

# KIER

## 기술정책 Focus

### 화이트바이오 국내·외 현황 및 이슈 분석

1. 배경 ..... 5    2. 화이트바이오 국내·외 환경 분석 ..... 8    3. 화이트바이오 분야 이슈 분석 ..... 36  
4. 시사점 ..... 38    [참고문헌] ..... 39



Vol. 14, No. 5  
2020. 6.

# KIER

## 기술정책 Focus

한국에너지기술연구원 기후기술전략실에서 한국에너지기술연구원의  
주요사업(CO-2431)을 재원으로 수행한 결과를  
발췌·분석한 내용으로 동 내용 인용 시 출처를 밝혀야 합니다.  
편집자주

# 목차

C/O/N/T/E/N/T/S

<b>1. 배경</b> .....	<b>5</b>
가. 분석 배경 .....	5
나. 분석 대상 및 범위 .....	7
<b>2. 화이트바이오 국내·외 환경 분석</b> .....	<b>8</b>
가. 정책 동향 .....	8
나. 시장 및 산업 동향 .....	14
다. 기술개발 동향 .....	22
<b>3. 화이트바이오 분야 이슈 분석</b> .....	<b>36</b>
<b>4. 시사점</b> .....	<b>38</b>
<b>참고문헌</b> .....	<b>39</b>
<b>KIER 기술정책 FOCUS 발간 현황</b> .....	<b>42</b>

# 그림 목차

[그림 1-1] 2017년 재생에너지 기반 최종 에너지 소비 중 원별 비중 및 부문별 현황	5
[그림 1-2] 국제 유가 동향과 바이오연료 분야 연간 투자 동향	6
[그림 1-3] 바이오산업 3대 분류	7
[그림 2-1] 화이트바이오 산업의 시장 전망	14
[그림 2-2] GS칼텍스의 2,3-BDO 생산 공정 개요도	21
[그림 2-3] DOE/EERE BioEnergy Technology Office의 기술개발 프레임워크	23
[그림 2-4] DOE/EERE BETO의 2016~2019년간 기술 영역별 R&D 투자 현황	24
[그림 2-5] 일본 NEDO의 바이오항공유 개발 프로세스	29
[그림 2-6] 미국의 상용 또는 계획 중인 바이오화학제품 생산시설 현황	30
[그림 2-7] 유럽의 바이오리파이너지 현황	30
[그림 2-8] 바이오 기반 화학제품 합성지도	34

# 표 목차

〈표 2-1〉 글로벌 주요 바이오 화학제품 기업 동향 .....	16
〈표 2-2〉 글로벌 주요 바이오연료 기업 동향 .....	18
〈표 2-3〉 2018년 바이오산업 분야별 생산 및 내수 현황 .....	19
〈표 2-4〉 2016~2018년 바이오산업 분야별 수급 변화 추이 .....	20
〈표 2-5〉 국내 주요 바이오화학제품 기업 동향 .....	21
〈표 2-6〉 국내 주요 바이오연료 기업 동향 .....	22
〈표 2-7〉 미국 DOE/EERE BETO 프로그램 2020년 프로젝트 공고 현황 .....	25
〈표 2-8〉 유럽 BBI-JU 컨소시엄의 2019~2020년 프로젝트 공고 현황 .....	27
〈표 2-9〉 세계 바이오화학제품 관련 주요 R&D 프로젝트 현황 .....	31
〈표 2-10〉 세계 바이오파이너리 관련 주요 R&D 프로젝트 현황 .....	32
〈표 2-11〉 세계 바이오연료 관련 주요 연구개발 동향 .....	32
〈표 2-12〉 화이트바이오 관련 정부 R&D 투자 현황 .....	33
〈표 2-13〉 국내 바이오에너지/화학제품 관련 주요 연구개발 동향 .....	35
〈표 3-1〉 화이트바이오 분야 SWOT 분석 .....	36

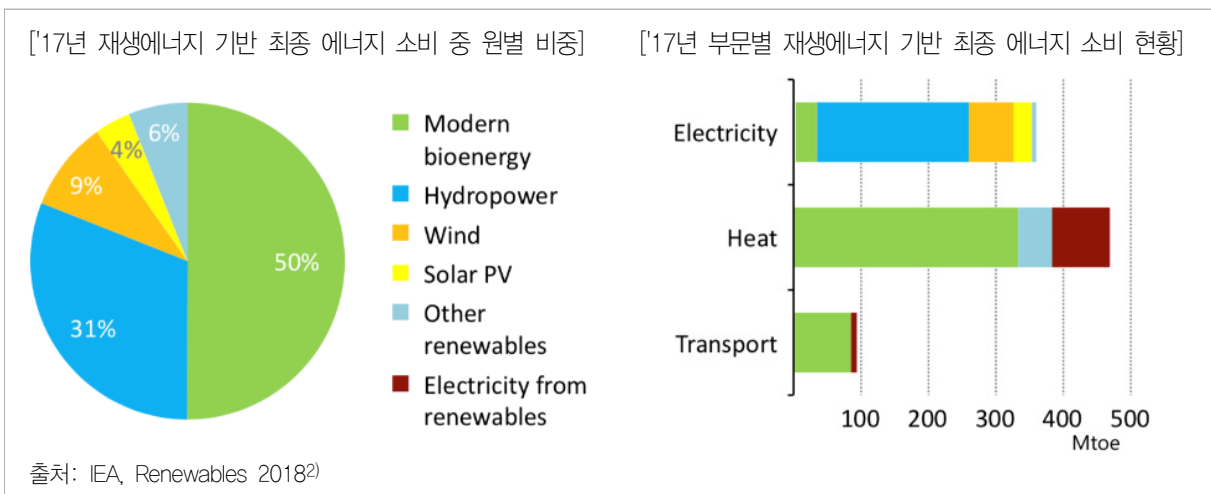




# 1 배경

## 가. 분석 배경

- 바이오에너지는 세계적으로 최종 에너지로 소비되고 있는 재생에너지의 50%(17년 기준)를 차지하며, 전력뿐만 아니라 열, 수송연료로도 활용이 가능하여 산업, 건물, 수송 등 다양한 에너지 소비 부문에서 온실가스를 감축할 수 있는 유일한 재생에너지원이나, 현재 이의 역할과 중요성에 대한 평가는 낮은 편
  - 세계에서 현대식 바이오에너지(460 Mtoe)\*는 태양광(34 Mtoe)과 풍력(84 Mtoe)에 의한 '17년 최종 에너지 소비의 약 4배를 차지하며, 타 재생에너지원 대비 열에너지 공급과 수송 부문에서 기여도가 큼
  - \* 전통적인 바이오매스 이용 제외
  - 우리나라에서도 바이오에너지는 '18년 신재생에너지 총 생산량과 발전량의 각 25%(4,442 천toe) 및 18%(9,363 GWh)를 차지하며<sup>1)</sup>, 국내 신재생에너지 보급에 매우 중요한 역할을 차지
  - 하지만, 최근 태양광·풍력의 급격한 기술 성장에 따라 전력 중심으로 재생에너지 확대가 추진되고, 일부 바이오매스의 지속가능성에 대한 부정적인 인식 등으로 인해 소외되고 있는 상황



[그림 1-1] 2017년 재생에너지 기반 최종 에너지 소비 중 원별 비중 및 부문별 현황

1) 한국에너지공단, 2018년 신·재생에너지 보급통계, 2019

2) IEA, Renewables 2018, 2018

□ 세계 최종 에너지 소비에서 전력부문의 비중은 '17년 약 20%에서 '40년 24~31%\*로 꾸준히 증가할 전망이지만<sup>3)</sup>, 에너지시스템의 전체적인 저탄소화를 위해서는 수송, 열, 화학제품 등 다른 에너지 소비 부문에서도 석유 등의 화석연료 의존도를 줄여나가야 할 필요

\* 시나리오별 최종 에너지 소비 중 전력 비중 전망('40년): New Policies Scenario 24%, Sustainable Development Scenario 28%, Future is Electric Scenario 31%(IEA, 2018)

• 바이오에너지는 바이오매스의 연료로의 전환을 통해 다양한 에너지 소비 부문에서 활용될 수 있을 뿐만 아니라, 화학제품으로의 전환을 통해 화석연료 유래 화학제품 대체도 가능

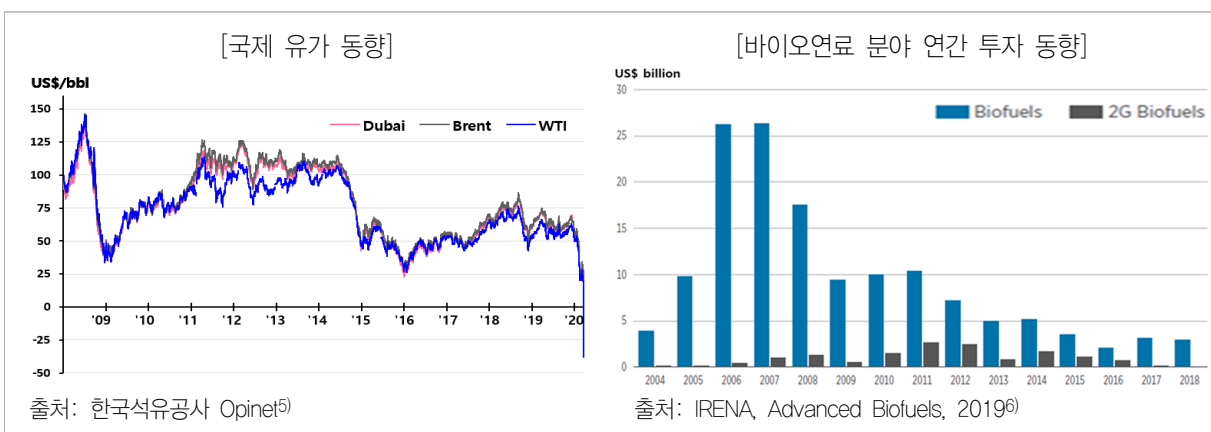
□ 바이오에너지 및 바이오화학제품 관련 산업은 주요국의 근간산업인 정유 및 석유화학 산업을 대체하는 산업이기 때문에 유가가 가장 큰 외부환경요인으로 꼽히며, 2014년 유가 하락을 시작으로 2010년대 초반 대비 저유가 기조가 장기화됨에 따라 관련 산업 분야가 많이 위축된 상황

• 미국의 셰일오일 생산량 증가, 원유 공급 과잉 및 수요 둔화 등으로 인해 '14년부터 하락하기 시작한 국제 유가는 '16년 이후 원유 수급 안정세로 상승국면에 접어들었으나,

• 최근 COVID-19 확산('20년 1월~)으로 인한 전 세계 석유 수요 위축, 사우디아라비아와 러시아의 감산 협상 결렬('20년 3월) 등의 영향으로 유가는 사상 초유의 마이너스 유가를 기록<sup>4)</sup>

\* WTI 기준 유가(US\$/bbl): ('14. 6) 105.15 → ('16. 2) 30.62 → ('19. 12) 59.80 → ('20. 4. 20) -37.63

• 바이오연료에 대한 투자도 유가 상승세가 지속되던 '06~'07년도에는 연간 250억 달러 이상을 상회하다가, 미국발 금융위기로 유가가 급락한 '08년도 후반 이후 투자가 대폭 위축되었으며 '16~'18년도에는 30억 달러 내외 수준이 투자되고 있는 상황



[그림 1-2] 국제 유가 동향과 바이오연료 분야 연간 투자 동향

3) IEA, World Energy Outlook 2018, 2018

4) Oil Spirals Below Zero in 'Devastating Day' for Global Industry, Bloomberg, 2020. 4. 21

5) 한국석유공사, Opinet, <https://www.opinet.co.kr> ('20.04.22 다운로드)

6) IRENA, Advanced Biofuels: What holds them back?, 2019

- 국제 유가 외에도 국가별 바이오에너지 보급 정책은 바이오에너지 및 바이오화학제품 시장 확대에 영향을 미치는 주요 외부요인 중 하나로서, 각국의 신재생연료 혼합의무화제도(RFS) 등을 비롯한 기후변화대응, 에너지 안보, 농업지원 정책이 바이오연료 생산 및 R&D 투자 확대의 주요 동인으로 작용
  - 하지만, 태양광·풍력 등 재생가능 발전원의 성장, 배터리 기술 발전에 의한 수송 부문의 전기화 추세 등 바이오에너지의 저탄소 경쟁기술이 대두되고 있어, 국내 바이오에너지는 에너지전환 정책에서 주요 바이오에너지 생산국 대비 상대적으로 소외\*받고 있는 상황
    - \* 폐기물·바이오 중심에서 태양광·풍력 중심으로 재생에너지 확대 방향 전환(재생에너지 3020 정책)
- 따라서, 본 분석은 위축 국면에 접어든 국내 바이오에너지 분야의 타개 전략을 모색하기 위해 국내·외 현황을 분석하고, 주요 이슈를 진단하여 연구개발 및 정책 추진 방향을 제언하고자 수행

## 나. 분석 대상 및 범위

- 본 연구에서는 바이오연료, 바이오파이너리 등의 전통적인 바이오에너지 개념에서 보다 확장하여 바이오매스를 원료로 생산한 바이오 화학제품까지 포함한 화이트바이오(White Bio) 분야를 대상으로 환경 분석을 수행
  - 바이오산업은 응용분야에 따라 크게 레드, 그린, 화이트바이오로 분류되며, 석유 등의 화석연료 대신 바이오매스를 원료로 바이오연료, 바이오소재, 바이오플라스틱 등의 화학제품을 생산하는 화학·에너지 분야를 화이트바이오로 지칭



[그림 1-3] 바이오산업 3대 분류

7) 관계부처 합동, 바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제, 2020

## 2

## 화이트바이오 국내·외 환경 분석

## 가. 정책 동향

## 1) 세계

- 바이오매스 자원이 풍부한 미국, 브라질, 유럽 등 주요국은 바이오 기반 순환경제 실현을 목표로 바이오연료 및 바이오 화학제품 등 다방면의 산업 활성화를 위한 정책적 지원 강화 지속
- (미국) 「바이오매스 연구개발법(Biomass R&D ACT of 2000)」을 근거로 바이오매스 R&D를 적극 지원해왔으며, 2018년 트럼프 대통령은 바이오피파이너리 등 에너지타이틀 프로그램\*의 재승인을 규정한 8,670억달러(1,076조원) 규모 「농업법(Farm Bill 2018)」 승인<sup>8)9)</sup>

\* 바이오유래 시장 프로그램, 바이오피파이너리 지원 프로그램, 차세대 바이오연료용 바이오에너지 프로그램, 바이오디젤 연료 교육 프로그램, 미국 농촌 에너지 프로그램, 연료 유연화 프로그램, 바이오매스 작물 보조 프로그램

- 「바이오매스 연구개발법」을 통해 미국 에너지부(DOE), 농림부(USDA) 등 8개 부처로 구성된 바이오매스 R&D 관계부처 위원회를 설립하여 연방정부의 바이오 연료, 제품 및 전력에 관한 연구개발 및 시장 확대 촉진
- 「재생연료 의무혼합제도(RFS2)」에 따라 바이오연료의 의무 도입량 지속적 확대 및 비식용 바이오 연료 이용을 촉진하고 있으며, 트럼프 행정부는 환경보호청(EPA) 법안 개정을 통해 E15 연중 판매 허용 승인<sup>(19.5월)</sup><sup>10)</sup>

※ 미국 EPA가 재정상황이 어려운 소규모 정유공장(19년 31개)을 대상으로 Renewable Volume Obligations(RVO) 준수 의무의 일시적 면제를 승인함에 따라(19.8월), 옥수수 농가, 바이오연료 업계의 반발을 잠재우고, 바이오연료 산업 부흥을 지원하기 위해 '20년부터 150억 갤런 이상의 바이오에탄올이 연료혼합에 이용되도록 보장하는 등의 지원책 마련(19.10월)<sup>11)12)</sup>

8) 한국바이오안전성정보센터(KBCH) 『바이오화학산업동향(TWB)』

9) <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trump-is-improving-american-agriculture-programs/>

10) <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-delivers-president-trumps-promise-allow-year-round-sale-e15-gasoline-and-improve-1>

11) <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-announces-biofuel-and-small-refinery-exemption-priorities>

12) <https://www.cspdailynews.com/fuels/epa-plans-biofuel-boost-2020>

- 캘리포니아 주의 「저탄소연료기준(LCFS)\*」 정책을 통해 온실가스 감축 효과가 입증됨에 따라 중서부 등 다른 주 「LCFS」 정책 도입 검토
  - \* 캘리포니아 주의 LCFS: 수송연료 부문에서 '20년까지 '10년 대비 탄소 집약도(Carbon Intensity) 10% 절감을 목표로 시행된 정책으로, '18년 개정을 통해 '30년까지 최소 탄소 집약도 20% 감축을 목표로 상향 조정<sup>13)</sup>
- 「농업법 2018」에 근거 바이오가스 관계부처 태스크 포스를 신설하여 **바이오가스 연구** 및 투자 촉진 프로그램 운영
- 캘리포니아주, 뉴욕, 시애틀 등 미국 전역에 걸쳐 일회용 비닐봉투, 빨대 등 플라스틱 규제가 강화 및 확산되고 있으며, 최근에는 플라스틱 오염 등의 환경문제 해결을 위해 다양한 일회용 플라스틱 제품을 단계적으로 폐지시키는 「Break Free From Plastic Pollution Act of 2020」 법안이 발의('20.2月)된 상황<sup>14)</sup>

□ (유럽) 2018년 「재생에너지지침 개정(The revised Renewable Energy Directive)」을 통해 수송 부문의 탈탄소화 차원에서 연료공급자에 재생연료 공급 의무를 부과하고 열 및 전력 부문을 위한 바이오매스 및 바이오가스를 포함할 수 있도록 바이오에너지의 EU 지속가능성 기준 강화 추진

- 연료공급자의 재생연료\* 공급 의무 2021년 1.5%(에너지단위 기준)에서 2030년 최소 3.6%의 차세대 바이오연료를 포함하여 6.8%로 점진적 확대 추진
  - \* 차세대(advanced) 바이오연료, 비생물학적 원료 기반 재생가능한 운송 연료(ex. 수소), 폐기물 기반 연료, 재생에너지 전력 등
- EU 지속가능성 기준에 따라 바이오연료, 바이오매스 기반 전력 및 열의 온실가스 배출량은 화석연료 배출 대비 2026년까지 각각 최소 70% 및 85% 감축 전망
- 2020년까지 자동차 연료 부문 온실가스 집약도 최소 6% 감축을 목표로 하는 「연료 품질 지침(Fuel Quality Directive)」 운영을 통해 바이오연료 이용 촉진 및 비식용 및 리그닌 셀룰로오스계 바이오매스 등 지속가능한 바이오매스 이용 적극 장려
  - ※ 2018년 1월, 팜오일 유래 바이오디젤 사용을 3년간 금지하는 내용을 포함한 법안 승인
- 플라스틱 식기류, 빨대, 면봉, 산화분해성(oxo-degradable) 플라스틱 제품 등의 일회용 플라스틱 제품 사용을 전면 금지하는 지침을 EU 이사회 최종 승인('19.6月)을 받아 '21년부터 발효 예정<sup>15)</sup>

13) <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/lcfs-regulation>

14) 연합뉴스, 미국도 '플라스틱 프리' 동참하나... 민주당 관련법안 발의, 2020.02.12.

15) 매일경제, 유럽의회, 2021년부터 10 종류 일회용 플라스틱 금지법안 가결, 2019.03.28.

- (영국) 「신재생에너지실행계획, 2009」에 2020년까지 저탄소 에너지원의 비중 40%로 확대 및 수송연료의 바이오연료 점유율 10% 목표 명시<sup>16)</sup>하여 바이오연료 보급 확대 추진
  - 「RTFO(Renewables Transport Fuel Obligation) 방침」에 운송(화물, 항공 등)에 사용되는 연료 내 바이오연료 혼합비율 목표를 2018년 4.75%에서 2020년 9.75%, 2032년 12.4%(45만 리터/년)로 상향 조정하는 계획 수립
  
- (독일) 「기후 보호 할당제(Climate Protection Quota)」에 석유 산업 제품의 온실가스 배출량 2020년까지 7% 감축 목표 명시하며 바이오에너지 활용 지원
  - 재생 가능한 자원의 산업적 이용, 바이오매스 기반의 에너지원 분야를 지원하기 위한 바이오경제 2030 R&D 프로그램 운영
  
- (일본) Biomass Japan 실현 및 온실가스 감축을 위해 「바이오매스 일본 종합전략」 개정('06), 「농림어업바이오연료법」 시행('08), 「바이오매스활용추진기본법」 제정('09) 등 바이오에너지 보급 확대를 위한 정책적 지원 추진<sup>17)</sup><sup>18)</sup>
  - 바이오매스 타운 조성 확대 및 바이오매스 산업 2020년 5,000억엔 규모로 육성 목표 제시
  - 2012년도부터 바이오매스 보급 촉진을 위해 고정가격 매수제도(FIT) 시행
  - 바이오플라스틱 인증시스템 적용, 2030년 바이오플라스틱 출하량 50배 증가 목표 제시 등의 정책 지원
  
- (브라질) 사탕수수 자원부국으로서 1975년부터 바이오에탄올 산업 육성책 「ProAlcool」을 마련하여 바이오에탄올 생산 확대 및 바이오기반 제품 경쟁력 강화를 추진하였으며, 국제바이오연료포럼 (IBF) 설립을 주도
  - 2017년 파리협약 감축목표 준수를 위해 바이오에탄올, 바이오디젤, 바이오가스 등 바이오연료를 생산을 촉진하기 위한 국가 바이오 연료 프로그램 「RenovaBio<sup>\*</sup>」 추진 법안 승인
    - \* 에너지믹스의 지속가능한 바이오연료 점유율 2030년까지 18%까지 확대 목표
  - 광물에너지부, 2018년 석유와 바이오에탄올을 번갈아 사용할 수 있는 플렉스(flex) 차량 연료의 바이오에탄올 혼합비율을 현재 27%에서 2022년 30% 2030년 40% 수준으로 상향 조정하는 계획 발표

16) 에너지경제연구원, 주요 국가의 친환경 에너지정책 추진과 신재생에너지 역할 변화, 2018

17) 한국과학기술기획평가원, 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, 2017

18) 국립산림과학원, 일본의 바이오매스 타운 조성 운영 지원 법률 및 제도, 2011

- **(중국)** 수송부문의 바이오연료 보급 확대를 위해 2017년 「바이오연료 에탄올 생산 확대 및 차량용 에탄올 혼합 가솔린 보급 시행방안」 마련
  - 2020년까지 차량용 에탄올 혼합 가솔린 연료의 전국적 보급 추진
  
- **(인도네시아)** 팜 오일 생산 및 수출 1위 국가로서 온실가스 감축과 더불어 팜 오일 산업 발전을 위해 2008년부터 바이오연료 의무 사용 정책을 도입(B2.5)하여 바이오디젤 의무 혼합량을 점진적으로 확대
  - 2020년 1월부터는 바이오디젤이 30% 함유된 연료를 사용하는 B30 정책 시행하고 있으며, 2025년 B100 프로그램 이행 목표<sup>19)</sup>
  
- **(IMO<sup>\*</sup>)** 국제해양오염방지협약(MARPOL) 부속서 6 하에, 온실가스 감축목표 강화뿐만 아니라 2020년 1월 1일부터 전 세계 모든 선박의 연료유 내 황 함유량을 0.5% 미만으로 제한하는 IMO 2020 규제 시행을 결정하며 **선박용 연료의 황산화물(SOx) 오염배출기준 대폭 강화**(황 함유량 (~'19) 3.5% → ('20) 0.5%)<sup>20)</sup>를 추진하여 선박 부문의 친환경 대체연료 기술개발 수요 급격히 증가
  - 신규 선박 건조 시, 2008년 온실가스 배출량 대비 1단계('15~'19) 최대 10%, 2단계('20~'24) 최대 20%, 3단계('25~'30) 최대 30% 감축을 목표로 하고, 2030년 이후 발주 선박 온실가스 40% 감축 목표<sup>21)</sup>
  - 선박 부문의 온실가스 배출량 '08년 대비 2050년까지 50% 감축을 목표로 하는 초기전략(Initial IMO Strategy) 채택('18.4월)
    - \* International Maritime Organization(IMO): 국제해사기구는 해상에서의 안전과 보안, 선박으로 부터의 해양오염 방지를 책임지는 UN 산하 전문기구
  
- **(ICAO<sup>\*</sup> & IATA<sup>\*\*</sup>)** '20년 이후 항공부문 온실가스 감축을 위한 중장기 비전을 수립하며 항공기의 지속가능한 항공 연료(Sustainable Aviation Fuel, SAF) 활용 촉진을 표명<sup>22)</sup>
  - (ICAO) 국제 항공유 수요 내 SAF의 점유율을 2040년까지 32%, 2050년까지 50%로 확대하여, '40년까지 12%, '50년까지 33%의 CO<sub>2</sub>를 감축하는 것을 목표로 하는 2050 ICAO 비전 채택 ('18.3월)<sup>23)</sup>

19) KOTRA 해외시장뉴스, 인도네시아 바이오 연료 혼합정책 동향, 2020

20) 한국해양수산개발원, 2020년 황산화물 규제 시행 대비 해운부문 체계적 대응 필요, 2019

21) 한국해양수산개발원, 국제해사기구(IMO), 2030 온실가스 40% 감축 목표, 新추진연료(화석연료-OUT) 개발 및 사용을 의미, 2019

22) (재)한국기후변화연구원, 바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구 최종보고서, 2019

23) <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/ICAO-Vision.aspx>

- 또한, ICAO는 국제항공탄소감축상쇄제도(Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, CORSIA)를 2021년부터 시행하기로 합의('16.10月)
- (IATA) 2020년부터 탄소중립성장을 목표로 '50년까지 '05년 대비 이산화탄소 배출량 50% 감축 목표
  - \* International Civil Aviation Organization(ICAO): 국제민간항공기구는 국제민간항공협약에 근거해 설립된 UN 산하 전문기구로서, 국제 항공의 안전을 보장하고, 항공 운송 분야의 각종 국제 표준 및 규칙을 제정
  - \*\* International Air Transport Association(IATA): 항공사들로 구성된 국제항공운송협회로 항공 운임, 항공사 상호간의 문제를 담당

## 2) 국내

- 바이오에너지는 국내 신재생에너지 보급에 상당한 비중을 차지하나('17년 기준 원별 생산량·발전량 2위), 저유가, 원료 수급 불안 등으로 산업 육성에 한계에 다다른 상황
  - **(바이오화학산업)** 2012년부터 「바이오화학 육성전략」을 수립하고 바이오화학산업 및 R&D를 지원해왔으나, 저유가 장기화로 인해 바이오에너지 및 화학 산업 침체로 정책 추진 동기가 다소 약화된 상황
    - (과기정통부) 관계부처 합동으로 바이오 경제를 주도하는 글로벌 바이오 강국 실현을 비전으로 「제3차 생명공학육성기본계획(바이오경제 혁신전략 2025, '17.9月)」 수립하여 바이오에너지·화학 분야에서 토종 바이오매스 발굴, 친환경 바이오소재 및 제품 개발 R&D 투자 강화 추진<sup>24)</sup>
    - (바이오특별위원회\*) 레드 바이오 분야 이상의 바이오산업 생태계 육성을 위해 "그린·화이트 바이오 육성 및 효율화"를 2018년 주요 논의과제 중 하나로 선정
    - \* 국가과학기술심의회 산하 바이오 분야 범부처 종합조정기구로 관계부처 실장급 공무원과 산학연 민간위원으로 구성
  - **(바이오매스)** 친환경에너지 확대 및 온실가스 감축을 위해서는 바이오에너지의 역할이 필요하나 국내 바이오매스 확보 및 이용을 위한 인프라가 부족하여 미활용 바이오매스 이용 확대 및 에너지화를 위한 정책 시행
    - (산림청) 미이용 산림바이오매스 이용 확대를 위해 「산림바이오매스에너지의 이용·보급 촉진에 관한 규정('18.1月)」, 「미이용 산림바이오매스 증명 업무 지침('18.6月)」 발표

24) 관계부처 합동, 제3차 생명공학육성기본계획, 2017



- (환경부) 「자원순환기본계획(18.9月)」을 통해 유기성폐자원의 통합 처리시설 확충을 통한 바이오가스 생산효율 개선 및 바이오가스 이용률 확대 추진
- (수송연료) 「2030 국가 온실가스 감축로드맵 수정안(18.7月)」에 따라 수송 부문의 온실가스 배출 감축 의무가 강화\*된 상황으로 바이오연료 보급 확대 등 현실적인 감축수단 추진
  - \* 수송분야 온실가스 배출 할당량: 기존 2030년 25.9백만톤 → 30.8백만톤으로 확대
  - 2020년까지 자동차용 경유 바이오디젤(BD) 3.0 달성으로 1.2백만톤 감축 추진
  - 항공 부문에서 항공기 효율개선, 배출권 거래제 등을 통해 온실가스 0.2백만톤 감축 달성 추진
  - 「4차 신재생에너지 기본계획(14.9月)」에 근거 신재생에너지 연료혼합제도(RFS)를 시행(15.7月)하고 있으나 바이오디젤 혼합의무비율 확대 속도는 더딘 상황
  - \* (혼합의무비율) ('15.8月~'17) BD 2.5% → ('18~'20) BD 3.0%
- 최근 정부는 바이오산업을 반도체 산업을 이을 차세대 국가 주력산업으로 육성하기 위해 **범부처 바이오산업 혁신 TF**\*를 출범하였으며(19.11月), 혁신성장전략회의에 5대 추진전략, 10대 핵심과제를 포함한 「**바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제**」 상정·발표(20.1月)<sup>25)</sup>
  - 바이오 부가가치의 원천인 미래 유망기술 확보, 화이트바이오 초기시장 창출 등의 선정된 핵심과제 이행을 위해 2020년 6월까지 개발지원반을 중심으로 「바이오 R&D 혁신전략」, 바이오산업기반조성반을 중심으로 「화이트바이오 산업 활성화 전략」을 마련할 계획
  - \* 기재부 1차관 주재 10개 부처·연구기관 등이 참여하는 범부처 TF로 주무부처 1급을 반장으로 하는 6개 작업반(총괄·규제개혁반, 개발지원반, 금융지원반, 바이오헬스반, 식품·자원 바이오반, 바이오산업 기반조성반) 설치·운영
  - 레드바이오 분야뿐만 아니라, 식량, 기후변화 이슈 등에 대응 가능한 그린·**화이트바이오 원천기술**(친환경 플라스틱 분해기술 등) 개발에 대한 투자를 확대하고, 바이오산업 전반에 활용 가능한 기반기술(합성생물학 기술 등) 발굴 개발 추진
  - 화이트바이오 초기시장 창출을 위해 **화이트바이오 산업 기반인 원료 확보, 생물유래 플라스틱 소재 등 신소재 개발 R&D, 시설 인프라\*** 지원, 수요 산업 간 공동개발 지원 등의 기반 조성  
정부·공공기관 의무구매, 공공 인증제도 등의 수요 창출 제도 도입 검토 등 추진할 예정
  - \* 바이오 리파이너리 공정기술 개발, 파일럿 생산시설 구축, 바이오에너지(바이오디젤, 해양 바이오 수소 등) 생산기술 등

25) 관계부처 합동, 바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제, 2020

## 나. 시장 및 산업 동향

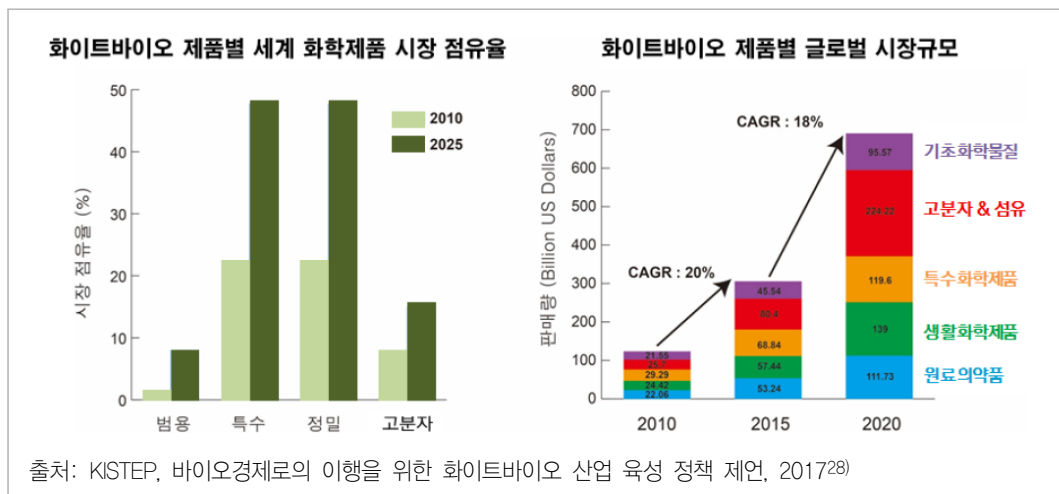
### 1) 세계

□ (시장) 지속적인 유가하락에 의해 바이오화학산업은 성장세가 위축되었으나, 전통 석유화학 기업 등 대기업 중심으로 기업 간 M&A, 스핀오프 창업 및 대규모 바이오 클러스터 조성 등을 통해 지속적인 산업 성장을 견인하고 있는 상황

- (화이트바이오\*) 바이오연료, 바이오화학제품, 바이오고분자 등을 포함한 세계 화이트바이오 시장 규모는 친환경·친인간적 제품에 대한 소비자 수요 증가, 기후·환경 문제 대응등을 위해 2017년 2,480억달러(약 308조원)에서 연평균 10.2%로 견고히 성장하여 2025년 5,394억달러(약 670조원)에 도달할 전망(Wise Guy Reports, 2019<sup>26)</sup>)

\* 기존 석유화학산업의 친환경 대체 기술로써, 석유 등 화석연료 대신 바이오매스를 원료로 사용하여 발효 등의 생물공정을 이용해 플라스틱, 화장품, 의약품 등의 화학제품을 생산하는 것을 의미

※ Frost & Sullivan에서 예측한 바이오화학제품 시장 규모는 '15년 3,054.6억달러(약 379.2조원)에서 '20년 6,901.2억달러(약 856.9조원)으로 꾸준히 성장할 것으로 예측(Frost & Sullivan, 2013<sup>27)</sup>)



[그림 2-1] 화이트바이오 산업의 시장 전망

26) Wise Guy Reports, White Biotechnology Market 2019 Global Analysis, Growth, Trends and Opportunities Research Report Forecasting 2025, 2019(<https://www.medgadget.com/2019/05/white-biotechnology-market-global-industry-analysis-size-share-growth-trends-and-forecast-2019-2025.html>)

※ 보고서 풀버전이 아닌 웹블로그의 요약본 기사를 토대로 작성

27) Frost & Sullivan, Emerging Technology in Bio-chemicals, 2013

28) KISTEP, 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, 2017

- (플랫폼 화학제품\*) 바이오기반 플랫폼 화학제품의 시장 규모는 2017년 88.1억달러(11조원에서 2025년 227.7억달러(28조원)로 연평균성장률 12.6%로 성장할 전망(Grand View Reseach, 2019<sup>29)</sup>)
- \* 여기서 플랫폼 화학제품은 1,3-Propanediol, Dodecanedioic Acid, Lactic Acid, Succinic Acid, Fumaric Acid, Malic Acid, Glucaric Acid 등 대표적인 기초빌딩블록을 의미
- (바이오플라스틱) 일회용 비닐봉투 등 플라스틱 제품 사용 규제 확산에 의해 생분해성 플라스틱 등 바이오매스 기반 플라스틱의 북미 및 유럽 시장은 크게 성장하는 추세로 2014년 38.7억달러(4.8조원)에서 2024년 204.8억달러(25.4조원)로 성장할 전망(Frost & Sullivan, 2018<sup>30)</sup>)
- (바이오 접착제) 북미 및 유럽 시장은 2014년 24억달러(3조원)에서 2024년 39억달러(4.8조원)로 연평균성장률 5% 수준으로 성장할 전망(Frost & Sullivan, 2018)
- (바이오 페인트) 코팅제, 페인트 등의 제품군의 북미 및 유럽 시장은 2014년 10억달러(1.2조원)에서 2024년 15.2억달러(1.9조원)로 약 1.5배 이상 성장할 전망(Frost & Sullivan 2018)
- 향후, 바이오화학제품이 대체할 수 석유화학 기반 화학산업 시장규모는 2015년 5.54조달러(6,879조원)에서 2025년 6.76조달러(8,395조원)로 성장할 전망으로 **바이오화학산업의 시장 성장 가능성은 매우 높은편임**<sup>31)</sup>
- (바이오연료) 세계 바이오연료 혼합의무화 제도의 시행으로 세계 수송연료 부문에서 바이오연료가 차지하는 비중은 2018년 기준 약 3.4%이었으며, 세계 바이오연료\*의 생산량은 2018년 1,525 억리터에서 2024년 1,875억리터로 증가할 전망(IEA, 2019<sup>32)</sup>)
- \* 에탄올, 바이오디젤 및 HVO(Hydrotreated Vegetable Oil) 포함 및 차세대 바이오연료(Novel advanced biofuels) 제외

#### □ 주요 기업별 동향

- (바이오화학제품) 선진국의 경우 원료공급기업, 발효전문기업, 석유화학기업, 제품 수요기업 등 밸류체인 내 동종·이종 업종간의 전략적 협업을 통한 바이오화학제품 개발 및 보급 활발
  - (자가 원료 확보) 안정적인 원료 공급선 확보 및 사업 영역 다각화를 위해 곡물 및 식품 기업과 전통 화학기업은 조인트 벤처 설립, 기술 제휴 등 상호 협력하는 추세

29) Grand View Research, Bio-based Platform Chemicals Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, And Segment Forecasts, 2019 - 2025, 2019

30) Frost & Sullivan, Growth Opportunities for Bio-based Chemicals and Materials in Europe and North America 2017, 2018; 한국바이오협회 한국바이오경제연구소, 바이오화학(Bio-based Chemicals) 산업 현황, 2018

31) 산업통상자원부, 화학산업 고부가가치화 전략, 2016

32) IEA, Renewables 2019, 2019

- **(빠른 스케일업)** 효소, 바이오, 화학기업 등 他 자국 및 외국 기업과 기술 제휴 및 협력을 통해 빠른 속도로 트랙 레코드를 달성하는 전략을 추진하여, 범용화학제품의 가격 경쟁력 확보 및 저유가 위기 돌파 추진<sup>33)</sup>
  - **(원료 다변화)** 바이오화학제품 공급원료의 지속가능성 기준 강화차원에서 옥수수, 사탕수수 등 식용 바이오매스에서 리그노셀룰로오스계 바이오매스, 부생가스, 음식물 찌꺼기 등의 바이오매스 이용이 증가하는 추세
  - **(친환경 제품 시장 확대)** 소비자의 친환경 제품 선호도 증가에 대응하여 코카콜라, 이케아, 레고 등 화학제품 수요기업들의 바이오화학제품 시장 진입 활발<sup>34)</sup>
  - **(스페셜티 제품)** 시장규모가 작아도 불확실한 유가에 의한 영향이 비교적 적고 친환경성, 제품 가능성이 강화된 Novel 화학제품\* 생산 및 개발 증가 추세
- \* 천연 Vanillin 등의 향료 및 향수 물질, Sebacic Acids(C10), Dodecanedioic acid(C12), Levulinic acid, Polyethylene Furanoate, Furandicarboxylic acid 등

〈표 2-1〉 글로벌 주요 바이오 화학제품 기업 동향

기업명	현황
Nature Works (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 곡물기업 Cargill과 글로벌화학기업 Dow Chemical의 합작회사로 시작하여 현재는 Cargill과 태국 최대 화학회사 PTT Global Chemical이 공동 소유</li> <li>• 미국 Nebraska 주, 15만톤 규모의 바이오폴리머 Ingeo PLA 제조시설 보유 및 미국 PLA (polylactic acid) 시장의 28% 점유</li> <li>• 2016년 메탄-젖산 발효 기술의 상용화를 위한 신규 실험실 설립</li> <li>• '20년까지 Ingeo의 공급원료를 100% ISCC* 인증 원료로 충당할 계획 발표('19. 2월)</li> <li>* ISCC(International Sustainability and Carbon Certification): 바이오매스 경작, 연료 및 제품 생산, 판매 등의 전 과정에 걸쳐 '지속가능성 기준' 충족 여부를 판단하는 국제 인증 규정</li> <li>• 현재는 옥수수, 사탕수수 등 식용작물의 당을 이용하고 있으나, 우드칩, 풀 등의 리그노셀룰로오스 바이오매스를 거쳐, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>를 직접 이용하는 연구 수행 중</li> </ul>
Dupont Tate & Lyle BioProducts (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 영국 설탕 정제기업 Tate&amp;Lyle과 글로벌화학기업 Dupont 조인트 벤처회사 설립을 위해 1억 달러 투자</li> <li>• 미국 Tennessee주, 1,3-PDO(1,3-Propanediol) 생산시설 보유</li> <li>• 섬유 탈취제 성분 Zemea® propanediol, 고성능 폴리에스테르 수지 Susterra® Propanediol, 섬유 소재용 PTT(Polytrimethylene terephthalate) 제품 상업 생산</li> </ul>
Genomatica (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cargill과의 협력을 통한 원료(당) 공급처 확보 추진('15.7월)</li> <li>• 화학기업 BASF와 1,4-BDO(1,4-Butanediol) 대규모 생산(75,000톤/연)을 목표로 라이선스 계약 범위 확대(북미 → 동남 아시아)('15.9월)</li> <li>• Novamont 기업과 GENO BDO™ 공정* 라이선스 계약을 체결하였으며, 이탈리아에 BDO 플랜트(30,000톤/연) 건설하여 2016년 4분기 가동 개시</li> <li>* 당(dextrose, sucrose)의 단일단계 대장균 발효를 통한 BDO 생산 공정</li> </ul>

33) CJ 미래경영연구원, 바이오화학 산업 동향, 2016

34) 한국바이오협회 한국바이오경제연구소, 바이오화학(Bio-based Chemicals) 산업 현황, 2018

기업명	현황
Genomatica (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Invista, DSM, Lanxess, Toray 등 GENO BDOTM 공정기술 도입 검토</li> <li>• Aquafil과 지속가능한 caprolactam 및 나일론-6 생산을 위한 R&amp;D 협력 추진('18.1月)</li> <li>• 바이오매스 유래 Brontide™ butylene glycol 미국에 이어 유럽시장 출시('18.3月)</li> <li>• Versalis 및 Braskem과 Butadiene 생산 기술 개발 협력</li> </ul>
BioAmber (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바이오 숙신산 및 BDO/THF 생산함에 있어 Cargill로부터는 미생물 균주 기술, Dupont으로부터는 촉매 전환 기술을 획득</li> <li>• Dupont으로부터 Succinic acid의 BDO, THF(Tetrahydrofuran) 전환 기술 획득</li> <li>• 일본 화학회사 Mitsui &amp; Co.와 협력하여 캐나다에 숙신산 플랜트(30,000톤/년) 건설 및 가동 추진</li> <li>• 유통업체 Vinmar, 화학회사 Oleon 등과 장기공급계약 또는 의무인수계약 체결</li> </ul>
POET-DSM (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• POET과 Royal DSM의 조인트 벤처</li> <li>• 미국 Iowa주 세계 최초 Cellulosic 바이오매스(옥수수대, 잎, 껍질) 기반 에탄올 플랜트(Project Liberty, 2천만갤런/년 생산규모) 가동</li> </ul>
LanzaTech (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 부생가스 기반 에탄올/부타디엔 생산 기술 개발 추진</li> <li>• 중국에 위치한 부생가스 기반 에탄올 생산 플랜트 세계 최초 가동(46,000톤/년)</li> </ul>
Verbio North America Corp. (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Dupont의 Nevada주 및 Iowa주 셀룰로오스 에탄올 플랜트 인수 합의('18.11月)</li> <li>• 옥수수 부산물 기반 재생가능한 천연가스(RNG) 생산시설로 전환 추진</li> </ul>
Neste (핀란드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ReNew ELP(영국), Lcella(호주)와 함께 혼합 플라스틱 폐기물을 연료, 화학약품 및 화학 제품의 원료로 사용할 수 있도록 프로젝트 추진</li> </ul>
The Coca-Cola Company (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 지속가능한 프로그램 차원에서 100% 바이오유래 PET 기반 음료병 도입 추진</li> <li>• 2009년 30% 바이오유래 음료병 "PlantBottle™" 출시</li> <li>• 2012년 Heinz, Ford, 나이키, P&amp;G 등과 함께 제품에 100% 식물 기반 PET 재료 및 섬유 사용을 촉진시키기 위한 컨소시엄 the Plant PET Technology Collaborative(PTC) 설립</li> </ul>
PepsiCo (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2011년 Lab-scale 규모의 100% 바이오유래 PET 제품 공개</li> <li>• 바이오유래 PET, 식품 포장재 생산을 위한 연구개발 추진</li> </ul>
Dell (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2020년까지 100% 지속가능한 포장재 사용 목표</li> </ul>
LEGO (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 석유화학 기반 ABS(acrylonitrile butadiene styrene copolymer) 수지 바이오유래 고분자로 교체하는 목표 수립</li> </ul>
P&G (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "Vision 2020", "Ambition 2030" 바이오매스 유래 포장재 등 바이오화학제품 사용 확대 추진</li> </ul>
IKEA (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• "People &amp; Planet Positive" 전략을 통해 재생 가능한 소재 및 플라스틱 사용 확대 추진</li> </ul>
Evolva (스위스)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 당(Glucose) 발효를 통한 바닐린(Vanillin) 생산 기술 보유 및 美FDA, FEMA(미국 향료 제조자 협회) 천연 향료 인증 획득</li> </ul>
Borregaard (노르웨이)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 목재 바이오매스 유래 화학제품(리그닌, 리그닌 유래 바닐린, 리그노설포네이트 등) 제조 및 판매</li> </ul>
Solazyme (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alguronic acid 기반의 화장품 브랜드 Algenist® 상업화 성공</li> <li>• 미세조류 바이오매스 기반 수송용 연료, 윤활유, 식품 및 사료 제품 개발</li> </ul>

기업명	현황
Amyris (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>비타민, Ambroxan 향수 분자, Farnesene, Squalane, Biossance™ 화장품 등 식물성(Plant) 당 유래 다양한 탄화수소 분자 합성 기술 및 제품 생산 기술 보유</li> <li>브라질 사탕수수 기업 Cosan과 합작회사 Novvi 설립 및 Farnesene 기반 엔진오일, 윤활제 상업화 성공</li> </ul>
Verdezyne (미국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>식물성(비식용) 유지 기반 DDDA(Dodecanedioic acid), Sebacic acid, acipic acid 등 생산기술 보유 및 말레이시아 DDDA 생산 플랜트 건설 추진</li> </ul>
Cathay Biotechnologies (중국)	<ul style="list-style-type: none"> <li>파라핀 원료로 효모 전환에 의한 C11~C16 LCDAs(long-chain dicarboxylic acids) 생산 기술 보유</li> <li>바이오 기반 폴리아미드(100천톤/년), 1,5-pentanediamine(50천톤/년), LCDAs(30천톤/년) 등 생산 플랜트 보유</li> </ul>
GFBiochemical (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>세계 최초 Levulinic Acid 상용화 성공 및 셀룰로오스계 바이오매스 이용 확대 추진 (10천톤/년 규모)</li> </ul>
Avantium (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>PET 대체소재 PEF(Polyethylene Furanoate), Furandicarboxylic acid 등 생산기술 보유</li> </ul>

- **(바이오연료)** 바이오매스 가스화, 탄화수소 연료 등의 고품질 바이오연료의 생산 기술 발전에 힘입어 바이오매스 가스화 실증 플랜트 건설 및 바이오항공유 기반 시범운영 등 바이오연료의 응용범위가 확대되는 추세
- **(바이오항공유)** 바이오항공유 사용 확대를 위한 KLM, SAS, JAL 등의 주요 국제 항공사와 바이오 연료 생산업체와의 MOU 체결 활발

〈표 2-2〉 글로벌 주요 바이오연료 기업 동향

기업명	현황
Shell Aviation (영국) SkyNRG (네덜란드)	<ul style="list-style-type: none"> <li>저탄소 항공유 개발을 위해 공동연구 및 장기 협력 계획 발표('18.6월)</li> <li>SkyNRG 유럽 최초 바이오제트 연료(10만톤/년) 제조 전용 플랜트 개발('19.5월)</li> </ul>
Agrisoma Biosciences (캐나다)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Carinata 종자 기름을 이용한 바이오연료로 샌프란시스코-취리히 운행 성공('18.9월)</li> </ul>
Qantas (호주)	<ul style="list-style-type: none"> <li>2018년 1월, 미국 LA-호주 멜버른 구간 Agrisoma Biosciences社 바이오 항공유 이용 첫 비행 성공</li> <li>캐나다 Agrisoma Biosciences社 Brassica Carinata 식물 유래 바이오항공유 생산 기술 개발</li> </ul>
Preem · Setra (스웨덴)	<ul style="list-style-type: none"> <li>정유회사 Preem과 목재업계 회사 Setra는 Gavle의 Kastet 제재소에 열분해 오일 공급시설 (25,000/년)을 설치하고, Lysekil에 있는 Preem社 정유 공장으로 연결하여 바이오연료로 정제할 예정</li> </ul>
Enerkem (캐나다)	<ul style="list-style-type: none"> <li>Enerkem의 독점적인 열화학기술을 사용해 탄소가 많이 함유된 고품폐기물로 만든 바이오 DME를 개발했으며, 1,000시간 이상 운전 테스트 완료('18.9월)</li> </ul>

기업명	현황
Eni (이탈리아)	• 폐식용유에서 추출한 바이오디젤 'Eni 디젤+'을 이용하여 바포레토(수상버스) 시범 운행 추진('18.3月)
China Airlines (대만)	• 바이오연료 혼합유 이용 프로그램 참여하여 항공유로 10% 바이오연료 혼합연료 사용할 예정
Enbridge Dufferin (캐나다)	• 유기 폐기물에서 발생하는 바이오메탄을 회수 및 가공하여 바이오연료 · RNG(renewable natural gas)를 생산하는 설비 건설 추진('18.7月)
스파이스젯 (인도)	• 75%의 가스터빈 연료와 25%의 바이오 제트 연료로 구성된 연료를 이용하여 개발도상국 최초 바이오연료 기반 비행 성공('18.8月)
JAL (일본)	• 2020년 폐 의류로 생산된 항공연료를 사용하여 일본 최초 전세 항공편 운항을 목표로 버려진 의류를 원료로 사용하여 비행용 바이오연료 생산 추진('18.10月)
Delta Airline (미국)	• 산림 부산물 기반 바이오항공유 생산을 위해 2백만 달러 투자 발표('18.9月)

## 2) 국내

□ (시장) 2018년 기준 바이오화학·에너지산업\*이 국내 바이오산업의 생산 및 내수 시장에서 차지하는 비중은 각각 16.4%(1조 7,178억원) 및 24.7%(1조 7,317억원)로 수출보다는 국내 판매 시장 중심으로 발달

\* 국내 바이오산업 통계에서 바이오화학·에너지산업에는 바이오고분자제품, 산업용 효소 및 시약류, 연구·실험용 효소 및 시약류, 바이오화장품 및 생활화학제품, 바이오농약 및 비료, 바이오연료, 기타 바이오화학·에너지제품이 포함

〈표 2-3〉 2018년 바이오산업 분야별 생산 및 내수 현황<sup>35)</sup>

구분	생산				내수			
	국내판매	수출	계	비중	국내판매	수입	계	비중
전체	5,295,539	5,180,857	10,476,395	100.0	5,295,539	1,705,341	7,000,880	100.0
바이오의약품산업	1,646,354 (31.1%)	2,065,802 (39.9%)	3,712,156	35.4	1,646,354	1,411,893 (82.8%)	3,058,247	43.7
바이오화학·에너지산업	1,612,706 (30.5%)	105,136 (2%)	1,717,842	16.4	1,612,706	119,038 (7%)	1,731,744	24.7
바이오식품산업	1,243,645 (23.5%)	1,854,913 (35.8%)	3,098,558	29.6	1,243,645	48,013 (2.8%)	1,291,658	18.4
바이오환경산업	53,563	1,645	55,208	0.5	53,563	197	53,760	0.8
바이오의료기기산업	162,224	464,593	626,817	6.0	162,224	37,402	199,626	2.9
바이오장비 및 기기산업	45,800	33,888	79,688	0.8	45,800	63,951	109,751	1.6
바이오자원산업	153,195	23,540	176,736	1.7	153,195	24,549	177,744	2.5
바이오서비스산업	378,052	631,341	1,009,393	9.6	378,052	298	378,350	5.4

35) 산업통상자원부 & 한국바이오협회, 2018년 기준 국내 바이오산업 실태조사 결과보고서, 2019.12

- **바이오화학·에너지산업의 국내판매 시장 규모는 1조 6,127억원(30.5%)**으로 국내판매 부문에서 바이오의약산업 다음으로 2위를 차지하였으며, 제품 기준으로는 **바이오연료 제품이 1조 1,417억원** 규모로 판매되어 **국내 판매액 기준 1위를 기록**
- 하지만, 바이오화학·에너지산업 부문이 바이오산업의 수출 및 수입 시장에서 차지하는 비중은 각각 2%(1,051억원), 7%(1,190억원)로 바이오의약산업 및 식품산업 대비 **매우 작은 수준**이며, 2018년에는 수출 규모보다 수입규모가 더 큰 무역 적자를 기록
  - ※ 참고로 바이오화학·에너지산업은 2012~2017년 동안 무역 흑자를 기록하였음

〈표 2-4〉 2016~2018년 바이오산업 분야별 수급 변화 추이<sup>36)</sup>

구분	생산(국내판매+수출)					내수(국내판매+수입)				
	2016년	2017년	2018년	전년대비 증감률	연평균 증감률	2016년	2017년	2018년	전년대비 증감률	연평균 증감률
전체	92,611	101,457	104,764	3.3	6.4	60,898	65,466	70,009	6.9	7.2
바이오의약산업	35,176	36,850	37,122	0.7	2.7	28,793	29,636	30,582	3.2	3.1
바이오화학·에너지산업	13,335 (14.4%)	15,944 (15.7%)	17,178 (16.4%)	7.7	13.5	12,836 (21.1%)	15,644 (23.9%)	17,317 (24.7%)	10.7	16.2
바이오식품산업	29,182	31,230	30,986	-0.8	3.0	12,331	12,648	12,917	2.1	2.3
바이오환경산업	295	462	552	19.4	36.8	293	460	538	16.8	35.5
바이오의료기기산업	5,895	5,988	6,268	4.7	3.1	1,502	1,632	1,996	22.3	15.3
바이오장비 및 기기산업	1,199	1,130	797	-29.5	-18.5	1,163	1,174	1,098	-6.5	-2.8
바이오자원산업	1,689	1,709	1,767	3.4	2.3	1,527	1,560	1,777	14.0	7.9
바이오서비스산업	5,842	8,144	10,094	23.9	31.4	2,453	2,712	3,783	39.5	24.2

- **(바이오화학제품)** 석유화학기업 및 발효전문기업을 중심으로 **범용 바이오화학제품** 위주로 연구 개발이 진행 중이나, 생산 규모 및 제품의 종류 측면에서 선진국 대비 초기단계 수준
  - 바이오매스 유래 2,3-Butanediol, nylon, PLA 등의 제품이 개발·판매되고 있으나, 국내 바이오화학제품의 세계 시장 점유율은 아직 저조한 수준<sup>37)</sup>
  - 저유가 장기화 기조, 세일가스 개발로 인해 원료가 풍부한 선진국 대비 바이오매스 기반 범용화학제품의 가격경쟁력이 약화된 상황으로 미활용 바이오매스의 발굴, 차별화된 제품 개발을 통해 저유가 위기 대응 필요

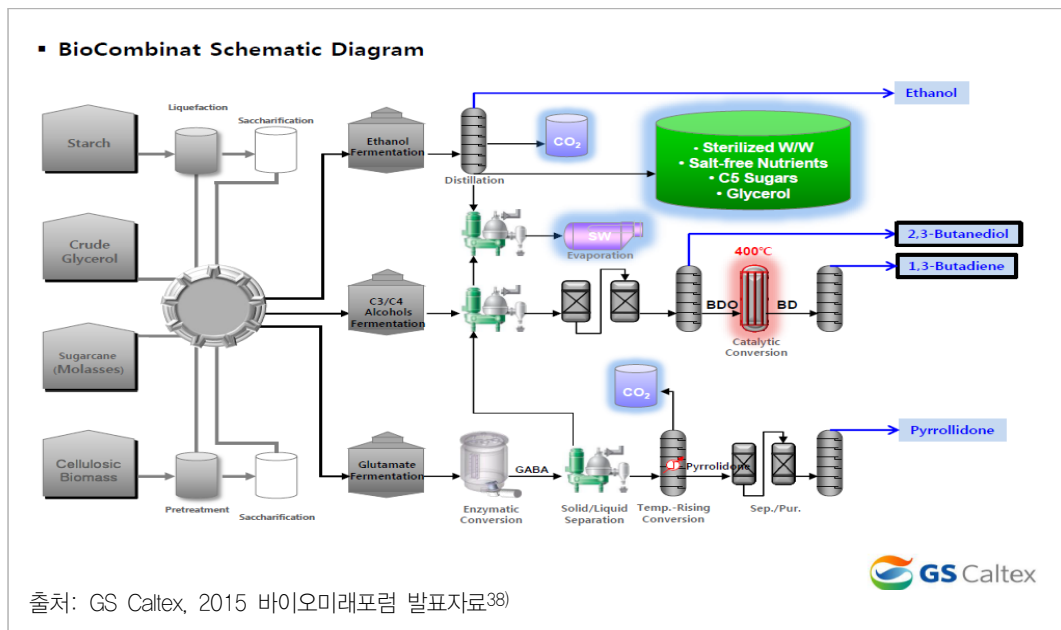
36) 산업통상자원부 & 한국바이오협회, 2018년 기준 국내 바이오산업 실태조사 결과보고서, 2019.12

37) 지식경제부, 석유의존도 완화 및 온실가스 저감을 위한 바이오화학 육성전략, 2012.12



〈표 2-5〉 국내 주요 바이오화학제품 기업 동향

기업명	현황
GS 칼텍스	<ul style="list-style-type: none"> <li>2009년 CHANGHAE와 2,3-Butanediol, Nylon 4 프로젝트 협력 추진</li> <li>2010년 (주) 대상과 바이오디젤 및 글리세롤 생산 협력을 위한 GS Bio 설립</li> <li>2012년 PTT(Polytrimethylene-tereph-thalate) 프로젝트 추진</li> <li>2014년 바이오콤비나트 실증 프로젝트 추진(2,3-BDO 생산, 1,3-PDO, pyrrolidone)</li> </ul>
CJ제일제당	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lysine 등의 아미노산 류의 대량생산 및 상용화</li> <li>아미노산 유래 nylon 단량체, 젯산 생산 기술 확보</li> </ul>
LG화학	<ul style="list-style-type: none"> <li>Pilot 규모의 PLA 공중합체 생산기술 보유</li> <li>바이오유래 PLA가 함유된 바닥재, 벽재 출시</li> </ul>
SK케미칼	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오 플라스틱 "에코젠(PETG)", "에코플란(PLA)" 출시</li> <li>바이오플라스틱 'PO3G(폴리옥시트리메틸렌테르글라이콜)' 파일럿 공장 완공 및 생산 본격화('19.7월)</li> <li>울산 공장에 옥수수 유래 바이오폴리머 신소재 PO3G 설비 착공 결정 및 상용화 추진('20.2월)</li> </ul>
한화케미칼 (舊 삼성정밀화학)	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오유래 PBS/PBAT 제품 생산 연구 수행 중</li> </ul>
알앤에프 케미칼	<ul style="list-style-type: none"> <li>옥수수 또는 감자 전분을 바탕으로 한 생분해성 플라스틱 원료인 뉴플라스티큐(NuPlastiQ) 판매 시작('18.8월)</li> </ul>
삼양사	<ul style="list-style-type: none"> <li>리그닌 기반 Isosorbide 생산기술 개발 성공</li> <li>연산 1만톤/년 규모의 Isosorbide 생산 공장 건설('19.7월)</li> </ul>
현대모비스	<ul style="list-style-type: none"> <li>사탕수수 줄기에서 폴리에틸렌과 유사한 플라스틱 소재를 추출하여 쏘울 니로 등 자동차 운전석의 바이오 스킨 소재로 사용 중이며, 이외에도 야자열매 씨앗 유래 무독성 도료 제조 기술을 개발하여 에어백 커버 등으로 활용하는 등 식물성 차내장재 양산 성공(사탕수수 차내장재 및 야자열매 도료 개발 성공('18.7월)</li> </ul>
테코플러스	<ul style="list-style-type: none"> <li>코코넛 껍질 등 바이오매스를 재활용 하여 친환경 플라스틱 원료 개발('18.11월)</li> </ul>



〔그림 2-2〕 GS칼텍스의 2,3-BDO 생산 공정 개요도

38) GS Caltex, Opportunities and Efforts for Commercialization of Industrial Biotechnology, 2015

- (바이오연료) 국내 대표 정유사 GS칼텍스의 목질계 바이오매스 기반 바이오부탄올의 경우 상용화에 근접한 상황이나, 바이오디젤 혼합의무비율(BD)의 더딘 확대, 바이오에탄올(BE) 정책 미시행 등에 따라 시장이 활성화 되지 못하고 있음
- (바이오항공유) 고가의 바이오항공유 가격, 급유 인프라 부족 등으로 인해 해외 선진국 대비 바이오항공유 도입이 더딘 상황

〈표 2-6〉 국내 주요 바이오연료 기업 동향

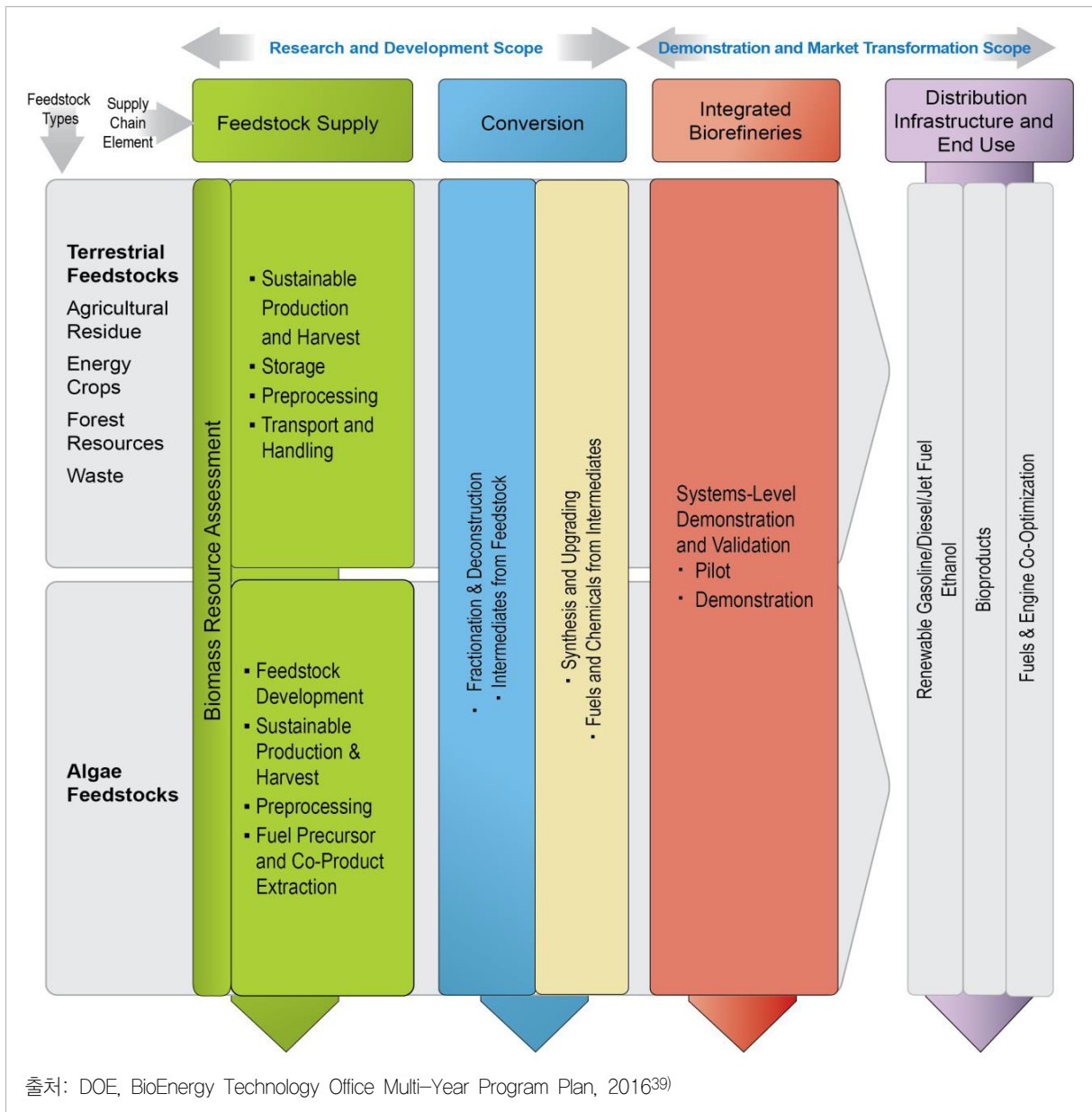
기업명	현황
GS칼텍스	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2015년 n-butanol 생산 실증 프로젝트 추진</li> <li>• 바이오부탄올 실증플랜트(400톤/년)를 2017년 말 완공한 이후, 본격적인 가동을 위해 설비 최종 점검 및 각종 인허가 작업을 진행하며 상업화 카운트다운 돌입('18.7월)</li> <li>• 바이오부탄올 사업 잠정 중단('19.8월)</li> </ul>
SK케미칼	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바이오디젤 사업 연산 20만톤 규모 생산용량 확보로 연간 매출액 2,000억원 수준으로 성장</li> <li>• 팜유 유래 바이오디젤 스페인에 수출(1만톤 규모) 성공('19.11월)</li> <li>• 바이오중유 선박 부문 응용을 위한 안전성 및 신뢰성 연구개발 추진('20.1월)</li> <li>• 그린 케미칼 및 생명과학 사업 등 미래 신규 성장사업 확장을 위해 바이오디젤, 바이오중유 등 바이오에너지 사업, 한앤컴퍼니에 3,800억원에 매각 결정('20.2월)</li> </ul>
대한항공	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2017년 미국발-인천행 대한항공 국적기(KE038) 바이오연료 혼합 항공유(기존 제트유 95%, 바이오 연료 5%) 이용 비행 성공</li> </ul>
바이오프랜즈	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 인도 현지기업 HANS와 쓰레기 매립장 내 가스를 이용해 메탄올, 바이오 DME 등의 바이오 가스 제조 및 상용화 사업 추진을 위해 MOU 체결('18.6월)</li> </ul>
케이알피앤이	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 국내 최초 글리세린과 지방산 중합반응기술(SYN-TG) 이용 친환경 바이오 선박유 생산 및 판매 돌입('19.12월)</li> </ul>

## 다. 기술개발 동향

### 1) 세계

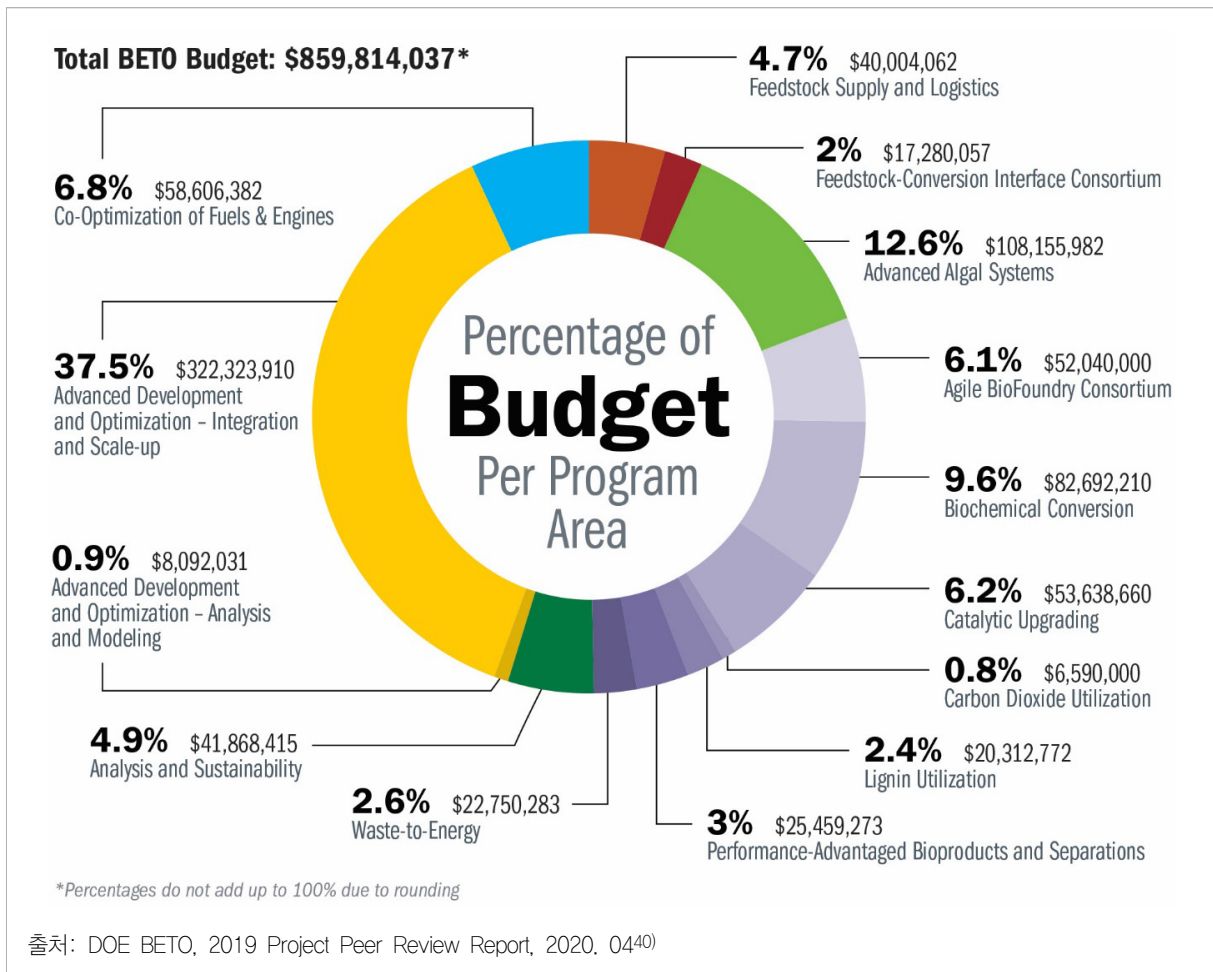
- 산·학·연 대규모 연구단을 중심으로 바이오에너지 보급확대를 위해 저가 바이오매스 확보, 에너지화 공정 단가 절감 기술, 고부가가치 바이오 화학제품 생산 기술 등 바이오매스 원료생산-전환-보급 및 활용 숲 단계에 걸친 연구개발이 광범위하게 추진되고 있음

- (미국) DOE/EERE 산하 BioEnergy Technology Office(BETO)는 미국의 석유수입 감축 및 미국산 바이오에너지 및 바이오제품 산업의 활성화를 위해 다년도 프로그램(Multi-Year Program Plan) 추진
  - 농업 잔류물, 폐기물, 에너지작물 등의 육상 바이오매스와 3세대 조류바이오매스의 공급부터 전환 공정, 통합 바이오피이너리, 배급 인프라 및 최종 소비 제품까지 연구개발 및 실증·상용화(RDD&C, Research, Development, Demonstration & Commercialization) 지원



[그림 2-3] DOE/EERE BioEnergy Technology Office의 기술개발 프레임워크

39) DOE, BioEnergy Technology Office Multi-Year Program Plan, 2016



[그림 2-4] DOE/EERE BETO의 2016~2019년간 기술 영역별 R&D 투자 현황

- '16~'19년 동안 BETO 프로그램을 통해 투자된 금액은 약 8억 6,000만 달러(1조 680억원)이며, 바이오피라이너리 단위 공정의 통합 및 스케일업, 차세대 조류 시스템, 생화학적 전환공정 등의 분야에 R&D 자금 지원
- 또한 BETO는 '20년에 Drop-in 바이오 연료 및 바이오전력의 단가 절감과 바이오매스 및 폐자원 유래 고부가가치 제품 생산에 관한 연구 분야에 총 9,600만 달러(1,192억원) 규모 투자를 공고<sup>41)</sup>
- 바이오 연료 및 바이오매스 유래 제품의 지속가능성 및 경제성 확보를 위해 조류, 폐기물 등의 공급원료 사용이 확대되는 추세이며, 바이오매스 유래 고부가가치 성분 및 제품 개발 연구 활발

40) DOE BETO, 2019 Project Peer Review Report, 2020,04

41) <https://www.energy.gov/eere/articles/department-energy-announces-nearly-100-million-bioenergy-research-and-development>

〈표 2-7〉 미국 DOE/EERE BETO 프로그램 2020년 프로젝트 공고 현황<sup>42)</sup>

주제 영역	내용	총 예산 (\$ million)
(Topic Area 1) 벤치급 규모 응용분야 확대 (Scale-Up of Bench Applications, SCUBA)	▶ 바이오연료 및 바이오제품 공정의 스케일업 위험도 축소 기술/설비 개발	~ 28
	<ul style="list-style-type: none"> <li>석유 유래 연료와 비교하여 온실가스 배출이 최대한 감축될 수 있는 지속가능한 공급원료를 사용하거나, '30년까지 바이오연료 판매 가격이 \$2.5/GGE를 달성할 수 있는 생산 공정 개선에 대한 연구</li> <li>(개발 목표) 연료 판매 가격(Fuel Selling Price): \$2.5~3GGE, 석유 유래 연료 대비 배출량 감축: 60% 등</li> </ul>	
(Topic Area 2) 바이오경제를 위한 폐기물 에너지화 전략 (Waste to Energy Strategies for a Bioeconomy)	▶ 도시 고형 폐기물(Municipal Solid Waste)의 전환 효율 향상을 위한 차세대 분류 및 제염 기술 개발	~ 18
	<ul style="list-style-type: none"> <li>비균질성, 다양성이 큰 도시고형폐기물에서 고순도 공급 원료를 생산하기 위한 차세대 분류, 전처리, 제염 기술 개발</li> <li>(개발 목표) 스트림의 순도: 95~99wt.%, 제염 효율: 80~95wt.%, 분류 및 제염 공정 비용: \$20~30/ton</li> </ul>	
	▶ 커뮤니티 규모의 습식 유기성 폐기물(wet organic wastes) 최적화	
(Topic Area 3) 조류 유래 바이오제품 및 CO <sub>2</sub> 직접 공기 포집 (Algae Bioproducts and CO <sub>2</sub> Direct-Air-Capture Efficiency, ABCDE)	<ul style="list-style-type: none"> <li>탄소 전환 효율이 높고, 커뮤니티 규모(5 dry tons/일)에서 경제성을 갖는 습식 유기성 폐기물(음식 폐기물 등)의 전환 공정 개발</li> <li>(개발 목표) 탄소 전환 효율: 최소 50% 향상, 습식 유기성 공급 원료의 처리 비용: 25% 이상 감소, 반응기 규모: 5~50L, 연속운전 시간: &gt;100h</li> </ul>	~ 14
	▶ 미세조류 연계 폐수 처리(Synergistic Wastewater Integration with Microalgae(SWIM))	
(Topic Area 4) 바이오 복원: 천연 자원을 복원하기 위한 바이오매스 (Bio-Restore: Biomass to Restore Natural Resources)	▶ 탄소 전환 효율 개선 및 공기 중 직접 포집 기술을 통한 조류 바이오연료 비용 절감 기술 개발	~ 8
	<ul style="list-style-type: none"> <li>조류 배양과 연계한 Direct-Air-Capture(DAC) 기술 활용 및 최적화, 조류 바이오매스 품질 개선, 조류 유래 바이오연료 및 부산물 제품 개발 연구</li> <li>(개발 목표) 조류 바이오매스 수익 잠재력, 조류 바이오매스 품질 기준, 조류 시스템에 활용된 DAC CO<sub>2</sub>(%) 등</li> </ul>	
	▶ 수질 및 토양 건강 복원에 중점을 둔 에너지 작물 재배 관련 경제적·환경적 편익 정량화	
	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오매스 생산성, 토양 품질, 수질, 온실가스 배출량, 생물 다양성 등 바이오매스 생산 및 수확과 관련된 생태계 서비스 정량화 연구 수행</li> <li>(개발 목표) 영양분 또는 유입 유사량 감축(kg/km<sup>2</sup>y): 20~60% 감축, 토양 내 탄소량 증가(Mg/km<sup>2</sup>): 20~60% 증가</li> </ul>	

42) DOE/EERE, FY20 Bioenergy Technologies Multi-topic FOA, DE-FOA-0002203, 2020.01.23

주제 영역	내용	총 예산 (\$ million)
(Topic Area 5) 효율적인 목재 히터 (Efficient Wood Heaters)	▶ 저배출·고효율 가정용 목재 히터 개발 및 실증	~ 5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>실내용 난방기, 액체 순환식 및 강제 공기 순환 난방기 등 가정용 목재 히터로부터 미세먼지, CO, VOCs 등의 유해 배출물 감축을 위한 히터 설계 및 연소 자동화 개선 연구</li> <li>(개발 목표) '20년 가정용 목재 히터의 미세먼지(Particulate Matter) 배출 한도 대비 배출량 25~50% 감축, 히터 효율 5~15% 향상</li> </ul>	
(Topic Area 6) 도시·교외 폐기물로부터 바이오전력 및 제품 생산: 연구 및 교육을 위한 북미 다자간 대학 파트너십 (Biopower and Products from Urban and Suburban Wastes: North American Multi-University Partnership for Research and Education)	▶ 유기성 폐기물로부터 바이오전력 생산	~ 15
	<ul style="list-style-type: none"> <li>바이오전력 또는 중간생성물(디젤, 메탄 등) 생산을 위한 유기성 혼합 폐기물의 혁신적 처리 및 전환 기술 개발</li> <li>(개발 목표) 바이오전력의 순 LCOE 최소 25%까지 감축</li> </ul>	
(Topic Area 7) 스케일업이 가능한 CO <sub>2</sub> 전기촉매작용 (Scalable CO <sub>2</sub> Electrocatalysis)	▶ 폐플라스틱 유래 제품 생산	~ 8
	<ul style="list-style-type: none"> <li>플라스틱 폐기물로부터 제품(에너지원 제외)을 생산하기 위한 해체 및 전환 기술 개발</li> <li>(개발 목표) 화학적으로 재활용 가능한 모노머 및 중간생성물 회수률(%): 10~30%, 플라스틱 분해능: 현 최고기술 대비 20~100% 향상 등</li> </ul>	
(Topic Area 7) 스케일업이 가능한 CO <sub>2</sub> 전기촉매작용 (Scalable CO <sub>2</sub> Electrocatalysis)	▶ 화학적 빌딩 블록을 생산하기 위한 저온·저압 CO <sub>2</sub> 전환 전기촉매 기술 개발	~ 8
	<ul style="list-style-type: none"> <li>CO<sub>2</sub> 전환을 통해 C1, C2 빌딩 블록(포름산, 메탄올, CO, CH<sub>4</sub> 등)을 생성하기 위한 저온·저압 구동 전기촉매 기술 개발 및 TEA, LCA, 스케일업 가능성 평가</li> <li>(개발 목표) 전류 밀도: 200mA/cm<sup>2</sup> 이상, 패러데이 효율: 90% 이상, 활성 표면적: 750 cm<sup>2</sup>/cell 이상, 수명 : 1000h 이상</li> </ul>	

- (유럽) 2014년 유럽위원회는 바이오기반산업컨소시엄\*과 함께 총 37억 유로(EU: 9.75억유로, 민간: 27억유로)를 투자하여 「Horizon 2020」 산하 Bio-based Industries Joint Undertaking(BBI-JU) 설립 및 바이오매스 기반 제품의 혁신과 시장 진입 가속화를 위해 R&D 추진<sup>43)</sup>
  - BBI-JU는 공급원료, 공정, 제품, 시장 진입 등 4개의 전략방향 측면에서 연간 102~135백만유로 (1,394~1,846억원) 규모의 프로젝트를 매년 공고
  - BBI-JU의 연구개발은 Horizon Europe(2021-27) 프로그램 하에서 "Circular bio-based Europe: Sustainable, inclusive and circular bio-based solutions" 파트너십으로 지속될 예정<sup>44)</sup>
- \* Bio-based Industries Consortium: Braskem, Celtic Renewables, P&G, NOVAMONT, novozymes, avantium 등 200개 이상의 대기업, 중소기업, 대학 등이 가입되어 있는 민간 바이오 산업컨소시엄

43) KISTEP, 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, 2017

44) European Commission, Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe, 2019.12

〈표 2-8〉 유럽 BBI-JU 컨소시엄의 2019~2020년 프로젝트 공고 현황<sup>45)46)</sup>

분 류	공고 내용
<p>(전략 방향 1) 기존 및 신규 밸류체인으로의 지속가능한 바이오매스 공급 촉진 (Foster supply of sustainable biomass feedstock to feed both existing and new value chains)</p>	<p>▶ 기존 공급 원료의 활용률 향상</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO1,D1) 리그닌의 고부가가치 화합물로의 전환 공정 스케일업 (Scale up conversion of lignin into valuable compounds for application in specific market sectors)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO1,D2) 미세조류로부터 식품 및 사료를 포함한 다양한 물질의 구성요소 생산 (Produce components for various materials, including for food and feed, from microalgae)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO1,D1) 잔류 폐기물의 기능성 분자로 전환하기 위한 공급사슬 장애요인 해결 (Resolve supply-chain hurdles for turning residual waste streams into functional molecules for food and/or non-food market applications)</li> </ul>
	<p>▶ 바이오산업을 위한 활용도가 낮거나 새로운 공급 원료의 이용 확대</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO1,R1) 신규 바이오 기반 밸류체인 창출을 위한 수종 및/또는 변종 이용 (Use tree species and/or varieties to create new bio-based value chains)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO1,F1/BBI2020,SO1,F1) 상업적 수준의 통합 바이오리파이너리를 통한 도시 고형 폐기물 유기 분획의 고부가가치화(Valorise the organic fraction of municipal solid waste through an integrated biorefinery at commercial level)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO1,D2) 생물 기원의 기체상 탄소를 활용한 산업의 공급원료 가용성 증대 (Use biogenic gaseous carbon to increase feedstock availability for the industry)</li> </ul>
<p>(전략 방향 2) R&amp;D&amp;I를 통한 통합 바이오리파이너리 공정 최적화 (Optimise efficient processing for integrated biorefineries through R&amp;D&amp;I)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO1,F2) 리그닌의 고부가 재료 및 화학제품으로 전환 (Turn lignin into materials and chemicals for high-end applications)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO1,F3) 수생 자원으로부터 영양가가 높은 식품 성분 생산 (Produce food ingredients with high nutritional value from aquatic sources)</li> </ul>
	<p>▶ 전처리(Pre-treatment)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R2) 바이오리파이너리 공정에서 전처리 단계의 비용 효율성 및 지속 가능성을 향상시키는 혁신기술 개발(Develop breakthrough technologies to improve the cost-effectiveness and sustainability of pre-treatment steps within biorefining operations)</li> </ul>
	<p>▶ 전처리된 공급원료의 바이오 화학제품 및 재료로 전환 (Conversion of pre-treated feedstocks to bio-based chemicals and materials)</p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R3) 폐플라스틱 이슈를 해결하기 위한 미생물 및 효소 활용 (Apply microorganisms and/or enzymes to resolve end-of-life issues of plastics)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R4) 개선된 목재 기반 재료를 위한 표면 또는 벌크 처리 기술 개발 (Develop surface or bulk treatments for improved wood-based materials)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R5) 식품 및 개인 생활용품 등 다양한 응용분야 활용을 위한 식물성 유지 및 지방의 안전한 고부가가치 제품으로 전환(Convert plant oils and fats into safe high-added-value products for various applications including food and personal care)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,F2) 바이오매스 공급원료의 모든 구성성분의 고부가가치화를 위한 기술 융합(Apply technological combinations to valorise all components of biomass feedstock)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO2,R1) 바이오 기반 산업의 공급원료 가용성 및 지속 가능성을 향상시키기 위한 구현 기술 개발(Use enabling technologies to improve feedstock availability and sustainability for the bio-based industry)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO2,R2) 고가의 구성성분 생산을 위한 리그노셀룰로오스의 통합 분획화 기술 개발(Develop integral fractionation of lignocellulose to produce components for high-value applications)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO2,R3) 복합재료 재활용을 위한 바이오 기반 솔루션 개발 (Develop bio-based solutions to recycle composites)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO2,R4) 고부가 응용을 위한 신규, 미활용, 난분해성 바이오매스로부터 생활성 화합물 추출 기술 개발(Extract bioactive compounds from new, under-exploited and/or recalcitrant residual bio-based streams for high-value applications)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO2,D3) 시장 확대를 위한 바이오 기반 플랫폼 분자 생산 고급화 (Upscale the production of bio-based platform molecules for larger market applications)</li> </ul>	

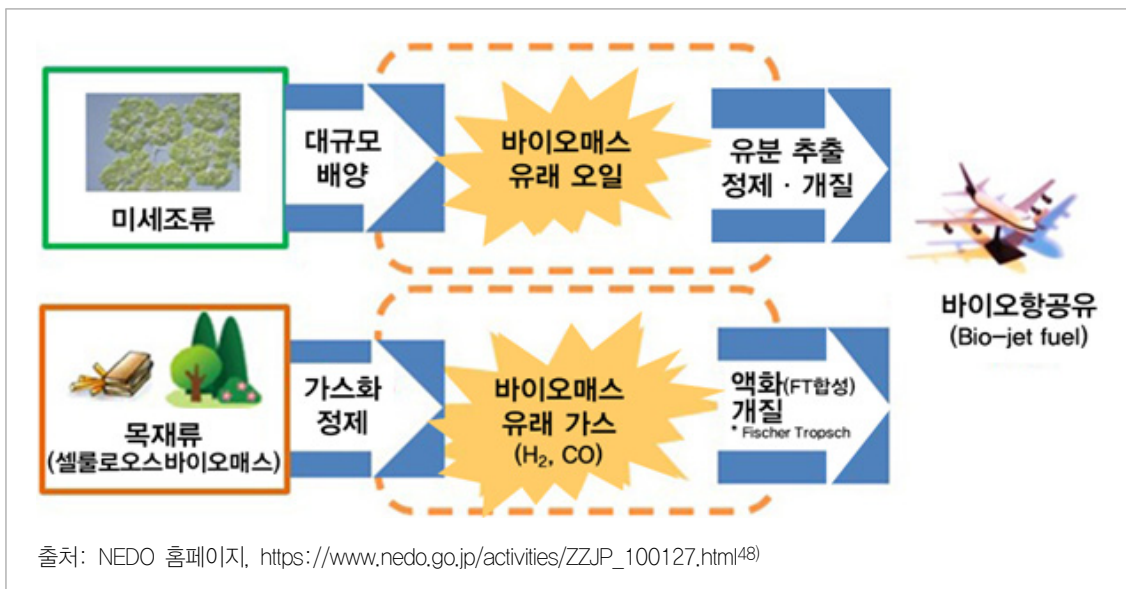
45) BBI JU, Annual Work Plan & Budget 2019, 2018

46) BBI JU, Annual Work Plan & Budget 2020, 2019

분 류	공고 내용
<p>(전략 방향 2) R&amp;D&amp;I를 통한 통합 바이오리파이너리 공정 최적화 (Optimise efficient processing for integrated biorefineries through R&amp;D&amp;I)</p>	<p>▶ <b>다운스트림 공정(Downstream processing)</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R6) 공정강화 및 신규 최종제품을 통한 바이오리파이너리 공정 개선 (Improve biorefinery operations through process intensification and new end products)</li> </ul>
<p>(전략 방향 3) 시장 적용을 위한 혁신적인 바이오 기반 제품 개발 (Develop innovative bio-based products for identified market applications)</p>	<p>▶ <b>시스템 모델링(System modeling)</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO2,R7) 바이오기반 잔류 스트림 구성성분 모델링 및 관리·처리 최적화 (Model the composition of bio-based residual streams and its evolution to optimise its management and processing)</li> </ul>
	<p>▶ <b>화석연료 기반 제품보다 우수한 성능의 바이오 기반 제품 (Bio-based products that outperform fossil-based counterparts)</b></p>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,R8) 대량 소비 제품을 위한 지속가능한 바이오 기반 재료 개발 (Develop sustainable bio-based materials for high-volume consumer products)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,R9) 섬유 제품의 성능 향상을 위한 바이오 기반 섬유 및 기능성 분자 개발 (Develop bio-based fibres and/or functional molecules to improve the performance of textile products)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,R10) 다양하고 까다로운 응용분야를 위한 바이오 기반 고성능 재료 개발 (Develop bio-based high-performance materials for various and demanding applications)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,D3) 최첨단 시장을 위한 바이오 기반 기능성 재료 및 첨가제 생산 (Produce bio-based functional ingredients and additives for high-end markets)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,D4) 농업 생산성의 지속적인 증가를 위한 바이오 기반 살충제 및 바이오 촉진제 실증 (Demonstrate bio-based pesticides and/or biostimulant agents for sustainable increase in agricultural productivity)</li> </ul>
<p>(전략 방향 4) 바이오 기반 제품·응용분야의 시장 창출 및 시장 진입 가속화 (Create and accelerate the market-uptake of bio-based products and applications)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO3,F3) 인체 건강 및 환경 보호 차원에서 유해한 제품 및 공정에 대한 고성능 바이오 기반 대체재 생산 (Produce high-performance bio-based alternatives to harmful products or processes to protect and enhance human health and the environment)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO3,R5) 코팅제의 지속가능성 개선 (Improve the sustainability of coatings)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO3,D4) 환경 피해를 최소화할 수 있는 우수한 바이오 패키징 솔루션 개발 (Demonstrate superior bio-based packaging solutions with minimal environmental damage)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO4,S1) 바이오 기반으로 전환하도록 브랜드 오너 지원 (Assist brand owners to 'switch to bio-based')</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO4,S2) - 바이오매스 공동 공급원료를 제품에 부여할 시 물질 수지 원리를 적용하기 위한 방법 및 커뮤니케이션 구축 (Establish methods and communication for applying mass balance principles to attribute biomass co-feedstock to products)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO4,S3) 참여적 접근을 통한 바이오경제 구축 (Shaping the bio-based economy through a participatory approach)</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2019,SO4,S4) 데스밸리를 돌파할 수 있도록 중소기업(SME) 클러스터 강화 (Empower SME clusters to bring SMEs 'across the valley of death')</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO4,S1) 스타트업 및 스핀오프 자금 확보 지원 (Help start-ups and spin-offs to gain access to finance)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO4,S2) 바이오 기반 밸류체인 유망 기술에 대한 인사이트 제공 (Provide insight on emerging technologies for bio-based value chains)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO4,S3) 산업의 기술 및 역량 니즈를 충족시킬 수 있는 바이오 기반 교육 센터 설립 및 상호 연결 (Create and interlink bio-based education centres to meet industry's needs of skills and competences)</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• (BBI2020,SO4,S4) 과소 활용된 순환 바이오경제를 포함한 순환경제 확대 (Expand circular economy to include the underexploited circular bioeconomy)</li> </ul>	



- **(일본)** 신에너지·산업기술개발 기구(NEDO)는 '14년부터 지역 바이오매스 활용 극대화를 위해 「바이오매스 에너지의 지역자립 시스템 실증 사업('14~'20)」을 지원해왔으며, '17년부터는 항공 부문의 저탄소화 요구에 발맞추어 2030년 바이오항공유의 실용화를 목표로 「바이오항공유 생산 기술개발 사업('17~'24)」을 추진<sup>47)</sup>
  - NEDO는 '19년 기준 「바이오항공유 생산 기술개발 사업」에 24.24억 엔(279억원)/년을 투자하여, 고속 성장형 보트리오코쿠스(*Botryococcus*)를 이용한 바이오항공유 대량 생산 기술 개발 및 목재 바이오매스 가스화 및 FT(Fischer-Tropsch) 합성을 통한 바이오항공유 파일럿 플랜트 연구개발 지원

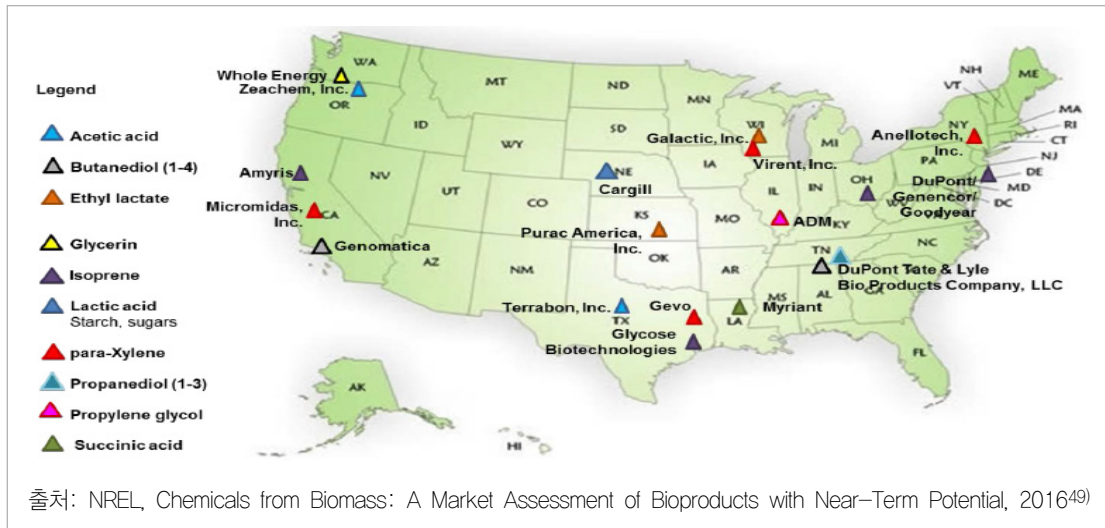


[그림 2-5] 일본 NEDO의 바이오항공유 개발 프로세스

- 미국, 유럽 등 기술선진국의 경우 자국의 바이오매스 및 성숙된 다운스트림 공정 기술을 기반으로 바이오화학제품의 시장 점유율 확대를 위한 바이오피파이너리 단계별 실증(pilot, demo, and pioneer), 최적화, 상용화 연구 활발
  - **(미국)** Genomatica의 1,4-BDO(1,4-Butanediol) 생산 플랜트, DuPont Tate & Lyle Bio Products의 Bio-PDO(1,3-propanediol) 및 1,4-BDO 생산 플랜트 등이 상용 생산 중이며, Gevo 및 Virent는 데모급 규모의 pX(para-xylene) 생산 플랜트, Anellotech는 pX 생산을 위한 열화학적 공정 기반 파일럿 규모 플랜트 개발 중

47) NEDO, NEDOのご案内, 2020

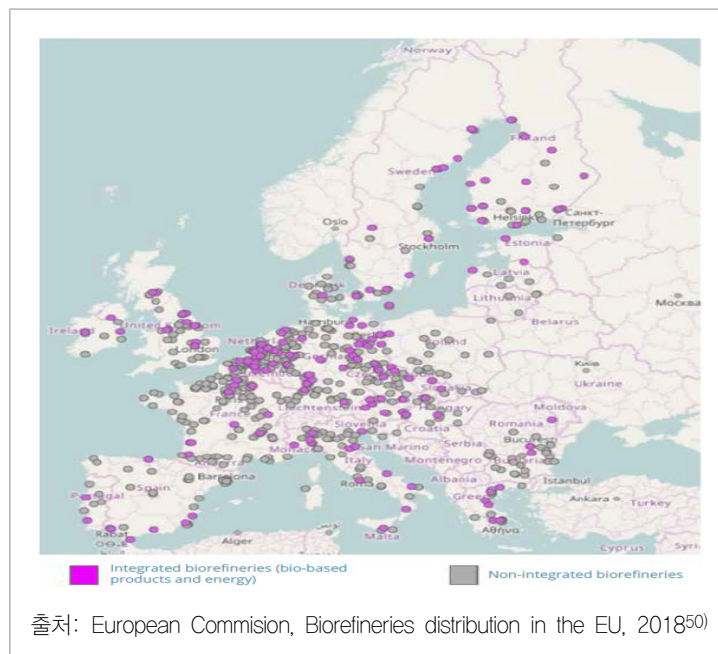
48) NEDO 홈페이지, [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100127.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100127.html)



[그림 2-6] 미국의 상용 또는 계획 중인 바이오화학제품 생산시설 현황

- (유럽) 벨기에 및 네덜란드 EU 중심부를 중심으로 총 803\*건의 바이오리파이너리가 개발 및 운영되고 있으며, 이 중 177건은 바이오에너지와 바이오화학제품을 동시 생산하는 통합형 바이오리파이너리로 확인됨

\* 화학제품 507건, 액상연료 363건, 복합소재 및 섬유 141건(다중 제품 생산의 경우 중복계상)



[그림 2-7] 유럽의 바이오리파이너리 현황

49) NREL, Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential, 2016

50) European Commission, Biorefineries distribution in the EU, 2018

□ (바이오화학제품) 석유계 화학제품 수준의 원가경쟁력 확보를 위해 식품, 산업 부산물 등 저가의 공급원료 활용 연구, 생산 공정 스케일업 연구 등이 추진되고 있으며, 또한 석유계 제품 대비 가능성이 보다 강화된 바이오화학제품 개발 등을 통해 새로운 수요 시장을 창출하기 위한 연구 개발 지속

- 1,4-Butanediol(Genomatica&BASF 7.5만톤/년 등), PLA(NatureWorks, 18만톤/년), 1,5-Pentanediamine (Cathay Industrial Biotech 상용화 추진 중), Dodecanedioic acid(Evonik 상용화 단계 근접) 등 석유화학제품 수준의 가격·기술 경쟁력을 확보하여 이미 상용화 되었거나 상용화 근접 단계에 이른 바이오 화학제품도 있으며,
- 저유가에 대비하여 추가적인 단가 절감과 제품 성능 향상, 생산공정의 지속가능성 개선 등을 위해 지속적으로 연구개발 되고 이는 바이오화학제품 분야도 존재(Adipic acid(Genomatica), 1,3-butanediol(Genomatica), n-butanol(Butamax, Green Biologics), Levulinic acid(GF Biochemicals) 등)<sup>51)</sup>

〈표 2-9〉 세계 바이오화학제품 관련 주요 R&D 프로젝트 현황<sup>52)</sup>

프로젝트 (국가)	연구 내용
BBI-JU EFFECTIVE (이탈리아, 슬로베니아 등)	• 슬로베니아의 Aquafilislo, Circular Change, 이탈리아의 Aquafil SpA, Novamont SpA 등 12개의 유럽 기관과 미국 Genomatica는 파트너십을 구축하여 지속가능한 공급원료로부터 바이오 기반 폴리아미드(Polyamides(Nylon)) 및 폴리에스테르(polyesters) 생산 기술 개발 추진(TRL 7 수준)
BBI-JU SElectiveLi (독일, 오스트리아 등)	• 제지 및 펄프 생산 공정의 부산물인 리그닌으로부터 전기화학적 공정 기반 고부가가치 물질(aldehydes 등) 추출 기술 및 다운스트림 분리·정제에 관한 개념 연구 수행
BBI-JU USABLE PACKAGING (터키, 이탈리아 등)	• 터키 KORUMA, 이탈리아 Barilla 등은 상용화가 가능한 바이오 플라스틱 포장재 개발 추진 • 생화학적 공정을 이용한 식품 가공 산업 부산물 등의 저비용 공급원료로부터 생분해성 포장재 빌딩블록(Polyhydroxyalkanoates(PHAs) 등) 생산 기술 개발
BETO-RENEWABLE CARBON FIBERS CONSORTIUM (미국)	• NREL, Cargill, MATRIC, Fisipe, Ford Motor Company 등으로 구성된 컨소시엄으로 Bio-ACN(Acrylonitrile) 유래 재생가능한 탄소 섬유 생산 공정 실증을 목표로 1세대 당(ex. sucrose)의 발효를 통한 3-HP(3-hydroxypropionic acid) 생산, 3-HP의 Bio-ACN로 전환, 탄소 섬유 생산 및 제조 등의 연구를 수행

□ (바이오리파이너리) 전통적 바이오매스 및 발효기술을 이용한 슈가 플랫폼뿐만 아니라 리그닌 잔류물 등의 미활용 분획, 목재, 폐기물 등의 비식용 바이오매스의 고부가가치화를 위한 바이오 리파이너리 연구 활발

- 셀룰로오스계 에탄올 연료 뿐만 아니라 셀룰로오스계 탄화수소 동시 생산을 위한 통합 바이오 리파이너리 연구 개발 추진

51) 과학기술정보통신부, 2019 생명공학백서, 2019

52) 유럽 BBI-JU 홈페이지(<https://www.bbi-europe.eu/projects>) 및 개별 프로젝트 홈페이지 참고

- 리그노셀룰로오스계 바이오매스 기반 바이오리파이너리, 리그닌 등의 부산물 고부가가치화를 위한 전환 균주, 전환 공정 개발 연구 활발
- 도시·산업·농업 폐기물과 같은 "Wet Waste"의 에너지화를 유망 기술 분야로 선정하고, "Wet Waste" 기반 바이오연료 및 화학제품 생산 연구 개발 추진

〈표 2-10〉 세계 바이오리파이너리 관련 주요 R&D 프로젝트 현황<sup>53)</sup>

프로젝트 (국가)	연구 내용
BBI-JU iFermenter (노르웨이, 독일 등)	• 리그노 셀룰로오스계 당 잔류물(펄프산업 등)을 이용할 수 있는 지능형 발효 시스템 개발
BBI-JU BIOFOREVER (그리스, 네덜란드 등)	• 그리스의 API Europe, 네덜란드의 AvantiumChemicals BV, DSM, 독일의 Nova Institute 등으로 구성된 컨소시엄으로 리그노셀룰로오스 바이오매스로부터 빌딩블록 및 고부가가치 화학제품을 제조하는 상용 규모의 바이오리파이너리 연구개발 추진
BBI-JU ZELCOR (프랑스, 영국 등)	• 프랑스의 INRA, 영국의 Ardilla, 독일의 Nova Institute 등은 컨소시엄을 구성하여 리그노 셀룰로오스계 부산물의 화학적, 곤충 기반 생물학적, 효소적 전환을 통한 고부가가치화 바이오리파이너리 연구 추진
H2020-LIBERATE (독일, 스웨덴 등)	• 독일 Evonik, 스웨덴 Perstorp, 스페인 Oxiris 및 프라운호퍼 등은 LIBERATE 컨소시엄을 통해 리그닌 바이오매스 기반 파일럿 규모의 전기화학 플랜트 개발 추진 • 전기화학시스템 기반 Vanillin(수율: 7%), phenolic derivat oligomers(수율: 35% 이상), propyl adipic acid(수율: ~80%) 생산 기술 개발

□ (바이오연료) 미국, 유럽 등을 중심으로 자국의 풍부한 바이오매스(사탕수수, 목재 등)를 활용한 바이오 제트 연료 생산 기술 등 바이오연료 이용범위 확대를 위한 기술개발 및 실증 연구 활발

〈표 2-11〉 세계 바이오연료 관련 주요 연구개발 동향<sup>54)</sup>

연구기관	현황
Pacific Northwest National Laboratory (미국)	• 에탄올의 에틸렌으로의 전환(탈수), 올리고머화, 수소화를 통한 파라핀계 케로신을 생산할 수 있는 촉매공정 개발 및 개발된 제트연료(ATJ-SPK)의 ASTM 기준 승인 획득('18.6월)
University of Illinois at Urbana-Champaign (미국)	• 미국 DOE의 자금 지원으로 미국에서 생산성이 가장 높은 2종(사탕수수, 억새) 식물을 이용한 바이오디젤 및 바이오제트 연료 생산 연구프로젝트(ROGUE) 수행(5년간 10.6백만달러)
SEKAB E-Technology (스웨덴)	• 유럽 전역에 목재 부산물 기반 바이오연료 생산시설을 마련하는 것을 목표로 EU-HORIZON 2020 프로젝트 Rewofuel착수 및 약 4백만 유로 지원 확보
Institute for Healthcare Improvement (일본)	• Hyper-Growth <i>Botryococcus braunii</i> 유래 바이오항공유(ASTM D7566 규격) 생산을 목표로 미세조류 옥외 배양 실증, 균주 개선, 배양, 수확, 전환 등의 통합 생산 공정 개발 수행
MHPS, TOYO, CEPCO, JAXA (일본)	• 일본 Sin-Nagoya 발전소에 목재 바이오매스로부터 바이오 제트연료를 생산할 수 있는 통합 실증 시설(바이오매스 처리용량: 0.7톤/일, 바이오 제트연료 생산용량: 20L/일) 건설 착수('18.12월)

53) 유럽 BBI-JU 홈페이지(<https://www.bbi-europe.eu/projects>) 및 개별 프로젝트 홈페이지 참고

54) 한국에너지기술연구원, 글로벌 에너지·기후 기술 및 산업 동향

## 2) 국내

### □ 정부 R&D 투자 현황

- 화이트바이오 분야 정부 R&D 투자 규모는 2019년 기준 604.6억 원으로 2018년 851억 원 대비 감소하였으며, 레드바이오 분야 대비 매우 저조한 수준(바이오 전체\* 예산의 4.2%수준)

\* 정부 R&D투자 비율('19): 레드(39.7%), 그린(15.9%), 화이트(4.2%), 기초기반(40.2%)<sup>55)</sup>

〈표 2-12〉 화이트바이오 관련 정부 R&D 투자 현황<sup>56)</sup>

부처	세부 사업	내역사업 (기간, 총 예산)	사업내용	예산(백만원)					
				'15	'16	'17	'18	'19	계
과학 기술 정보 통신부	글로벌 프론티어 지원	(재)차세대 바이오매스 연구단 ('10~'19, 935억원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 최적 미세조류 배양시스템을 통한 바이오매스 자원 확보 및 미세조류 균주 개량(환경내성, 고 지질 등)</li> <li>• 미세조류 대량 배양, 수확, 오일 추출 및 전환 공정 개발, 지질추출 후 잔사 바이오매스 이용 기술 개발 및 초구조 기반의 최적화 기술 개발</li> <li>• 미생물기반의 바이오연료 및 바이오화합물(범용화학제품) 생산 시스템 개발(3-HP, 2,3-BDO, PUFA 등)</li> </ul>	10,370	9,584	9,484	8,712	5,337	43,487
		C1가스 리파이너리 ('15~'23, 1,415억원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• CO, CH<sub>4</sub>와 같이 탄소수가 1개인 가스로부터 수송 연료 및 기초 화학 원료 생산을 위한 바이오촉매, 화학촉매, 리파이너리 개발</li> <li>• 메탄올, 에탄올, 부탄올 등의 수송용 알코올과 젯산, 숙신산, 아세트산, 올레핀/BTX, C1폴리머 등 합성</li> </ul>	4,000	14,000	13,142	15,278	16,278	62,698
	기후변화 대응기술 개발	바이오 에너지 ('9~'20)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바이오매스 유래 오일 기반 화학원료 및 수송용 연료 제조기술 개발</li> <li>• 페바이오매스를 이용한 zero-waste 바이오피리파이너리 기술 개발</li> <li>• 팜유잔사물 유래 바이오가스 에너지화 기술 개발</li> </ul>	7,500	6,300	7,317	9,844	7,883	38,844
산업 통상 자원부	바이오 산업핵심 기술개발	바이오화학 산업화촉진 기술개발 ('14~'19, 842억원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바이오화학 원료(바이오슈가) 대량 생산 기술, 바이오화학 소재(폴리우레탄) 및 바이오플라스틱(PLA) 생산기술 및 바이오화학제품 생산을 위한 통합공정용 바이오컴비나트 기술개발</li> </ul>	15,510	16,780	10,000	8,700	-	50,990
	신재생 에너지 핵심기술 개발	신재생에너지 핵심기술개발 (바이오)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 바이오에너지 생산성 향상 기술개발 및 다양한 원료를 활용한 도시친화형 생산 기술 확보 중점 추진</li> </ul>	17,585	17,763	20,413	21,625	16,146	93,532
해양수산부	해양수산 생명공학 기술개발	해양수산 바이오 신소재개발 ('10~'22, 1,216억원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 고탄력·고강도 해양 섬유복합소재, 해양바이오플라스틱 소재 등 고부가가치 인체·화학 산업용 기능성 소재 개발</li> </ul>	4,946	5,700	11,600	12,550	11,036	45,832
		해양바이오 에너지개발 ('9~'19, 734억원)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해양생물 유래 친환경 바이오에너지(바이오디젤 및 수소) 생산 원천기술 확보 및 대량생산 체계 구축</li> </ul>	8,420	9,789	9,700	8,400	3,783	40,092
합계				68,331	79,916	81,656	85,109	60,463	375,475

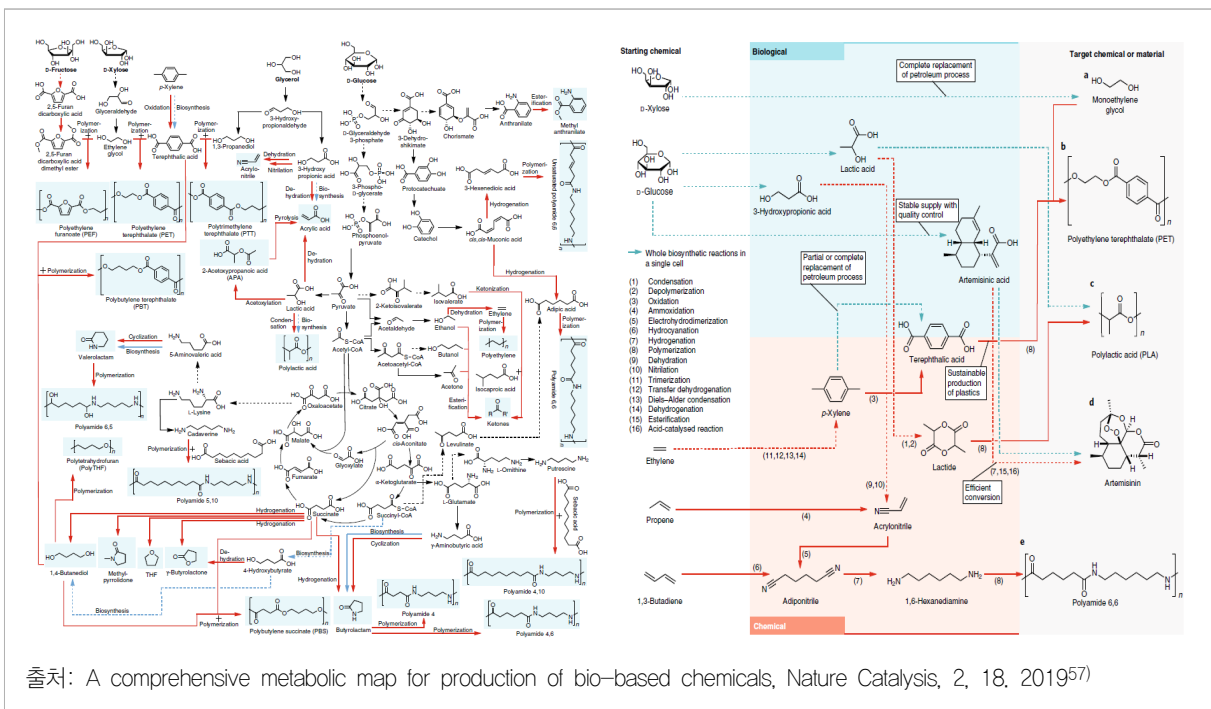
55) 관계부처 합동, 바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제, 2020

56) 과학기술정보통신부, 2019 생명공학백서, 2019.12

- 과기정통부와 해수부는 대학, 출연연을 중심으로 대형 사업단을 구성하여 원천기술개발 R&D를 지원하고 있으며, 산업부는 기업 중심의 실증 및 상용화 과제 추진
- 과기정통부의 차세대바이오매스연구단, 산업부의 바이오화학산업화촉진기술개발사업, 해수부의 해양바이오에너지개발 사업 등 정부의 중장기·중대형 R&D가 최근 종료된 상황으로, 화이트 바이오 분야의 신규 R&D 사업 지원 등의 정부의 투자와 산업 육성 전략이 필요한 상황

□ (바이오화학제품) 대표적인 산·학·연 연구기관을 중심으로 Drop-in 화학제품 개발 연구가 주로 진행되었으나, 최근에는 시스템 대사공학 기술의 발전으로 Drop-in 화학제품 외에 다양한 고부가스펙셜티 제품 생산을 위한 요소 기술 개발도 모색되고 있는 현황

- CJ 제일제당, 대상, SK케미칼 등 주요 바이오 기업을 중심으로 바이오매스 유래 폴리우레탄, PLA, 1,5-Pentanediamine 등의 범용화학제품 상용화를 위한 연구개발이 진행되었으며,
- KRIBB, UNIST, KAIST 등 학계·연구계는 맞춤형 발효 균주 개발, 전환 공정 및 촉매 개발, 정제·분리 기술 개발 등 바이오화학제품 생산을 위한 요소기술 개발 연구 수행
- '19년 1월 KAIST에서는 다양한 바이오화학제품의 최적의 생물학적/화학적 합성경로를 담은 합성지도를 완성하여 바이오 기반 화학제품 생산 연구 분야의 청사진을 제시



[그림 2-8] 바이오 기반 화학제품 합성지도

57) A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals, Nature Catalysis, 2, 18, 2019

□ (바이오리파이너리) 전통적인 바이오매스 원료 외에 미세조류, 리그닌 분획 등 지속가능성이 높고, 저렴하고 풍부한 바이오매스를 원료로 활용하기 위한 바이오리파이너리 연구 활발

- 차세대 바이오매스 연구단을 중심으로 미세조류 기반 바이오리파이너리 연구가 집중적으로 진행되어, 고성능 미세조류 개량 기술, 수송연료 생산을 위한 다운스트림 공정 통합 및 실증 기술, 3-HP, Fucose, DHA 등의 고부가가치 바이오소재 개발 기술 확보
- 현재는 미활용 부산물로 인식되고 있는 리그닌을 원료로 활용하기 위해, 리그닌 추출 기술, 리그닌 분해 생촉매 선별 및 대량 생산 기술, 분해 단량체의 반응 정제 및 zero-waste화 기술 개발 등 원료 한계를 극복하기 위한 연구개발 수행 중

□ (바이오연료) 바이오매스 · 폐자원(미세조류, 해양생물 등) 유래 그린 디젤, 바이오항공유 등 수송연료 생산을 위한 고성능 촉매 및 균주 개발, 연료 업그레이딩 기술, 공정 최적화 기술 개발 활발

〈표 2-13〉 국내 바이오에너지/화학제품 관련 주요 연구개발 동향<sup>58)</sup>

연구기관	현황
전라북도 농업기술원	• 수입 우드펠릿을 대체할 수 있는 케나프 활용 바이오에너지화 사업 추진('18.6月)
차세대 바이오매스 연구단	• 미세조류로부터 바이오아크릴 원료로 사용되는 3-HP 균주를 개발하여 (주)노루홀딩스에 기술이전 실시('17.2月) • 갈조류 산 가수분해 당화 및 추출 공정 기술 및 노하우 다인바이오(주)에 기술이전 실시('19.1月) • 비녹색 미세조류 이용 국제규격에 맞는 바이오 항공유 Lab-scale 생산 성공 • 지질 추출 촉매를 비롯하여 고부가가치의 DHA 및 바이오항공유의 동시 생산공정 개발을 통해 바이오항공유의 경제성 제고
한양대학교	• 아미노산의 생물학적 전환을 통한 고급 알코올(n-propanol, n-butanol, isobutanol) 생산방법 제시('19.2月)
한국과학기술원	• 바이오매스인 미생물에서 화학제품을 생산하는 경로를 정리한 바이오 기반 화학물질 합성 지도 개발 · 완성('19.1月) • 포도당을 섭취하여 지방산 및 지방산유도체를 생산할 수 있는 균주를 개발하여 바이오 디젤로 전환시킬 수 있는 미생물(Rhodococcus) 균주 개발('19.6月)
한국생명공학연구원	• 식물유래 지방산 원료로부터 Sebacic acid 대량 생산기술 및 Sebacic acid 고순도 분리 · 정제 기술 개발 • 애경유화, 롯데케미칼 등과 협력하여 바이오나일론 610 합성 성공('20.1月)
울산과학기술원	• 태양광 에너지만을 이용해 리그닌을 선택적으로 고부가가치 화합물(바닐린, 바이오고분자 등)로 변환시킬 수 있는 융합촉매 시스템(광촉매 · 전기촉매 · 효소) 개발('19.11月)
한국과학기술연구원	• 아세트산에 대한 저항성이 강화되어 고농도 바이오연료를 생산할 수 있는 신규 미생물 개발 ('19.12月)
서울대학교 · 포항공과대학교	• 해조류 기반 바이오연료 및 화합물의 생산속도를 증대시킬 수 있는 신종 미생물 발굴 ('19.6月)
한국화학연구원	• PET병을 대체할 바이오플라스틱 Polyethylene 2,5-furandicarboxylate(PEF)의 원료인 '2,5-FDCA(2,5-furandicarboxylic acid)'를 선택적으로 생산할 수 있는 촉매 개발('19.5月)
한국에너지기술연구원	• 폐목재 등의 바이오매스로부터 합성석유인 제트유, 디젤 등의 기름을 생산하는 바이오매스용 액화기술 캐나다 Highbury Energy Inc.사에 기술이전 실시('16.12月) • 미세조류 유래 바이오디젤 생산을 위한 고지질 미세조류 저가 · 대량 생산 기술, 회수 및 추출 기술 개발 • 온실가스를 이용하여 바이오연료 및 고부가화학물질을 생산할 수 있는 'e-바이오리파이너리' 기술 개발('20.5月)

58) 한국에너지기술연구원, 글로벌 에너지 · 기후 기술 및 산업 동향

## 3 화이트바이오 분야 이슈 분석

### 가. SWOT 분석

□ 화이트바이오분야의 정책, 시장·산업, 기술개발 동향 분석을 바탕으로 SWOT 분석을 실시하여 국내 화이트바이오분야의 주요 이슈를 진단

〈표 3-1〉 화이트바이오 분야 SWOT 분석

	강점(Strength)	약점(Weakness)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 세계적 수준의 석유화학 플랜트 기술력</li> <li>• 합성생물학/효소공학 원천기술 확보 단계</li> <li>• 순환경제/환경규제 정책 강화로 친환경 바이오제품 수요 증가 전망 (ex. 일회용플라스틱 규제, 항공/선박 배출 규제)</li> <li>• 바이오연료 공급 측면에서 기존 인프라 활용 가능 (ex. 전기차/수소차 충전소 필요無)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 정부 정책 및 인증제도 부족(RFS, RHO 등)</li> <li>• 국내 바이오매스 공급 인프라 부족</li> <li>• 바이오에너지에 대한 부정적인 국민 인식(ex. 폐기물, 악취, 자원부족)</li> <li>• 범용화학제품 중심의 석유화학산업 포트폴리오</li> <li>• 他 바이오산업 대비 투자 부족으로 인한 자생적 산업생태계 구축 미비</li> <li>• 축적된 일부 요소기술 수준 대비 실증, 산업화 연계 R&amp;D 미흡</li> </ul>
기회(Opportunity)	SO 전략	WO 전략
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 친환경 제품에 대한 수요 증가</li> <li>• 동남아 바이오매스 자원에 대한 유리한 지리적 접근성</li> <li>• 다양한 기술분야 간 융·복합 용이</li> <li>• 글로벌 협력 창구 및 해외 온실가스 감축 매커니즘 활성화</li> <li>• 기존 레드바이오 중심의 정부정책에서 화이트바이오 육성까지 확대할 예정</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 전략적·효율적 R&amp;D 투자 확대를 통한 잠재력이 큰 기술 분야간 융합 연구 확대 및 R&amp;D 혁신 추진</li> <li>• 우수한 기술력 및 국내 인프라 활용을 통한 현지 맞춤형 수출 산업화 지원</li> <li>• 기후·환경 이슈에 대응한 R&amp;D를 통해 미래 친환경 바이오연료/화학제품 신시장 선점</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해외 바이오매스자원 활용 기술 개발을 통한 바이오 연료/화학제품 경제성 확보</li> <li>• 환경변화 및 시장수요를 반영한 기술·제품 개발 및 홍보를 통한 해외 진출 기반 마련 및 국민 인식 제고</li> <li>• 온실가스 감축 기여 확대를 위한 정책적·제도적 지원 기반 강화</li> </ul>
위협(Threat)	ST 전략	WT 전략
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 유가 변동 예측 불확실성</li> <li>• 비전통자원(세일 등) 개발로 인한 바이오에너지의 가격경쟁력 약화</li> <li>• 원료 공급 불안정성(보호무역주의 등)</li> <li>• 유럽의 바이오매스 기준 강화</li> <li>• 신흥국가의 바이오 시장 진출 및 바이오에너지 기술 추격</li> <li>• 정유·석유화학업계와의 경쟁양상 및 他 경쟁기술(전기차 등) 대두</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 외부 환경변화에 대한 탄력성 강화를 위한 국내 우수한 기술 역량(석유정제, 생명공학 등) 활용 바이오연료·화학제품 포트폴리오 고부가가치화</li> <li>• 혁신적 원천기술 개발을 통한 지속 가능하고 비용효과적인 바이오에너지/화학제품 개발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품의 시장성 확보를 위한 수요자 맞춤형 R&amp;D 강화 및 시장진입 법/제도 규제 개선</li> <li>• 지속가능한 신규 바이오매스 발굴을 통한 바이오매스 자립도 향상 및 글로벌 시장환경 변화에 적극 대응</li> </ul>



## 나. 이슈 진단

- 산유국의 원유 증산 경쟁, 셰일혁명, 미·중 무역전쟁, COVID-19 팬데믹 사태 등 예측하기 어려운 외부 요인들에 의해 국제 유가의 불확실성은 크게 증가하였으며, 이로 인한 저유가 장기화 기조는 지속될 전망으로 화이트바이오 제품의 가격경쟁력·사업 수익성 확보 난항
  - 특히, 우리나라의 석유화학산업 생산구조는 범용화학제품 위주로 이루어져 있으며, 지금까지 바이오 연료·화학제품 기술개발도 유가에 영향 받기 쉬운 Drop-in 제품 중심으로 개발되었기 때문에, 유가변동에 더욱 취약할 우려
- 전력 생산 중심의 재생에너지 기술 발달과 더불어 배터리전기차, 수소연료전지차와 같이 바이오 에너지를 대체할 수 있는 他 경쟁기술이 급격히 발전함에 따라, 국내 여건 상 경제적인 원료 확보 등의 문제가 남아있는 화이트바이오 분야는 정책적인 관심도가 낮은 상황
  - 국내 바이오매스를 활용한 바이오에너지 보급 잠재량과 바이오에너지의 국내 신재생에너지 보급 기여도에 대비하여 비용효과적인 국내 바이오매스 공급 인프라 부족 등의 이유로 정부 정책(재생에너지 3020) 보급목표가 낮게 설정된 상황
  - 담보상태에 있는 RFS 정책, RHO 미시행, 바이오 연료·화학제품의 공인인증제도 미비, 전력 분야에 편중된 국가 에너지 정책으로 인해 민간의 투자는 활발하지 못한 상황
- 화이트바이오 기술의 높은 온실가스 감축 잠재량과 에너지 보급 기여도, 고용창출 등의 부가가치 창출 성과 대비 낮은 국민 수용성, 정책지원 미흡 등으로 인해 보급시장이 제한적으로 발달
  - 바이오연료의 경우 혼소발전과 경유 혼합에만 한정적으로 활용되고 있으며, 바이오 연료·화학 제품에 대한 사회적 수용성 부족(경쟁기업, 주민 등)으로 화이트바이오 시장 확대 저해
- 他 바이오산업 대비 작지만 연구개발을 지속 지원하여 바이오에너지 화학제품 생산을 위해 일부 단위공정 및 요소기술에 대한 기술적 역량은 다수 확보하였으나, 화이트바이오 제품의 상용화를 위한 실증 테스트 경험 미흡으로 국내 기술개발 역량과 수요 산업과의 간극 존재
  - Lab-scale 수준에서 요소기술의 기술개발 수준이 지속적으로 향상하고 있으나, 스케일업, 산업화 연계 실증 경험이 부족하며, 이로 인해 경제성, 온실가스 감축 잠재량 평가 데이터 부족
  - 화이트바이오 R&D는 초기 R&D 비용부담이 크며, 생물공학, 화학공학 등 다양한 분야의 기술 융합이 필요한 분야이나 관련 중장기·중대형 R&D가 최근 종료된 상황으로, 지속적인 기술역량 제고를 위해 정부의 신규 R&D 사업 발굴과 투자 확대가 필요한 상황

## 4 시사점

- 바이오매스 원료 확보부터 바이오 연료·화학제품 생산/보급을 아우르는 전주기적 R&D를 지원하기 위한 장기적·융합형 R&D 지원 체계 구축 필요
  - 바이오매스 원료 활용 극대화, 바이오매스 유래 고부가 스페셜티 케미칼 개발, 석유계 제품 대비 고기능성·환경친화성 제품 개발 등 바이오에너지의 경제성 제고 및 시장 확대형 기술개발 추진
  - 원가 절감과 지속가능성 향상을 위해 비식용·미활용 바이오매스(리그닌, 조류, 바이오폐자원 등) 활용을 위한 원료 다각화 및 바이오매스 자원 제한 해소 R&D 추진 필요
  - 항공, 선박 부문과 같이 다른 탈탄소화 대안(전기화 등)이 부족한 분야에서 시장을 선점하고, 온실가스 감축에 대응하기 위해 바이오항공유, 바이오선박유 관련 R&D 확대 추진
  - 친환경 생분해성 플라스틱 소재 등 순환경제 흐름에 부합한 친환경 바이오제품 개발 지원
  - 바이오·화학 융합 연구, 산·학·연 공동연구 확대와 더불어 바이오 기업, 석유화학 기업, 제품 수요 기업간의 협력 R&D 확대 지원을 통해 트랙레코드 확보 필요
  
- 균형적인 화이트바이오 산업생태계 구축을 위해 지속적인 R&D 투자확대와 더불어, 민간 기업 투자 및 생산 확대를 유인할 수 있는 생산자·소비자 Two-track 인센티브 제도 마련, 일관성 있는 정책 기조 유지 등 외부 리스크에 대응할 수 있는 정책 마련 및 제도 보완 필요
  - 화이트바이오 신시장 창출을 위한 R&D 비용 세액 공제 지원, 해외 수출 산업화 지원, 공공기관 우선 구매제도 등 수요시장 확대를 통한 시장 경제성 확보 지원
  - 바이오 유래 제품에 대한 국가차원의 전주기 경제성/환경성 분석 플랫폼 및 성능평가 시스템 구축을 통한 기술적·사회적 수용성 향상 추진
  - 화이트바이오 제품 초기시장 창출을 위한 바이오매스 유통 인프라, 실증·시험 인프라 등 공공 인프라 구축 지원
  - 정유·석유화학 산업, 전력기반 모빌리티 산업 등 타 경쟁 산업과의 조화로운 성장을 위한 지원책 마련

## 참 고 문 헌

- [1] 한국에너지공단, 2018년 신·재생에너지 보급통계, 2019.
- [2] IEA, Renewables 2018, 2018.
- [3] IEA, World Energy Outlook 2018, 2018.
- [4] Oil Spirals Below Zero in 'Devastating Day' for Global Industry, Bloomberg, 2020.04.21.
- [5] 한국석유공사, Opinet, <https://www.opinet.co.kr/>(20.04.22 다운로드).
- [6] IRENA, Advanced Biofuels: What holds them back?, 2019.
- [7] 관계부처 합동, 바이오산업 혁신 정책방향 및 핵심과제, 2020.
- [8] 한국바이오안전성정보센터(KBCH) 『바이오화학산업동향(TWB)』.
- [9] <https://www.whitehouse.gov/briefings-statements/president-donald-j-trump-is-improving-american-agriculture-programs/>
- [10] <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-delivers-president-trumps-promise-allow-year-round-sale-e15-gasoline-and-improve-1>
- [11] <https://www.epa.gov/newsreleases/epa-announces-biofuel-and-small-refinery-exemption-priorities>
- [12] <https://www.cspdailynews.com/fuels/epa-plans-biofuel-boost-2020>
- [13] <https://ww2.arb.ca.gov/our-work/programs/low-carbon-fuel-standard/lcfs-regulation>
- [14] 연합뉴스, 미국도 '플라스틱 프리' 동참하나... 민주당 관련법안 발의, 2020.02.12.
- [15] 매일경제, 유럽의회, 2021년부터 10 종류 일회용 플라스틱 금지법안 가결, 2019.03.28.
- [16] 에너지경제연구원, 주요 국가의 친환경 에너지정책 추진과 신재생에너지 역할 변화, 2018.
- [17] 한국과학기술기획평가원, 바이오경제로의 이행을 위한 화이트바이오 산업 육성 정책 제언, 2017.
- [18] 국립산림과학원, 일본의 바이오매스 타운 조성 운영 지원 법률 및 제도, 2011.
- [19] KOTRA 해외시장뉴스, 인도네시아 바이오 연료 혼합정책 동향, 2020.
- [20] 한국해양수산개발원, 2020년 황산화물 규제 시행 대비 해운부문 체계적 대응 필요, 2019.
- [21] 한국해양수산개발원, 국제해사기구(IMO), 2030 온실가스 40% 감축 목표, 新추진연료(화석연료-OUT) 개발 및 사용을 의미, 2019.

- [22] (재)한국기후변화연구원, 바이오항공유 산업지원 및 활용 기획연구 최종보고서, 2019.
- [23] <https://www.icao.int/environmental-protection/GFAAF/Pages/ICAO-Vision.aspx>
- [24] 관계부처 합동, 제3차 생명공학육성기본계획, 2017.
- [25] Wise Guy Reports, White Biotechnology Market 2019 Global Analysis, Growth, Trends and Opportunities Research Report Forecasting 2025, 2019.
- [26] Frost & Sullivan, Emerging Technology in Bio-chemicals, 2013.
- [27] Grand View Research, Bio-based Platform Chemicals Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product, And Segment Forecasts, 2019 - 2025, 2019.
- [28] Frost & Sullivan, Growth Opportunities for Bio-based Chemicals and Materials in Europe and North America 2017, 2018; 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터, 바이오화학(Bio-based Chemicals) 산업 현황, 2018.
- [29] 산업통상자원부, 화학산업 고부가가치화 전략, 2016.
- [30] IEA, Renewables 2019, 2019.
- [31] CJ 미래경영연구원, 바이오화학 산업 동향, 2016.
- [32] 한국바이오협회 한국바이오경제연구센터, 바이오화학(Bio-based Chemicals) 산업 현황, 2018.
- [33] 산업통상자원부 & 한국바이오협회, 2018년 기준 국내 바이오산업 실태조사 결과보고서, 2019.12.
- [34] 지식경제부, 석유 의존도 완화 및 온실가스 저감을 위한 바이오화학 육성전략, 2012.12.
- [35] GS Caltex, Opportunities and Efforts for Commercialization of Industrial Biotechnology, 2015.
- [36] DOE, BioEnergy Technology Office Multi-Year Program Plan, 2016.
- [37] DOE BETO, 2019 Project Peer Review Report, 2020.04.
- [38] <https://www.energy.gov/eere/articles/department-energy-announces-nearly-100-million-bioenergy-research-and-development>
- [39] DOE/EERE, FY20 Bioenergy Technologies Multi-topic FOA, DE-FOA-0002203, 2020.01.23.
- [40] European Commission, Orientations towards the first Strategic Plan for Horizon Europe, 2019.12.
- [41] BBI JU, Annual Work Plan & Budget 2019, 2018.
- [42] BBI JU, Annual Work Plan & Budget 2020, 2019.
- [43] NEDO, NEDOのご案内, 2020.
- [44] NEDO 홈페이지, [https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP\\_100127.html](https://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100127.html)

- [45] NREL, Chemicals from Biomass: A Market Assessment of Bioproducts with Near-Term Potential, 2016.
- [46] European Commision, Biorefineries distribution in the EU, 2018.
- [47] 과학기술정보통신부, 2019 생명공학백서, 2019.
- [48] <https://www.bbi-europe.eu/projects>
- [49] 한국에너지기술연구원, 글로벌 에너지 · 기후 기술 및 산업 동향.
- [50] A comprehensive metabolic map for production of bio-based chemicals, Nature Catalysis, 2, 18. 2019.

## 【 KIER 기술정책 FOCUS 발간 현황 】

발행일	제 목	Vol. , No.
2020. 5.	2018년 후지경제 연료전지 시장 동향 및 전망 - Part 1. 활용분야를 중심으로 -	Vol. 14, No. 4
2020. 4.	주요국 에너지·기후변화대응 혁신 R&D 프로그램 분석 (미국, 일본, EU를 중심으로)	Vol. 14, No. 3
2020. 3.	국내 에너지·기후변화대응 관련 정책 현황	Vol. 14, No. 2
2020. 1.	기후리스크 대응을 위한 기후변화 적응분야 연구개발 현황과 향후과제	Vol. 14, No. 1
2019. 12.	2018년 탄소저감 분야 국가연구개발사업 R&D 투자 분석	Vol. 13, No. 2
2019. 7.	2019년 일본 환경성 기후에너지 분야 R&D 사업 분석	Vol. 13, No. 1
2018. 12.	탄소저감 분야 국가연구개발사업 R&D 투자 분석	Vol. 12, No. 7
2018. 11.	신재생에너지 보급 확대 프로그램 분석(2018년 일본 환경성 시책중심)	Vol. 12, No. 6
2018. 10.	지자체 에너지조례 및 지역에너지 계획수립의 실태분석을 통한 시사점	Vol. 12, No. 5
2018. 6.	주요국 에너지/기후 정책 현황 : 미국, EU, 일본, 중국	Vol. 12, No. 4
2018. 5.	주요국 에너지 R&D 프로그램 현황(미국, EU 중심으로)	Vol. 12, No. 3
2018. 4.	주요국의 재생에너지 시장 전망 분석(IEA Renewables 2017 중심으로)	Vol. 12, No. 2
2018. 2.	일본의 기후변화 대응 장기 저탄소 비전	Vol. 12, No. 1
2017. 9.	JPEA PV OUTLOOK 태양광발전 2050년 여명(탈 탄소·지속 가능한 사회실현을 향해서)	Vol. 11, No. 6
2017. 8.	에너지·기후 분야 국내외 환경분석	Vol. 11, No. 5
2017. 5.	주요국의 에너지기술 R&D단계별 수준 비교분석 : 미국, 일본, 유럽, 중국, 한국	Vol. 11, No. 4
2017. 4.	주요국의 CCS Ready 대응현황 분석 : 미국, 일본, 영국, 독일	Vol. 11, No. 3
2017. 3.	2017년 일본의 에너지관련 예산별 추진정책 분석	Vol. 11, No. 2
2017. 2.	주요국 에너지 R&D 프로그램 분석 : 미국, 일본, EU를 중심으로	Vol. 11, No. 1
2016. 12.	국내 기후관련 기술정책 및 주요국 정책방향 비교 분석	Vol. 10, No. 8
2016. 10.	기후변화 대응 기술정책동향 (Ⅱ) : 일본의 기후 및 에너지 법률·정책·투자 동향	Vol. 10, No. 7
2016. 8.	주요국의 장기 에너지 전망과 온실가스 감축 방안 : 세계, 미국, 유럽, 일본, 중국을 중심으로	Vol. 10, No. 6

발행일	제 목	Vol. , No.
2016. 7.	IEA의 에너지 기술 전망[ETP] 2016의 주요 내용 및 시사점	Vol. 10, No. 5
2016. 7.	기후변화 대응 기술정책동향(I) : 미국, 중국을 중심으로	Vol. 10, No. 4
2016. 6.	전기차 보급의 이산화탄소 배출영향 분석 : 발전믹스, 충전인프라, 차량유형 별 시나리오 분석	Vol. 10, No. 3
2016. 4.	일본의 에너지절약 정책 동향(2016년 이후의 전개)	Vol. 10, No. 2
2016. 1.	선진 에너지 연구기관 동향조사 분석	Vol. 10, No. 1
2015. 9.	기후변화 · 에너지관련 정부계획 분석	Vol. 9, No. 5
2015. 7.	세계 에너지정책동향(Ⅱ)	Vol. 9, No. 4
2015. 6.	미국 에너지 혁신 프로그램(ARPA-E) 동향	Vol. 9, No. 3
2015. 5.	세계 에너지정책동향(I) : 미국, EU, 독일을 중심으로	Vol. 9, No. 2
2015. 3.	일본의 에너지관련 기술개발 로드맵 분석	Vol. 9, No. 1
2014. 10.	북한 에너지자원 분석 및 기술협력 방향	Vol. 8, No. 2
2014. 4.	미국 에너지 혁신 프로그램(ARPA-E) 분석	Vol. 8, No. 1
2013. 11.	주요 선진국 에너지 연구기관 및 R&D 프로그램 분석 : 미국, 일본, 유럽 중심	Vol. 7, No. 1
2012. 12.	주요국의 에너지 R&D 동향	Vol. 6, No. 2
2012. 2.	국내 에너지기술혁신의 현주소	Vol. 6, No. 1
2011. 10.	에너지절약기술전략 2011(일본)	Vol. 5, No. 2
2011. 3.	주요국의 Energy Security Index 비교분석 : 미국, 일본, 영국, 프랑스, 독일, 중국, 한국	Vol. 5, No. 1
2010. 12.	그린에너지기술개발 [3] : 그린에너지 시장 및 산업동향	Vol. 4, No. 3
2010. 9.	그린에너지기술개발 [2] : 주요국별 그린에너지 기술개발 동향	Vol. 4, No. 2
2010. 6.	그린에너지기술개발 [1] : 주요 국가별 정책 추진동향	Vol. 4, No. 1
2009. 11.	에너지기술개발 투자의 경제적 효과분석 : 한국에너지기술연구원 기술개발사업을 중심으로	Vol. 3, No. 2
2009. 10.	국내외 기후변화 대응 정책수단 분석(2008~2009)	Vol. 3, No. 1
2008. 12.	국내외 에너지기술정책수단 분석(Ⅳ) : 주요국가별 기후변화대응 에너지기술 정책종합	Vol. 2, No. 4
2008. 11.	국내외 에너지기술정책수단 분석(Ⅲ) : 영국, 프랑스, 네덜란드, 독일	Vol. 2, No. 3
2008. 10.	국내외 에너지기술정책수단 분석(Ⅱ) : 한국, 중국, 일본	Vol. 2, No. 2
2008. 7.	국내외 에너지기술정책수단 분석(Ⅰ) : 미국 & 캐나다	Vol. 2, No. 1

발행일	제 목	Vol. , No.
2007. 12.	신재생에너지의 현 위치와 그 이후는?	Vol. 1, No. 2
2007. 9.	국내 에너지수요관리 정책과 시사점	Vol. 1, No. 1

한국에너지기술연구원 홈페이지 메뉴에서 원문을 다운로드하실 수 있습니다(<http://www.kier.re.kr>).





# KIER

## 기술정책 Focus

KIER Energy Technology Policy Focus

**KIER 기술정책 Focus** 는 국내외 에너지 기술 및 주요 정책 이슈들에 대한 소개를 통해 에너지기술정책의 확대 및 강화를 위해 발간되었습니다.

 **한국에너지기술연구원**  
KOREA INSTITUTE OF ENERGY RESEARCH

연구전략본부 34129 대전광역시 유성구 가정로 152  
(T) 042-860-3200 (F) 042-860-3097 [www.kier.re.kr](http://www.kier.re.kr)