4차 산업혁명 시대를 주도하는 KIET 산업정책 리포트

i-KIET 산업경제이슈

제148호
[2023-3]
2023. 4. 28.

탄소중립 산업전환을 위한 열분해 기술 활용과 정책과제

| 요약 |

- 탄소중립 산업핵심기술의 중요성이 커짐에 따라 열분해에 대한 관심과 요구가 증대
  - 열분해 기술은 폐기물 감소, 자원순환, 고부가가치화 등 잠재적 이점을 보유
  - 기존 플라스틱 물리적 재활용을 보완하는 탄소중립 핵심기술 중 하나로 주목
  - EU, 미국 등 전 세계적으로 열분해 활성화를 위한 세부 규정 및 지침을 마련 중
- 글로벌 화학기업을 중심으로 열분해 투자를 확대하며 탄소중립 산업전환을 선도
  - 바스프(BASF), 쉘(Shell), 다우(Dow) 등은 폐플라스틱 열분해유 기술 투자 및 활용 확대로 자원 효율적인 제품 창출과 동시에 지속 가능한 발전 추구
  - 폐플라스틱, 폐타이어, 바이오매스 등 다양한 폐자원을 활용한 열분해 공정이 가능하며, 기업은 미래 유망기술의 응용·확장을 통해 새로운 성장동력을 모색
- 열분해 기술 경쟁력 확보 및 신산업화를 위한 선결과제 해결이 우선
  - 초기 투자 비용, 운영·유지·보수, 기업화 및 산업화를 위한 재정 투입은 불가피
  - 적정 가격의 신뢰할 수 있고 지속가능한 폐자원의 공급 안정성 확보가 중요
  - 열분해 공정의 환경영향 최소화를 위한 배출 제어 및 감시 체계 구축 요구
- 열분해 활성화와 화학산업구조 고도화를 위한 산업정책적 측면의 전략적인 접근이 필요
  - 과학기술 기반 탄소중립 실현과 핵심기술 사업화를 위한 정부의 재정적 인센티브 확대, 견고한 법적·제도적 장치 등 제반여건 조성
  - 공공조달 확대, 대중인식 제고, 지식재산권 보호 등 열분해 시장 활성화 방안 마련
  - 고부가가치 재활용 제품, 제품 다각화, 새로운 비즈니스모델 개발 등 화학산업구조 고도화를 위한 산업계의 전략적이고 능동적인 ESG 경영 확대

▣ 탄소중립 실현과 순환경제 전환의 유망 핵심기술인 열분해에 대한 관심이 증대

- 열분해(Pyrolysis)란 산소가 없는 상태에서 유기 물질에 높은 온도를 가열하여 발생하는 화학적 분해 반응을 의미하며, 폐기물 감소, 에너지 회수 등에 유용한 기술[1)]
  - 열분해는 주로 플라스틱, 타이어, 바이오매스, 도시 고형 폐기물 등 다양한 유형의 폐기물을 처리하는 데 사용되며, 유용한 자원으로의 전환과 폐기물 감소가 가능해 향후 유망한 온실가스 감축수단 중 하나로 인식
  - 열분해 기술은 오일, 수소, 가스 등의 연료 및 에너지 생산에 사용할 수 있고, 이는 화석에너지에 대한 의존도를 낮추는 동시에 재생에너지원 개발에 기여
- 특히, 플라스틱 자원순환에서 기존 물리적·열적 재활용의 단점을 보완하기 위해 열분해를 포함한 화학적 재활용이 미래기술로 주목
  - 폐플라스틱의 선별 및 분리, 파쇄, 세척, 가공 및 성형 등을 거치는 물리적(기계적) 재활용과 소각하여 에너지를 회수하는 열적 재활용은 품질·기능의 저하, 유해물질 발생 등 한계가 존재
  - 화학 공정을 통한 폐플라스틱 분해는 순수한 원료 상태로 되돌리는 것을 가능케 하여 지속가능한 플라스틱 선순환구조 구축에 중요한 역할을 할 전망
  - 최근 탄소중립, 기업의 ESG 경영 등 환경적 이슈가 부각되면서 화학·정유업계를 중심으로 폐플라스틱 활용 및 열분해 기술에 대한 고도화·상용화 노력이 진행 중

▣ 전 세계적으로 열분해 기술의 적용 가능성·수용성을 위한 세부 규정 및 지침이 마련 중

- EU는 그린 딜, 순환 경제 행동계획, 재활용 목표 달성에 있어 화학적 재활용이 기존 물리적 재활용의 보완적 역할을 할 것으로 기대[2)]
  - 복잡한 폐기물 흐름을 처리하기 위한 화학적 재활용 및 열분해 공정을 고도화하여 플라스틱 재활용 및 온실가스 감축의 EU 기후 중립 목표 달성
  - 산업공정에서 사용되는 연료가 재활용의 산출물일 경우, 재활용 공정의 투입물과 산출물을 연결하기 매우 어려운 문제가 발생하여 재활용 공정의 연료생산을 제외하는 법제도 개선을 검토 중
- 최근 5년간 미국 내 18개 주에서는 플라스틱의 화학적 재활용을 촉진하는 법률을 통과시켰으며, 이러한 재활용시설을 폐기물 처리 시설이 아닌 제조시설로 분류[3)]
  - 열분해 기술 중심의 화학적 재활용은 플라스틱 폐기물을 줄이는 동시에 고부가가치 재활용 제품 시장을 활성화하여 경제적 이익 창출을 기대
  - 다만, 열분해 공정 시 발생할 수 있는 유해물질에 대한 적절한 조치와 규제의 필요성을 인

1) DVGW(2022), "Pyrolysis".
2) CINEA(2021), "Transforming Plastic Litter into New Chemicals? Opportunities and Challenges for Innovative Pyrolysis Plants".
3) https://cen.acs.org/environment/recycling/plastic-recycling-chemical-advanced-fuel-pyrolysis-state-laws/100/i17

식하고 있으며, 이에 환경보호국(Environmental Protection Agency, EPA)은 대중의 의견을 수렴하는 등 신중하게 접근 중

- 우리 정부는 폐플라스틱 열분해를 중심으로 하는 순환경제 활성화 방안을 마련하고, 규제개선 및 재정지원을 통한 신규투자와 탄소중립 이행을 촉진[4)]
  - 정부 국정과제로 열분해로의 전환이 강조되며, 폐플라스틱 발생량 중 열분해 처리 비중을 2020년 0.1%에서 2026년 10%까지 확대한다는 방침
  - 폐플라스틱 열분해유를 화학·정유 산업의 원료로 활용할 수 있도록 하는 근거를 마련하고, 산업분류 명확화를 통해 열분해유 생산업체의 산단 입주 애로를 해소
  - 한국형 녹색분류체계에 열분해 외 다양한 화학적 재활용 방식의 포함을 검토 중이며, 화학적 재활용 플라스틱 제품에 대한 친환경 인증 기반을 확충

▣ 탈탄소화라는 시대적 흐름 속에서 폐플라스틱 열분해 시장은 크게 성장할 것으로 전망

- 열분해 기술은 매립 및 소각에 비해 부정적인 환경영향을 최소화하고, 미래의 자원 고갈에 대응할 수 있는 친환경 기술로 평가
  - 플라스틱 폐기물의 열분해를 통한 화학적 재활용은 에너지 회수 수단 대비 기후변화 영향 및 전주기 에너지 사용량이 절반 수준[5)]
  - 미국 아르곤 국립 연구소(Argonne National Laboratory)의 연구에 따르면, 열분해 기술을 통한 폐플라스틱 유래 연료는 기존 디젤연료 대비 온실가스 배출량을 최대 14%까지 감축[6)]
- 향후 글로벌 플라스틱 재활용 시장은 지속해서 성장할 것으로 보이며, 특히 열분해 기반 화학적 재활용을 통한 고부가가치 제품 시장은 더욱 확대될 전망
  - 2022년 현재 글로벌 재활용 시장 규모는 건설폐기물, 폐가전, 폐지, 폐플라스틱 순으로 크게 나타나며, 향후 탈탄소화 정책에 따라 폐가전, 폐플라스틱, 폐배터리의 시장은 더욱 성장할 전망[7)]
  - 글로벌 플라스틱 재활용 시장은 2020년 395억 달러에서 2027년 638억 달러로 60% 이상 큰 폭으로 성장할 전망이며, 국내 플라스틱 재활용 시장 역시 2020년 1조 7,852억 원에서 2027년 2조 8,436억 원으로 비슷한 성장세가 예상[8)]
  - McKinsey&Company(2018)에 따르면, 플라스틱 폐기물의 열분해 기반 화학적 재활용 시장은 2016년 대비 2030년 254억 달러 규모의 성장을 예상[9)]

4) 관계부처 합동(2022. 9. 5), “규제개선지원을 통한 순환경제 활성화 방안-플라스틱 열분해 및 사용후 배터리 산업을 중심으로”.
5) NIH(2021), “Life Cycle Environmental Impacts of Chemical Recycling via Pyrolysis of Mixed Plastic Waste in Comparison with Mechanical Recycling and Energy Recovery”.
6) ANL(2017), “Life-cycle Analysis of Fuels from Post-Use Non-Recycled Plastics”.
7) PwC(2022), “순환경제로의 전환과 대응전략”.
8) PwC(2022), “순환경제로의 전환과 대응전략”.
9) McKinsey&Company(2018), “How Plastics Waste Recycling Could Transform the Chemical Industry”.

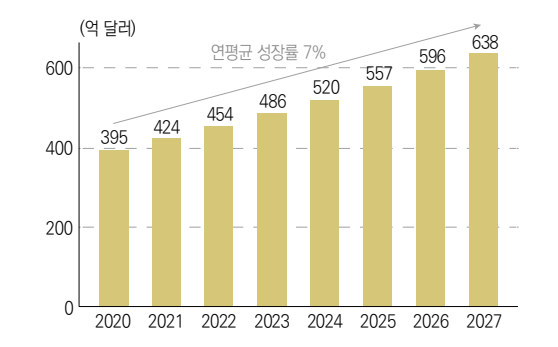
〈표 1〉 글로벌 재활용 시장 현황(종류별)

단위: 억 달러, %

종류	2020	2021	2022
건설폐기물	1,303 (37.4)	1,338 (36.5)	1,375 (35.5)
폐가전	470 (13.5)	526 (14.3)	588 (15.2)
폐지	460 (13.2)	478 (13.0)	496 (12.8)
폐플라스틱	395 (11.3)	424 (11.6)	454 (11.7)
음식물폐기물	339 (9.7)	358 (9.8)	378 (9.8)
폐금속	328 (9.4)	340 (9.3)	357 (9.2)
폐배터리	24 (0.7)	33 (0.9)	47 (1.2)
기타	162 (4.7)	170 (4.6)	178 (4.6)
합계	3,481 (100)	3,668 100)	3,873 (100)

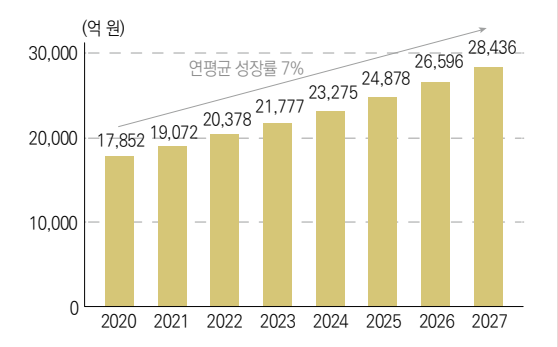
자료: PwC(2022)를 활용하여 저자 편집.

〈그림 1〉 글로벌 플라스틱 재활용 시장 전망



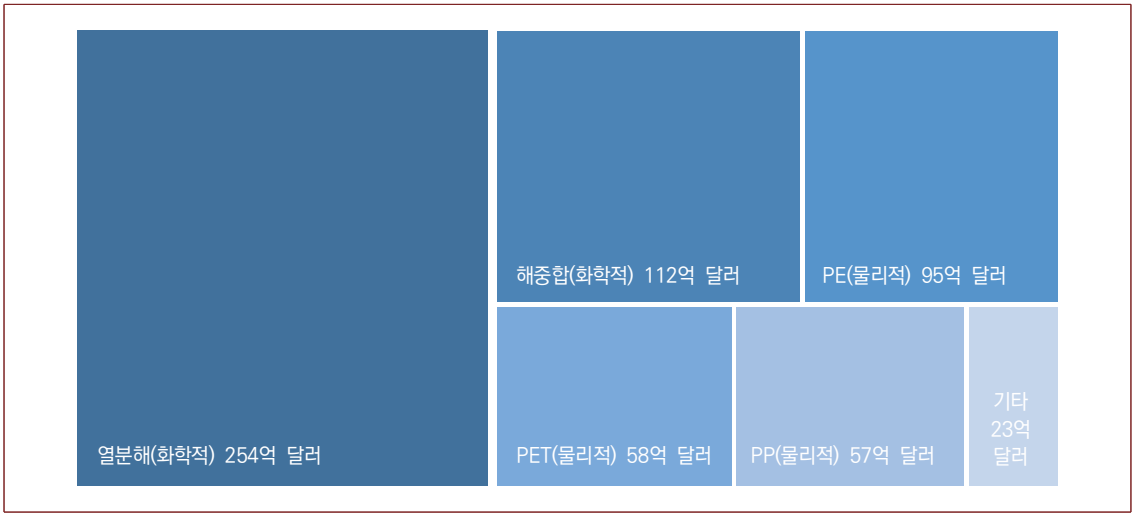
자료: PwC(2022)를 활용하여 저자 편집.

〈그림 2〉 국내 플라스틱 재활용 시장 전망



자료: PwC(2022)를 활용하여 저자 편집.

〈그림 3〉 플라스틱 재활용 기술별 성장 전망(2030년)



자료: McKinsey&Company(2018)를 활용하여 저자 편집.
주: 2016년 대비 2030년의 기술별 성장 규모를 전망한 수치임.

▣ 산업계의 자발적인 열분해 기술 투자 확대로 탄소중립 이행과 순환경제 구축 가속화

- 열분해와 같은 핵심기술을 활용한 기후변화 대응 및 지속 가능성 추구는 산업부문의 새로운 성장동력 창출이라는 측면에서 매우 중요
  - 탄소중립 실현을 위한 핵심기술 확보로 산업부문의 탈탄소화는 물론 미래 유망 신산업 중심의 산업구조 개편에 선제적으로 대응
  - 산업공정 내 폐자원 재활용은 폐기물 저감, 에너지·자원 소비 절감, 생산비용 절감 등으로 이어져 기업의 순환경제 촉진과 ESG 경영을 확대
- 글로벌 화학·정유 기업을 중심으로 폐플라스틱 열분해유 활용을 확대하며, 자원 효율적인 제품 창출과 순환경제 비즈니스모델 구축을 가속화
  - 바스프(BASF)는 'ChemCycling'이라는 프로젝트를 통해 기술 파트너와 협력하여 폐플라스틱 열분해유 전환 기술을 발전시키고 있으며, 탄소발자국이 적은 제품을 제조하는 방안을 강구[10)]
  - 쉘(Shell)은 다양한 파트너사로부터 열분해유 공급을 확보하기 위해 투자 및 구매계약을 체결하였고, 다우(Dow)는 엔지니어링사인 톱소(Topsoe)와 협력하여 네덜란드 내 열분해유 정화 장치를 구축 중[11)]

〈표 2〉 전 세계 주요 열분해 기술 관련 시범 프로젝트

국가	부문	기술명	프로젝트명(또는 기업명)	생산능력	완성
미국	화학물질 및 플라스틱	메탄 열분해로 암모니아 생산	Monolith Redwood City Olive Creek 2	275kt/y	2024년
독일	화학물질 및 플라스틱	메탄 열분해로 메탄올 생산	Heide Kero-SYN 100 Westküte 100	30~700MW	2025년
독일	바이오연료	바이오매스 열분해로 바이오디젤 생산	Susteen TCR500	300t/y	2020년
네덜란드	바이오연료	바이오매스 열분해로 바이오디젤 생산	Empyro	24k/y	2015년
덴마크	바이오연료	바이오매스 열분해로 바이오디젤 생산	Springkildeprojektet	876MML/y	2021년
캐나다	바이오연료	바이오매스 열분해로 바이오디젤 생산	BioEnergie AE Cote-Nord Biocrude Project	40MML/y	2022년
호주	바이오연료	바이오매스 열분해로 바이오디젤 생산	Renegi, Bioenergy, Collie, Waste to Energy through Pyrolysis	13kt/y	2020년
호주	수소	메탄 열분해로 수소 생산	The Hazer Process Demonstration Plant	100t/y	2020년

자료: IEA 웹페이지, https://www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/clean-energy-demonstration-projects-database(검색일: 2023. 3. 22).

10) https://www.basf.com/kr/en/who-we-are/sustainability/we-drive-sustainable-solutions/circular-economy/mass-balance-approach/chemcycling.html
11) https://pubs.acs.org/doi/10.1021/cen-10036-cover

- 하니웰(Honeywell) UOP는 2021년부터 유동 접촉 분해 공정[12]에서 고체 바이오매스 물질의 열분해유를 공동 처리하는 기술을 개발하고, 재생 가능한 연료 공급을 확대[13]

● 정부의 순환경제 활성화 정책에 힘입어 국내기업들 역시 열분해 사업을 적극적으로 추진하며, 친환경 고부가가치 제품 생산을 확대 중

- LG화학은 폐플라스틱 열분해유 대규모 생산시설 구축을 위해 2023년 3월 충남 당진 석문산단에서 착공식을 열었으며, 완공 시 석유화학 공정 원료로 활용 가능한 연간 2만 톤 규모의 열분해유를 생산할 예정[14]
- SK지오센트릭은 2025년 하반기 완공을 목표로 울산단지 내 플라스틱 재활용 단지인 '플라스틱 리사이클 클러스터'를 조성할 계획이며, 완공 시 열분해 기술 포함 화학적 재활용을 통해 연간 25만 톤의 폐플라스틱을 처리할 것으로 기대[15]
- 포스코스틸리온은 식물, 미생물 등을 열분해하여 만든 바이오매스 도료를 적용한 바이오매스 컬러강판을 개발하며, 친환경 제품 확대와 제조 기술 고도화 추진[16]

▣ 산업부문 열분해 기술혁신의 극대화 및 신사업 확장을 위한 도전과제 해결 노력이 우선

● 산업부문의 열분해 활용 확대를 위해서는 대규모 초기 자본 비용, 기업화 및 산업화 등 현실적인 당면과제들을 면밀히 검토하여 해결방안 마련이 필수

- 열분해 장비는 구매 및 설치 비용이 많이 들고, 운영 및 유지보수를 위한 특정 기술 전문 인력이 필요한 상황에서 자금 여력이 부족한 중소기업에는 부담
- 단순 폐기물 처리 목적이 아닌 고부가가치 화학적 재활용은 공정이 복잡하고 대규모 설비 투자가 요구되어 산업 수준으로 확장하는 데 어려움이 존재

● 안정적인 폐자원 원료 수급은 제품 대량생산 및 열분해 산업 활성화의 선행조건

- 폐플라스틱 열분해유, 바이오유 등 최종 제품의 품질 및 안정성은 열분해 공정에서 사용되는 폐자원에 의존하기 때문에 일관된 폐자원의 품질 관리는 상용화 및 시장 수용에 필수적
- 대기업-중소기업 간 협업을 강화하여 재활용 제품 대량생산에 필요한 폐자원의 원료 수급 안정성을 확보

● 열분해 공정 시 환경영향 최소화를 위한 적절한 배출 제어 시스템과 모니터링이 요구

- 폐플라스틱의 매립·소각에 비해 환경적 영향이 작으나 화학적 재활용시설에서 적절하게 제어하지 않는다면 온실가스, 휘발성 유기 화합물 및 기타 오염 물질이 배출될 수 있음을 염두

12) 유동 접촉 분해(Fluid Catalytic Cracking) 공정은 중질 원유로부터 가솔린, 디젤 등의 경질 정유를 생산하는 과정임.
13) https://uop.honeywell.com/en/industry-solutions/renewable-fuels/honeywell-uop-renewable-fuels-leads-refinery-renaissance
14) https://m.khan.co.kr/economy/economy-general/article/202303301540001#c2b
15) https://skinnonews.com/archives/99361
16) https://newsroom.posco.com/kr/포스코스틸리온-바이오매스-컬러강판-국내-최초-미/

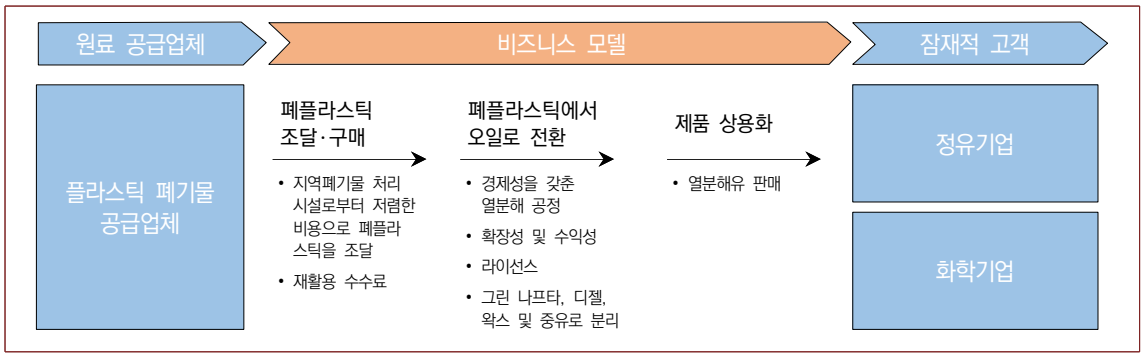
▣ 탄소중립 산업전환의 미래 핵심기술인 열분해 확대에 대한 산업정책적 접근이 필요

- 과학기술 기반 탄소중립 실현과 열분해 핵심기술 사업화를 위해서 정부의 R&D 지원 확대는 물론 세금 공제, 보조금, 저금리 대출 등 민간 투자 장려를 위한 재정적 인센티브 제공은 중요
  - 열분해 기술 경쟁력 강화를 위한 효율적인 프로세스 개발, 지속적인 혁신과 개선 등 정부의 탄소중립 핵심기술 R&D 투자 확대는 필수
  - 산업계의 열분해 활성화를 위해 세금 공제, 보조금 등의 인센티브를 제공함으로써 기업의 비용부담을 완화하고, 지속가능한 순환 생산으로의 전환을 장려
- 열분해의 기술적 진보만으로는 분명 한계가 존재하며, 실제 기술을 적용하여 구체적인 성과를 창출하기 위해서는 법적·제도적 기반 마련이 뒷받침되어야 가능
  - 열분해 기술에 대한 배출 규제, 제품 표준 및 인증 제도 등의 법적·제도적 장치를 마련하여 안전, 제품 품질, 환경 지속 가능성을 보장하고 업계 참여자들에게 공평한 경쟁의 장을 제공
  - 폐플라스틱 열분해유 생산에 대한 표준산업분류 개정을 통해 화학 신산업 투자 촉진 지원[17] 등 실효성 있는 신산업 육성 방안을 모색
  - 재활용-석유화학 업계 간 폐플라스틱 재활용 상생협력 체결에 따른 상생협의회 운영[18] 등 열분해 시장 참여에 따른 기존-신산업 업계 간의 갈등을 조율함으로써 다양한 이해관계자들의 지속 가능한 발전 방향을 모색
- 열분해 제품 사용 장려 정책, 공공조달 확대, 대중의 인식 제고, 지식재산권 보호 등 열분해 시장 활성화를 위한 방안 수립
  - 도로 건설 및 조경과 같은 공공부문 프로젝트에서 열분해 제품을 우선 사용함으로써 기업의 생산능력 확보와 향후 민간시장에서의 경쟁력 제고를 지원
  - 열분해 기술은 종종 특허와 같은 지식재산권 보호의 대상이 될 수 있으며, 정부는 기업이 열분해 기술을 상용화할 수 있도록 특허 보호 및 라이선스 계약을 제공함으로써 열분해 산업의 발전을 도모
  - 열분해 기술에 대한 대중 인식은 활성화의 핵심 요소가 될 수 있으며, 이를 위해 정부는 대중에게 열분해 기술의 이점, 잠재적 응용 분야, 지속가능한 경제에서의 역할 등의 인식 확산 프로그램을 지원
- 공급 측면 위주의 전통적인 산업부문 온실가스 저감 활동에서 벗어나 수요 측면을 고려하는 물질 수요 관리의 대표적인 감축수단으로 열분해를 전략적으로 활용
  - 기존 에너지전환 위주의 산업부문 온실가스 감축 전략의 한계 극복을 위해 최근 재설계, 재활용, 재제조 등 생산에 필요한 물질의 수요 관리 필요성이 대두
  - 폐기물에서 재생 가능한 자원을 회수하여 산업공정에 연료·원료로 재사용하면 물질의 소비를 줄일 수 있어 산업부문 탄소중립과 순환경제 이행에 기여

17) 산업통상자원부 보도자료(2022. 9. 19).
18) 산업통상자원부 보도자료(2022. 10. 25).

- 지역 일자리와 경제적 기회 창출, 부문 간·산업 간 연계 통합으로 시너지 창출, 국제협력을 통한 기술 공유 등 탈탄소 산업생태계 구축을 위한 통합적·거시적 접근을 지향
  - 열분해는 풍부한 바이오매스 자원이 있는 지역에서 일자리와 경제적 기회를 창출하는 유용한 기술이 될 수 있고, 정부의 열분해에 대한 투자와 지원으로 지역 내 경제적 파급효과가 기대
  - 폐기물은 물론 농업, 임업과 같은 타 부문·산업과의 연계를 통해 시너지를 창출하고 효율성을 높일 수 있는 협업 기술개발 프로그램을 모색
  - 국내 열분해 기술은 발전단계로서 기술개발에 대한 경험이 많은 국가 및 기업으로부터 지식과 전문성을 신속하게 습득하는 것이 중요하며, 국제 파트너십, 지식 공유 이니셔티브 등을 통해 선진기술 확보를 촉진
- 정부의 정책적 지원과 동시에 산업계는 기술 잠재력 극대화, 제품 다각화, 새로운 비즈니스모델 개발 등 화학산업구조 고도화를 위한 선제적·능동적 대처가 필요
  - 기업은 열분해에 대한 최적의 운영 조건을 파악하고 효율성, 제품 품질, 수율을 극대화하기 위한 공정 최적화 투자 노력이 필요
  - 열분해 관련 기업은 공급망을 세심하게 관리하여 일관되고 안정적인 원료를 공급하고, 제품의 효율적인 물류 및 유통을 보장함으로써 ESG 경영을 더욱 확대
  - 순환경제 시스템에서의 새로운 비즈니스모델 개발, 제품의 고부가가치화, 지속가능한 성장 등 화학산업구조 고도화를 위해 열분해를 전략적으로 활용

〈그림 4〉 폐플라스틱 열분해유에 따른 새로운 비즈니스모델



자료: Roland Berger(2022), "Chemical Recycling via Pyrolysis"를 활용하여 저자 편집.

이상원 소재·산업환경실 | 부연구위원 | slee@kiet.re.kr | 044-287-3281

KIET 산업연구원
발행처 산업연구원 | 발행인 주현 | 편집인 김인철
30147 세종특별자치시 시청대로 370 세종국책연구단지 경제정책동
Tel. 044-287-3114 Fax. 044-287-3333 홈페이지 www.kiet.re.kr
이 자료는 산업연구원 홈페이지(www.kiet.re.kr)에서도 보실 수 있습니다.