

# 2023 해설이 있는 국민기술제안 인사이트

## 05호

### 폐플라스틱 재활용 기술 및 사업화 방안





## 폐플라스틱 재활용 기술 및 사업화 방안

### 국민기술제안명

### 제안내용

### 주요사진

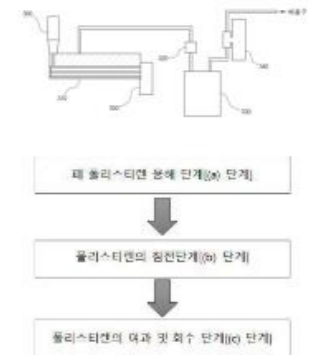
친환경 재활용  
현수막  
(23. 03. 김\*진)

- 재활용 현수막은 사용 후 재활용이 가능하여 폐기물 처리 비용이 감소하고 기존 현수막과 가격이 동일하여 경제성 향상 효과가 있음
  - 메쉬조각으로 구성되어 있어 바람의 영향을 거의 받지 않고, 100% 폴리에스터 원사 사용으로 유해물질 없음
  - 지하주차장 등에 사용되는 콘크리트에 섬유 보강재로 활용 가능(현장 검토 결과 원가 절감 효과 30%)



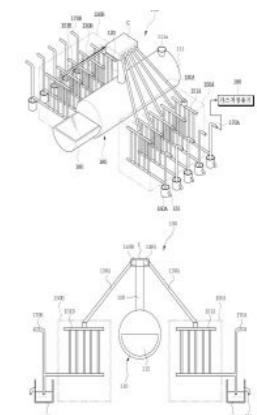
폐 발포스티로폼의  
친환경적 처리와  
자원순환에  
관한 방법  
(23. 04. 이\*준)

- (기술 필요성) 기존 발포 플라스틱(스티로폼) 폐제의 감용 방식의 한계를 극복하고, 보다 친환경적이고 효율적인 감용처리를 위해 용제를 활용한 방식으로 전환하는 신기술에 대하여 분석하고 상용화할 수 있는 시스템 도입이 필요
  - (개발 방향) 감용장치 뿐만 아니라 용제와 폐제의 분리기술과 장치 고안이 우선되어야 함
  - (기대효과) 대기 중 환경오염 물질 발생을 저감시키고, 자원순환 및 재활용을 촉진하여 탄소중립 목표에 기여할 수 있음



연속식 EPR  
폐플라스틱 친환경  
유화 재활용  
기술 사업화  
(23. 08. 박\*일)

- (기술개요) 액화와 압력 변환 컨트롤 정밀 정제 및 순환식 이동, 잔사 처리로 이어지는 연속식 폐플라스틱 정제 설비
  - (액화) 플라스틱을 액화하여 정제단으로 내려보내며 액화 안되는 물질을 선별
  - (정제) 정제는 압력 변환식 컨트롤 정제로 필요한 성분들을 각 정제 단에서 동시 정제하며, 기하 배출 변화가 있는 하단부터 아래 단으로 순환식 이동을 진행하고 이동 후 다시 필요 성분의 정제를 진행
  - (잔사처리) 흐름 연속식 정제를 위한 마지막 정제와 잔사 처리를 3대의 처리로 순환 진행하여 24시간 정제가 진행되도록 함



대통령 직속 2050 탄소중립녹색성장위원회는 탄소중립과 관련한 국민의 기술 아이디어 및 보유기술에 대한 창구역할을 수행하는 「국민기술제안 플랫폼」을 운영하고 있습니다.

이를 통해 탄소중립을 실현할 수 있는 기술 제안을 적극 청취하고, 전문기관(연구개발, 특허, 인증, 사업화 등)을 통한 기술자문 및 대국민 서비스를 지원해 오고 있습니다.

본 '국민기술제안 인사이트'는 국민들이 제안한 기술아이디어를 중심으로 정책반영 및 사업화 등이 필요한 분야와 아이템을 선별하여 좀더 심층적인 분석을 통해 국민들과 제안자의 이해를 돕고자 만든 자료입니다.

앞으로 다양한 국민들의 아이디어와 기술의 지원과 현장 적용 확대로 온실가스로 인한 기후위기를 극복하는 데에 크게 기여할 수 있기를 희망합니다.

# CONTENTS

<b>1. 탄소중립을 위한 폐플라스틱 재활용의 중요성</b>	<b>07</b>
1) 플라스틱의 생산, 소비 및 처리에 따른 환경 문제	
<b>2. 폐플라스틱 재활용 기술의 종류</b>	<b>08</b>
1) 재활용 측면에서 플라스틱에 대한 이해	
2) 폐플라스틱 처리와 물질 재활용	
3) 플라스틱의 에너지 재활용	
4) 플라스틱의 화학적 재활용	
<b>3. 폐플라스틱 재활용에 대한 국내외 정책 및 기술 동향</b>	<b>16</b>
1) 국외 플라스틱 폐기물 정책 동향	
2) 국내 플라스틱 폐기물 정책 동향	
3) 폐플라스틱 화학적 전환을 위한 국외 기술 동향	
4) 폐플라스틱 화학적 전환을 위한 국내 기술 동향	
<b>4. 폐플라스틱 재활용 기술 국내 사업화 시 고려사항</b>	<b>22</b>
1) 플라스틱의 유해성	
2) 플라스틱의 재활용 방법별 사업화 시 고려사항	
3) 플라스틱의 재활용 과정에서의 문제 해결	
4) 화학적 재활용의 과제와 문제점	
<b>5. 국민기술제안에 대한 제언</b>	<b>26</b>
1) 친환경 재활용 현수막	
2) 폐 발포스티로폼의 친환경적 처리와 자원순환에 관한 방법	
3) 연속식 EPR 폐플라스틱 친환경 유화 재활용 기술 사업화	

## 표 차례

〈표 1〉 생활 용기의 용도에 따른 플라스틱 종류	10
〈표 2〉 플라스틱의 종류와 물성	11
〈표 3〉 폐기물관리법 시행규칙 별표 4.2의 에너지 회수 유형	13
〈표 4〉 미국 주 정부 플라스틱 규제 현황 및 추진계획	17
〈표 5〉 일본 플라스틱 자원순환 촉진법의 3R+Renewable	17
〈표 6〉 중국 플라스틱 오염관리 관련 단계적 목표	18
〈표 7〉 국외 주요 폐플라스틱 화학적 재활용 기술 현황	20
〈표 8〉 재활용 방법별 과제와 전망	23

## 그림 차례

〈그림 1〉 글로벌 플라스틱의 생산, 소비 및 처리 현황 (1950-2015)	7
〈그림 2〉 UN 선언문: “Global boiling” 시대 도래	8
〈그림 3〉 원유로부터 플라스틱이 제조되는 비율	9
〈그림 4〉 국내외 폐플라스틱 정책 동향	20



# 폐플라스틱 재활용 기술 및 사업화 방안

윤광남 한국화학연구원 그린탄소연구센터 선임연구원  
배재근 서울과학기술대학교 환경공학과 교수

폐플라스틱 재활용 기술이란 버려진 폐플라스틱을 물리적으로 가공하여 플라스틱을 재생산하는 기술을 말한다. 본 장에서는 국민 기술제안 내용을 감안하여 다양한 폐플라스틱 재활용 기술에 대한 국내외 동향, 활용 방안 등에 대해 소개한다.



## 1 탄소중립을 위한 폐플라스틱 재활용의 중요성

### ☑ 플라스틱의 생산, 소비 및 처리에 따른 환경 문제

- 1950년 플라스틱이 인류에게 “편리성”이라는 혜택을 시작으로 사용된 이후 현재까지 생산된 플라스틱의 총 양은 약 83억 톤에 이르고 있으며, 현재 인류가 사용하고 있는 25억 톤을 제외한 나머지 70%에 해당하는 대부분의 플라스틱은 매립되거나 버려져 있다. 이렇게 방치된 폐기물은 자연에서 완전히 분해되기까지 500년 이상이 걸리며, 이로 인해 평균 사용수명이 고작 6개월뿐인 플라스틱 폐기물로 인한 환경적 문제가 지속적으로 유발되고 있는 실정이다.
  - 대표적인 예로, 국내 수도권 쓰레기 매립지 포화 및 의성 플라스틱 쓰레기산 문제와 국외의 프리덤 아일랜드의 플라스틱 폐기물로 인한 동식물 생태계 파괴 및 태평양에 떠다니는 대한민국 면적의 16배에 해당하는 거대 쓰레기섬 문제가 있다.

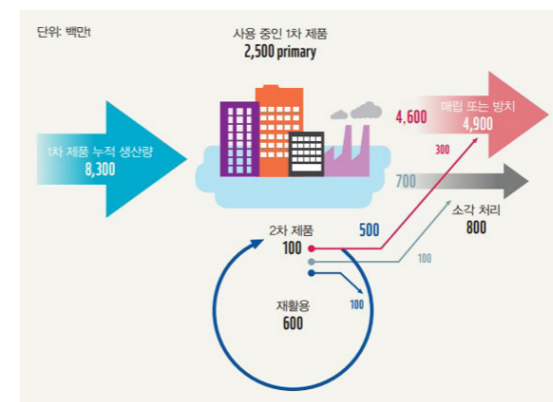


그림1 글로벌 플라스틱의 생산, 소비 및 처리 현황 (1950-2015)

- 플라스틱 폐기물 문제는 비단 인류가 눈에 보이는 가시성 문제를 뛰어넘어 인류의 생존을 위태롭게 하는 기후위기 문제에도 상당한 영향을 끼치고 있다. 1970년 산업혁명 이후 지속적인 온실가스 배출로 인한 Global warming 현상 및 최근 지속적인 기후변화문제로 인한 Global boiling 시대의 도래와 함께 인류의 생존을 위한 온실가스 감축이라는 전 지구적 목표가 화두가 되고 있다.
  - 현재 예측한 대로 플라스틱 생산과 사용이 증가한다면 2050년까지 온실가스 누적 배출량은 56 기가톤에 육박할 것으로 예측되며, 이는 전체 남은 탄소 예산의 10~13%에 해당, 즉 기후 위기의 원인 중 최소 10%가 플라스틱의 생산과 소비로 인해 기인할 것으로 예측된다.

- 따라서, 근본적인 플라스틱 문제를 해결하기 위한 강력한 규제 도입뿐만 아니라, 기존 선형 구조 기반 플라스틱 산업에서 탈피하여, 순환구조 기반 플라스틱 산업으로의 전환이 필요하며, 이를 위해 플라스틱 폐기물 처리 방법을 위한 기술개발이 필요하다.

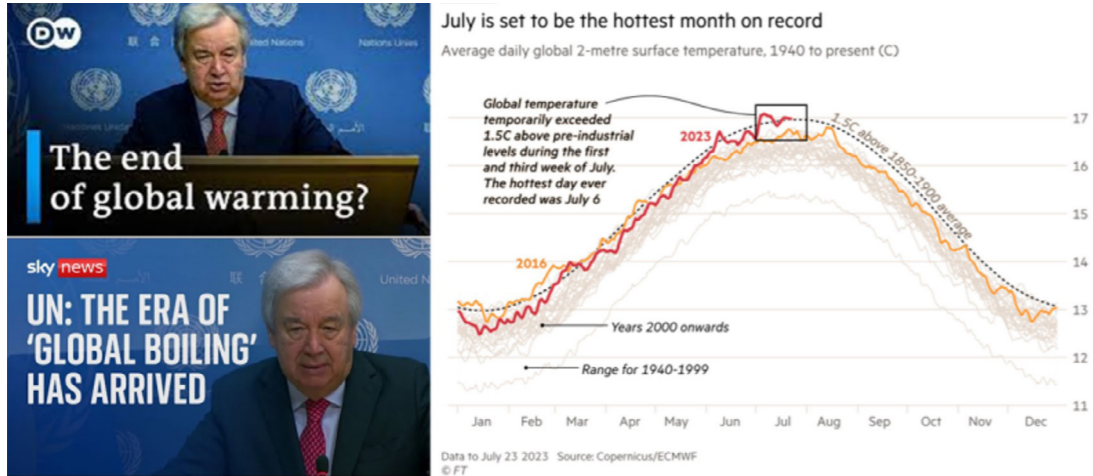


그림2 UN 선언문: “Global boiling” 시대 도래

## 2 폐플라스틱 재활용 기술의 종류

- 플라스틱의 재활용을 검토하기 위해서는 사전에 플라스틱에 대한 이해가 요구되며, 플라스틱의 물성에 따른 재활용조건이 적용되어야 한다. 또한 플라스틱의 종류에 따라 사용되는 제품의 용도가 다양하며 그 용도에 따른 분리수거, 선별 등의 사전처리가 요구된다. 최근에 플라스틱의 재활용 기술은 플라스틱 제조되는 생산의 역방향(열분해를 통한 원료의 생산 등)으로 진행되거나, 기존의 원료를 대체하는 수단 등으로 진행되고 있다.

### ☑ 재활용 측면에서 플라스틱에 대한 이해

- 플라스틱은 화석연료 유래의 원유를 증류 정제하는 과정에서 발생하는 나프타를 열분해하여 얻어지는 석유화학 기초제품인 에틸렌, 프로필렌 등의 모노머를 고분자로 합성하여 합성수지를 생산하고, 이 합성수지에 첨가제 등을 블렌딩하여 플라스틱 원료의 형태인 펠릿을 만들고, 펠릿 등을 용융, 사출 등을 통하여 플라스틱 제품을 제조하게 된다. 즉 원유를 정제하는 과정에서 부산물인 나프타를 이용하여 제조하고 있으며, 원유 100에 대하여 플라스틱이 만들어지는 비율은 5.6%이다. 원유를 정제과정에서 부생하는 나프타를 이용하여 플라스틱의 원료인 합성수지를 제조할 밖에 없는 생산 구조이다.

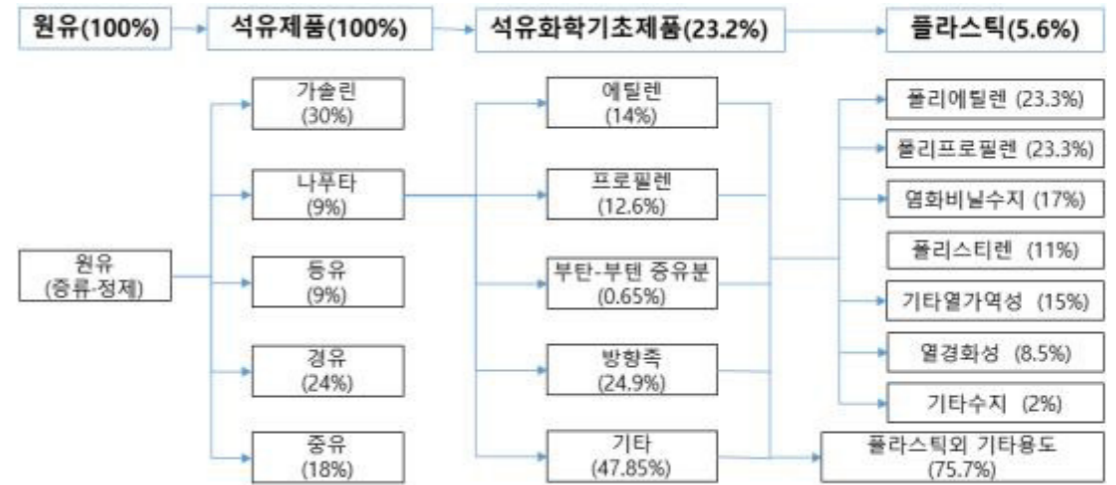


그림 3 원유로부터 플라스틱이 제조되는 비율

- 역으로 최근의 재활용 기술에서는 플라스틱이 제조되는 역방향으로 재활용 기술이 발전하고 하고 있으며, 플라스틱을 용해하거나, 분해하여 모노머, 나프타를 회수하여 또다시 합성수지를 제조하는 공정으로 개발되고, 상용화되고 있다.
- 플라스틱은 천연자원인 나무, 철을 대체한다는 전제, 가볍고 강하다는 측면에서 긍정적이며, 그 사용이 권장되고 있으나, 최근에 플라스틱의 환경에 대한 역습이라는 화두가 논의되면서 지금과 같이 생산, 사용, 폐기의 과정이 옳은지에 대한 의문이 제기되고 있다.
- 플라스틱은 재활용이 가능한 소재로서 폐쇄계 내에서 순환 이용된다는 전제에서는 아주 좋은 소재이나, 사용 후에 폐기되는 폐기물, 폐기물 속에 포함된 플라스틱이 우리 미래의 삶을 위협하고 있다는 점에서 심각한 문제의식을 가져야 한다.
- 플라스틱 제품은 우리들의 일상생활에 광범위하게 깊숙이 사용되고 있으며, 내용물의 종류에 따라 다양한 용기로 만들어지고 있으며, 그 용기의 소재도 다양하며, 복합 소재의 형태로 진화되고 있다. 재활용을 위해서는 폐기되는 플라스틱이 어떤 종류이며, 물성이 어떠한지를 사전에 검토하는 것이 필수적이다.
- 물성적인 측면에서는 열가역성과 열경화성으로 분류되며, 물질 재활용 대상은 열가역성이며, 열경화성은 외면되고 있는 것이 현실이다. 열을 사용하는 재활용에서는 열가역성이 선호되고 있다. 재활용에 있어서 첫 번째 고려사항은 단일소재로 분리배출하고 선별하는 것이며, 소재의 가치를 높이기 위해서는 단일소재의 순도를 높이는 노력이 요구된다. 현재 발생하는 폐플라스틱은 단일소재로 분리 배출되는 용기 플라스틱, 복합소재로 혼합되어 있는 페비닐(필름류 플라스틱), 종량제봉투 등에 들어 있는 복합혼합폐기물로 분류할 수 있다. 단일소재의 용기 유래의 폐플라스틱은 물질 재활용, 혼합된 페비닐류는

열분해, 플라스틱 외 것이 혼합되어 있는 것은 연소 등에 의한 열회수가 선호되고 있다.

- 두 번째는 재활용을 저해하는 이물질 및 유해물질의 제거이며, 물질 혹은 화학적, 열적 재활용에 있어서 가장 문제가 되는 것이 염소 화합물이다. 염소 화합물은 PVC에 유래하는 것으로 소량의 PVC가 잔류하여도 고함량의 염소에 기인하여 페플라스틱에 염소함량은 높아지게 된다. 염소는 열분해 과정 혹은 연소 과정에서 염화수소 등을 생성하여 장치를 부식하여 내구연한을 저하시키고, 분진 등에 고함량으로 잔류하거나, 2차 대기오염물질을 생성하여 많은 문제를 야기시키고 있다.

표1 생활 용기의 용도에 따른 플라스틱 종류

용기형상		용도 및 내용물	수지의 종류
병 류 병	음료용 병	청량 음료	PET
		우유 음료	폴리스티렌, PET, 폴리에틸렌
	식재료·조미료병	튀김·샐러드류, 간장, 미림, 소스	PET, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌
	조미료 튜브	마요네즈, 케첩, 드레싱, 외사비, · 겨자	복합 소재
일용품 병·튜브	화장실용품, 원예용품·카용품 액체 세제, 유연한 마무리제, 연 치약, 화장품, 샴푸, 린스, 표백제, 바디 세제	PET, 복합 소재, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌	
팩류 및 컵류	식료품 팩 (발포·비발포 팩)	마가린, 두부, 낫토, 과일, 야채, 가공 식품, 반찬, 도시락	발포:폴리스티렌, 비발포:폴리스티렌, 폴리프로필렌, PET
	식료품 컵 (발포·비발포 컵)	된장, 달걀 두부, 된장국, 요구르트, 라면, 야키소바, 젤리, 푸딩, 디저트	발포:폴리스티렌, 비발포:폴리스티렌, 폴리프로필렌, PET, 폴리에틸렌, 복합 소재
컵과 컵 뚜껑			폴리스티렌, PET, 폴리 프로필렌, 폴리에틸렌, 복합소재
용기류 및 오목 시트	용기(발포·및비발포)	고기, 생선, 회, 슬라이스 햄, 야채, 가공 식품	발포:폴리스티렌, 비발포: 폴리스티렌, 폴리프로필렌, PET
	오목시트	약품 (정제), 어육 가공품, 로스 햄, 베이컨, 카레류, 가정용 도구, 칫솔, 화장품	폴리에틸렌, 폴리프로필렌, PET, 폴리스티렌, 염화 비닐 수지
	계란 팩		PET, 폴리스티렌
봉투	대·중봉투, 무지봉투	쌀, 원예용 가방, 생선, 과일, 과자, 냉동 식품, 라면, 레토르트 식품, 절임, 끓여, 된장, 빵, 건어물, 크리닝봉투	폴리에틸렌, 폴리프로필렌, PET, 복합 소재
	비닐 봉투, 쓰레기 봉투		폴리에틸렌
	소봉투	메추라기 달걀, 생강, 매실 절임, 조미료, 라면 스프, 일본식 과자, 사탕, 웨이퍼스, 초콜릿	폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 복합 소재, PET
뚜껑 및 마개	음료, 식료품, 일용품, 기타 플라스틱 병용	폴리프로필렌, 폴리에틸렌	
랩 및 필름류	랩		염화 비닐 리넨 수지, 염화 비닐 수지, 폴리에틸렌
	필름	두부, 카레류, 발룬, 과자, 치즈, 냉동 식품, 소시지, 냉동 국수	폴리프로필렌, 폴리에틸렌, 복합 소재
	라벨	병, 컵	폴리스티렌, 폴리에틸렌, 및 PET, 폴리프로필렌
케이스 및 상자	세제 상자·뚜껑, 식품, 속옷, 캠캣트, 화장수 상자, 세습제, 제취제	폴리프로필렌, 폴리스티렌, 폴리에틸렌, 염화비닐 수지	
고정 및 보호	우레탄 스폰지, 발포폼, 그물, 에어 캡	폴리스티렌, 폴리에틸렌	
기타	바구니, 손잡이, 멀티팩, 자루, 이식 포트	폴리에틸렌, PET, 폴리 프로필렌, 염화비닐 수지, 폴리스티렌	

표2 플라스틱의 종류와 물성

수지명	분자식	C	H	O	N	Cl	기타	합계	저위발열량 (kJ/kg)	산소지수	분해온도 (°C)	인화점 (°C)	발화점 (°C)
폴리에틸렌	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	85.7	14.3	0	0	0	0	100	11,000	17.4~19.3	328~335	340~350	350
폴리프로필렌	(C <sub>3</sub> H <sub>6</sub> ) <sub>n</sub>	85.7	14.3	0	0	0	0	100	10,500	17.4~19.3	328~410	340	370
폴리스타이렌	(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> ) <sub>n</sub>	92.3	7.7	0	0	0	0	100	9,600	17.8~19.3	300~400	350~370	488~496
폴리에틸렌 테레프탈레이트	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	62.5	4.2	33.3	0	0	0	100	5,500	26.3	283~306	398	486
폴리염화비닐	(C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl) <sub>n</sub>	39.1	5.0	0.1	0	55.7	0	100	4,300	36.5~53	200~300	390	454
6-나일론	(C <sub>12</sub> H <sub>22</sub> N <sub>2</sub> O <sub>2</sub> ) <sub>n</sub>	63.2	10.5	14.0	12.3	0	0	100	7,500	26.3	310~380	420	424
연질우레탄폼	-	62.7	8.7	23.1	5.5	0	0	100	6,500	17.0~20.0	180~300	310	415
ABS수지	(C <sub>8</sub> H <sub>8</sub> C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> -C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N) <sub>n</sub>	86.4	7.8	0	5.8	0	수분 0.8	100	9,200	17.0~20.5	400~480	-	466
폴리아크릴수지	(C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N) <sub>n</sub>	72.9	6.5	4.1	16.5	0	0	100	8,000	21.4	250~280	-	-
AS수지	(C <sub>3</sub> H <sub>3</sub> N) <sub>n</sub>	86.2	7.3	0	6.5	0	0	100	9,700	19.8	400~500	370	455
페놀수지	(C <sub>6</sub> H <sub>7</sub> O) <sub>n</sub>	81.5	2.9	15.6	0	0	0	100	7,600	28.0~31.0	400~900	-	429

☑ 페플라스틱 처리와 물질 재활용

- 폐기물로 발생된 플라스틱의 처리방법을 크게 분류하면 매립, 소각, 재활용으로 구분할 수 있다. 플라스틱을 매립할 경우에는 분해가 불가능하여, 토양 내에서 안정화되지 않고 그대로 잔류하게 된다. 1970년대에 폐기물처리는 매립 뿐이었으며, 최근에 도로의 개설, 택지의 조성단계에서 폐기물이 발생되어 굴착해 보면 몇십 년이 지난 라면 봉투 등이 원형 그대로 발견되기도 한다. 페플라스틱을 소멸시키기 위한 방법으로는 소각이 하나의 수단이나, 소각과정에서 유해물질이 발생하는 등 자원재활용 관점에서 볼 때 단순 소각은 지양할 필요가 있다. 더욱이 최근에는 매립처분지 확보가 어렵고, 소각장의 2차오염에 대한 우려 때문에 인허가가 더 이상 나지 않는 상황이며, 이들 매립장 및 소각장의 희소성 때문에 폐기물 처분비가 급상승하였다. 발생하는 폐기물의 일정량은 소각 및 매립이 불가피한 상황에서 이들 시설의 신규 설치가 이루어지지 않아 사회적으로 큰 문제를 초래하고 있다.
- 소각과 매립이 더 이상 불가능하다면 재활용이 유일한 대안이며, 재활용은 ①물질재활용(머터리얼 재활용, 기계적재활용), ②화학적 재활용, ③열적 재활용의 3가지가 있다. 우리나라는 ①~③을 재활용으로 분류하고 있지만 EU는 ③의 열적 재활용을 에너지회수(Energy recovery)라고 부르며 재활용에는 포함하지 않고 있다.

- 플라스틱은 PE, PP, PET, PS, PVC 등의 범용수지가 가지고 있는 고유의 특성을 유지하면서 재활용하는 단일소재 재활용과, 이들 물질을 혼합하거나, 혼합된 것을 이용하는 복합소재 재활용으로 구분이 가능하다. 단일소재는 재활용은 유가성이 높으며, 분리수거 및 수집 운반이 잘 이루어질 경우에 재활용에 있어서 경제성 확보가 가능하다. 그러나 복합소재의 재활용은 플라스틱의 물성이 일정하지 않다는 점에서 정해진 제품 생산에 한계성이 있어서 유가성이 낮아 경제성을 확보하기 어렵다.
- 현재 가정에서 분리배출되어 수거되는 재활용품 중에 플라스틱은 단일소재의 용기플라스틱(PE, PP, PET, PS 등)과 필름류 플라스틱으로 구분이 되며, 배출하는 단계에서 명확히 구분되면서 깨끗한 용기플라스틱은 물질재활용이 가능하지만, 이물질이 묻어 있는 용기 및 복합소재의 필름류 플라스틱의 경우는 물질재활용이 어려운 실정이다.

### ☑ 플라스틱의 에너지 재활용

- 플라스틱은 석유유래의 물질이며, 첨가물이 포함되지 않은 상태에서 탄소를 얼마나 가지고 있느냐에 따라 발열량에 차이가 있다. 폴리에틸렌은 11,000, 폴리프로필렌은 10,500, 산소를 33.3% 포함한 PET는 5,500, 염소를 55.7% 포함한 PVC는 4,300, 산소 14.1%, 질소 12.3%를 포함한 나일론은 7,500 kcal/kg이다. 산소와 질소를 각각 포함하는 아크릴 등의 열경화수지는 7,600~9,600 kcal/kg 정도를 보여주고 있다.
- 폴리에틸렌과 폴리프로필렌의 발열량은 석유와 유사하며, 대부분의 석탄보다 높은 발열량을 보여주고 있으며, 이들을 양질의 상태에서 회수하여 에너지로 회수할 경우에 그 유가성의 확보가 가능하다.
- 기본적으로 가정 및 사업장에서 발생하는 오염된 플라스틱, 복합소재 플라스틱 등은 매립이 불가능하고, 소각 시에 2차 오염의 우려가 있고, 물질재활용이 불가능하기 때문에 에너지 재활용이 불가피하다. 또한 용기 및 건축 및 토목자재 등으로 사용되는 단일재질의 플라스틱은 다회 재활용하고, 복합재질의 경우에는 1, 2회 물질재활용 후에는 에너지원으로 재활용할 수 밖에 없다. 예를 들면 재활용 대란에서 문제가 되었던 페비닐의 경우도 에너지 재활용으로 활용되어야 할 것이다.
- 폐기물 관리 시행규칙 별표 4.2에서는 폐기물을 에너지로 재활용하는 유형을 명시하고 있으며, 직접 회수하는 유형과 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형으로 구분하고 있다. 직접 회수하는 유형은 시멘트 소성로에 보조 연료로서 이용하거나, 소각과 동시에

발전과 더불어 폐열을 이용하는 열병합발전이다.

- 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형은 고형연료(SRF)를 만들거나, 폐유와 용제 등을 정제유나 재생유를 만드는 것, 열분해하여 가스상 혹은 액상의 연료를 만드는 유형으로 구분이 가능하다.

표3 폐기물관리법 시행규칙 별표 4.2의 에너지 회수 유형

<b>5. 에너지를 직접 회수하거나 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형(R-8, R-9)</b>	<b>가. R-8 : 에너지를 직접 회수하는 유형</b>	1) R-8-1 : 시멘트 소성로의 보조연료로 사용하는 유형 2) R-8-2 : 소각열회수시설 등을 통해 제3조 제1항 제1호에 따른 에너지 회수기준에 적합하게 에너지를 회수하는 유형
	<b>나. R-9 : 에너지를 회수할 수 있는 상태로 만드는 유형</b>	1) R-9-1 : 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 시행규칙」 별표 7에 따른 고형연료제품의 품질기준에 적합하게 고형연료제품을 만드는 유형 2) R-9-2 : 정제, 유화 등의 물리·화학적 처리방법으로 정제연료유나 재생연료유 등 유류를 만들거나 유화정제연료유로 사용하는 유형 3) R-9-3 : 열분해, 탄화 등 열적 처리방법으로 액체, 기체 및 고체상의 연료를 만드는 유형 4) R-9-4 : 혐기성 소화·분해 등 생물학적 처리방법으로 기체·액체상의 연료를 만드는 유형 5) R-9-5 : 화력발전소, 열병합발전소의 연료로 사용하는 유형

- 현재 폐플라스틱을 이용한 에너지 재활용은 고형연료를 제조하는 양이 가장 많으며, 연간 260 만톤이 SRF로 제조되고 있다. 제조된 고형연료에 대한 수요와 공급 균형이 무너지면서 재활용 대란이 일어나기도 했다. 특히 화력발전소, 열병합발전소와 같은 대량소비처에서 사용이 예정되어 있었으나, 지역 단위의 민원과 미세먼지 대책 등으로 사용이 취소되면서 혼란이 가중되고 있어, 발생하는 폐플라스틱 일부를 동남아시아로 수출하고 있는 실정이다.
- 폐플라스틱을 에너지화가 가능한 연료를 만드는 기술로서 열분해 유화가 개발되어지고, 일부 지역에 상용화 플랜트가 가동되고 있다. 열분해 유화는 무산소의 상태에서 탱크 내에 플라스틱을 장입시키고 350~600℃ 온도에 저분자화를 유도하여 기름을 제조하는 기술로서 등유 혹은 경유에 해당하는 등급의 기름을 생산하는 기술이다. 생성유는 등유, 경유에 상당하는 혼합유로서 그대로 가열로 등에서 연료로 사용할 수 있으나, 정제 시 부가가치를 높여 고급 정제유로도 판매가 가능하다.

- 열분해 유화기술은 1990년대부터 국내에 도입되어 많은 기업에서 시도하였으나, 지속적으로 기술을 보급하지는 못했으며, 일부 지자체에서 수거되는 플라스틱을 열분해하여 기름을 생산하고 있다. 기본적으로는 투입되는 폐플라스틱 대비 40~50%의 수율로 생산이 가능하다. 자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률 관련 시행규칙 2조 [별표1]4-다항에서 폐플라스틱 재활용 오일은 석유사업법 품질기준에 맞으면 재활용 제품으로 판매 가능하며, 석유제품을 사용하는 자, 산업용 보일러 및 버너용, 석유정제공장, 건조시설 구비 재활용시설, 폐기물처리시설 등에 판매가 가능하다.

- 폐플라스틱은 석유 유래의 물질이라는 점에서 열분해하여 등유 및 경유를 대체할 수 있다는 점에서 유용한 수단이나, 장치의 부식문제, 부산물로서 발생하는 가스상의 VOC의 제거(대기오염 방지) 등이 과제이며, 생산된 열분해유를 연료유로서 유통시키기 위해서는 감압증류 혹은 별도의 정제를 통하여 생산하고, 유통체계를 확립하는 것이 향후 과제이다.

#### ☑ 플라스틱의 화학적 재활용

- 열분해에 의하여 기름을 생산하는 기술을 최근에는 화학적 재활용으로 분류하고 있으며, 연소 이외의 화학 반응을 수반하는 것으로서, 또 연소 이외의 화학 반응은 수반하지만, 생성물(합성 가스나 기름)을 즉시 연소하거나 발전용 연료로 하는 경우는 케미컬 재활용이 아닌 열적 재활용으로 볼 수 있다. 실용화되어 있는 화학적 재활용 기술은 다음과 같다.

##### ▷ 「해중합(모노머)-재중합」법 (약칭: 해중합법)

- 플라스틱을 해중합하여 단량체로 되돌리고 다시 단량체를 중합하여 동일한 플라스틱을 만든다는 것이다. 대표적인 것은 PET와 PS의 해중합법이다.

##### ▷ 「열분해(기름)-나프타 크래킹」법 (약칭: 열분해법)

- 우선, ①PE/PP/PS 등의 혼합 폐플라스틱을 “무산소 조건 하”로 열분해하여 열분해유(나프타 등)을 제조한 후 ② 열분해 오일(나프타 등)을 나프타 크래킹하여 에틸렌, 프로필렌, BTX를 제조, ③ 그들을 원료로 PE, PP, PS를 제조한다. 이것으로 Close loop(폐쇄 루프)가 형성된다.

##### ▷ 「가스화(합성가스)-화학품」법 (약칭: 가스화법)

- PE / PP / PS 등의 혼합 폐플라스틱을 "산소 존재 하"에서 열분해함으로써 합성

가스(CO(일산화탄소)+H<sub>2</sub>(수소))를 제조하는 방법이다. 정제된 합성가스는 각종 화학품의 제조 원료가 된다.

##### ▷ “코크스로 화학 원료화(가스·오일·코크스)” 법 (약칭: 코크스로 화학 원료화법)

- 석탄에 PE/PP/PS 등의 혼합폐플라스틱을 섞어 코크스로에 투입하여 “무산소 조건 하”에서 분해하여 가스, 오일, 코크스를 제조하는 것이다. 가스는 연료, 코크스는 고로 환원제로 사용된다. 오일(기름)은 아로마 성분이 많고, 화학품이나 플라스틱의 원료가 된다.

##### ▷ 「고로 환원제」법 (약칭: 고로 환원제법)

- 코크스에 PE/PP/PS 등의 혼합 폐플라스틱을 섞어 고로에 투입한다. 폐플라스틱은 철광석 환원제로 작용하여 스스로는 CO<sub>2</sub>와 H<sub>2</sub>O가 된다.

- 화학적 재활용이 선호되는 첫 번째 이유는 탄소중립, 온실가스 감축을 전제로 하는 ESG 경영을 추진하는 것이다. 화석연료를 사용하지 않는 클로징 재활용기술(Loop Recycling)의 확보, 생분해성 소재를 사용하는 바이오매스 플라스틱의 제조 등이 그 사례이다.

- 두 번째는 플라스틱 제품의 생산에 재생원료의 사용을 의무화하고 있으며, EU를 중심으로 2030년부터 30%, 50% 등으로 규제를 강화하고 있다. 현재 단계에서 재생원료 확보가 어려운 것으로 전망되고 있는 것으로부터 각 기업에서는 선제적으로 기술을 확보하기 위하여 노력하고 있다. 최근에 BASF 등은 열분해유와 바이오매스 소재로부터 PE / PP / PS를 제조하는 기술을 선보였다.

- 세 번째는 같은 맥락이나, 물질 재활용을 우선적으로 확대하는 것에 어려움이 있으며, 오염된 폐플라스틱의 기계적 재활용은 어렵지만 화학적 재활용 (해중합법이나 열분해법)을 통하여 제조된 플라스틱은 음료 및 식품 용기 포장에 재사용이 가능하기 때문이다. 병(PET병 등)의 재생 재료 함량에 대한 EU의 새로운 규제 및 음료업체(CoCa-ola, PepsiCo 등)의 할당된 의무율을 달성하기 위해서는, 기계적 재활용만으로는 수량적으로 달성하기 어려워 화학적 재활용이 부가적인 수단으로서 요구되고 있다.

- 네 번째 이유는 유럽과 미국에서 순환 경제로 전환하기 위한 긴급한 도전 중 하나로서 폐플라스틱의 매립량을 줄이기 위한 것이다. 그때까지 매립되는 혼합폐플라스틱을 소각하는 대신 열분해법이나 가스화법 등의 화학적 재활용으로 해결하려고 하고 있다.



### 3 폐플라스틱 재활용에 대한 국내외 정책 및 기술 동향

#### ☑ 국외 플라스틱 폐기물 정책 동향

■ '22년에 개최된 제5차 유엔 환경총회(UNEA-5)에서는 플라스틱 오염 문제를 해결하기 위해 2024년까지 플라스틱 제품의 전 수명주기를 다루는 구속력 있는 최초의 국제 협약을 제정하기로 합의하였으며, 전 세계적으로 국가마다 플라스틱과 관련된 규제 및 정책을 아래와 같이 도입하고 있다.

- 유럽 연합(EU)은 '순환경제 행동계획(Circular Economy Action Plan)' 및 '플라스틱 전략(Plastic Strategy)'을 통해 탈플라스틱 사회의 구축을 단계적으로 밟아나가고 있다. 이러한 계획과 전략은 플라스틱 관련 환경 문제에 대한 조기 대응과 지속 가능한 해결책 제시를 목표로 하며, 여러 측면에서 환경 보호와 자원 효율성을 강화하는 방향으로 나아가고 있다. 이를 통해 '30년까지 플라스틱 재활용 수준을 55% 까지 개선'하는 목표를 설정하여 자원의 낭비를 줄이고 환경에 미치는 영향을 최소화하는 것을 목표로 하고 있다. 또한, 재생 플라스틱의 사용을 의무화하고 그 비율을 30%로 확대하겠다는 목표도 제시함으로써, 새로운 플라스틱 제품을 생산할 때 재생 소재를 사용하도록 규제를 강화하고 있다. 더불어, 2021년부터 '플라스틱세'를 도입하여 플라스틱 사용에 대한 규제를 더욱 강화할 계획이며, 이는 플라스틱 사용에 대한 세금을 부과함으로써, 플라스틱 사용량을 줄이고 환경에 미치는 부정적인 영향을 감소시킬 것으로 기대한다. 이를 통해 연 60억 유로의 세수가 확보될 것으로 추산되며, 이 자금은 환경 보호 및 지속가능한 플라스틱 관리 프로젝트에 투자될 것으로 예상된다. 이러한 노력과 목표들을 통해 유럽 연합은 플라스틱 오염과 지속가능한 자원 활용에 대한 과제에 대처하고, 더 친환경적이고 순환경제로 나아가기 위한 긍정적인 발전을 이루고자 하고 있다.

- 미국 환경보호청(EPA)은 환경 보호와 지속가능한 자원 관리를 강화하기 위해 "국가재활용전략(National Recycling Strategy)"를 발표하였다. 이 전략은 2030년까지 재활용률을 50% 향상시키기 위한 전략적 방안을 제시하는 중요한 계획으로, 미국의 재활용 노력을 혁신하고 확대하기 위한 비전을 담고 있다. 이 전략의 주요 내용 중 하나는 재활용률 확대를 통해 미국에서 발생하는 다양한 폐기물 중 재활용 가능한 것들을 더 효과적으로 분리수거하고 재활용하는 데 중점을 두는 것으로 자원의 효율적인 활용과

환경 보호를 동시에 실현하고자 한다. 또한, 제조사가 제품의 수명주기 내내 책임지고, 재활용 및 환경 처리를 지원하는 제도인 생산자책임재활용(EPR)제도를 통한 플라스틱 규제를 주정부 단위에서 추진하여 플라스틱 제품의 라이프사이클 관리를 향상시키고 환경 부담을 줄이는 것을 목표로 하고 있다. 미국 환경보호청의 이러한 제도는 재활용 및 플라스틱 관리를 통해 환경 오염과 자원 낭비를 줄이고, 미국의 지속가능한 미래를 모색하고자 하는 중요한 단계로 간주되며, 이를 통해 미국은 지속가능한 재활용 및 자원 활용을 강조하며 환경 보호를 촉진하고자 하고 있다.

표4 미국 주 정부 플라스틱 규제 현황 및 추진계획

주	주요 내용
캘리포니아	플라스틱 오염 생산자책임법(SB54) : 2032년 1월부터 생산되는 일회용품, 포장재, 일회용 식품용기 생산자는 재활용 또는 퇴비가 불가능한 포장재나 제품 판매·배포·수입·주내 반입 불가, 2022.1 상원 통과
일리노이	플라스틱 오염 및 재활용 현대화법(SB3935) : 특정 제품의 생산자는 생산자책임프로그램 관리조직에 등록, 생산자책임조직은 수거된 제품이 적절하게 재활용되도록 재활용 시스템 참여자와 협력해야 함, 2022.1 제안
워싱턴 D.C	기본계획개정법(B24-0001) : 스튜어드십 프로그램을 제약, 섬유, 플라스틱병 등으로 확장, 2021.8 발효
워싱턴	재활용 및 폐기물 저감을 위한 특정 물질 관리법(SB5022) : 플라스틱 음료용기에 대해 재생원료 사용기준 마련(2023년 15%, 2031년 50%), 2021.7 발효

- 일본 정부는 환경 보호 및 지속가능한 자원 활용을 강화하기 위한 중요한 단계로서, 2021년 6월에 국회에서 통과되고, 2022년 4월부터 시행된 '플라스틱 자원순환 촉진법'을 제정하였다. 이 법은 '3R(Reduce, Reuse, Recycle)+Renewable'를 중심으로 한 전략을 채택하여 플라스틱 사용에 대한 규제를 더욱 강화하고 지속가능한 플라스틱 자원순환을 촉진하기 위한 중요한 기초를 갖고 있다. 이 법은 '3R' 즉, 'Reduce(감소)', 'Reuse(재사용)', 'Recycle(재활용)'와 'Renewable(재생가능)'를 중심으로 플라스틱 사용과 관련된 다양한 측면에서 규제 및 지원 조치를 포함하고 있다. 이 법을 통해 플라스틱 사용에 대한 규제가 더욱 강화되며, 플라스틱 자원순환과 지속가능한 관리가 강조된다. 또한, 재생 가능한 에너지를 통한 플라스틱 생산을 장려를 통해 글로벌 환경 문제에 대한 대응을 추진하고 있다.

표5 일본 플라스틱 자원순환 촉진법의 3R+Renewable

3R	Reduce	제조를 위해 소비하는 자원을 줄이는 것
	Reuse	사용이 끝난 제품을 반복하여 사용하는 것
	Recycle	폐기된 제품을 원재료 등으로 이용하는 것
Renewable	제조에 사용하는 자원을 재생이 용이한 것으로 대체하고 폐기하지 않는 제조를 할 것	
대상 사업자	- 소매업 (백화점, 슈퍼, 편의점 등) - 숙박업 (호텔, 료칸 등) - 음식점 (레스토랑, 이자카야 등) - 운반, 배달 음식 서비스업 (푸드 딜리버리 등) - 세탁업 (클리닝 숍 등)	
국가가 정한 특정 플라스틱 사용 품목 (12개)	포크, 숟가락, 나이프, 음료 막대, 빨대, 헤어 브러쉬, 빗, 면도기, 샤워캡, 칫솔, 옷걸이, 의류 커버	

- 중국은 환경 보호와 플라스틱 오염 관리를 강화하기 위해 2020년에 국가발전개혁위원회와 생태환경부가 발표한 '플라스틱 오염 관리 강화 제안'을 통해, 플라스틱 관리를 단계적으로 개선하고 있다. 이 제안은 2021년부터 중국 내에서 생산하는 플라스틱을 제한적으로 금지하고, 2023년에는 플라스틱 제품의 판매까지 금지하는 강력한 방안을 추진하고 있다. 특히 일회용 플라스틱 제품에 대한 강력한 규제를 통해 플라스틱 오염 관리를 강화하여 환경 보호 및 지속 가능한 개발에 대한 약속을 강조하고 있다.

표6 중국 플라스틱 오염관리 관련 단계적 목표

제품분류	'21년	'22년	'23년
생산 및 판매 금지 플라스틱 제품			
발포 플라스틱 음식 용기, 플라스틱 면봉	전국 생산/판매 금지	-	-
미세 플라스틱 함유 일상용 화학품	전국 생산 금지	전국 판매 금지	-
사용 제한 플라스틱 제품			
분해불가 비닐봉지	직할시, 성회도시, 단독 계획시행도시: 내 건설된 구역의 상점, 마트, 약국, 서점 및 음식배달, 각종 전시회 등에서 사용 금지, 농산물시장에서 사용 규제 및 제한	지급(地级) 및 지급 이상 도시 내 건설된 구역, 해안지역 현급(县级) 도시 내 건설된 구역의 상점, 마트, 약국, 서점 및 음식배달, 각종 전시회 등에서 사용 금지	지급(地级) 및 지급 이상 도시 내 건설된 구역, 해안지역 현급(县级) 도시 내 건설된 구역의 농산물시장에서 사용 금지
1회용 플라스틱 식기	지급(地级) 및 지급 이상 도시 내 건설된 구역, 관광지의 식당 내부에서 사용 금지	현급(县级) 도시 내 건설된 구역, 관광지의 식당 내부에서 사용 금지	지급(地级) 및 지급 이상 도시의 음식배달 영역에서 분해 불가 1회용 식기 소모량 30% 감소
호텔 1회용 플라스틱 용품	-	전국 성급 호텔에서 1회용 플라스틱 용품 자발적 제공 금지	모든 호텔, 여관, 민박에서 1회용 플라스틱 용품 자발적 제공 금지
택배 비닐 포장	-	베이징, 상하이, 장쑤, 저장, 푸젠, 광둥 등: 성(시)의 우체국택배 지점에서 분해 불가 비닐포장 사용 금지	전국 우체국 택배 지점에서 분해 불가 비닐봉지, 테이프 사용 금지

☑️ **국외 플라스틱 폐기물 정책 동향**

- '국내에서는 2030 국가 온실가스 감축 목표(NDC)를 상향 조정하였으며, 2018년 대비 40% 감축 목표를 설정하여 기후변화와 환경 보호에 대한 규모있는 노력을 하고 있다.
  - 특히 플라스틱 제조 및 처리와 관련된 산업 및 폐기물 분야에서는 각각 3,800 만톤 및 800 만톤의 온실가스 감축 계획이 수립되었으며, 이를 통해 플라스틱 관련 산업에서의 온실가스 배출을 크게 줄이고, 이 분야에서 지속 가능한 관리 및 생산 방식을 촉진하려는 노력을 하고 있다.
  - 또한, 국내 온실가스 배출량 감축 규모가 25.7%에서 32.5%로 확대되었으며, 해외 감축량도 축소 조정되어 실질적인 감축 강화를 계획하고 있으며, 이는 국내와 국제적인 차원에서 온실가스 감축을 위한 협력을 강조하고 있다.
  - 석유 화학 부문에서는 친환경 바이오 납사 및 자원순환을 통해 폐플라스틱의 원료 활용을 확대하는 방안을 추진하고 있다. 이를 통해 플라스틱 관련 산업에서 지속 가능한 생산 및 재활용을 강화하며, 자원의 효율적인 활용을 촉진하고자 하는 노력을 하고 있다.
  - 폐기물 부문에서는 2018년 대비 2030년까지 생활, 사업장, 및 지정 폐기물의 감량과 재활용률을 대폭 확대하기로 목표를 설정하여, 이를 통해 폐기물 관리 및 재활용을 통해 자원의 효율적인 활용을 추진하고 있다.
- 국내에서는 2025년까지 플라스틱 폐기물의 20% 감량 및 재활용률을 70%로 높이는 목표를 세웠으며, 이는 플라스틱 폐기물의 양을 줄이고 재활용을 촉진하기 위한 목표로, 지속 가능한 자원 활용을 강조하고 있다. 또한, 1회용품의 사용을 단계적으로 금지하고 재생원료 비율을 30%까지 확대하려는 계획을 추진하고 있다.
  - 환경부는 2022년 11월부터 일회용품 사용 규제를 확대 및 강화하기로 결정하였으며, 자원재활용법을 통해 종이컵, 플라스틱 빨대, 젓는 막대, 및 우산 비닐과 같은 1회용품을 대상으로 확대하며, 업종별로 준수사항을 강화함으로써 봉투, 쇼핑백, 응원 용품의 사용을 금지하려는 방안이 제시되었다.
  - 또한, 생산자책임재활용(EPR) 대상 품목을 2022년까지 43종에서 63종으로 단계적으로 확대하며, 비닐류의 재활용 의무율을 대폭 상향 조정하여 66.6%에서 90%로 높이기로 목표를 설정하였다.



그림4 국내외 폐플라스틱 정책 동향

☑ 폐플라스틱 화학적 전환을 위한 국외 기술 동향

- 2050년 글로벌 폐플라스틱 시장 규모는 60조 원에 달할 것으로 추정되며 이로 인해 글로벌 화학기업을 중심으로 다양한 공동체와 중장기 프로젝트 형식의 컨소시엄을 설립하여 기술개발을 활성화하고 있으며, 특히 대규모 폐플라스틱 재활용 상용화 기술 기반 사업을 본격화하고 있다.
  - 표 7은 국외 주요 폐플라 스틱 화학적 재활용 기술 현황을 나타내고 있으며, 독일, 일본, 영국, 미국, 프랑스, 노르웨이 등 다양한 국가에서 상용화 실증설비 구축을 위한 계획하고 있으며, 더불어 다국적 기업들의 활발한 협업을 통해 사업을 추진하고 있다.

표 7 국외 주요 폐플라스틱 화학적 재활용 기술 현황

국가	기술 제휴업체	주요 기술	주요 내용
독일	BASF Quantafuel ARCUS Pyrum New Energy	열분해	ChemCyclingTM 프로젝트를 기반으로 혼합 플라스틱 열분해 및 페타이어 열분해 기반 재생원료활용 플라스틱 제품 생산사업
일본	Axens IFPEN JEPLAN	PET glycolysis	Rewind™PET 프로젝트 기반으로 폐PET 화학적 재활용 기술을 활용하여 연간 2만 2천톤 규모의 실증설비 구축
영국	INEOS Plastic Energy	열분해	플라스틱 열분해 기술 기반 '20년부터 상용규모의 공장 건립을 추진하고 있으며, '26년까지 세계 최대규모인 10만 톤급 열분해 공장 계획
미국	Agilyx INEOS Amsty Toyo Styrene	PS 열분해	미국의 Agilyx 사가 보유한 PS열분해 기술을 기반으로 최대 100 톤/일 규모의 열분해 플랜트 건설 추진
프랑스	Total Energies Plastic Energy	열분해	영국의 Plastic Energy 사의 열분해 기술을 기반으로 '25년까지 스페인에 3만 3천 톤급 실증화 설비 구축예정
노르웨이	Eagle Technology Biofabrik	열분해	독일의 Biofabrik 사와 함께 열분해 기술에 사용할 수 있는 Modular containerized plastic recycling system을 개발하여 실증화 추진 중

☑ 폐플라스틱 화학적 전환을 위한 국내 기술 동향

■ 국내 정유사들은 폐플라스틱 관련 사업에 적극적으로 참여하고 있으며, 이를 위해 자체 기술의 활용과 개발에 주력하고 있다. 더불어, 국내 정유사들은 폐플라스틱의 재활용과 관련된 원천기술을 보유한 해외 기업들과 협력하여 새로운 재활용 공정의 개발, 시연 프로젝트, 그리고 상용화를 위한 공동 개발 협약을 적극적으로 체결하고 있다. 이를 통해 국내 정유사들이 폐플라스틱 관련 기술의 상용화를 촉진하고 있다.

- SK지오센트릭은 영국의 Plastic Energy 사와의 기술 협력을 통해 아시아 최대 규모의 폐플라스틱 열분해 공장 건설 프로젝트를 추진하고 있다. 이 프로젝트는 2025년까지 연간 6만 6천 톤의 열분해유를 생성할 수 있는 공장 건설을 계획하고 있으며, 이렇게 생성된 열분해유를 활용하여 자체 보유한 기술을 활용하여 2025년까지 연간 15만 톤을 처리할 수 있는 공장을 건설할 계획이며, 이를 통해 열분해유를 납사, 경유 및 석유화학제품 등 다양한 용도로 전환하고자 한다.
- 롯데케미칼은 자체 기술을 활용하여 재생 PET 시생산에 진입하였으며, 국내에서 최초로 폐PET Glycolysis를 기반으로 한 해중합 설비를 통해 BHET를 생산하고 있으며, 이를 통해 2030년까지 34만 톤 규모의 PET를 모두 재생 PET로 전환할 계획이다. 더불어, 폐기물처리업체와의 MOU 체결 및 재생원료 공급 합의를 통한 적극적 사업화 모델을 구축하고 있다.
- 현대오일뱅크는 100톤 규모의 열분해유를 정유공정에 투입하고 실증 연구를 수행하는 등의 노력을 기울이고 있으며, 자체 보유한 열분해공정을 활용하여, 향후 연간 5만 톤 규모의 폐플라스틱 열분해유 공장 설립을 추진 및 검토하고 있다.
- 코오롱인더스트리는 스위스의 gr3n 사와 사업 파트너십을 구축하여, 폐PET로부터 얻어진 친환경 재생원료를 공급받아 재생 PET을 제조할 계획을 가지고 있다.
- 금호석유화학은 미국의 Agilyx 사의 폐폴리스타이렌 (PS) 열분해 원천기술을 활용하여 재생 스티렌 모노머(SM)를 생산하여, 얻어진 재생원료를 활용하여 고기능성 합성고무(SSBR)를 제조하고, 이를 자사 제품인 SSBR에 적용하여 친환경 타이어 사업을 추진할 계획이다.
- 한화솔루션은 미국의 Novoloop 사의 해중합 기술을 기반으로, 폐폴리에틸렌 (PE)의 분자 구조를 분해하고 재구성하여 친환경 열가소성 폴리우레탄(TPU)를 생산하는 사업을 계획 중이다.
- LG화학은 영국의 Mura Technology 사의 초임계 폐플라스틱 열분해 기술을 활용하여

국내 최초 석유화학 원료용 '열분해유' 생산시설건립을 추진하고 있다. 2024년까지 총 3100억 원의 투자를 기반으로 연간 2만 톤 규모의 열분해유 공장을 건설할 계획이다.

- **두산중공업**은 유일하게 국내기업인 리보테크 사와 함께 협력하여 페플라스틱 및 폐비닐 재활용 사업을 계획하고 있다. 특히, 다른 기업과는 다르게 플라스틱의 원료가 되는 모노머 또는 열분해유가 아닌 가스화 기술을 기반으로 한 페플라스틱 유래 수소 생산기술을 채택하여, 최대 수소생산 3톤/일 규모의 상용화 기술개발을 진행하고 있다.

#### 4 페플라스틱 재활용 기술 국내 사업화 시 고려사항

##### ☑ 플라스틱의 유해성

- 플라스틱 자체는 고분자화합물로서 탄소, 수소, 산소, 질소 등으로 이루어진 매우 안정된 화합물이다. 고분자 고리로 만들어진 물질은 그 유해성이 거의 없으나, 플라스틱에 기능을 부여하기 위하여 첨가하는 물질에 따라 유해성이 나타난다. 최근에 각종 화재사건에 거론되는 PVC와 PS, 우레탄수지 등은 연소 시에 유해한 휘발성유기화합물(VOC)을 발생시키거나, 검은 연기를 발생시키는 것으로 잘 알려져 있다. PVC는 염소함량이 50% 이상으로 연소 시에 염화수소를 발생시켜 부식을 촉진시키기도 한다. 생활폐기물을 소각하는 소각시설에서의 다이옥신의 2차 생성, 시멘트공장에서 부식촉진, SRF에 포함 시에 연소로와 보일러 부식이 촉진된다. 염소와 불소, 브롬 등이 중합되어 있는 이들 플라스틱은 별도로 관리되어, 생산-유통-소비-폐기단계를 거쳐 별도의 수거라인을 통해 분리하여 재활용하는 체계로의 정비가 요구된다.
- 이외에도 플라스틱에는 다양한 첨가제가 사용된다. 이들 첨가제들은 기능별로 크게 가소제, 향산화제, 가교제, 착색제, 자외선 안정제, 미끄럼제, 경화제, 증감제 등으로 나뉘며 그 종류만도 수십 여종에 이른다. 첨가되는 대부분의 물질은 환경적으로 유해한 물질이 대부분이며, 가소제로 첨가되는 프탈레이트 등은 내분비 교란물질로 잘 알려져 있다. 또한 플라스틱의 안정제 및 안료로서 납과 같은 각종 중금속을 포함하고 있는 것들을 사용하기도 하고, 다회 재활용에 의하여 이들 유해물질의 함량이 높아져 가고 있다.

##### ☑ 플라스틱의 재활용 방법별 고려사항

- 현재 주류가 되는 플라스틱 재활용 방법을 표 8에 나타냈다. 지속적으로 재생 플라스틱을

공급하기 위해 재생원료의 품질과 가치를 유지할 수 있는 재활용 기술이 요구되고 있다. 예를 들어 사용한 페트병을 다시 페트병 재료로 하는 같은 제품의 원료로서 재생할 수 있는 레벨의 물질재활용(Closed-loop 라고도 함)은 재생재의 고부가가치를 유지할 수 있으며, 폐기가 억제되기 때문에 향후 수요는 확대될 것으로 예측된다. 한편, 건축 자재 등 저부가가치 재료로 재생하는 다운 머티리얼 재활용(Open-loop 라고도 함)은 최종 처분까지의 라이프 사이클을 늘릴 뿐이기 때문에, 장래의 수요는 한정적이다. 또한, 버진원료(신재)와 동등한 품질로 재활용할 수 있는 화학 재활용은 선별하기 어려운 것들에 대해서도 재활용도 가능하기 때문에 석유·화학 대기업을 중심으로 주목이 높아지고 있다.

표8 재활용 방법별 과제와 전망

분류	대표적인 방법	특징	과제	동향과 전망
머티리얼 재활용 선별과 불순물 제거, 파쇄 용해 등의 처리로 원료로서 재생 이용하는 방법	레벨 물질재활용 (Closed-loop) 동품 제품의 원료로서 재생이용	화학적재활용에 비교하여 대형플랜트가 불요, 에너지소비도 상대적으로 적다.	양질의 페플라스틱의 확보, 재생재는 신재보다 비용이 높아질 수 있다.	일용소비재 대기업용으로 공급, 특히 재생페트병의 이용으로 채용이 증가
	다운물질재활용 (Closed-loop) 원래보다 낮은 품질제품으로 재활용	처리프로세스가 비교적 간단, 간이설비로 가능하다. 중국 등의 개발도상국이 다수 이용	반복해서 재활용이 불가능, 인건비와 신재의 가격의 영향을 받는다.	정부의 압박, 신규투자유치가 곤란, 장래 수요가 한정적
화학적 재활용 페플라스틱을 화학적으로 분해하여 석유원료 등으로 전환, 제품원료로 재생이용하는 방법	원료, 모노머화 : 페플라스틱을 분해하여 원료와 모노머로 전환	신재와 거의 같은 품질의 재생원료를 생산, 페트병의 산업화가 진행	양질의 페플라스틱 확보, 초기투자비가 높고, 처리 프로세스에 에너지 소비가 높음	대기업, 석유화학기업 등에 관심이 증가, 조달량이 증가할 것으로 예상
	가스화 : 가스화 용융 등 화학적처리로 가연성가스과 생산	분별된 것에 pvc등이 포함되어도 재활용 가능	투자 및 운영비가 높고, 다이옥신 등에 대한 대책이 요구	최근에 혼합페플라스틱처리에 기대
	유화 : 열분해와 촉매반응으로 원료와 화학원료를 추출하는 방법	섬세한 분리배출이 불필요하고, 열가역성소재에 적용, pet는 분리	에너지소비가 높아 비용이 높으며, 안전면과 정제물의 품질이 문제	최근에 석유화학업체에서 주목도가 높고, 창업회사가 다수
열적 재활용	발전 : 폐기를 보일러에서 연소하고 얻어지는 고열로 발전하면서 스팀생산	분별이 어려운 혼합폐기물의 처리에 이용, 최종처분량을 줄이기 위한 수단	초기투자비가 높고, 다이옥신 등의 대책이 요구, 자원으로 보지 않는 경향이 있음	폐기물분리배출이 되지 않는 개발도상국에 적용이 용이, 자동화, 무인화가 진행

## ☑ 플라스틱의 재활용 과정에서 문제 해결을 전제로 재활용

### ▷ 비용과 열화 문제

- 재활용된 플라스틱 제품은 원래의 제품과 같은 형태로 만들 수가 없다. 예를 들어, PET 병이 다시 병으로 되돌아가는 것은 어렵다. 기술적으로는 가능하지만 비용이 소요된다. 또한 플라스틱은 재활용할 때마다 열화된다. 예를 들어, PET병의 재활용은 대개 박제 안 솜과 양털 등으로 사용되는 폴리에스테르 섬유로 재활용된다. 비용과 열화가 고려된 재활용이 되어야 한다.

### ▷ 단일재질의 확보에 한계

- 전술한 것과 같이 폴리에틸렌, 폴리스티렌, 폴리프로필렌 등 다양한 재질로 제품이 만들어진다. 폴리에틸렌을 재활용하려면 폴리에틸렌만을 모아야 하나, 현실적으로 복합재질로 만들어진 것이 있고, 재질별 분리배출 및 선별이 어렵다. 최근에 재질을 선별하기 위한 로봇팔 등이 개발되고 있다.

### ▷ 복합 수지

- 플라스틱 제품이 단일 수지가 아니라 복합 수지로 만들어져 있어 재활용이 어렵다. 또한 기술의 발전에 의하여 더욱더 복잡한 플라스틱이 합성되고 있다. 재활용하기 위해서는 같은 재질을 모아야 한다고 말했지만, 플라스틱 제품을 단일 수지가 아닌 복합 수지로 만드는 경우가 많기 때문에, 이것이 한층 재활용을 어렵게 하고 있다.

### ▷ 오염된 플라스틱

- 페플라스틱의 대부분은 포장 용기로 활용된 플라스틱으로서, 식품을 감싸고 있던 용기가 대부분이다. 용기 포장은 식품의 기름 등으로 오염되어 세정이 요구되나, 플라스틱은 탄화수소 골격으로 되어 있어, 소수성이 높기 때문에 기름을 제거하기에 어려움이 있다.

### ▷ 첨가제

- 플라스틱 재활용률이 낮은 다른 원인은 플라스틱에 첨가된 화학물질(첨가제)이다. 플라스틱 제품을 만드는 과정에서 플라스틱에 유연성과 내구성을 제공하거나 착색하기 위해 다양한 화학물질이 추가되고 있다. 첨가제는 유해물질이 많아, 재활용한 것에 오염될 수 있다. 플라스틱에 미세한 색상 물질이 오염되면 품질을 저하시키게 된다.

## ☑ 화학 재활용의 과제와 문제점

- 화학 재활용은 다른 재활용에는 없는 장점이 있지만, 한편으로는 과제나 단점도 남아 있다. 여기에서 「재활용 비용」과 「현행 수집운반체계」, 「재활용 과정에서 에너지가 필요」를 단점으로 검토한다.

### ▷ 재활용 비용

- 최근에 화학적 재활용을 하기 위하여 석유화학플랜트 버금가는 시설을 설치하고 있으며, 그 과정에서 막대한 설비투자액을 제시하고 있다. 화학적 재활용은 페플라스틱 분자로 분해하는 공정이 많아 엄청난 설비 비용이 드는 경향이 있다. 특히 공정 중 '유화'는처리 규모에 비해 설비 투자액이 크고 비용 경쟁력이 약해지는 경향이 있다고 지적되고있다. 또한 이러한 대형 설비는 도시와 떨어진 석유화학단지, 산업단지 등에 인접해 건설되는 경우가 많으며, 재활용되는 소재를 설비까지 운반할 때의 운송 비용이 소요된다. 결과적으로 재생품의 상품 가격이 높아지면 시장에서 수요가 성장하기 어려워진다. 앞으로 신품과 재생품에 드는 비용의 차액을 메우는 기술 연구가 요구된다.

### ▷ 현행 플라스틱의 수집운반체계

- 현재 발생되고 있는 플라스틱의 대부분은 생활계로서 발생되고 있다. 생활계에서 발생하는 플라스틱은 용기 유래의 플라스틱과 비닐이라고 불리는 필름류 플라스틱으로 분류된다. 물질재활용 측면에서 용기 유래의 플라스틱은 원활히 재활용되고 있으나, 필름류의 플라스틱은 재활용이 곤란한 것으로 알려져 있다. 물질재활용이 곤란한 필름류 플라스틱은 지자체가 관리하는 영역으로서 선별장 등에서 입찰하여 수요자에게 배분하게 된다. 이 과정에서 비용을 높게 입찰한 곳에 줄 수 밖에 없는 상황에서 고�형연료제조사, 시멘트업체, 소각업체 등으로 우선 공급되어 화학재활용업체로 공급이 어려울 수 있다. 즉 화학재활용을 위한 물량확보가 어려울 수 있다.

### ▷ 재활용 과정에서 에너지 필요

- 화학재활용은 열분해 유화나 원료·모노머화와 같이 다양한 형태로 진행되며, 진행되는 과정에 따라서 새로운 에너지가 필요하게 된다. 예를 들어 페플라스틱을 유화하는 경우에 고분자 상태의 플라스틱을 저분자 상태로 되돌리는 열분해가 진행되며, 이 과정에서 외부열이 필요하게 되며, 전력이나 이미 생성한 기름을 연료로서 이용하지 않으면 안된다. 에너지가 경제성 측면에서 헨디캡이 될 수 있다. 화학적 재활용은 자원의 고갈을 막는 역할을 하는 한편, 일부의 방법에서는 에너지 자원의 절약이 되지 않는 지속

가능하지 않은 단점이 발생하고 있다. 화학적 재활용 중에서도 특히 지속 가능한 형태를 지속해 나가는 것이 이상적이다.

## 5 국민기술제안에 대한 제언

- 우리나라에서는 폐플라스틱의 효과적인 감축 및 처리를 위하여 화학적 재활용 기술을 통한 폐플라스틱 유래 산업원료 및 연료화를 계획하고 있다. 폐플라스틱 재활용과 관련된 해외 우수 기술의 적극적인 도입 및 국산 기술 실증화/고도화를 함께 추진하는 것이 효과적일 수 있다. 화학적 재활용 기술의 사업화를 촉진하기 위해서는 폐플라스틱의 수집, 운송, 전환, 및 사용과 관련된 전반적인 관점에서 제도 및 정책의 확립이 필요하며, 더불어 재활용 기술의 법적 지위와 법률적 적용 범위 확장을 통해 폐플라스틱 유래 재생원료에 대한 경제성 확보가 필요하다.

### ☑ 친환경 재활용 현수막

#### ▷ 제안된 기술

- 도심지에 광고를 목적으로 현수막이 설치되고 있으며, 일정 기간 게시 후에 철거되는 특성을 안고 있다. 현수막의 재질은 다양하며, 또한 인쇄도 다양한 형태로 진행되고 있다. 게시가 종료된 현수막에 대한 관심이 증가하고 있으며, 지금까지 쓰레기 봉투, 장바구니 등으로 업사이클링되었으나, 현수막 자체를 재활용하려는 움직임은 없었다. 본 기술은 PET 소재의 현수막을 만들고, 사용종료 후에 수거하여 바닥재 혹은 건축 자재의 보강재로 사용하는 기술을 개발하고 보급하고 있다.

#### ▷ 제안된 기술의 현실성과 효용성

- 친환경 재활용 현수막 기술은 기존에 재활용이 어려운 현수막을 대체하기 위한 기술로써, 사용하고 버려진 친환경 현수막을 활용하여 섬유 보강재로 사용함으로써, 플라스틱의 사용, 수거 및 폐기에 걸쳐 폐기물을 획기적으로 감소시킬 수 있는 기술로 평가된다.
- 지금까지 제작 판매된 현수막은 재료와 물성을 알 수 없는 합성수지(플라스틱)였으나, PET 소재로서 명확히 하고 소재 특성에 적합한 재활용방법을 도입했다는 점에서 현실성이 있다. 그러나 최근에 플라스틱의 문제 발단은 미세플라스틱이며, 미세플라스틱을 줄이는 노력이 요구된다. 즉 현수막을 생분해성으로 대체시켜 플라스틱 사용을 억제하고, 사용

후에 자연계에 잔류하지 않게 해야 한다. 펫트 소재는 전형적인 합성수지이며, 플라스틱이고, 이러한 펫트를 고화재와 혼합하여 건축자재로 사용할 경우에는 난분해성 물질이 잔류하게 되는 것이고, 바닥재 등의 건축자재를 해체하여 폐기할 시에 미세화되어 생태계 내에 축적될 수 있다.

- 선순환체제로 재활용을 하려는 의도는 충분히 이해가 되나, 현재 플라스틱에 대한 문제 의식을 되새기면서 좀 더 깊은 검토가 요구된다.

### ☑ 폐 발포스티로폼의 친환경적 처리와 자원순환에 관한 방법

#### ▷ 제안된 기술

- 제안된 기술은 폐폴리스티렌계의 플라스틱을 용제(메틸테트라하이드로퓨란)와 물을 사용하여 용해시키고, 침전시켜서 회수한 후에 추가 발포제의 사용 없이 발포를 수행함으로써, 환경오염을 방지하는 동시에 폴리스티렌 자체의 물성을 변화시키지 않고, 고품질의 폴리스티렌으로 재생할 수 있는 기술이다.

#### ▷ 제안된 기술의 현실성과 효용성

- 폐 발포스티로폼의 친환경 처리와 자원순환에 관한 방법은 다양한 폴리스타이렌 계열의 폐기물을 대상으로 상대적으로 단순한 방법을 통하여 고순도의 폴리스타이렌을 선택적으로 감용 및 회수하는 기술로써, 저에너지기반 폐플라스틱 재활용 기술로 평가된다.
- 화학적 재활용 중에서 용매 등을 통하여 플라스틱을 용해시키거나, 해리시키는 기술에 대하여 관심이 증가하고 있으며, 장점은 열을 수반하지 않는다는 점에서 기술적으로 선호되고 있으며 많은 연구와 일부는 상용화되어 있다. 폴리스티렌은 경량화와 단열을 위하여 발포되어 있으며, 폐기 후에 수집운반에 많은 비용이 소요되어 감용화하는 기술이 개발되고 있으며, 물리적으로는 압축, 화학적으로는 용매회수 기술이 적용되고 있다. 본 기술은 용매특성을 검토하여 최적의 회수조건을 검토하고 있다는 점에서 현실성이 있으며, 상용화가 가능하다고 판단된다.

### ☑ 연속식 EPR 폐플라스틱 친환경 유화 재활용 기술 사업화

#### ▷ 제안된 기술

- 작업 효율성을 극대화하고 생산성을 높이기 위하여 연속적으로 폐플라스틱을

투입하여 처리하는 방식을 채용하고 있다. 폐플라스틱을 폐플라스틱의 압축물을 철 틀에 넣어 액화로에 투입하여 액화 상태로 만들고, 정제단으로 이동하며 적정 온도 조건에서 열분해한다. 정제단에서 압력 변환 식 다단계 방식을 사용하여 폐플라스틱을 열분해하면서 정제한다.

- 연속적인 폐플라스틱의 투입과 액화, 액화된 폐플라스틱의 왁스를 최소화하면서 다단계 압력 변환 식 열분해로 정제 및 이동, 여러 개의 잔사 처리단에서의 순환 처리하는 연속적인 정제와 재활용이 가능한 시설이다.

#### ▷ 제안된 기술의 현실성과 효용성

- 연속식 EPR 폐플라스틱 친환경 유화 재활용 기술은 쓰고 버려진 폐플라스틱을 열분해를 통해서 연속적으로 처리할 수 있는 기술로써, 기존 회분식 기술 대비 경제적이며, 하루 50톤 규모의 폐플라스틱을 처리할 수 있는 획기적인 기술이다.
- 전술한 것과 같이 최근에 폐플라스틱의 화학적 처리가 화두이며, 유화산업에 있어서 기술개발 및 상용화에 많은 관심을 가지고 있다. 무산소 상태에서 분해가 전제되어 일반적으로 벳치식(회분식)이 많이 채용되고 있으며, 처리효율을 높이기 위하여 연속식을 개발하고 있으며, 일부 시설이 소개되고 있다. 본 시설이 제안하고 있는 것과 같이 연속식을 채용하면서 다단식의 정제 개념을 도입하여 처리능력을 확보하면서 열분해유의 품질을 향상시키고 있다는 점에서 효용성, 효과성이 인정된다.
- 열분해 기술은 90년대 초반에 일본에서 기술을 선보였으며, 90년대 중반에 우리나라에 도입되어 많은 관심의 대상이 되었다. 많은 기업들이 기술을 선보였으나, 범용적인 기술로 발전을 이루지 못하였다. 30년간의 기술발전이 진전되지 않는 이유는 다양하며, 그 중 가장 중요한 것이 재생유를 생산하고 있으나, 그 용도가 모호하고 재생유로 경제성확보가 어려웠기 때문이다. 또한 폐플라스틱에는 PVC 등이 혼입되어 전술한 유해성을 가지고 있으며, 이로 인해 부식 등이 문제되어 설비의 내구성 확보가 어려우며, 설비의 조기 열화에 대응한 투자에 한계성이 있었다.
- 또한 시설에 있어서 열분해 자체에 대한 기술에 집중하여 주변기술에 대한 배려가 부족하였으며, 이물질 혹은 유해물질을 사전에 제거하는 기술, 탈염소화설비, 열분해 후에 발생 되는 유해가스(VOC) 대책 등이 미비한 실정이다.
- 최근의 움직임은 중소기업 등에서 제조한 열분해유를 정유플랜트에 투입하거나, 정유플랜트(정유+열분해)를 응용한 열분해 기술로서 발전하고 있는 것은 고무적이다.

## 참고문헌

1. 삼성증권 ESG 연구소 2021.03, “ESG 시대, 순환경제 플라스틱: 뿌린 씨를 거둘 때”
2. KIEP 세계경제 포커스, “국제사회의 플라스틱 규제 현황과 시사점”
3. 삼일PwC 경영연구원 2022.04, “순환경제로의 전환과 대응전략”
4. 2050 탄소중립위원회, 2021.10, “2050 탄소중립 시나리오”
5. 환경부, 2022.10, “1회용품 사용 줄이기 적용범위 가이드라인”
6. Roland Geyer, Jenna R. Jambeck, Kara Lavender Law, Production, use, and fate of all plastics ever made, Science Advances, 3 (2017) e1700782
7. Accelerating Circular Supply Chains For Plastics-Closed Loop Partners 2018, greenium
8. CIEL, “2019 Plastic & Climate: The Hidden Costs of a Plastic Planet”
9. 일본환경성 홈페이지, <http://www.env.go.jp/press/109195.html>
10. SK이노베이션 전문 보도채널, <https://skinnonews.com/>
11. 롯데케미칼, <https://www.lotte.co.kr/pr/newsList.do>
12. HD현대오일뱅크, <http://www.oilbank.co.kr/compay/cyber-promotion/communityid/news/list.do?linkTab>
13. 두산NEWSROOM, <https://www.doosannewsroom.com/>
14. 코오롱인더스트리, [https://kolonfilm.com/MalgumBoard/Index.asp?page\\_no=1&BoardMode=List&BoardCode=newsdata](https://kolonfilm.com/MalgumBoard/Index.asp?page_no=1&BoardMode=List&BoardCode=newsdata)
15. 금호석유화학, <http://www.kkpc.com/kor/>
16. 한화솔루션 보도자료, <https://www.hanwhasolutions.com/m/ko/cs/news/list>
17. LG 보도자료, <https://www.lg.co.kr/media/release>
18. GS칼텍스, <https://www.gscaltex.com/kr/company/prcenter/pressrelease>

## 저자소개

### 윤광남

한국화학연구원 그린탄소연구센터 선임연구원

친환경적인 폐 폴리스티렌의 재생 방법 연구

T. 042-860-7521, gnyun@kRICT.re.kr

### 배재근

서울과학기술대학교 환경공학과 교수

폐기물처리 및 자원화

T. 02-970-6617, phae@seoultech.ac.kr

탄소중립 기술분야 이슈페이퍼

## 폐플라스틱 재활용 기술 및 사업화 방안

발행일 2023년 12월

발행처 2050탄소중립녹색성장위원회  
세종특별자치시 가림로 180 세종파이낸스센터3차 3층  
T. 044-200-1963

문의 2050탄소중립녹색성장위원회 경제산업기술과

본 보고서의 내용은 연구자 등의 견해이며, 2050탄소중립녹색성장위원회의 공식입장과 다를 수 있습니다