년간 특허 증가율 10.7% 감소 등을 고려 시 기술 부상도는 다소 낮으나, 특허의 시장성 및 파급성이 높으며, 국내에서도 일부 경쟁력을 보유하고 있음
 - (생분해플라스틱) 최근 3년간 특허 증가율이 18.5%로 감소 추세이나, 화이트바이오 전체 특허 중에 특허 점유율이 가장 높은 분야(60.2%)로 특허의 시장성과 기술 파급성이 높음
- 액체 바이오연료와 생분해플라스틱 다음으로 천연물 대체소재와 세포공장개발기술 분야가 유망 분야로 도출되었으며, 이들 분야는 공통적으로 기술 부상도와 특허 시장성이 높은 것으로 분석됨
 - (천연물 대체소재) 전체 기간 대비 최근 3년 특허 출원율(38.6%)이 높고 국내 특허 점유율은 14.5%로 기술 파급성이 다소 낮지만, 기술 부상도와 특허의 시장성이 높음
 - (세포공장 개발 기술) 최근 3년간 특허 출원율이 가장 높은 비중(57.3%)을 차지하는 분야로 기술 부상도가 가장 높으며, 특허의 시장성이 높고 진입장벽이 낮아 경쟁력이 있음

IV

화이트바이오 유망 분야별 주요 동향 및 국내 현황 진단

■ 화이트바이오 분야를 대표하는 바이오화학산업의 개념과 범위에 따라 글로벌 시장규모는 95~6,417억 달러, 연평균 성장률은 8.9~15.1%로 추정

- 「바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제(2020.1.)」에 따르면, 바이오화학산업은 크게 바이오연료, 바이오리파이너리, 바이오플라스틱 분야로 구성

바이오연료	바이오리파이너리	바이오플라스틱
바이오알콜·디젤 등 바이오매스 기반 연료	바이오소재·연료 추출·가공 등을 바탕으로 바이오 화학제품 등을 생산하는 공정 과정	바이오매스 기반의 고분자 플라스틱

- 글로벌 바이오화학산업에 대한 개념과 범위가 상이*하여 시장규모가 달리 산정되고 있으나 매년 10% 이상의 고성장이 전망되는 분야

* 조사기관에 따라 의약 및 농업·식품 바이오 분야를 포함

〈표 9〉 글로벌 바이오화학 시장규모 및 전망

조사기관	시장규모(연도)	연평균 성장률(기간)
Grand View Research	2,033억 달러 (2015)	10.2% ('16~'24)
Inkwood Research	95억 달러 (2019)	14.5% ('19~'28)
ReportLinker	3,199억 달러 (2020)	8.9% ('20~'27)
Modor Intelligence	6,417억 달러 (2020)	15.1% ('21~'26)
The MarketWatch	1,346억 달러 (2019)	10.5% ('20~'27)

자료 : S&T GPS(2021.11.12.), 바이오화학산업·정책 동향 및 시사점

■ 국내 바이오화학산업(바이오에너지 포함)은 글로벌 시장에서 차지하는 비중이 미미한 수준

- 국내 바이오화학(바이오에너지 포함) 분야의 국내 매출 및 수출 규모는 2020년 기준으로 각 1.8조원 및 3.2천억 원으로 글로벌 시장에서 차지하는 비중이 0.3% 정도로 미미한 수준임
- GS칼텍스, CJ제일제당 등 기존 석유화학 대기업 및 소재 개발 기업들이 사업영역을 확대하여 바이오에너지 및 바이오소재 개발을 추진하고 있음

※ GS칼텍스는 석유계 폴리올(Polyol)을 대체할 수 있는 2,3-Butanediol의 바이오공정 및 기술을 세계 최초로 개발하여 그린다이를 상표권 등록 후 연산 300톤 규모로 상용화 성공

1. 액체 바이오연료

■ 액체 바이오연료는 수송용 연료로 휘발유를 대체하는 바이오에탄올과 경유를 대체하는 바이오디젤이 대표적이며, 우리나라에서는 발전용 중유를 대체하는 바이오중유가 개발·보급되어 있음

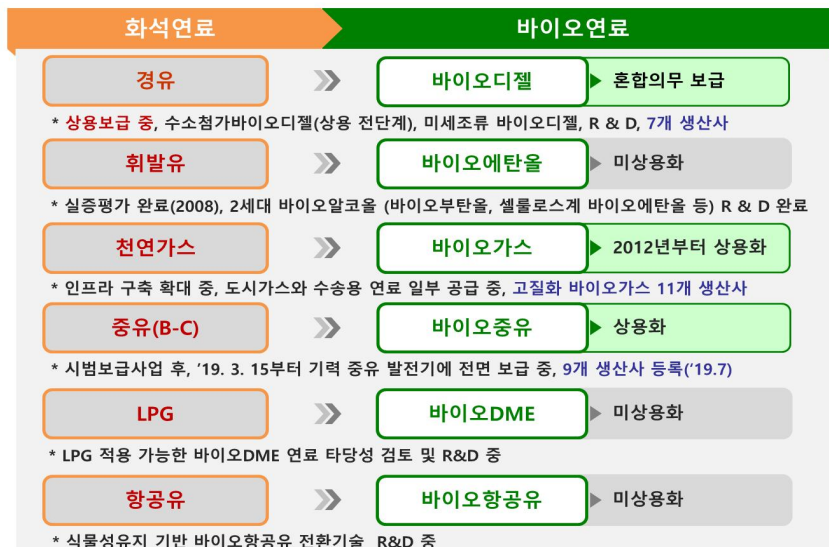
- 바이오에탄올은 당질계(사탕수수 등), 전분계(옥수수 등) 작물을 가수분해·발효시켜 생산하며, 식량을 연료로 사용한다는 윤리적인 문제를 피하기 위해 셀룰로오스계(풀, 나무 등) 바이오에탄올을 생산하는데 필요한 전처리 공정이 개발되고 있음
 - 개발 중이거나 상용화된 바이오에탄올과의 가격 경쟁력이 주요 이슈이며, 전처리 과정에서 당화·발효 공정에 저해 영향을 주는 부산물의 생성 및 비용을 최소화하는 방향으로 전처리 공정이 개발되고 있음
 - 바이오에탄올의 낮은 에너지 밀도, 엔진 부식, 친수성 등의 문제를 극복할 수 있는 휘발유 대체로 바이오부탄올이 주목받고 있으며, 독성 극복과 높은 부탄올 회수공정 비용을 낮추기 위한 기술개발이 진행되고 있음
- 바이오디젤은 동식물성 유지를 화학반응(주로 전이에스테르화반응)시켜 생산하며, 유지 원료를 수소화 반응시켜서 산소를 제거하고 후처리를 통하여 기존 경유와 조성이 유사한 수첨(Hydro-treated) 바이오디젤이 개발되어 상용화 됨
 - 최근 식량·에너지·환경 문제로 인해 3세대 원료인 미세조류 바이오디젤에 대한 관심이 증대되면서 고지질 미세조류종 개발, 대량 배양, 수확 및 오일 추출, 부산물 활용에 관한 연구가 진행되고 있으며, 연중 대량 배양에 따른 고효율 오일 추출기술이 주요 이슈임
- 바이오중유는 바이오디젤 원료보다 더 저급의 유지 원료를 사용하여 전처리·처리·혼합 공정을 거쳐 생산되며, 우리나라는 폐식용유를 재활용하여 바이오디젤을 생산하고 그 과정에서 발생한 공정 부산물을 원료로 바이오중유를 생산하여 세계 최초로 전면 보급함
- 석유계 항공유 대체 수단으로 식물성 유지 기반의 바이오항공유가 개발되어 유럽 중심으로 상용화되고 있으며, 목질계 바이오열분해오일은 엔진·터빈에 활용하려면 고온·고압에서 수소화 반응을 이용하여 업그레이딩 해야 하므로 아직은 경제성이 부족

■ 액체 바이오연료의 공급량은 2020년 기준 4% 수준에서 2050년에는 14%까지 증가할 것으로 전망되고 있음(IEA, 2020)

- 2000~2018년 바이오에너지 소비량의 연평균 성장률은 2%이며 그 중 액체 바이오연료의 성장률이 13%로 가장 높고 그 다음은 바이오가스로 9% 수준
- 2019년 기준 국내 바이오에너지의 종류를 보면, 목재펠릿의 비중이 37.1%로 가장 높고, 그 다음으로 액체 바이오연료의 비중이 30% 수준

■ 우리나라의 경우 2020년 기준 수송용 바이오디젤, 발전용 바이오중유, 발전용·도시가스용 바이오가스가 상용화되어 보급되고 있으며, 수송용 바이오에탄올은 아직 상용화 이전 단계로 실증 기반의 R&D만 진행되고 있음

- 바이오디젤은 2006년부터 상용화되어 생산업자는 8개사가 2022년 현재 자동차용 경유에 3.5% 혼합 보급하고 있으며, 수첨 바이오디젤은 국내 전환기술 R&D를 완료하여 상용화 전 단계임
- 바이오중유는 전면보급 이후 석유사업법에 따라 법적으로 정식 등록된 생산업자는 9개사로 연간 생산능력이 연간 214만 kL 수준



자료 : 김재곤(2021), 석유대체연료 현황, 한국석유관리원 세미나 발표자료

[그림 1] 국내 바이오연료의 R&D 및 상용화 현황

2. 생분해플라스틱

■ 생분해플라스틱은 크게 천연물 합성계, 화학 합성계, 미생물 합성계로 나눌 수 있으며, 단일 소재보다는 생분해성 소재를 혼합하여 사용

- 바이오플라스틱은 원료, 분해 메커니즘, 생산방법에 따라 생분해플라스틱(Biodegradable plastics), 바이오베이스 플라스틱(Bio-based plastics)으로 구분
- 천연물 합성계 생분해플라스틱은 물성 개선, 유통 중 분해 방지, 가격경쟁력, 생산성 등의 문제점으로 인해 천연물 합성계 및 화학 합성계 생분해성 플라스틱 원료를 혼합사용
- 바이오베이스 플라스틱은 식물체 바이오매스를 20~25% 이상 함유하고 있어, 이산화탄소 저감 효과 측면에서 생분해성 플라스틱과 차별성을 가짐
 - 바이오매스 20~40%와 플라스틱 60~80%를 혼합 사용한 바이오베이스 플라스틱은 생분해성 플라스틱보다 생산성이 우수하고 가격이 저렴할 뿐만 아니라 재활용할 수 있어 일반 플라스틱과 함께 분리배출이 가능

■ 세계 바이오플라스틱 생산 능력이 2021년 약 241만 톤에서 2026년 759만 톤으로 254.7% 성장할 것으로 전망(European Bioplastics, 2021)

- 2021년 기준으로 글로벌 바이오플라스틱 시장에서 생분해성 플라스틱 소재는 64.2%를 차지하였으며, 향후 바이오플라스틱 시장에서 난분해성보다 생분해성 소재의 비중이 늘어날 것으로 전망됨
- 2019년 기준 국내 바이오플라스틱 시장은 약 4만 톤 규모로 국내 플라스틱 시장의 0.5%를 차지하며, 세계 바이오플라스틱 시장의 1~2% 내외를 점유

■ 국내는 기존의 석유계 플라스틱에 비해 생분해플라스틱의 경제성이 낮아 개별 기업이 독자적으로 사업화를 추진하기는 어려운 실정

- 글로벌 기업들은 생분해플라스틱(PLA, PHA, PBAT, PBS 등)⁵⁾ 기반의 제품 상용화를 추진하고 있으며, 바이오베이스 플라스틱을 적용한 제품*의 상용화에는 성공

* 바이오유래 PET 음료병(코카콜라, 펩시콜라), 자동차 좌석 및 내장재에 바이오유래 고분자물질(포드, 도요타), 블록 소재 대체(레고), 바이오 폴리우레탄 운동화(나이키, 리복) 등

5) PLA(Polylactic acid), PHA(Polyhydroxy alkanoate), PBAT(Polybutylene adipate-co-terephthalate), PBS(Polybutylene succinate)

- 국내의 경우 생분해플라스틱은 대부분 수입에 의존하고 있어, 국산화를 위한 바이오플라스틱 전주기(원료-소재-제품-순환) 요소기술 개발과 실증이 필요
- 생분해플라스틱의 국내 생산 및 사용량 증가에 따른 재활용 및 업사이클링 등의 탄소순환 필요

3. 천연물 대체소재

■ 천연물 대체소재는 바이오매스를 원료로 미생물 발효, 효소 전환 등 생물공학기술을 이용하여 기존 천연물을 생산하는 동·식물 추출공정 대신 천연물(가죽, 섬유, 우유, 계란, 치즈 등)을 대체하는 소재

- 바닐린 등 세포공장을 이용해 최종산물을 생산하는 경우도 있으나, 가죽, 섬유 등 중간산물 생산 이후 가공 단계를 거쳐야 하는 천연 소재도 있어 전후방 산업과의 연계가 필요한 분야임

■ 선진국 중심으로 동·식물 추출로부터 고가인 천연 소재의 지속가능한 수급을 위해 미생물로부터 대량 생산하는 기술 개발이 이루어지고 있음

- 유럽의 Evolva社는 바닐라향을 내는 원료인 바닐린(vanillin)을 미생물 발효로 생산하여, 식품 소재로 미국 FDA로부터 천연바닐린으로 인정됨

※ 식물로부터 추출하거나 미생물 발효로부터 생산된 바닐린은 고가(US\$1,200~4,000/kg)이나, 펄프 등에 포함된 리그닌으로부터 화학전환 시 저가(US\$10/kg)로 판매됨

- 동물 추출에 의존해 오던 다양한 천연 소재들이 바이오공법으로 생산되어 비거노믹스(Veganomics) 시대에 맞는 바이오소재들이 개발되고 있음

※ (美 Modern Meadow社) 생체조직 합성공법으로 생산된 콜라겐 생성 세포로 가죽 제품을 출시, (美 Perfect Day Foods社) 미생물 발효를 통해 치즈 등의 낙농 소재를 개발하고 있음, (美 Memphis Meats社) 쇠고기/돼지고기/가금류 고기를 동물 없이 줄기세포에 산소, 당분, 미네랄을 공급하여 미트볼을 생산하는 기술을 개발하고 있음

- 국내의 경우 간 기능 개선제 우루사(UDCA), 염료 인디고(Indigo)를 미생물 기반으로 생산하는 기술을 산·학·연 컨소시엄을 구성하여 개발하고 있음

※ (에이스바이오팜) 생명연·카톨릭대 연구팀과 컨소시엄을 구성하여 동물유래 원료로부터 화학공정을 통해 생산되는 간 기능 개선제 우루사(UDCA)를 효모로부터 바이오매스를 이용하여 생합성하는 연구를 수행, (라비오) 아주대·건국대·홍익대·서울대 및 생명연과 컨소시엄을 구성하여 화학합성으로 생산되고 있는 염료인 인디고(Indigo) 또는 인디고 유도체를 미생물로부터 생산하는 연구를 수행

- 천연물 대체소재 생산을 위해 기업은 미생물 기반의 신규 생합성 경로 구축 또는 최종산물의 가격 경쟁력 등을 우선적으로 고려하여 생물공정 기반의 원천기술 확보 및 다운스트림 공정 구축을 추진하고 있음
- 선진국에서는 바닐린 등 고가인 천연 소재를 미생물 기반으로 대량 생산하기 위해 식품·제약·화학회사들은 첨단 기술을 보유한 바이오벤처와의 협력이 활발하고 데이터 기반의 생물공정으로 전환하고 있음
- 국내는 식품기업 중심으로 천연물대체소재 산업수요를 맞추기 위해 산·학·연 컨소시엄을 통해 업스트림(Upstream) 소재생산기술 개발에 치중하고 있으며, 데이터 기반의 생산공정 고도화는 아직 초기단계임

4. 세포공장 개발 기술

- 세포공장은 생명공학에서 유용물질 생산에 사용되는 모든 미생물·식물·동물 세포를 의미하며, 화이트바이오를 대표하는 바이오화학산업 전반에 접목될 수 있는 소재 생산 기술로써 각광받고 있음
- 세포공장 기술은 유전체 재조합 기술을 기반으로 하고 있어 현재 LMO 규제에 의한 산업적 활용에 제약이 따르기 때문에, 식품보다는 화장품, 의약품 소재 생산에 주로 활용되고 있음
- 세포공장은 레드/그린/화이트바이오 산업 전반에서 바이오소재 생산에 활용도가 높은 플랫폼 기술로 볼 수 있으며, 본고에서는 화이트바이오 산업에 국한하여 바이오화학 소재 생산을 위한 세포공장 기술을 분석 대상으로 함
- 탄소중립, ESG 관점에서 석유화학을 대체하는 화이트바이오 산업 전반에 세포공장 기술의 도입 필요성이 증대됨에 따라 전 세계적으로 기존 대비 생산성이 좋은 세포공장 구축 및 생산공정 개발에 집중하고 있음
- 분자생물학, 대사공학, 시스템생물학, 합성생물학 기술의 발전으로 새로운 재조합 세포공장 구축, 대용량 정보 기반의 스크리닝 및 자동화 등이 가능해짐에 따라 화이트바이오 산물의 수율 및 생산성이 지속적으로 성장하고 있음
- 최적화된 세포공장 구축을 위해 불필요한 유전자들이 제거된 인공유전체 제작 연구와 함께 다양한 무작위적인 개량균주 집합에서 원하는 개체를 선별하는 기술이 개발됨
 - ※ 크리스퍼(CRISPR) 기반 기술, 올리고(Oligo) 기반 기술, RNA 기반 기술, 재조합효소 기반 기술 등이 세포공장 균주 개량에 적용되고 있음

■ 다국적 대기업들은 국가별 환경·산업 규제에 대응하기 위해 석유유래 화합물 소재를 바이오 신소재로 대체·전환하고 있으며, 바이오 전문기업과의 협력·합작을 통해 원료공급부터 제품생산까지 통합 시스템 구축

- 미국 화학기업 DuPont社は 15년간 1.3억 달러를 투입하여 복합재료, 접착제 등에 사용되는 소재인 1,3-Propanediol 생산 세포공장 구축 및 생산공정 개발에 성공하였으며, 네덜란드 바이오회사 Tate&Lyle社와 합작 회사를 설립하여 바이오리파이너리 사업에 진출
- Genomatic社は 바이오매스를 활용하여 화장품 및 헬스케어 소재로 사용되는 1,3-Butanediol의 상용화에 성공하고 2019년 1월부터 생산하기 시작
- Gevo, Viridos, Global Bioenergies, Microvi Biotech, LanzaTech 등의 기업들은 세포공장의 발효를 통한 바이오디젤, 에탄올, 이소부탄올, 부틸아세테이트 등을 생산하는 사업을 수행
- 미국 Amyris社와 프랑스 제약회사 Sanofi社は 말라리아 치료제인 artemisinin 생산 세포공장 구축 및 상용화를 위해 10년간 5천만 달러 투입

■ 국내는 대학을 중심으로 바이오화학 소재를 생산하기 위한 세포공장을 구축 연구가 활발하며, 다양한 세포공장 원천기술과 바이오매스 원료가 부족하여 국내 기업들은 원료가 있는 해외 바이오기업과의 협력을 추진

- 바이오 및 화학 반응들에 대한 정보를 총망라해 세포공장에서 화학제품을 생산하는 경로를 정리하여 ‘바이오 기반 화학물질 합성 지도’를 완성(Lee S. Y. et al., 2019)
- 합성생물학 및 대사공학을 이용하여 온실가스의 하나인 메탄에서 다양한 화학물질을 생산하는 메탄자화균 기반 세포공장 구축 연구 수행(Nguyen A. D. & Lee E. Y., 2021)
- 국내의 석유화학회사 GS칼텍스는 한국과학기술원과 함께 고성능의 바이오부탄올 생산 세포공장 구축 및 상용화를 시도
- CJ, 대상 등 국내 식품기업 중심으로 세포공장을 이용한 바이오플라스틱 생산 등 제품 포트폴리오를 다양화하고 바이오매스 등 원료를 가지고 있는 해외 바이오기업과의 협력 확대를 추진하고 있음

V

화이트바이오 산업 활성화를 위한 유망 분야별 정부지원 방안

■ 그린뉴딜 정책과 밀접하게 연관된 화이트바이오 분야의 분류체계 정립과 분야별 정부R&D 투자 규모를 고려한 범부처 차원의 중장기 R&D 투자전략을 토대로 화이트바이오 산업 육성이 필요

- CO₂ 배출, 환경오염 등의 문제 해결을 위한 대안으로 화이트바이오 기술이 바이오연료, 바이오플라스틱, 바이오 기반 정밀·특수화학제품(의약품 중간체, 화장품 원료, 효소 등) 분야로 적용이 확대되고 있음
- 산업부, 과기정통부 등 부처별로 화이트바이오 분류체계(기술 또는 품목 기준)가 다르게 정의되어 있으며, 화이트바이오 산업 전반에 대한 범부처 차원의 R&D 투자전략이 부재
- 국내의 경우 바이오 전체 중에서 화이트바이오 정부R&D 투자는 2021년 기준 831억 원 (9.1%)으로 일부 부처 위주로 연구개발이 추진되고 있음

※ 2021년 정부연구개발 예산 기준 레드바이오 6,869억 원, 그린바이오 1,453억 원, 화이트바이오 831억 원('21년 생명공학육성시행계획)

■ 본고에서는 화이트바이오 분류체계와 특허 데이터 분석을 통해 도출한 화이트바이오 유망분야를 신산업으로 육성하기 위한 세부영역별 정부지원 전략을 구체화하여 제시

- 화이트바이오 분야의 다양한 정책영역*별 기업 수요를 파악하기 위해 국내 기업(7개) 대상의 심층인터뷰와 학·연 전문가(총 8명) 검토를 수행

* 연구개발, 실증, 사업화, 기업참여, 인프라, 시장, 규제/제도, 세제, 인력 등

- 화이트바이오 기업 대상 심층인터뷰 결과와 화이트바이오 유망분야별 국내의 기술발전 추이와 산업화 여건 등을 종합적으로 고려하여 세부영역별 정부지원 전략을 마련

■ 특허 데이터 분석 결과 가장 유망한 것으로 도출된 액체 바이오연료, 생분해플라스틱 분야의 경우, 초기 시장 창출 및 핵심기술 확보를 위한 정부의 역할이 중요

- (액체 바이오연료) 석유 유가변동, 자동차 내연기관 발전 동향 등을 감안하여 국내 중점분야에 대한 기술개발 전략 마련 및 수송 분야의 바이오선박유와 바이오항공유에 대한 국내 보급 인프라와 제도 개선

- (연구개발) 원천성과 상용화 가능한 바이오연료를 기존 도로용 중심에서 해운용, 항공용으로 확대하여 수송 전 부문에 적용할 수 있는 첨단 바이오연료 기술 개발에 주력
- (실증/사업화) 저급유지 활용 바이오중유 공정 구축, 유지계 원료 기반 바이오경유, 바이오중유 선박유 실증 등 단기간에 가능한 실증 및 플랜트 구축 지원
- (기업참여) 기 개발 성과가 있는 대기업의 R&D 참여를 적극 유도하고, 관련 세제혜택 등 인센티브 부여 방안 검토
- (인프라) 친환경 생산 시스템 구축을 위한 합성생물학 기술을 적용한 전처리 과정을 고도화하거나, 합성 미생물을 이용한 차세대 바이오연료 생산 등 신기술 적용을 확대
- (시장) 국내 상용화기술 개발을 통해서 가용 에너지 자원이 풍부하지만 기술력이 부족한 동남아 지역의 급성장하는 시장 선점 및 해외 진출 전략 마련
- (규제/제도) 수송 분야에서 RFS 제도 적용 분야를 기존 도로에서 해운과 항공분야로 확대 개편하고, 적용 가능한 바이오연료 발굴과 바이오디젤, 바이오중유 같은 폐자원 순환 시스템의 개발 보급 확대와 기력발전소 폐지 계획을 선박용 바이오중유로 전환하는 제도 검토
- (세제) 바이오선박유와 바이오항공유 등의 신규 바이오연료 도입과 보급에 따른 산업 경쟁력 확보 및 시장 안착을 위한 생산기업의 세금감면 또는 석유제품 대비 고가인 신규 바이오연료의 사용자에게 대한 가격보조 등 검토
- **(생분해플라스틱)** 기업 유형별(대/중견/중소) 주력분야에 따른 수요자 맞춤형 정부지원 전략이 필요하며, 생분해플라스틱 소재 다양화와 제품개발 스케일업을 위한 지원 확대
 - (연구개발) 국산화 경쟁력이 있는 품목을 중심으로 생분해플라스틱 원료-소재-제품-인증-순환에 필요한 산학연 협력 기반의 전주기 요소기술 개발에 주력
 - (실증) 배양, 대량생산 설비가 부족하여 상용화 중간과정에서의 시범 테스트가 가능하고, 플라스틱 회수, 폐기 등 자원순환을 고려한 실증 설비 구축 필요
 - (사업화/기업참여) 국내는 기업 규모별 주력분야가 다른 점을 고려하여 수요기업과 공급기업 간 정부지원 방안을 차별화하여 수요자 맞춤형 지원

〈표 10〉 생분해 플라스틱 소재 분야별 기업지원 제도 수요 (예시)

소재생산 기업	소재활용 기업	산업지원 기업
신규 소재 생산 관련 위해성 심사, 등록 관련 절차 간소화 필요, 소재 생산 및 성능평가를 위한 공공 인프라 필요, 인증제도 세분화, 탄소 기반 소재 사용 규제 제도 등	글로벌 수준의 화이트바이오 제품에 대한 국내 인증제도 및 기관 설립, 생분해성 플라스틱 인증제도 다양화, 생분해성 플라스틱 처리시설 확충, 화이트바이오 제품 의무사용 제도, 전문인력 양성 등	국내 장비 관련 국가 표준화 및 규제 완화, 국산 장비 의무 구매 제도, 국산 장비 의무 구매 제도, 국내 장비의 상용화를 위해 첨단 장비 제작 과제 지원, 국산 장비를 적극 활용하는 시범 사업 또는 CMO 사업 추진 등

- (인프라) 대기업, 중견기업이 참여해서 시설, 인프라를 공동 활용할 수 있는 환경 조성 및 가공업체, 원료업체간 상호 협력할 수 있는 기술협력 기반 마련
- (시장) 생분해 소재 의무사용, 정부우선구매제도 활성화 등 시장 확보를 위한 정부 주도의 초기 시장 형성 노력이 중요
- (규제/제도) 식품용기나 빨대 등 기존 합성플라스틱을 대체하는 용기가 만들어지더라도 최종산물에 재조합 유전자 잔존 여부에 대한 검증을 받음으로써 소비자 신뢰도 제고
- (세제) R&D 세제 혜택 이외에 초기 투자를 감안하여 인프라 구축 시 세제 혜택 지원

■ 액체 바이오연료, 생분해플라스틱 다음으로 화이트바이오 유망 분야로 도출된 천연물대체소재와 세포공장개발기술의 경우 원천기술 확보와 더불어 실증/사업화를 위한 대량생산 공정 체계 구축이 중요

- (천연물 대체소재) 바이오공법 기반 소재 자원의 한계 극복을 위한 소재 생산 원천기술을 확보하고, 데이터 기반의 스마트 자동화 생산체계 구축을 통해 최종산물의 가격 경쟁력 등 산업 경쟁력 확보
 - (연구개발) 동·식물 추출공정 대신 바이오공법 기반의 천연물 대체소재 생산 및 소재 자원의 한계 극복을 위해 생촉매 및 생산공정 확보를 위한 원천기술 개발 지원
 - (실증/사업화) 바이오공법 기반 천연물 대체소재의 산업 경쟁력 확보를 위해 업스트림(Upstream) 소재생산기술과 다운스트림(downstream) 생산·정제공정이 데이터 기반으로 운영되는 스마트 자동화 생산체계 구축
 - (인프라) 탄소중립, ESG 관점에서 국내외 산업수요에 대응하기 위해 국내 기업들이 바이오공법 기반 천연물대체소재 생산으로 전환할 수 있도록 인프라 구축 지원

※ 화이트바이오 시범단지 조성(파일럿 스케일의 장비 구축, 기업 교육 및 서비스 제공 등)

- (규제) 식품을 제외한 미생물 기반 GMO 천연물대체소재 개발 및 생산공정 관련 인증 등 선진국 대비 국내 허가·인증 프로세스 개선 검토
- **(세포공장 개발 기술)** 시스템대사공학, 합성생물학 기술 등을 활용한 세포공장 원천기술의 확보가 중요하며, 기업 참여에 의한 다양한 세포공장 활용 생산제품의 상용화를 위해 파일럿 실증까지 고려한 쏜공정 개발 지원
 - (연구개발) 생물유래 폐기물, 석유유래 폐유기자원뿐 아니라 이산화탄소, 메탄과 같은 온실가스를 활용할 수 있는 세포공장 구축을 지원하고 고기능 세포공장 구축을 위한 다양한 기술*을 접목한 융합 연구 추진
 - * 생물정보학, 합성생물학, 시스템생물학, 대사공학, 효소공학 등
 - (실증) 바이오소재 생산을 위한 세포공장 제작·배양 단계의 핵심 원천기술을 확보한 이후 수율, 가격경쟁력 등의 측면에서 산업화 가능성 및 스케일업 검증을 위한 다운스트림(downstream) 파일럿 실증 지원
 - (인프라) 국가 차원에서의 다양한 화이트바이오 소재 포트폴리오를 구축하고 글로벌 경쟁력이 있는 세포공장의 신속 설계·제작·성능시험을 위한 인프라 구축 지원
 - (규제) 유전체 재조합 기반의 세포공장 기술은 LMO 규제로 인해 산업적 활용에 제약이 존재하므로, 산업적 활용도 제고를 위한 위해성 검사 간소화 등 규제 완화 방안에 대한 검토

참 고 문 헌

- 관계부처 합동 (2021), 「생명공학육성시행계획」
- 관계부처 합동 (2017), 「제3차 생명공학육성기본계획」
- 관계부처 합동(2021), 「탄소중립 연구개발 투자전략」
- 관계부처 합동(2020), 「바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제」
- 관계부처 합동 (2020), 「한국판 뉴딜」 종합계획
- 관계부처 합동 (2020), 「화이트바이오 산업 활성화 전략」
- 김재곤 (2021), 석유대체연료 현황, 한국석유관리원 세미나 발표자료
- 박지현 (2022), 그린뉴딜 연계 그린바이오·화이트바이오 핵심분야 도출 및 정부R&D 지원방향 수립 연구, 한국과학기술기획평가원
- 산업통상자원부·한국바이오협회 (2022), 2020년 국내 바이오산업 실태조사
- 산업통상자원부·한국생물공학회 (2021), 화이트바이오 산업 전략품목 로드맵 마련 연구
- 산업통상자원부 (2021), 2050 탄소중립을 위한 바이오산업의 새로운 도전 ‘화이트바이오 연대 협력 협의체’ 발족, 산업통상자원부 보도자료
- 유거송 외 (2017), 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, KISTEP Issue Weekly
- 전국경제인연합회 (2021), Global Insight Vol. 55. 화이트 바이오산업 현황과 과제
- 주정찬 & 이대희 (2019), 화이트바이오 국내외 동향 및 시사점, 한국생명공학정책연구센터 BioINpro
- 지식경제부 (2010), 바이오분야 산업화 촉진을 위한 중장기 전략 및 세부 추진방안 연구
- 최권영 & 안정오 (2021), 탄소중립 달성을 위한 국내 화이트바이오 산업 이슈, Bio economy brief, 한국바이오협회
- 특허청·한국특허전략기술개발원 (2021), 2021년 특허 빅데이터 기반 산업혁신 지원(그린에너지·바이오에너지)
- 특허청·한국특허전략기술개발원 (2021), 2020년 특허 빅데이터를 활용한 산업혁신전략 보고서 (재생에너지 산업)
- IEA (2020), <https://www.iea.org/reports/renewables-2020/transport-biofuels>

- EU (2019), Roadmap for the Chemical Industry in Europe towards a Bioeconomy, Strategy document & Action Plan(<https://roadtobio.eu/>)
- European Bioplastics (2021), Bioplastic market data
- Lee S. Y. et al. (2019), A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals, Nature Catalysis, 2, 18-33
- McCreath & Delgoda. (2017), Pharmacognosy : Fundamentals, Applications and Strategies
- Nguyen A. D. & Lee E. Y. (2021), Engineered methanotrophy: A sustainable solution for methane-based industrial biomanufacturing, Trends in Biotechnol. 39(4), 381-396
- S&T GPS (2021.11.12.), 바이오화학산업·정책 동향 및 시사점

KISTEP 이슈페이퍼 발간목록

발간호	제목	저자
2022-10 (통권 제330호)	국가연구개발사업 학생인건비 지급의 주요 쟁점과 제언	박일주·이지은 (KISTEP)
2022-09 (통권 제329호)	신산업 정책의 민관협력(PPP) 주요 이슈 분석	신동평·허정·권용완 (KISTEP)
2022-08 (통권 제328호)	감염병 위기대응 4대 영역별 핵심기술 및 정부R&D 지원방안	김주원·홍미영 (KISTEP)
2022-07 (통권 제327호)	일반국민은 2022년 정부R&D예산에 대해 어떻게 생각하고 있을까?	이승규·박지윤 (KISTEP)
2022-06 (통권 제326호)	「국가R&D 혁신방안」 추진과제 분석 및 향후 추진방향 제언	최창택 (KISTEP)
2022-05 (통권 제325호)	디지털 전환의 미래사회 위험이슈 및 대응 전략: 인공지능 역기능을 중심으로	구본진 (KISTEP)
2022-04 (통권 제324호)	대전환 시대의 과학기술혁신 정책 이슈	변순천, 구본진, 김성진, 김진하, 김현오, 박노언, 배용국, 오서연, 이원홍, 신동평, 정선민, 최창택 (KISTEP)
2022-03 (통권 제323호)	2030 국가온실가스감축목표에 기여할 10대 미래유망기술	이동기 (KISTEP)
2022-02 (통권 제322호)	국내외 환경변화에 따른 과학기술혁신 총괄기능 강화 방향	이정재 (KISTEP)
2022-01 (통권 제321호)	KISTEP Think 2022, 15대 과학기술혁신정책 아젠다	손병호·손석호 (KISTEP)
2021-20 (통권 제320호)	국가 R&D 기술사업화 핵심 영향요인 분석 및 시사점	황인영(KISTEP)
2021-19 (통권 제319호)	탄소중립 달성을 위한 정부 연구개발 정책 및 투자방향	한웅용, 전은진, 손영주(KISTEP)
2021-18 (통권 제318호)	유럽연합의 임무주도형 혁신정책의 특징과 시사점	강진원(KISTEP)
2021-17 (통권 제317호)	대학 기술지주회사제도 개선방안	정동덕(KISTEP)
2021-16 (통권 제316호)	규제자유특구 운영 현황 분석 및 제도 개선 제언	이재훈, 박일주(KISTEP)
2021-15 (통권 제315호)	성장동력 현황 분석 및 정책 제언 -D.N.A와 BIG3-	김진용 외(KISTEP)

발간호	제목	저자
2021-14 (통권 제314호)	R&D인프라의 실증 데이터 활용을 위한 주요 이슈와 정책제언	유형정, 김선재, 권정은, 이승필(KISTEP)
2021-13 (통권 제313호)	신입과학기술인의 역량 인식 차이 분석	김지홍, 주혜정(KISTEP)
2021-12 (통권 제312호)	공공 R&D 투자의 사회·경제적 파급효과 분석	엄익천(KISTEP), 황원식(전북대학교)



필자 소개

▶ 박지현

- 한국과학기술기획평가원 생명기초사업센터 연구위원
- 043-750-2366, jihyun@kistep.re.kr

▶ 홍미영

- 한국과학기술기획평가원 사업조정전략센터 센터장/연구위원
- 043-750-2413, myhong@kistep.re.kr

KISTEP ISSUE PAPER 2022-11 (통권 제331호)

|| 발행일 || 2022년 10월 6일

|| 발행처 || 한국과학기술기획평가원 전략기획센터
충청북도 음성군 맹동면 원중로 1339
T. 043-750-2300 / F. 043-750-2680
<http://www.kistep.re.kr>

|| 인쇄처 || 주식회사 동진문화사(T. 02-2269-4783)
