

PwC Korea

Insight Research

Paradigm Shift Vol.1

# 순환경제로의 전환과 대응전략

플라스틱과 배터리(이차전지)를 중심으로

삼일PwC경영연구원 | April 2022



삼일회계법인

# Contents

---

<b>1. 순환경제란?</b>	<b>3</b>
1-1 순환경제의 정의	4
1-2 순환경제 비즈니스 모델	5
.....	
<b>2. 순환경제 부상의 배경</b>	<b>11</b>
2-1 자원고갈 심화와 기후변화 대응 필요성 부각	13
2-2 기후변화 대응을 위한 글로벌 정책 공조	14
2-3 EU그린딜: 기후변화 대응 + 新 경제 성장동력 = 순환경제 부상	17
2-4 한국형(K) 순환경제 로드맵	18
.....	
<b>3. 순환경제를 이끌 두가지 핵심 분야: ① 플라스틱</b>	<b>21</b>
3-1 플라스틱 순환경제의 필요성	23
3-2 정책 동향	26
3-3 기술 동향	28
3-4 시장 전망	36
3-5 관련 기업 동향	41
.....	
<b>4. 순환경제를 이끌 두가지 핵심 분야: ② 배터리(이차전지)</b>	<b>45</b>
4-1 배터리(이차전지)에 대한 이해	47
4-2 배터리 순환경제의 필요성	54
4-3 정책 동향	56
4-4 기술 동향	60
4-5 시장 전망	64
4-6 관련 기업 동향	67
.....	
<b>5. 결론</b>	<b>71</b>
5-1 Summary	72
5-2 대응 전략	74

[참고 문헌]

---

# 들어가며

매년 약 1,200만 톤의 플라스틱이 바다로 흘러가고 있다. 이러한 플라스틱이 모여 엄청난 크기의 쓰레기섬이 만들어졌고, 북태평양 쓰레기섬의 크기만 해도 무려 대한민국의 약 16배 정도이다. 2017년 환경단체는 쓰레기섬을 국가로 인정해달라고 UN에 신청서를 제출했다. 또한 국가로 공식 인정을 받기위해 여권·통화·국기 등을 디자인하고 이민자를 받았는데, 미국의 전직 부통령 앨 고어는 이 섬의 1호 국민이 되었고, 이외에도 각국에서 20만명의 국민이 모였다. 국가의 명칭은 쓰레기섬(The Trash Isle), 화폐의 단위는 쓰레기 잔해를 의미하는 영어 단어인 더브리(debris), 화폐에는 플라스틱으로 고통받는 바다생물들의 모습들이 담겨져 있으며, 여권에는 ‘바다는 우리를 필요로 한다.’가 새겨져 있다.

세계경제포럼(WEF)에서 발표한 ‘2020 세계 위험 보고서’에 따르면, 2020년대에 발생 가능성이 가장 큰 위협으로 기상이변이 선정되었다. 또한, 기후변화 대응 실패, 자연재해, 생물다양성 손실, 인간 유발 환경재난이 2~5위의 위협요인으로 선정되었는데, 2006년부터 시작된 ‘세계 위험 보고서’에서 환경 문제들이 Top 5를 독차지한 것은 처음이다. 이와 같이 전 세계가 직면한 환경문제의 해결 방안으로 순환경제 개념이 부상하고 있다. ‘생산-소비-폐기’의 흐름이 아닌, 투입된 물질이 반복 사용되는 새로운 경제시스템인 순환경제 구현을 위해 각국 정부와 기업들은 기존 경제 틀에서 벗어나, 변화를 꾀하고 있다. 물론 순환경제에 대한 일부 비관적인 전망이 있음에도 불구하고 궁극적으로 추구해야 할 방향인 것은 분명하기 때문이다.

쓰레기섬, 나아가 쓰레기 행성의 국민이 되지 않기 위해 우리는 지금부터라도 순환경제에 대한 이해를 통해 경제 체계의 Paradigm Shift에 앞장서야 되지 않을까?



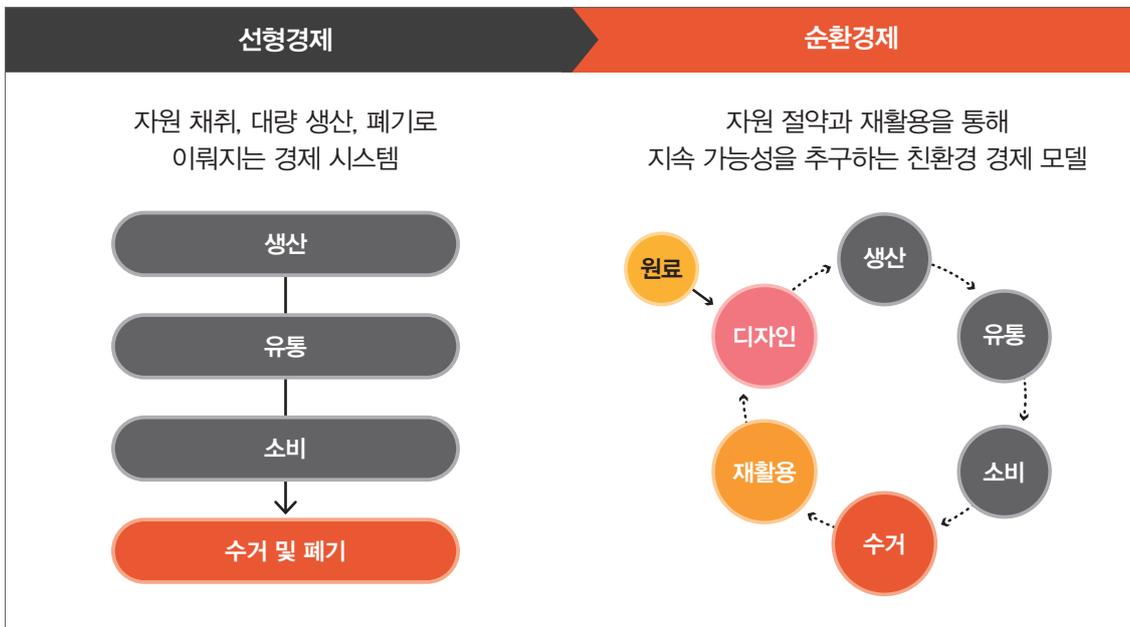


# 1. 순환경제란?

지금까지의 경제는 천연자원을 사용해 제품을 생산하고, 해당 제품을 소비한 이후 매립이나 소각을 통해 단순 폐기하는 선형경제(Linear Economy) 구조였다. 이러한 선형경제는 자원 고갈·환경오염·폐기물 발생이라는 심각한 문제를 낳았고, 순환경제는 산업국가에서 직면하게 된 각종 문제를 해결하기 위한 방안으로 2010년 이후 본격적으로 대두되었다.

순환경제(Circular Economy)는 생산-소비-폐기의 선형적 흐름이 아니라, 경제계에 투입된 물질이 폐기되지 않고 유용한 자원으로 반복 사용되는 시스템을 의미한다. 자원을 채굴한 후 사용하고 버리는 경제를 선형 경제라고 한다면, 현재의 시스템은 재활용은 하지만 몇 번의 재활용 후 자원을 폐기하는 재활용경제(Recycling Economy)로, 이러한 재활용경제는 여전히 선형경제의 한계를 벗어나지 못한 단계이다. 우리가 궁극적으로 추구하는 순환경제는 신규로 투입되는 천연자원의 양과 폐기되는 물질의 양이 최소화되고, 경제계 내에서 순환되는 물질의 양이 극대화된 경제체계를 말한다.

그림 1. 선형경제 vs 순환경제



자료: PwC

선형경제 모델은 제품 판매를 기업의 가치창출 수단으로 보고 있다. 즉, 기업의 가치창출을 위해 단계적 기술혁신을 통해 가능한 많은 제품을 생산하고, 제조원가를 낮추기 위하여 글로벌 생산체인을 둔다. 또한, 마케팅을 활용하여 소비자로 하여금 끊임없이 신제품 구매를 독려하기 때문에 제품의 이용주기는 줄어들고, 폐기물 발생량은 증가하게 된다. 수명을 다한 제품을 재활용이나 재제조를 통해 다시 사용할 수 있지만, 기업 가치를 높이는 방안이 아니기 때문에 기업은 이러한 활동에 대한 관심이 낮다.

반면에 순환경제에서의 비즈니스 모델은 제품 판매가 아닌, 서비스를 판매하는 방식이 중심을 이룬다. 제품의 소유권은 소비자가 아닌 기업에 있고, 제품은 기업의 자산이 되기 때문에 제품의 수명을 연장하는 것이 기업의 부가가치를 높이는 방안이다. 이를 위해 기업은 제품 생산 시 수명연장을 고려한 설계를 하고, 제품의 재사용 또는 재활용을 촉진할 수 있는 기술을 개발하여 궁극적으로는 폐기물 발생을 줄이는 결과를 가져오게 된다. 또한 제품이 아닌 서비스를 판매하기 때문에 소비자가 있는 위치와 밀착된 지역에서 물자를 공급하는 것이 최선의 대안이 되어서, 선형경제 모델에서와 같은 생산체인의 글로벌화는 필요치 않게 된다. 선형경제가 생산 중심 비즈니스 모델이라면, 순환경제는 생산이 아닌 소비자 니즈에 초점을 맞춘 비즈니스 모델을 추구한다. 구체적으로는 제품서비스화(PaaS), 수거(회수) 및 재활용 비즈니스, 제품수명연장 비즈니스 등으로 구분할 수 있는데, 이에 대해 좀 구체적으로 살펴보겠다.

표 1. 선형경제와 순환경제 모델의 비교

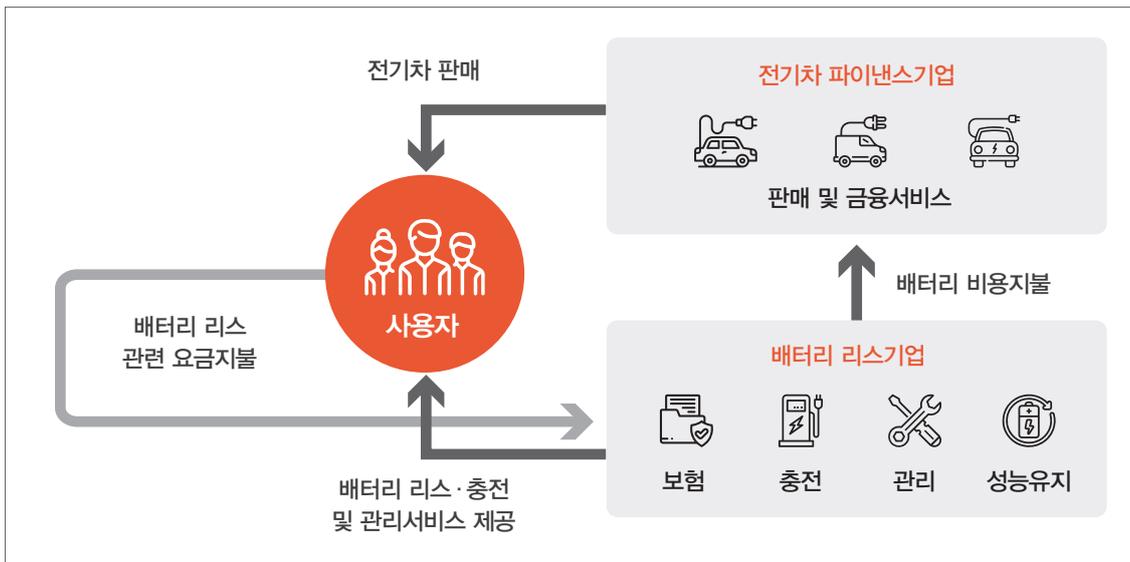
선형경제 매커니즘	순환경제 매커니즘
<b>제품은 가치창출의 수단</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품의 소유권은 소비자에게</li> <li>• 가능한 많이 판매하고 생산원가를 최대한 낮춤</li> <li>• 구제품을 버리고 신제품을 구매하도록 유도</li> </ul>	<b>제품은 서비스 창출을 위한 도구</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품의 소유권은 기업에게</li> <li>• 제품 판매가 아닌 제품의 부가가치 서비스 향상이 필요</li> <li>• 제품은 회사 자산, 재사용 통한 제품수명 연장이 비용 절감</li> </ul>
<b>글로벌 생산체인에 의한 경제</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 인건비·원료비 절감을 통한 비용 효율성을 창출</li> </ul>	<b>생산체인의 로컬화로 생산과 소비의 일원화</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 서비스 제공을 위해 소비자 밀접 지역 생산이 유리</li> </ul>
<b>제품공급이 소비자 수요를 유도</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 신제품 출시시기를 단축시키는 것이 기업에 유리</li> </ul>	<b>사용자의 니즈가 제품의 역할을 주도</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 최선의 서비스 제공이 중요</li> </ul>
<b>기능을 다한 제품은 폐기물</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 수리, 재사용, 재제조는 기업의 이익이 되지 않음</li> </ul>	<b>기능이 다한 제품도 기업의 자산</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품은 기업의 자산으로 재사용·재제조 기술개발 적극적</li> </ul>

자료: 환경부, 한국환경산업기술원, PwC

## ① 제품서비스화

PaaS(Product as a Service, PaaS)는 순환경제 비즈니스 모델을 가장 대표할 수 있는 방식으로, '소비자가 제품을 구매하는 이유는 제품이 필요한 것이 아니라 그 제품의 기능이 필요하기 때문이다.'라는 점에 착안한 비즈니스 모델이다. PaaS의 초기 모형은 빨래방이 대표적인데, '소비자가 필요한 건 세탁이지, 세탁기가 아니다'라는 관점에서, 기계는 기업이 소유하고 소비자에게는 세탁서비스만을 제공한다. 최근에는 모빌리티, 사무공간, 생활용품 등 다양한 분야로 PaaS 개념이 확장되고 있는데, 전기차 배터리 부문에서도 리스를 접목한 제품서비스화가 진행 중이다. 해당 서비스를 이용 시, 소비자는 배터리를 뺀 전기차만 구매하고 보유기간 동안 월 단위로 배터리 리스비를 지급하게 되는데, 이 경우 차량 구매비의 30~40%를 차지하는 배터리 값이 빠진 가격으로 전기를 구매하게 돼 초기 구매 비용 부담이 대폭 줄어들게 되고, 배터리 유지·보수 관련 각종 서비스를 이용할 수 있게 된다. 기업의 입장에서는 배터리 관련 서비스 제공을 통해 부가 이익을 기대할 수 있으며, 폐배터리 수거 및 재활용을 통해 신규 비즈니스 창출이 가능해진다. 또한 사회 전체적으로는 자원의 효율적 이용 및 관리뿐 아니라, 원활한 폐기물 처리를 통한 순환경제 구현으로 각종 사회적 비용을 감축할 수 있다.

그림 2. 제품서비스화 사례: 전기차 배터리 리스



자료: PwC

## ② 수거(회수) 및 재활용 비즈니스

수거(회수) 및 재활용 비즈니스 모델은 제품을 고객에 보내고, 기업이 수명종료 제품을 회수하는 쌍방향급모형을 운영함으로써 궁극적으로 폐기물이라는 개념 자체를 없게 하는 것이다. 과거에는 제품 추적·분류·검사 기술부족으로 회수비용이 과도하여 현실화하기 어려웠고, 또한 폐기된 제품에 남아있는 가치를 제대로 인식하지 못함에 따라 전 세계 폐기물의 40% 정도만 재사용·재활용되었다. 그러나 IT 기술 발달로 제품에 내장된 정보칩을 통해 판매된 제품의 실시간 현황 파악이 가능해지고, 환경 관련 기술 발전으로 재사용·재활용률이 점차 증가하고 있다. 한국의 경우 재활용률 80% 이상으로 매우 높은 상황이며, 정부의 '2027년 직매립제로' 정책 추진으로 재활용률이 더욱 높아질 것으로 예상된다.

표 2. 국가별 폐기물 처리현황 비교

국가	미국	EU	일본	한국*
폐기물 처리방식 비율	<p>2020</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>매립 (Landfill)</li> <li>소각 (Incineration)</li> <li>재활용 (Recycling)</li> <li>기타 (Others)</li> </ul>	<p>2020</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>매립 (Landfill)</li> <li>소각 (Incineration)</li> <li>재활용 (Recycling)</li> <li>기타 (Others)</li> </ul>	<p>2019</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>매립 (Landfill)</li> <li>소각 (Incineration)</li> <li>재활용 (Recycling)</li> <li>기타 (Others)</li> </ul>	<p>2020</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>매립 (Landfill)</li> <li>소각 (Incineration)</li> <li>재활용 (Recycling)</li> <li>기타 (Others)</li> </ul>
특징	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매립이 50% 이상으로 압도적</li> <li>• 재활용 비율 25%로 저조</li> <li>• 유기성 폐기물 연관된 비료화 처리가 특징적인 방식</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매립과 재활용 비율이 각각 39%, 38%로 유사함</li> <li>• 재활용률이 낮은편으로 재활용 산업 발전 여지가 높음</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매립 비중 ↓, 소각 비중 ↑</li> <li>• 금속스크랩 재활용률 약 94%로 매우 높지만, 폐플라스틱 재활용률 50% 내외로 저조</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 매립지 고갈이 현안으로, 수도권 중심 매립 용량 감소 본격화</li> <li>• 재활용률이 높은 편</li> </ul>

\* 건설 폐기물 제외하고 생활계 폐기물, 사업장 배출시설계, 지정 폐기물로 비율 산출  
 자료: PwC

폐기물 산업은 폐기물 수집·운반, 재생업(재활용), 처리(소각 및 매립)으로 구분된다. 처리에 해당하는 소각 및 매립시설의 경우 엄격한 환경 기준과 지역 주민의 반발 등으로 인해, 인허가 과정이 매우 까다롭고 많은 투자비용이 소요되어, 신규 Player의 시장 진입장벽이 높다. 따라서 해당 부문은 시장 참여자가 제한적이며, 높은 매출과 이익률을 보이고 있다. 이에 반해 폐기물 수집·운반, 재활용업은 수많은 영세업체가 난립하고 있고, 노동집약적 구조로 시장의 절대적 강자가 존재하고 있지 않는데, 재활용 필요성에 대한 사회적 인식 증가와 시장의 높은 성장 가능성 등 고려 시, 향후 대형 업체 위주 시장 개편이 전망된다.

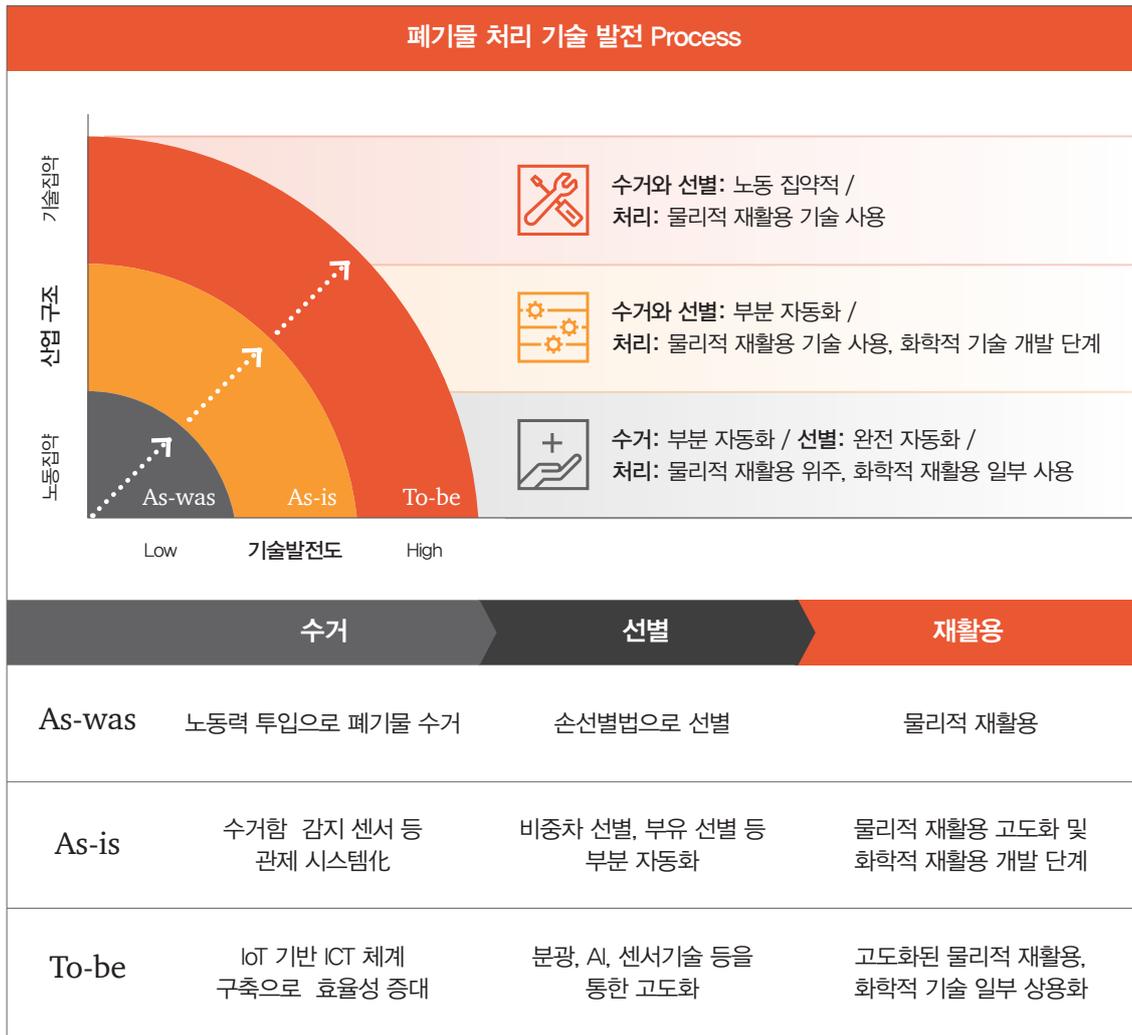
그림 3. 폐기물 산업 Value Chain: 국내



자료: 환경부, 환경백서, PwC

재활용 비즈니스를 좀 더 구체적으로 살펴보면, 수거-선별-처리(재활용)-재생원료 판매로 구분되는데, 아직까지는 노동집약적인 구조로 산업이 운영되고 있으며, 재활용 기술도 물리적 방식에만 머물고 있다. 그러나 최근 정부의 정책 지원과 대기업들의 시장 진출 및 대규모 투자로 인해 기술 고도화 및 자동화가 빠르게 진행되고 있다. 우선 '선별' 부문은 노동집약적 방식으로 인해 폐기물 처리 과정 내 가장 많은 비용을 발생시키는 분야였는데, 비중차 선별·부유선별 등 자동화 기술이 도입되고 있으며, 재활용 분야도 물리적 방식의 고도화 및 화학적 재활용 기술의 개발이 진행 중이다. 향후 기술 발전에 힘입어 수거 및 선별 부문의 완전 자동화와, 화학적 재활용 기술의 상용화가 이루어질 것으로 기대된다.

그림 4. 재활용 비즈니스 현황 및 전망

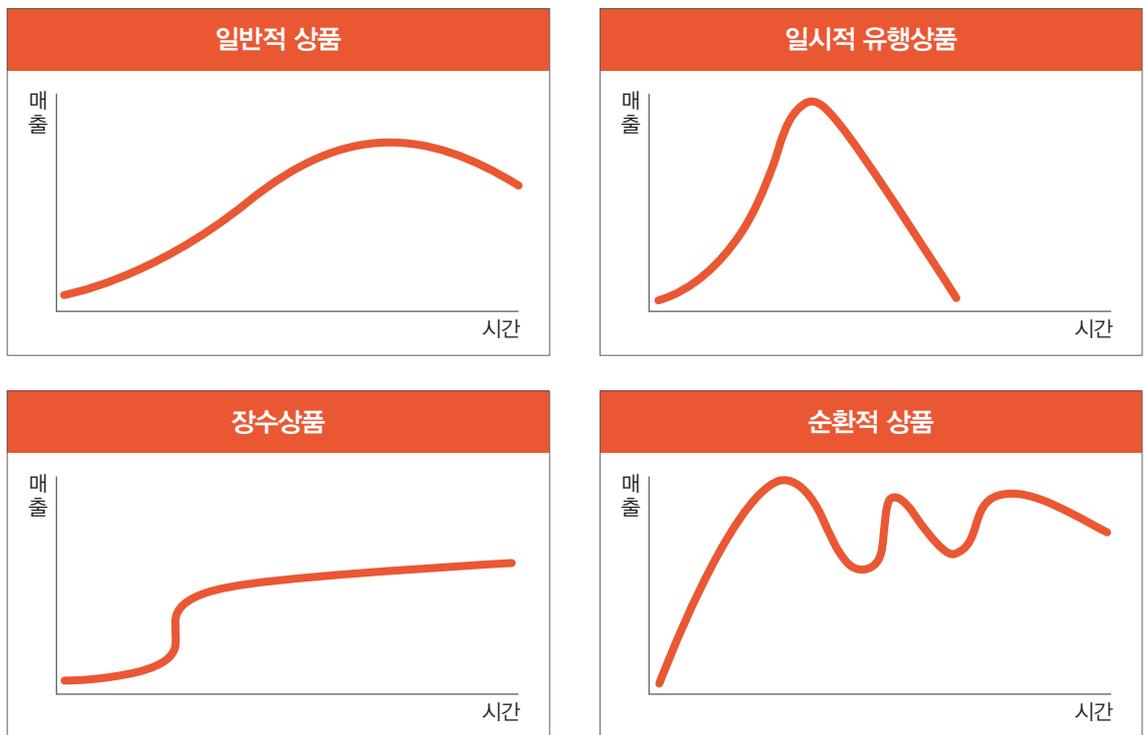


자료: PwC

### ③ 제품수명연장

모든 제품에는 수명이 있는데, 선형경제에서는 신제품 판매에만 중점을 두어 제품의 라이프 사이클이 점점 단축되는 모습을 보였다. 그러나 자원고갈과 환경오염 등의 문제에 직면하며, 제품수명 연장이 점차 주목 받고 있다. 제품의 유효수명주기를 길게 하기 위해서는 내구성, 품질 및 기능 등과 같은 특성에 더욱 높은 가치가 주어져야 한다. 신제품을 만드는 것에 비교해 재제조는 에너지의 50%, 원재료의 70%가 절약 가능한데, 이를 감안하여 신규 상품 판매보다 기 판매된 제품의 유지·보수에 중점을 둔 사업구조로의 변화가 요구된다. 구체적으로는 수명유지 제품제조, 기 판매된 제품에 신기능·콘텐츠 추가·스타일 변화 추구, 고장제품 수리, 재판매를 위한 회수·보상판매·역구매 채널 확대 등으로 비즈니스 확대가 필요하다.

그림 5. 제품수명주기



자료: PwC



## 2. 순환경제 부상의 배경



2050년 탄소중립을 달성하기 위해서는 산업부문의 순환경제 전환이 필수적이다. 게다가 순환경제를 통한 탄소감축은 가성비가 좋은 솔루션이기도 하다. 현재 유럽의 탄소배출권 가격이 60유로/톤 수준인데 반해, 순환경제에서는 1톤의 탄소배출 감소를 위해 50유로 이하의 비용이 발생하는 점을 고려하면, 탄소배출권 구매 대신 순환경제 비즈니스를 통한 비용절감이 유리하다. 또한 공유 경제, 내구성 있는 제품 개발, 업사이클링 등을 통해 신규 이익 창출도 가능한데, 이러한 것들이 순환경제 부상의 주요 원인이다. 다음에서는 좀 더 구체적으로 순환경제가 부상하는 배경에 대해 알아보도록 하겠다.

그림 6. 분야별 순환경제 전략을 통한 온실가스 감축비용곡선(2050년)



\* 분야별 순환경제 전략 도입으로 탄소 1톤 감소에 따른 비용  
 자료: PwC

현재 인류가 사용하고 있는 자원의 양은 지구가 재생산해 낼 수 있는 양을 초과한 수준이다. 국제환경 단체인 지구생태발자국 네트워크(GFN)에 따르면 현재 수준의 자원소비량을 지속하려면 지구가 1.7개 있어야 하며, 지금과 같은 추세 유지 시 2050년에는 지구 3개가 필요하다. 자원 남용과 과잉 소비에 기반한 현재의 경제 시스템은 심각한 환경오염을 유발하였는데, 이러한 문제는 기후 변화로 귀결되어 인류의 생존을 위협하고 있다.

UN 산하 기후변화정부간협의체(IPCC)는 2100년까지 지구 평균기온이 산업화 이전 수준보다 1.5도 이상 높아져선 안 되며, 이를 위해서는 탄소 방출량을 현재보다 절반으로 줄여야 한다고 권고한다. 만약 지구 기온이 산업화 이전보다 2도 상승하면, 1.5도 상승했을 때보다 해수면이 10cm는 더 높아져 인구 1,000만 명이 삶의 터전을 잃을 수 있고, 물 부족 인구도 최대 50% 늘어날 것으로 전망하고 있다. 이미 지구 온도는 산업화 이전인 1800~1900년대 대비 약 1도 상승했고, 이 추세가 계속되면 2030년부터 2052년 사이에 0.5도가 더 상승할 전망이며, 앞으로 2100년까지 남아 있는 약 80년간 0.5도 상승을 막으려면 지구촌의 총력전이 필요한 상황이다.

표 3. 지구온난화: 1.5도와 2도 상승의 차이

내용	1.5도 상승	2도 상승
여름철 평균 온도	+3도	+4.5도
가뭄(10년 빈도 가뭄 발생 증가)	2배	2.4배
강수량(10년 빈도 홍수 발생 빈도 증가)	1.5배	1.7배
생물종 절반 절멸률 (특정 생물종이 절반 이상사라지는 비율)	곤충 6%	곤충 18%
	식물 8%	식물 16%
	척추동물 4%	척추동물 8%
육지 생태계 변화율	약 6.5%	약 13%

자료: IPCC, PwC

기후변화에 대응하기 위한 국제사회의 노력은 지난 1972년 스톡홀름회의에서부터 시작되었다. 이후 기후변화에 적극 대처하기 위해 1988년 UN총회 결의에 따라 '기후변화에 관한 정부간 패널(Intergovernmental Panel on Climate Change, 이하 IPCC)'을 설치하였고, 1992년 기후변화협약(UNFCCC)을 채택하였다. 1997년에는 선진국 온실가스 감축목표를 규정한 교토의정서가 실행되었고, 2015년 파리기후변화협정을 통해 선진국뿐 아니라 전세계 모든 국가가 참여하는 보편적인 기후대응 체제가 마련되었다. 파리협정의 목표는 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 1.5°C로 억제하기 위해 노력해야 한다는 것이며, 2018년 IPCC는 이러한 목표를 달성하기 위해서는 전지구적으로 2030년까지 이산화탄소 배출량을 2010년 대비 최소 45% 이상 감축하여야 하고, 2050년경에는 탄소중립(Net Zero)을 달성하여야 한다는 구체적 경로를 제시했다.

그림 7. 기후협약 발전 과정

<b>1972   스톡홀름회의</b> .....>	<b>1992   UN기후변화협약(브라질 리우)</b> .....>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 범지구적 환경이슈가 처음으로 국제회의에서 다루어짐</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화에 관한 국제사회의 기본법적 역할 정의 (구체적 강제사항 없음)</li> <li>• 원칙: 형평성, 공통의 차별화된 책임, 지속가능발전 등</li> </ul>
<b>1997   교토의정서(일본 교토)</b> .....>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기후변화협약의 목표를 달성하기 위한 실행법적 역할(구체적 의무사항 명시)</li> <li>• 6대 온실가스 규정(Annex A): CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub></li> <li>• 선진국에 구속력 있는 온실가스 감축목표 규정</li> </ul>	
<b>2001   더반결정문(남아공 더반)</b> .....>	<b>2015   파리기후변화협정(프랑스 파리)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2012 교토의정서 종료에 대비한 선진국과 개도국 협의체제 방안 마련 실패</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 선진국에만 온실가스 감축 의무를 부과하던 체제를 넘어 196개 모든 국가가 참여하는 보편적 체제 마련</li> </ul>

자료: PwC

표 4. 교토의정서 vs 파리협정

구분	교토의정서(1997)	파리협정(2015)
감축 대상	선진국	모든 국가
범위	온실가스 감축에 초점	탄소 감축, 기후 적응, 이행수단 (재원, 기술이전) 포괄
목표	온실가스 배출량 감축(1차: 5.2%, 2차: 18%)	온도 목표(2℃ 이하, 1.5℃ 추구)
목표 설정	하향식(Top-down)	상향식: 자발적 공약(Bottom-up)
의무 준수	징벌적(미달량의 1.3배 패널티 부과)	비징벌적(비구속적, 동료 압력 활용)
의무 강화	특별한 언급 없음	진전원칙(후퇴금지원칙) 전지구적 이행점검(매 5년)
지속성	매 공약기간 대상 협상 필요	종료 시점 없이 주기적 이행 상황 점검

자료: PwC

파리협정을 이행하기 위해 국가별로는 스웨덴(2017), 영국·프랑스·덴마크·뉴질랜드(2019), 헝가리(2020) 등 6개국이 '탄소중립'을 이미 법제화하였다. EU는 '그린딜(2019.12)'을 통해 2050년 탄소중립 달성을 위한 행동계획을 발표했고, 중국은 2060년 이전까지 탄소중립 달성을 선언(2020.9, UN총회)했으며, 일본도 2050 탄소중립 목표를 제시(2020.10, 의회연설)했다. 또한 미국도 바이든 대통령이 파리협정에 재가입하고 2050년까지 탄소중립을 이루겠다고 약속한 바 있다(2020.12).

한국 정부도 2050년 탄소중립을 선언(2020.12)하고, i) 경제구조 저탄소화, ii) 저탄소 산업생태계 조성, iii) 탄소중립사회의의 공정전환의 3대 정책방향, iv) 탄소중립 제도기반 강화라는 3+1의 전략을 수립하였다.

표 5. 국가별 탄소중립 목표시기

국가	2030	2035	2040	2045	2050	2060
노르웨이	●					
핀란드		●				
오스트리아			●			
스웨덴				●		
미국 (캘리포니아)				● (2018)		
캐나다					●	
덴마크					●	
유럽연합					● (2019)	
일본					● (2020)	
뉴질랜드					●	
대한민국					● (2020)	
중국						● (2020)

\* 괄호 안의 연도는 탄소중립 목표를 발표한 시점

자료: PwC, 기사 종합

2019년 12월 EU는 파리협정 이행 계획이라고 할 수 있는, 2050년 탄소중립 달성을 위한 ‘그린딜(Euro-pean Green Deal)’에 합의하였다. EU의 이런 발 빠른 움직임은 기후변화에 대한 우려뿐 아니라, 탄소중립경 제로의 전환을 ‘신성장동력’으로 삼고, 신경제의 표준을 선점하여 국제경쟁력을 확보하려는 목적을 가진 것으 로 보여진다. 그린딜은 2050년 탄소중립 목표에 맞추어, 온실가스·에너지·산업·건물·교통·식품·생태계 등 사회 전 분야를 전환하기 위한 전방위적 로드맵을 제시하고 있는데, 특히 순환경제에 기반을 둔 새로운 산 업 정책에 주목할 만하다. EU는 순환경제를 위해 지속가능한 제품 정책(sustainable products policy)을 제시 하여 섬유·건축·전자·플라스틱 등의 자원 집약적 분야를 중심으로 재활용 이전 단계에서 재료의 사용을 줄 이고 재사용을 강화하도록 하여, 유럽 시장에 환경 유해 제품의 진입을 제한할 예정이다.

그림 8. EU그린딜 주요 정책분야



자료: 유럽연합의회, PwC

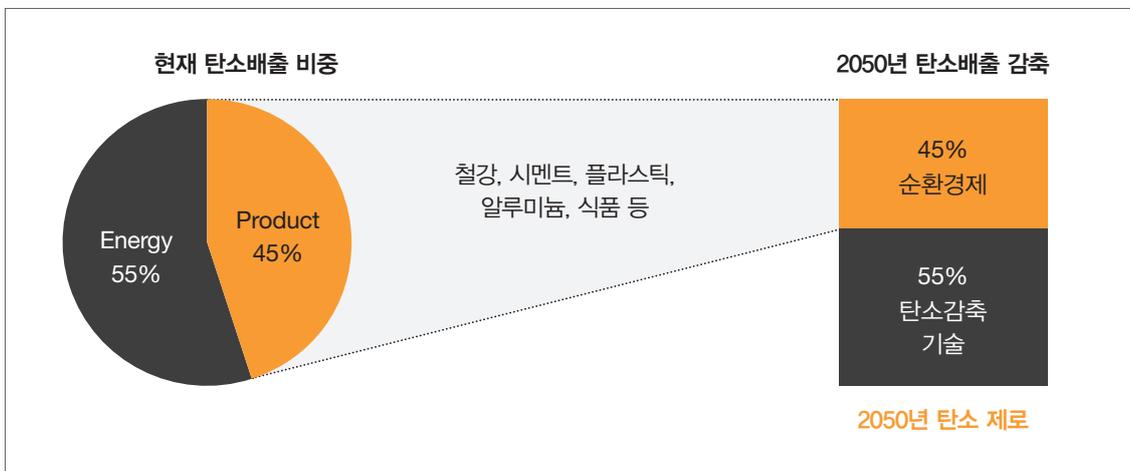
표 6. EU 그린딜 내 순환경제 관련 로드맵

구분	내용
목표	<ul style="list-style-type: none"> <li>2050년 “탄소배출 제로 달성” 및 “경제성장이 자원 사용과 디커플링되는 자원 효율적이고 경쟁력 있는 경제로의 변화”</li> </ul>
순환경제 관련 주요 추진전략 및 분야별 로드맵	<ul style="list-style-type: none"> <li>순환경제 新 행동계획(‘20.03)</li> <li>EU 新 산업전략(‘20.03)</li> <li>2030년 무탄소제강 공정 제안(‘20)</li> <li>배터리 전략 실행계획 및 순환경제를 지원하는 배터리에 관한 법률(‘20.10)</li> <li>폐기물 관련 입법 제안(2020~)</li> </ul>

자료: 유럽연합의회, PwC

한국 정부는 2050년 탄소중립을 선언하였는데, 해당 목표를 달성하기 위해서는 순환경제로의 전환이 필수적이다. 현재 배출되는 탄소의 55%가 에너지 관련 분야이기 때문에, 그 동안은 에너지 효율성 증대와 친환경 에너지로의 전환에 집중해왔다. 하지만, 나머지 45%의 탄소배출은 제품 생산, 폐기와 관련된 부분에서 발생한다는 점을 고려하면, 탄소중립을 위해서는 순환경제 전략이 반드시 필요하다.

그림 9. 탄소배출 비중 및 2050년 제품부문 탄소배출량 감소 방안



자료: PwC, 기사 종합

정부는 이러한 점을 인지하고, 2021년 말 한국형 순환경제 이행계획을 발표하였다. ① 생산·유통단계 자원 순환성 강화 ② 친환경 소비 촉진 ③ 폐자원 재활용 확대 ④ 폐자원의 안정적 처리체계 확립이 기본 골자인데, 이를 위해 순환경제 활성화를 위한 제도 개선을 지속 추진하고, 법적 기반을 마련할 예정이다.

표 7. 한국형(K)-순환경제 이행계획(2021.12)

구분	내용
생산·유통단계 자원 순환성 강화	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 기존 석유계 플라스틱을 석유계 혼합 바이오 플라스틱으로 전환을 유도하고, 2050년까지 순수 바이오 플라스틱으로 대체 촉진                         <ul style="list-style-type: none"> <li>- (2030) 생활 플라스틱 20%, 사업장 플라스틱 대체 15%</li> <li>- (2050) 소각·매립 대상을 중심으로 생활 플라스틱 100%, 사업장 플라스틱 45% 대체</li> </ul> </li> <li>• 종이·유리·철뿐만 아니라 플라스틱 제조업체에 대해 재생원료 사용 의무를</li> <li>• 2023년부터 부과하고, 특히 플라스틱 페트의 경우 2030년까지 30% 이상 재생원료 사용목표 부여</li> <li>• 제품 설계 단계부터 순환이용이 쉬운 원료 사용, 내구성 및 수리 용이성, 폐기되었을 때 재사용·재제조 용이성 등을 고려하여 지속가능한 설계(에코디자인) 적용을 강화</li> </ul>

구분	내용
친환경 소비 부문	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 화장품 리필 매장 활성화를 위해 소비자가 화장품(샴푸, 린스 등 4종)을 다회용기에 원하는 만큼 구매하는 맞춤형 화장품 매장 확산</li> <li>• 지자체, 배달앱 업계, 음식점 등과 협업해 다회용기 사용 배달문화 조성</li> </ul>
폐자원 재활용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 의료폐기물인 폐지방, 폐치아 활용 의약품과 의료기기 생산이 가능하도록 법률 개정</li> <li>• 폐플라스틱의 열분해 처리비중을 2020년 0.1%에서 2030년 10%까지 확대하고, 현재는 주로 연료로 활용하는 열분해유를 석유·화학 공정의 원료로 사용할 수 있도록 개선</li> <li>• 바이오가스화 시설을 지속 확충해 음식물쓰레기의 바이오가스화 비율을 2019년 13%에서 2030년 52%까지 확대</li> <li>• 엔진/변속기 등 자동차부품, 토너카트리지, 복사기, 공기청정기 등 87개 품목에 한해 재제조를 허용해왔으나, 2022년부터 모든 제품에 대해 재제조를 허용</li> </ul>

자료: 산업통상자원부, PwC

순환경제로의 전환 필요성에 대해서는 글로벌 공조가 이루어진 상태이기 때문에, 이제부터는 해당 목표 달성을 위한 실행단계 수준에서의 구체적 활동에 대해 언급해 보고자 한다. 특히 순환경제의 핵심이라고 할 수 있는 ① 폐플라스틱과 ② 폐배터리 처리문제에 대해 좀 더 심도 있게 다뤄보겠다.



### 3. 순환경제를 이끌 두 가지 핵심 분야

#### ① 플라스틱

글로벌 재활용 시장은 각국 정부의 지원과 기업 투자 증가, 소비자의 환경 의식 강화로 향후 연평균 6% 수준 성장이 전망된다. 품목별로 살펴보면, 시장 규모 측면에서는 건설폐기물이, 성장성은 폐배터리가 가장 클 것으로 예상되는데, **시장 규모와 성장성을 모두 고려하면 폐가전·폐배터리·폐플라스틱이 미래 시장을 견인할** 것으로 보인다. 여기에서는 향후 순환경제를 이끌 두가지 핵심 분야인 폐플라스틱과 폐배터리(이차전지)에 대해 보다 자세히 살펴보고자.

그림 10. 글로벌 재활용 시장 전망: 종류별

단위: 억 달러

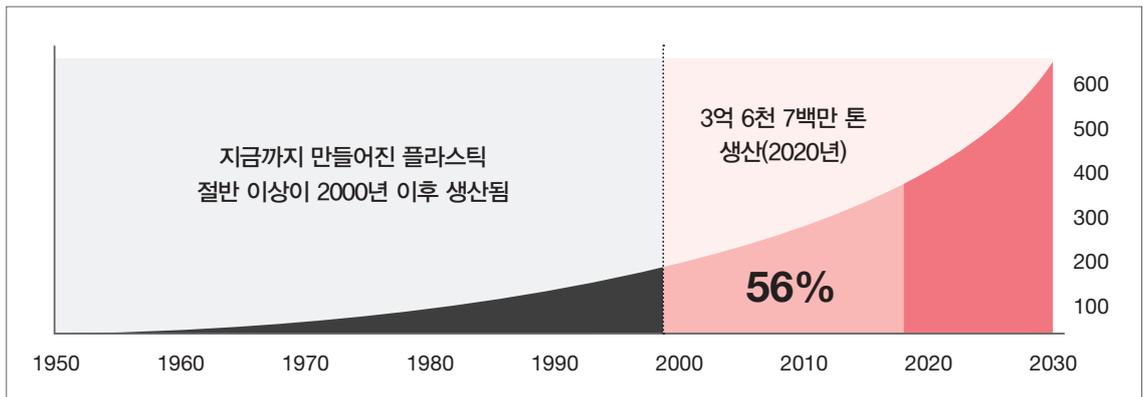


① 환경적 관점

1846년 처음 발명된 플라스틱은 1930년 이후 인류 생활에 급속히 파고들었다. 유럽 플라스틱 산업협회인 플라스틱스유럽(Plastics Europe)에 따르면, 2020년 세계 플라스틱 생산량은 3억 6,700만 톤에 달하며, 별다른 조치가 없다면 플라스틱 생산량이 2015년과 대비해 2030~2035년에 2배, 2050년에는 3배로 증가할 것으로 추정된다. 대부분의 플라스틱은 미생물이 분해할 수 없는 화학 구조를 가지고 있기 때문에 자연 분해 기간이 500년 이상 걸린다. 플라스틱 컵은 430년, 일회용 기저귀는 450년, 낚시줄은 600년의 자연 분해기간이 필요한데, 이러한 플라스틱은 각종 생물의 몸속으로 들어가 최종적으로는 먹이사슬을 통해 인간의 신체에 미세플라스틱 형태로 재축적되며, 생태계뿐 아니라 인간 생존에 심각한 위험요소로 부각되고 있다.

그림 11. 글로벌 플라스틱 생산량

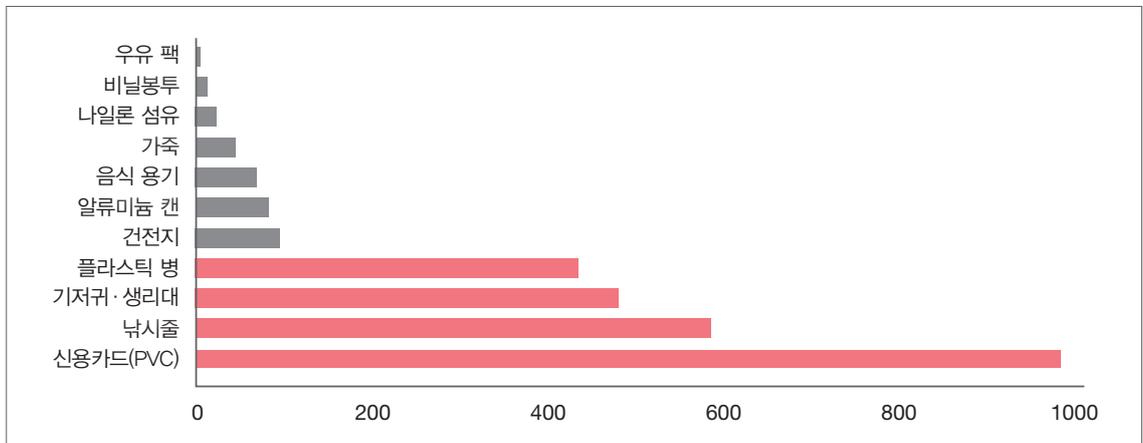
단위: 백만 톤



자료: 플라스틱스유럽, PwC

그림 12. 플라스틱이 썩기까지 걸리는 시간

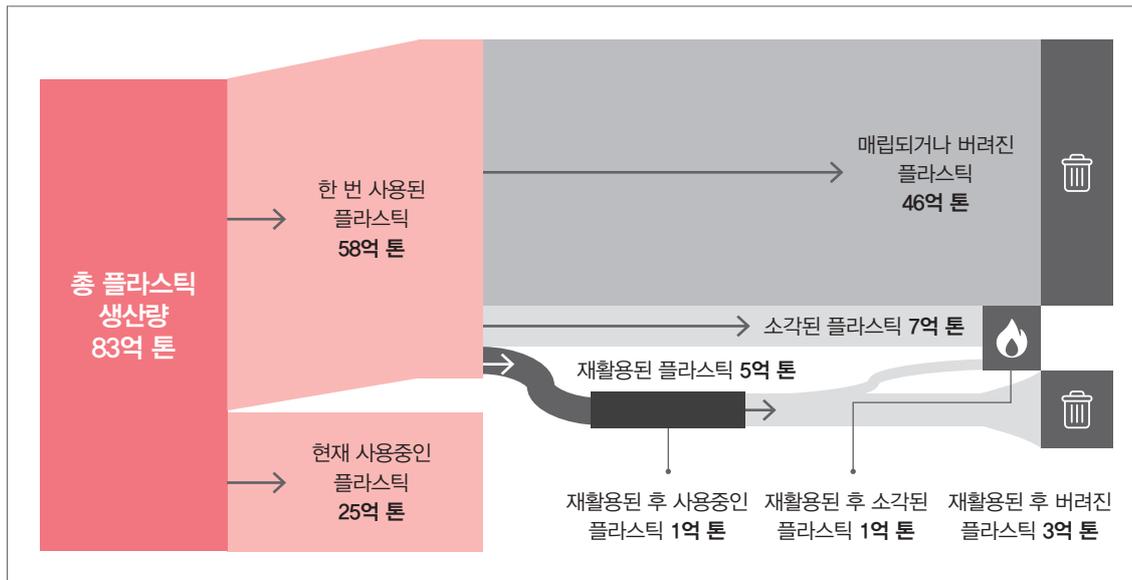
단위: 년



자료: UNEP, PwC

미국 캘리포니아 주립대학의 연구에 따르면, 1950년부터 2015년까지 생산된 플라스틱은 약 83억톤이며, 이 중 58억톤은 폐기된 것으로 추산된다. 폐기된 58억톤 중에서 약 46억톤(79%)가 매립되거나 자연에 그대로 버려졌으며, 7억톤(12%)은 소각, 5억톤(9%)만이 재활용된 것으로 보여진다. 게다가, 재활용된 제품(5억톤) 중 80%는 한번 사용된 후 소각되거나 버려지는 것으로 파악되기에 궁극적으로 재활용률은 9%에도 미치지 못하는 것을 알 수 있다.

그림 13. 글로벌 플라스틱의 생산, 소비 및 처리 현황(1950~2015)



자료: PwC, Science Advances 참조

## ② 경제적 관점: 탄소중립 달성을 위한 핵심 요소

국제환경법센터(Center for International Environmental Law)에 따르면 2019년 기준, 플라스틱 수명 전 주기에 걸쳐 배출하는 탄소량은 석탄 화력발전소 200개의 탄소 배출량과 맞먹는 것으로 나타났다. 플라스틱 1톤당 총 5톤의 온실가스가 배출되는 것인데, 플라스틱 생산이 현재 예측한 추세로 계속 증가할 경우, 플라스틱의 전 수명 주기에 걸쳐 배출되는 온실가스의 총량은 2030년에 2019년 대비 50% 이상 늘어난 13억 4,000톤(화력 발전소 300개 탄소 배출량)에 달할 것으로 예측된다. 해당 탄소량은, 파리협약의 과제인 지구 온도 상승폭 1.5°C 이내 유지 목표를 위해 남은 탄소 예산의 10~13%가 2050년까지 플라스틱 생산으로 소진될 수 있고, 2100년에는 25% 이상 소진될 수 있다는 것을 의미한다.

99% 화석연료로 만들어지는 플라스틱은 석유 및 가스 추출-정제-분해-소각의 전 단계에서 온실가스를 배출한다. 플라스틱 온실가스 배출량의 61%는 석유자원의 채굴과 플라스틱 수지를 생산하는 과정에서 발생하고, 30%는 수지를 가공하여 포장재 등 플라스틱 제품을 생산하는 과정에서 발생하며, 나머지 9%는 폐플라스틱을 소각·매립 처리하는 과정에서 발생한다. 만일 플라스틱 재활용 기술개발을 통해 신재가 아닌 재생재를 사용해도 품질저하가 발생하지 않는다고 가정할 때, 플라스틱을 재활용하면 신재에 비해 최소 온실가스 배출량의 60% 이상을 줄일 수 있다.

그림 14. 플라스틱 공정별 온실가스 배출량

추출·정제	분해	소각
우리나라 58개 석탄발전소 배출량의 약 70%와 맞먹음(2020년 기준)	한국 자동차 1억대의 연간 평균 배출량과 맞먹음	4인조로 이루어진 27만 가구의 연간 배출량과 맞먹음
		
전 세계적으로 플라스틱 생산을 위해 화석연료의 탄화수소를 추출하고 정제하는 과정에서 최대 118백만 톤의 온실가스 배출	전 세계적으로 에탄, 나프타 등 원료를 증기분해를 거쳐 에틸렌 등의 석유화학물질로 만드는 과정에서 184~213백만 톤의 온실가스 배출	전 세계적으로 플라스틱 포장재를 소각하는 과정에서 16백만 톤 온실가스 배출

자료: 그린피스, PwC

한국의 업종별 온실가스 배출량 현황을 살펴보면, 2011~2019년 기간 동안 전 산업에서 연평균 약 1.8%의 온실가스 배출량이 증가하였다. 온실가스 배출의 가장 큰 비중을 차지했던 발전에너지 부문은 신재생에너지 비중증가로 -1.2%를 기록했으며, 철강도 1.9%로 산업 평균 수준에 그쳤다. 그러나 석유화학 부문은 +2.8%로, 주요 업종 중 IT 하드웨어에 이어 두 번째로 높은 증가율을 기록했다. 향후 한국 석유화학업종의 탄소배출 비중은 보다 가파르게 확대될 것으로 전망하는데, 이는 대규모 증설 물량에 기인한다. 한국 석유화학업체들의 2020~2025년 연평균 Capa 증가율은 약 7.6%로, 동기간 글로벌 Capa 증가율 3.5%를 크게 상회할 것으로 예상된다. 이러한 추세는 2021년 말 한국 정부가 발표한 탄소 중립 목표에 근거한, 탄소 배출저감 추세와 배치된다. 국가적 목표 달성을 위해서라도 플라스틱 재활용에 대한 필요성은 더욱 커지고 있다.

표 8. 한국 업종별 온실가스 배출량

단위: CAGR(%)

(백만Co2e)	2011	2013	2015	2017	2019	2011-2019
철강	103	102	102	103	120	1.9
석유화학	46	48	50	55	58	2.8
시멘트	43	44	45	45	42	-0.3
정유	27	28	29	29	32	2.0
IT 하드웨어	25	28	28	30	33	3.4
합계	543	577	595	634	628	1.8

자료: 국가온실가스종합관리시스템, PwC

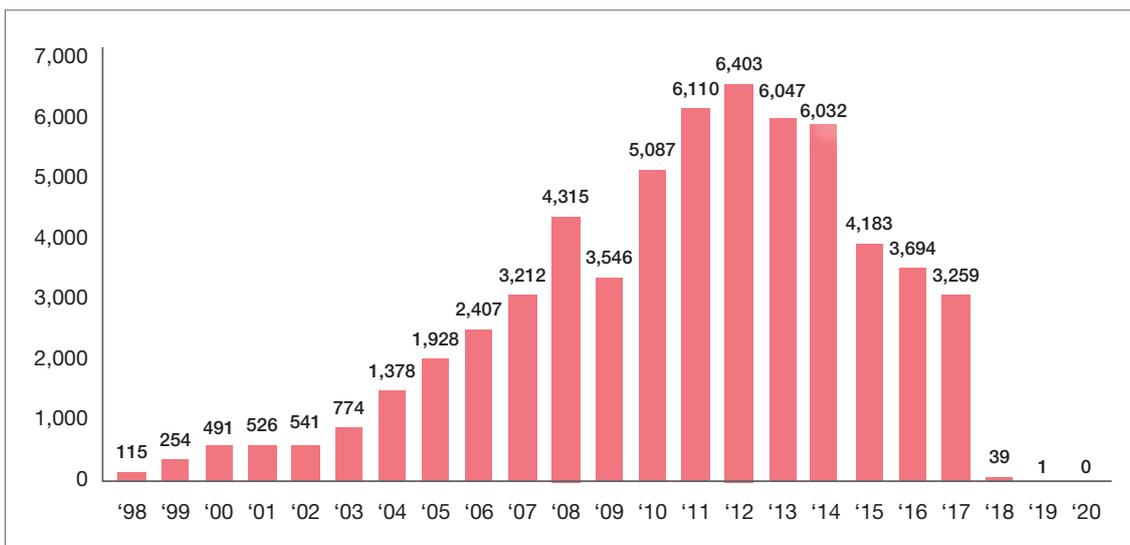
① 글로벌

플라스틱 순환경제 도입에 가장 적극적인 곳은 유럽이다. EU는 2015년 '지속가능한 성장을 위한 순환 경제 패키지'를 발표한 바 있으며, 2019년 '유럽 내 플라스틱 폐기물 방지'에 관한 정책 보고서를 통해 플라스틱 생산량과 폐기물 발생량을 줄이기 위한 기반을 마련하고, EU 10개국은 플라스틱 폐기물 매립 금지를 선언했다. 또한, 2020년에는 '그린딜(Green Deal) 순환경제 행동 계획'을 수립하며, 2030년까지 포장폐기물의 70% 재활용 목표를 제시하였다. 이에 따라 일회용 플라스틱을 중심으로 사용규제가 본격화되고 있으며, 재활용 플라스틱 비중 의무화를 추진 중이다. 2021년 1월부터는 재활용이 불가능한 포장재 플라스틱 폐기물에 kg당 0.8유로를 부과하는 플라스틱세가 시행되고 있는데, 이에 따라 각 회원국 정부는 자국 내 발생하는 연간 포장재 플라스틱 총량에서 재활용이 되는 플라스틱을 제한 후, 남은 폐기물에 대해 kg당 0.8유로를 EU에 납부해야 한다.

한편 최근 몇년간 플라스틱 폐기물에 대한 문제를 각성시킨 국가는 중국이다. 중국은 2017년 생활 폐플라스틱 등 고체폐기물 24종 수입 금지에 이어, 2018년 말에는 '수입 폐기물 허가제도'를 도입해 무역회사의 폐기물 대리 수입을 금지했다. 폐플라스틱 최대 수입국가인 중국의 이러한 조치로 선진국들의 플라스틱 처리 문제가 심각해지며, 선진시장 내 일회용 플라스틱 금지조치들이 본격적으로 도입되기 시작하였다. 또한, 중국은 2020년 1월 '플라스틱 오염 대책 강화에 관한 의견'을 발표하고, 2020년 말까지 플라스틱 제품의 생산·판매 및 사용을 제한하기로 했으며, 2022년 말까지 일회용 플라스틱을 현저하게 감소시키기 위해 대체품을 보급하여, 자원이용과 에너지 회수비율을 대폭 끌어올리기로 했다.

그림 15. 중국 폐플라스틱 수입 추이

단위: 백만 달러



자료: 무역협회, PwC

## ② 국내

한국은 2018년 '제1차 자원순환기본계획(2018~2027)'에 따라 폐기물 발생량을 줄이고, 지속가능한 순환경제 비전을 제시했다. 해당 계획에 따라 2027년까지 폐기물 발생량을 20% 축소하고, 생활폐기물 직매립 비율을 2018년 15% → 2022년 10% → 2027년 0%로 제로(zero)화할 계획이다. 또한 2021년 말 '탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획'을 발표하며, 기존 플라스틱 산업에 있어서 재생원료 사용 의무(PET의 경우 2030년까지 30% 이상 사용)를 부여하고, 중장기적으로 플라스틱 산업을 바이오 플라스틱으로 변화시키는 방안(2050년까지 생활 플라스틱 100%, 사업장 플라스틱 45% 대체)을 마련하였다.

2020년까지 각 국에서 플라스틱 사용에 대한 규제가 강화되는 추세였으나, 최근 코로나 사태로 이러한 움직임이 다소 둔화된 부분이 있다. 코로나 전파를 막기 위해 일회용품 사용이 불가피했기 때문이다. 그러나 향후 플라스틱에 대한 규제는 필연적으로 재개될 수밖에 없고, 이에 따라 플라스틱 재활용에 대한 연구개발은 더욱 강화될 것이다. 코로나 바이러스는 환경에 대한 인류의 관심을 더욱 증폭시켰고, 각국 정부와 기업에 대해 환경적 책임을 강화시키는 움직임이 지속될 것으로 판단한다.

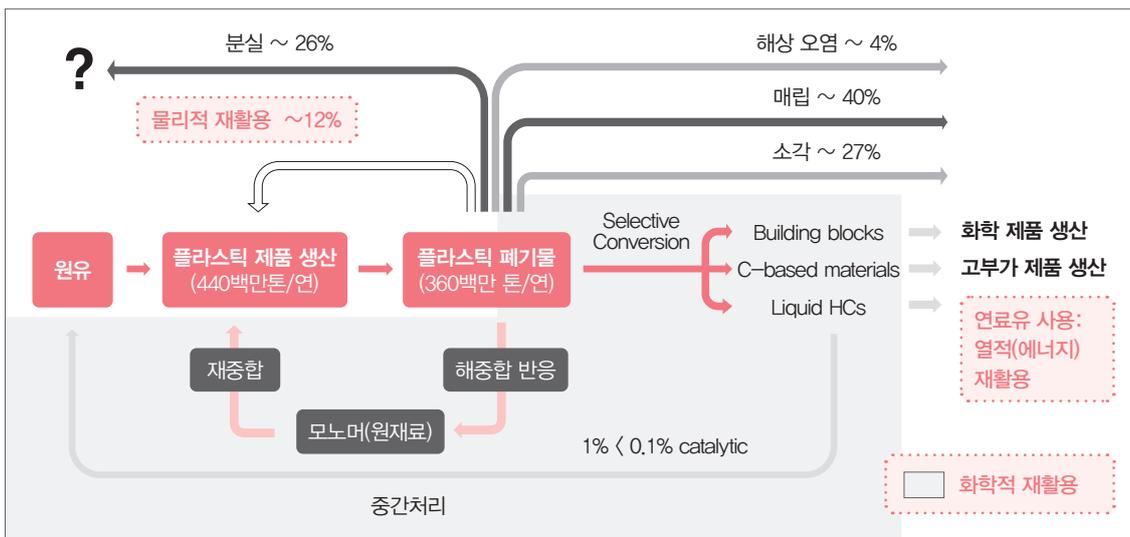
표 9. 주요 국가 플라스틱 규제 현황

국가	내용
미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 뉴욕, '19년 1월부터 스티로폼 사용 금지</li> <li>• 캘리포니아, 플로리다, 뉴저지 등 주와 도시별로 일회용 빨대 및 비닐봉투 사용 규제 시행 중</li> </ul>
유럽	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '20년부터 플라스틱 폐기물 매립 전면 금지(EU 10개국)</li> <li>• '21년부터 대체 가능한 플라스틱 제품의 역내 유통을 금지</li> <li>• '25년까지 대체 불가능한 플라스틱에 대해서는 다음의 목표를 수립: 플라스틱 병 - 90% 이상 분리수거, 플라스틱 봉투 - 25% 사용감축</li> </ul>
중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '18년부터 폐플라스틱 수입금지 정책 시행</li> <li>• '21년부터 발포플라스틱 음식용기 및 플라스틱 면봉 사용 금지</li> <li>• 일회용 플라스틱 식기와 비닐포장, 비닐봉지 사용 금지: '21년 주요 도시부터 시작하여 '26년 전국 확대</li> </ul>
한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>• '30년까지 플라스틱 재생원료 사용비율을 30%로 확대</li> <li>• '22년까지 일회용 컵 및 비닐봉투 사용량 35% 감축</li> </ul>
UAE	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 난분해 플라스틱 포장재 규격 전면 시행('14년)</li> <li>• 산화생분해 플라스틱 제품만 제조, 유통, 수입 허용</li> </ul>

자료: PwC, 기사 종합

전 세계적으로 폐플라스틱의 약 30%는 소각되고, 50%는 단순폐기(매립 및 해양오염 등)되며, 나머지 20% 전후만이 재활용되고 있다. 폐플라스틱을 재활용하는 방법은 ① 물리적 재활용, ② 화학적 재활용, ③ 열적(에너지) 재활용 세 가지로 나눌 수 있는데, 현재 플라스틱 재활용 방식 중 물리적·열적 재활용 방식이 주로 사용되고 있으며, 화학적 재활용은 시작 단계에 불과하다. 한국의 경우도 2017년 기준 플라스틱 폐기물의 38%가 단순 소각·매립되고, 22.7%가 물리적 재활용되었으며, 열적(에너지) 재활용은 39.3%, 화학적 방식은 거의 사용되지 않은 것으로 파악된다. 그러나 진정한 의미의 순환경제를 이룩하기 위해서는 화학적 재활용이 필수적이며, 물리적·열적 방식이 가진 문제점을 보완하기 위한 대안으로 최근 화학업계에서 해당 기술이 부상하고 있다.

그림 16. 폐플라스틱 처리 방법



자료: PwC

그림 17. 플라스틱 재활용의 종류



자료: PwC

## ① 물리적 재활용

물리적 재활용(Material Recycle)은 재활용이 어려운 재질의 플라스틱을 선별하고 이물질이 묻어 더러운 플라스틱을 세척하는 과정을 통해 재생원료로 재활용하는 방식이다. 쉽게 말해 폐플라스틱을 물리적으로 가공해 다시 플라스틱을 생산하는 것인데, 선별 및 세척을 거친 폐플라스틱 조각들을 기계를 사용해 일정한 크기의 플라스틱 조각인 ‘펠릿(Pellet)’으로 만들어 재생원료로 사용한다. 대부분의 플라스틱에 대해서 물리적 재활용 기술이 존재하나 일상용품이나 식품용 용기로 활용되는 PET나 HDPE 정도만 물리적으로 재활용되고 있다. 다른 종류의 플라스틱을 처리하려면 더 복잡한 프로세스가 필요해 경제성이 떨어지기 때문이다.

그림 18. 물리적 재활용의 과정

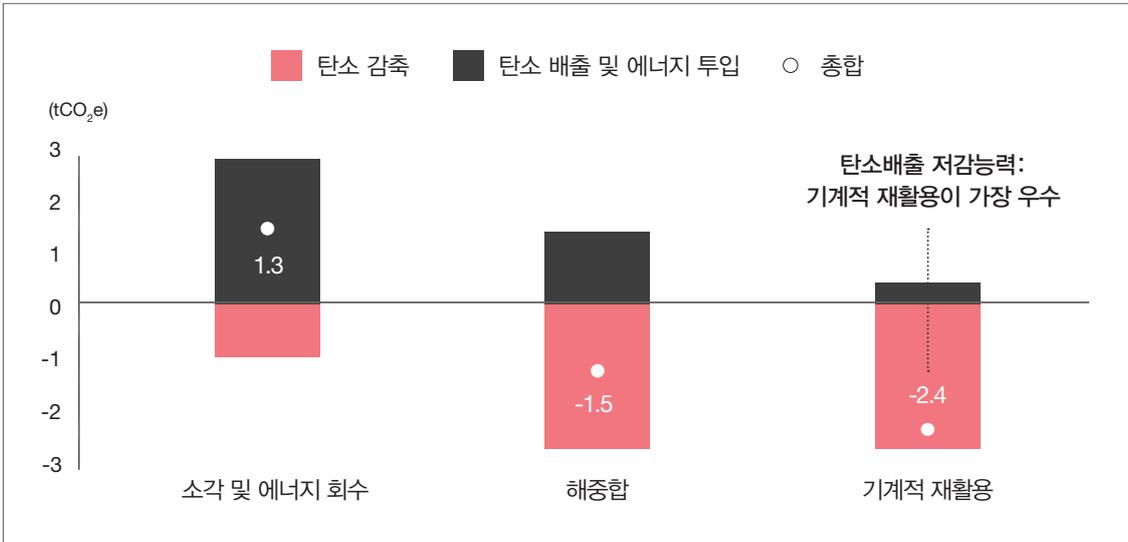


자료: PwC

물리적 재활용은 공정이 단순해 재활용 과정에서 탄소를 가장 적게 배출하고 투자비용도 저렴하다는 장점이 있다. 사용된 플라스틱을 회수하여 소각하거나 재활용을 하는 경우에도 에너지 투입이 필요하기 때문에 탄소배출이 불가피하지만, 물리적 재활용은 사용된 플라스틱에 대한 화학적 또는 열적 처리를 최소화하기 때문에, 소각 및 화학적 재활용 대비 탄소 저감 기능이 우수하다. 그러나 재활용 결과물의 품질이 기존 제품에 비해 떨어지고, 재활용이 가능한 플라스틱 제품 범위가 좁다는 한계가 있다. 복합 재질 플라스틱의 경우 저급의 플라스틱 제품이 생산되고, 단일 재질인 경우도 일정 횟수 이상 재활용할 경우 품질이 저하되며, 폐플라스틱에 이물질이 부착된 경우 재활용이 불가능한 경우가 많다.

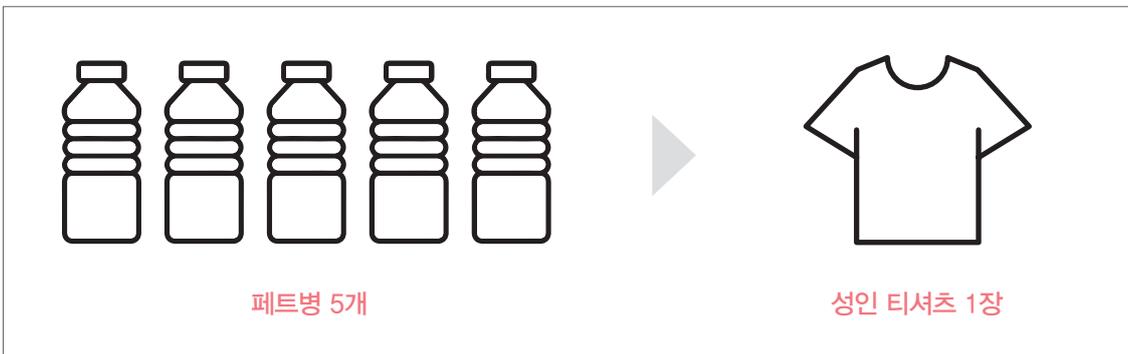
그림 19. 재활용 방식에 따른 탄소배출량

기준: PET 1톤



자료: PwC

그림 20. 물리적 재활용의 사례



자료: PwC

## ② 화학적 재활용

화학적 재활용(Chemical Recycle)은 탄화수소 등의 성분으로 분해하여 재활용하는 방법이다. 주로 열분해 및 화학반응 공정을 통해 이루어지며, 종류별 고도분리작업이나 오염된 폐기물에 대해 크게 민감하지 않아, 물리적 재활용의 한계를 해결하기 위한 궁극적인 해결책으로 글로벌 화학업계에서 떠오르고 있는 기술이다. 물리적 재활용이 플라스틱 본래의 성질을 변형시키지 않고 물리적인 형태만 바꾸는 개념인 반면, 화학적 재활용은 고분자(Polymer) 형태의 플라스틱을 화학적 반응을 통해 최초의 원료 형태인 모노머(Monomer, 단량체)로 완전히 되돌리는 것을 의미한다.

물리적 재활용은 재활용을 거듭할수록 물성이 떨어지는 점과, 회수된 플라스틱 오염 정도에 따라 재활용 자체가 어려울 수 있는 한계점으로 인해 플라스틱 순환경제를 구축하는데 있어 연속성이 떨어질 수 있다. 열적(에너지) 재활용 또한 유독가스 방출 등의 문제를 안고 있어, 엄밀히는 순환경제에 부합하는 방식으로는 볼 수 없다. **그림 21**에서 보여지듯이 글로벌 주요국들의 플라스틱 폐기물 중에서 실제 재활용 되는 비중은 25% 내외에 불과하고, 나머지는 잔재 폐기물로 분류돼 대부분 소각되거나 고품 연료(열적 재활용, 에너지 회수)로 사용되는 실정인데, 진정한 의미의 순환경제 달성이 이루어지려면 화학적 재활용이 필수적이다.

그림 21. 국내외 플라스틱 물질흐름도 비교분석

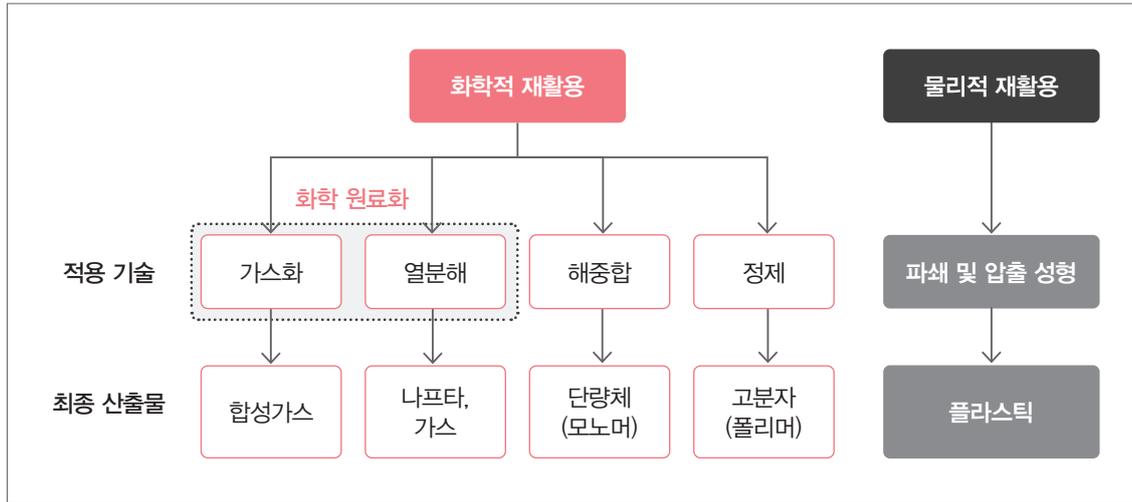
단위: 톤, %



자료: 한국환경연구원, PwC

그 동안 기술적으로 연구개발 단계에 머물렀던 업체들이 상업화를 개시하면서 향후 플라스틱 재활용 시장 성장에 있어 화학적 재활용의 역할이 보다 커질 것으로 전망한다. 화학적 재활용은 최종 산출되는 물질에 따라 i) 화학 원료화 ii) 해중합 iii) 정제로 나눌 수 있는데, 다음 장에서 해당 기술에 대해 자세히 살펴보겠다.

그림 22. 화학적 재활용: 최종 산출물에 따른 구분



자료: PwC

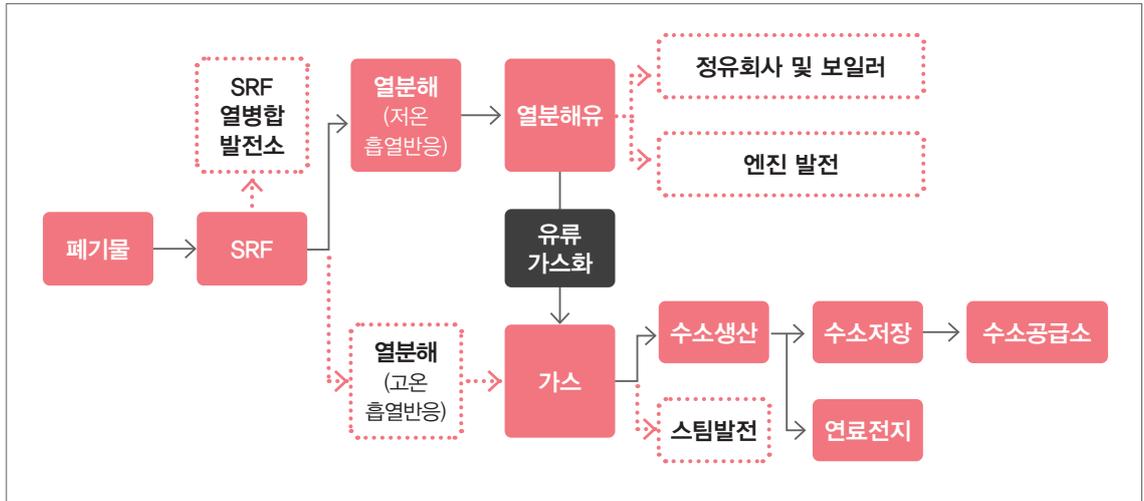
### 1) 화학적 재활용 기술: 가스화 및 열분해(화학 원료화)

화학 원료화는 화학 원재료 또는 정유제품까지의 단계로 변환시키는 것을 의미한다. 궁극적인 지향점인 자원 순환이라는 점을 생각해 볼 때 폐플라스틱 연료화로는 부족하여, 글로벌 주요 화학기업들은 폐플라스틱을 통해 생산된 원료를 플라스틱 원재료로까지 고도 정제하는 방법을 개발 중이다. 현재 사용되는 대표적인 기술로 열분해와 가스화가 있다.

열분해(Pyrolysis)는 무산소 상태에서 유기물질을 열분해 시키는 방법인데, 이미 수세기 동안 시도되었던 방법으로 현재 가장 상용화되어 있는 화학적 재활용 방식이다. 폐플라스틱을 열분해하면 플라스틱의 분자가 불규칙적으로 분해되는데, 분해 생성물로 무거운 탄화수소들이 주로 생성되어, 열분해 산물은 저급 디젤유나 보일러 연료로만 사용이 가능하다.

가스화(Gasification)는 플라스틱 폐기물에 1,000~1,500°C의 고열을 가하여 합성가스(수소, 메탄 등)로 분해하는 것을 의미한다. 기본적으로 열분해 기술과 유사하나, 열분해와 달리 소량의 산소를 반응기에 주입하는 것이 차이점이다. 이러한 기술로 만들어진 합성가스(수소 및 일산화탄소 혼합물)는 메탄올·암모니아 등 새로운 화학 제품, 연료 및 비료 등으로 재생산될 수 있다. 가스화 기술은 향후 수소경제 도래시 폐플라스틱을 활용한 수소 생산 방식으로 활용될 가능성이 높는데, 일례로 '21년 6월 국내 기업 플라젠은 사우디아라비아 기업인 SSC사와 MOU를 체결하고 사우디 안부 지역에 세계 최대 규모의 폐플라스틱 수소 생산 플랜트 건설 추진을 발표했다.

그림 24. 열분해를 통한 페플라스틱 에너지화 개념도

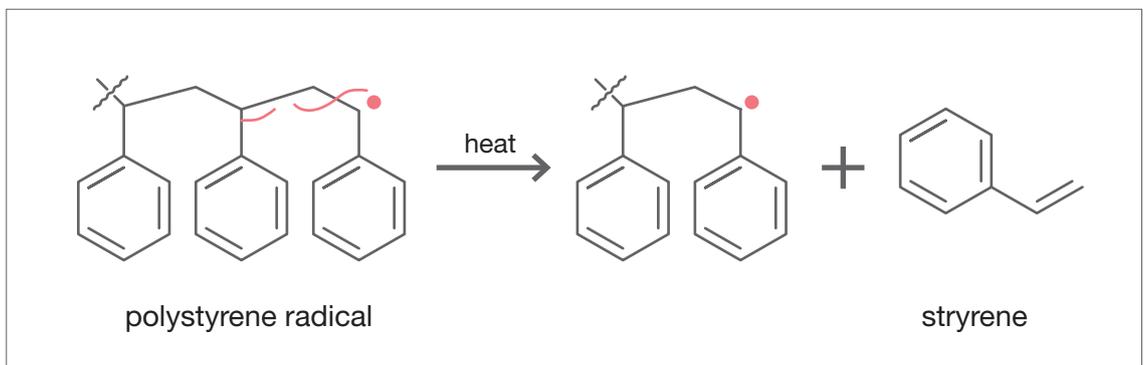


자료: PwC

## 2) 화학적 재활용 기술: 해중합

물리적 재활용이 페플라스틱을 녹여 다시 성형하는 것이라면, 해중합(Depolymerization)은 플라스틱을 그 원재료인 단위체로 바꾸는 과정을 의미한다. 고온에서 촉매와 유기용매 등을 이용해 분해반응을 일으켜 단량체를 추출하기 때문에, 원유에서 생산한 신규 플라스틱 원재료와 동일하여 물리적 재활용의 한계점인 품질 저하가 없다. 또한 복합 소재 플라스틱이나 오염, 염색 등 물리적 방식으로 재활용이 불가능했던 소재들에 적용이 가능하기 때문에 가장 이상적인 방식이지만, 석유에서 원재료를 생산하는 방식에 비해서 비용이 훨씬 많이 들기 때문에 경제성 측면에서 상용화까지 시간이 더 필요하다. 해외 기업들은 해중합 기술을 선제적으로 연구해 실증화 단계까지 나아간 상황이며, 국내의 경우는 아직 태동기 수준이다. 향후 해당 기술이 상용화 되기 위해서는 에너지 효율을 획기적으로 높이면서 가격이 저렴한 촉매 개발이 선행되어야 한다.

그림 25. 해중합 기술의 원리



자료: Wikipedia, PwC

표 10. 물질별 해중합 시 요구 온도

단위: °C

종류	요구 온도
폴리에틸렌	610
폴리이소부틸렌	175
폴리메틸 메타크릴레이트	198
폴리스티렌	395
폴리테트라플루오로에틸렌	1100
폴리아이소프렌(천연고무)	466

자료: Wikipedia

### 3) 화학적 재활용 기술: 정제

정제(Purification)는 플라스틱의 고분자 구조를 건드리지 않은 상태에서 용제(특정 물질을 녹이는 물질)를 활용하여 플라스틱을 녹이거나 액화 시켜서 첨가제 등의 불순물을 걸러내거나 복합 재질 중 특정 재질만을 선별하는 작업이다. 여타 기술 대비 에너지 소비량이 적게 소요된다는 점이 있으나, 해당 과정에서 액상 유독 폐기물이 발생하며, 원료 물질을 무한 반복하여 순환시킬 수 없는 단점이 있다.

표 11. 화학적 재활용: 기술별 비교

기술	정제	해중합	화학 원료화	
			열분해	가스화
재활용 원료	PVC, PS, PE, PP	PET, PA, PU	PE, PP, PB, PS, PMMA	모든 플라스틱
최종 산출물	고분자(폴리머)	단량체(모노머)	나프타 등 정유제품, 가스	합성가스
개발 현황	개발 완료	상업화 단계	상업화 완료	상업화 완료

자료: PwC

### ③ 열적(에너지) 재활용

열적 재활용(Thermal Recycle)은 폐플라스틱을 발전 시설, 시멘트 공정, 보일러 등의 대체 연료로 활용하는 것으로, 일반적으로 재활용이 불가능한 식품 봉지 등 필름류도 재활용이 가능하다는 장점이 있지만, 소각 시 유해 배출물이 발생하여 이에 대한 기술적 보완이 필요하다. 열적 재활용은 플라스틱 폐기물을 재활용하기는 하지만, 단순히 태우는 것에 불과하여 엄격하게 볼 때 재활용이라고 보기는 어렵고, EU에서도 에너지 재활용은 플라스틱 재활용의 범주 안에 포함시키지 않고 있다.

열적 재활용의 종류는 i) 직접소각, ii) 건류소각, iii) 고체 성형 연료(Solid Refuse Fuel, SRF) 세가지로 구분된다. 첫 번째 i) 직접 소각은 일반적인 생활 폐기물 소각과 마찬가지로 플라스틱을 직접 태우는 것을 의미하는데, 소각 시 일반 폐기물에 비해 더 많은 공기량을 필요로 하기 때문에 특수한 형태의 소각로가 필요하고 이로 인해 경제성이 낮다. ii) 건류소각은 폐기물을 저산소 상태에서 부분 연소시켜 가연성 가스를 발생시킨 후, 이 가연성 가스를 재연소시켜 완전 소각하는 기술이다. 건류로에 들어간 폐기물은 건조 - 용융 - 열분해 - 가스화 반응과정을 거치게 되는데, 이 역시 특수한 설비가 필요하여 경제성이 낮다. 마지막으로 에너지 재활용에서 가장 많이 사용되는 방법은 iii) 고체 성형 연료(SRF) 방식이다. 폐플라스틱은 발열량이 높기 때문에 고체 연료를 만들기에 적합하다. 플라스틱을 활용한 고체 성형 원료는 제철소, 시멘트 공장, 발전소 등에 주로 활용되고 있으며, 버려지는 플라스틱류의 자원순환 측면에서 장점이 있지만, 연소 시 다량의 질소산화물과 일산화탄소가 발생할 가능성이 높다.

그림 26. 고체 성형 연료 제조 공정

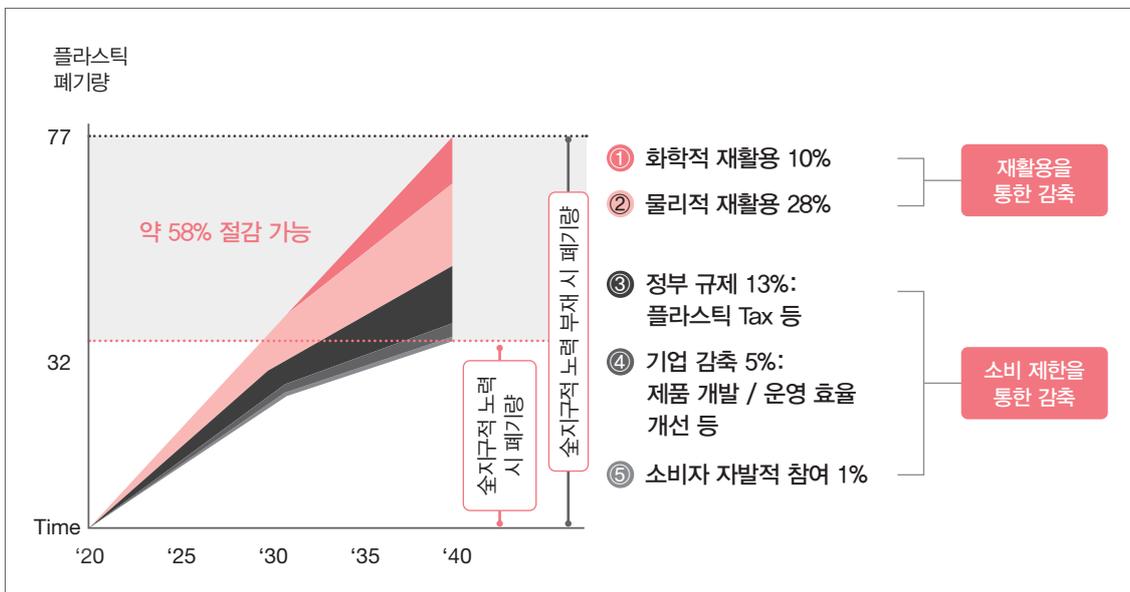


자료: PwC

현재와 같은 수준의 소비를 지속할 경우 2040년에는 약 80억톤 규모의 폐플라스틱이 발생할 것으로 전망되는데, 이러한 폐기물 감축을 위한 전 지구적 노력이 진행될 것으로 예상된다. **그림 27**에서 보여지듯, 각 경제 주체의 역할 수행 및 기술 개발이 원활히 이루어졌을 경우 플라스틱 폐기량의 약 58%가 감소할 수 있는데, 이를 달성하기 위한 가장 핵심 영역은 재활용이다. 재활용을 통한 폐기물 감축 가능 비율은 38%로, 소비 제한을 통한 감축 19% 대비 약 2배 수준 높다. 이에 따라 플라스틱 재활용 시장의 높은 성장이 전망되며, 기술적으로도 물리적 재활용 방식의 고도화뿐 아니라, 화학적 기술의 상용화도 빠르게 진행될 것으로 보인다.

그림 27. 글로벌 폐플라스틱 발생량 및 감축 방안

단위: 억 톤



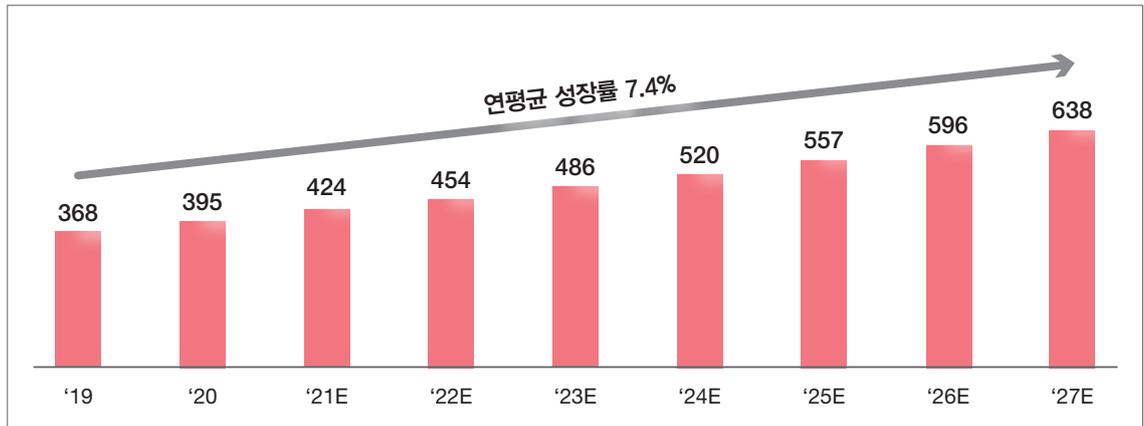
자료: PwC

① 시장 규모 및 전망

글로벌 플라스틱 재활용 시장은 2019년 368억 달러에서 향후 연평균 7.4% 성장하여 2027년에는 약 638억 달러에 이를 것으로 전망된다. 글로벌 시장조사 기관인 리서치앤마켓도 이와 유사한 전망을 하고 있는데, 폐플라스틱 시장 규모는 2021년 451억 달러에서 2026년에는 650억 달러에 이르며, 연간 7.5% 씩 성장할 것으로 예측된다. 환경 오염에 대한 우려로 플라스틱 사용에 대한 각국 정부의 규제가 강화됨에 따라 전 세계적으로 플라스틱 재활용 시장이 확대될 것으로 판단하며, 재활용 플라스틱을 선호하는 MZ세대의 소비 패턴 등에 따라 성장세가 더욱 강화될 수 있을 것으로 예상된다.

그림 28. 글로벌 플라스틱 재활용 시장 전망

단위: 억 달러

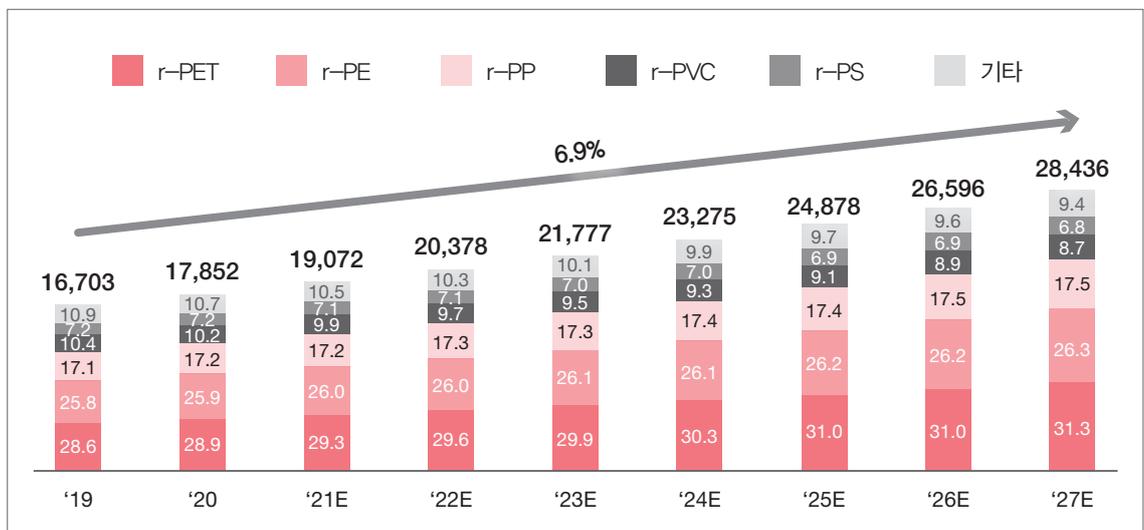


자료: PwC

국내 시장의 경우도 글로벌과 비슷한 움직임을 나타낼 것으로 예상된다. 2019년 기준 국내 플라스틱 재활용 시장의 규모는 1조 6,700억 원 수준으로 추산되는데, 향후 정부 지원과 기업의 ESG 기조 하 연 6.9% 지속 성장하여, 2027년에는 2조 8,400억 원 규모의 시장을 형성할 것으로 보인다. 품목별로는 재생 PET의 성장률이 8.1%로 가장 높는데, 정부의 PET 사용 규제 등에 대응하기 위해 국내 포장재 및 화학섬유 업체들의 공격적인 투자가 지속되고 있고, 소비자들의 일회용품 사용 자제 운동 등에 힘입어 재생 PET 부문이 빠르게 성장할 것으로 전망한다.

그림 29. 국내 플라스틱 재활용 시장 전망

단위: 억 원, %



자료: 환경부, 국가통계포털(KOSIS), PwC

## ② 기술별 전망

기술적으로는 화학적 방식이 플라스틱 재활용 시장의 성장을 주도할 것으로 전망한다. 표 12에 따르면, 2020년 기준 플라스틱 재활용 시장 내 화학적 방식의 점유율은 6.6%에 불과하며, 대부분이 물리적 재활용 방식을 사용하고 있다(열적 재활용 제외 수치). 그러나 연구개발 단계에만 머물렀던 업체들이 상업화를 개시하면서, 화학적 재활용 시장은 향후 10년간 연평균 17.1%의 성장할 것으로 예상된다. 이에 반해 물리적 재활용의 연평균 성장률은 2.8% 수준에 머물며, 2030년 기준 화학적 방식이 전체 플라스틱 재활용 시장에서 차지하는 비중이 20.7%까지 높아질 것으로 전망한다.

표 12. 플라스틱 재활용 시장 전망: 기술별

단위: 백만 톤

구분	'19	'20	'21E	'22E	'23E	'24E	'25E	'26E	'27E	'28E	'29E	'30E	'20~'30E CAGR(%)
물리적 재활용	12.6	12.0	12.5	12.9	13.5	14.0	14.5	15.0	15.2	15.5	15.7	15.9	2.8%
화학적 재활용	0.6	0.9	1.1	1.3	1.5	1.6	1.8	2.1	2.5	3.0	3.5	4.1	17.1%
합계	13.2	12.9	13.6	14.2	15.0	15.6	16.3	17.1	17.7	18.5	19.2	20.0	4.5%
점유율(%)													
물리적 재활용	95.5	93.4	91.9	90.8	90.0	89.7	89.0	87.7	85.9	83.8	81.8	79.3	
화학적 재활용	4.5	6.6	8.1	9.2	10.0	10.3	11.0	12.3	14.1	16.2	18.2	20.7	

\* 열적 재활용 제외

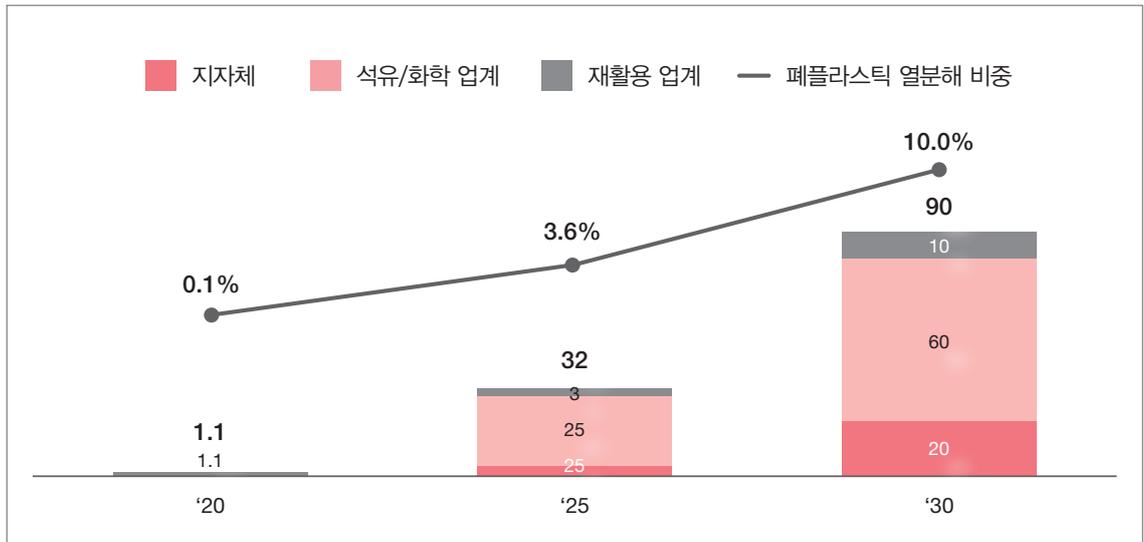
자료: PwC

현재 국내에서 진행되는 폐플라스틱 재활용도, 글로벌 대부분 국가와 마찬가지로 물리적 재활용 및 열적 재활용에만 집중되어 있다. 화학적 재활용은 열분해를 이용한 연료유 생산 단계로, 플라스틱 폐기물을 투입해 열분해한 뒤 연료유를 생산해 난방용이나 산업용 연료로 사용하고 있는 수준이다. 그러나 정부 차원의 규제 혜택과 기술 개발을 위한 기업들의 투자로, 향후 빠른 속도로 화학적 재활용 기술이 상용화 될 것으로 전망한다.

2021년 3월 환경부에서 발표한 폐플라스틱 열분해 활성화 방안의 주요 내용을 살펴보면 i) 폐플라스틱 열분해 비중을 '30년까지 10%로 늘리고, ii) 석유·화학 기업이 폐플라스틱 열분해유를 석유제품 원료로 활용할 경우 탄소배출권으로 인정, iii) 플라스틱으로 만든 합성가스를 원료로 메탄올·암모니아 등을 생산하거나 수소를 추출하여 수소차 충전·연료전지 발전에 활용하는 것을 지원하는 내용이 포함되어 있다. 현재까지는 규모의 경제 및 투입 에너지 비용 등을 감안할 때 화학적 재활용의 경제성이 낮으나, 정부 차원의 규제 혜택과 기술 개발 지원으로 향후 시장이 커질 것으로 전망한다.

그림 29. 폐플라스틱을 통한 열분해유 및 가스생산 목표

단위: 만 톤/연

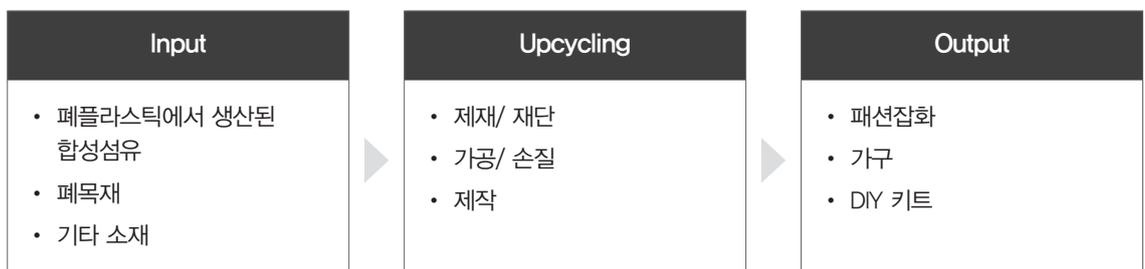


자료: 환경부, PwC

### ③ Retail 시장 전망

최종 소비재 관점에서는 폐플라스틱을 다방면으로 활용한 업사이클링 부분이 성장할 것으로 예상된다. 업사이클링(Upcycling)은 기존보다 제품 기능을 향상시켜 고부가가치화 하는 개념인 “업그레이드(Upgrade)”와 폐기물을 재활용하는 “리사이클링(Recycling)”의 합성어이다. 이는 버려지는 폐기물과 사용하지 않는 제품 등을 단순 재활용하는 차원을 넘어 첨단 기술(재생 기술)과 디자인(미적 창의성, 아이디어 등)을 접목시켜 높은 수준과 부가가치를 지닌 제품으로 전환시키는 것을 의미한다. 따라서 폐플라스틱에 대한 물리·화학적 전처리 공정과 더불어 재활용 소재에 대한 제품화 역량이 요구되며, 나아가 고부가 가치화의 핵심인 디자인화가 필수적이다.

그림 30. 업사이클링 프로세스



자료: PwC

업사이클링은 EU 국가들을 중심으로 시작되었으며, 현재는 미국, 캐나다 등지에서도 '친환경적 생산과 윤리적 소비 양식'의 하나로 주목받고 있으나, 시장규모는 아직 미미한 실정이다. 한국도 비슷한 상황으로, 경기연구원의 조사에 따르면 2018년 기준 국내에는 약 100개의 업사이클 브랜드가 있고, 시장규모는 40억 원 미만으로, 전체 재활용 시장 내 0.01% 수준에 불과하여 초기 단계에 머물고 있다. 그러나 업사이클링 제품에 대한 소비자의 인식과 관심이 높아지고 있으며, ESG(환경·사회·지배구조)를 키워드로 하여 기업의 환경적·사회적 책임에 관한 활동 필요성이 증대되면서 본격적으로 시장이 개화될 것으로 전망한다.

글로벌 업체 중에서는 BASF가 최초로 화학적 재활용 방식에 대해 상업적 도입을 시도하였으며, 이후 SABIC, Shell 등의 많은 글로벌 화학업체가 해당 시장에 신규 진출하고 있다. BASF의 사례를 자세히 살펴보면, 회사는 2018년부터 순환경제로의 전환을 가속화하기 위해 ‘Circular Economy Program’을 운영하고 있으며, 순환경제에 대한 고유의 Framework을 정의하고, i) 바이오 연료에서부터 ii) 폐배터리·페타이어·페플라스틱·페매트리스의 재활용, iii) 폐기물 분해까지, 화학 분야 전반에 친환경 업무 프로세스를 구축하였다. 특히 페플라스틱 재활용 확대를 위해 ‘ChemCycling’ 프로젝트를 진행 중인데, New Energy 등의 기업들과 MOU를 맺어 화학적 재활용 기술 개발을 추진하고 있다.

그림 31. BASF의 ChemCycling 프로젝트



자료: BASF

국내 기업들의 움직임을 살펴보면 롯데케미칼과 SK그룹이 적극적이다. 롯데케미칼은 재생플라스틱 원료를 제품화하는 ‘Project LOOP’를 추진하여, 물리적 재활용뿐 아니라 화학적 재활용까지 전방위적 확대 계획을 수립하였다. 2030년까지 재활용 플라스틱 생산계획은 약 100만 톤이며, 이 중 약 36만 톤을 화학적 재활용, 26만 톤은 물리적 재활용을 통해 생산할 예정이며, 나머지 38만 톤의 재활용방식은 현재 논의 중이다.

SK는 그룹 차원에서 여러 회사가 동시 다발적으로 폐플라스틱 사업에 투자를 진행 중이다. SK지오센트릭(구. SK종합화학)은 2021년 초 캐나다 루프 인더스트리 및 미국 열분해유 전문 생산업인 브라이트마크와 폐플라스틱 열분해유 설비 투자를 위한 MOU를 체결하였다. SKC의 화학사업 투자사인 SK피아이씨글로벌도 열분해유 생산을 준비중이며, 열분해 기술을 보유한 일본 칸쿄에네르기사와 제휴하여 비닐 등 폐플라스틱 5만 톤 이상을 투입해 3만5천톤 이상의 열분해유를 생산할 수 있는 설비를 2023년까지 완공할 예정이다. 완공 후 초반에는 SKC 화학공장의 보일러 연료로 사용하지만, 향후 불순물 제거 수준을 높여 나프타 등 플라스틱 원료로 활용할 계획이다. 이외에도 많은 기업들이 차기 성장동력으로 폐플라스틱 사업에 주목하며, 투자를 진행 중이다.

표 13. 주요 기업들의 폐플라스틱 재활용 사업 현황 및 계획

기업명	국가	내용
BASF	독일	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>전세계 30여개의 기업들과 함께 해양 폐플라스틱 감소 및 제거를 위한 솔루션을 증진하는 글로벌 '플라스틱 쓰레기 제거 연합' 결성. 5년간 15억 달러(한화 약 1조 6천억 원)투자를 목표('19.01)</li> <li>플라스틱 화학적 재활용을 통해 첫 파일럿 제품 생산('19.01)</li> </ul>
Eastman	미국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>폴리에스터 재생 기술 및 가스화를 통한 재활용 기술인 탄소 재생 기술 사용</li> <li>프랑스 대통령과 Eastman의 CEO가 프랑스의 재료 분자 재생 시설에 최대 10억 달러 투자할 것이라 공동 발표('22.01)</li> <li>'25년 가동 예정인 분자 재생 시설은 폴리에스터 재생 기술을 통해 폐플라스틱을 연간 최대 160,000미터 톤까지 재생할 예정</li> </ul>
Sabic	사우디	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>영국의 플라스틱 재활용 회사 Plastic Energy와 MOU 체결하여 네덜란드에 상업 폐기물 재활용 공장을 설립하기로 발표('18.12)</li> <li>재활용 폴리머 대규모 생산을 위한 최초 상업 공장 건설 개시('21.01). '22년 하반기 가동 예정</li> <li>말레이시아 플라스틱 재활용 회사 HHI와 협업하여 세계 최초 재활용 폴리머 생산 ('21.11)</li> </ul>
Covestro	독일	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>폐기된 매트리스의 연질 폴리우레탄 폼의 화학적 재활용 기술을 개발('21.03)</li> <li>매트리스 폼을 이루는 2가지 원료(polyol, toluene diamine)를 모두 재활용하기 위해 연질 폼 재활용을 위한 파일럿 공장 가동('21.04)</li> <li>폐기된 연질 폴리우레탄 폼의 화학적 재활용을 산업화하고 회수된 2가지 원료를 모두 재생산하는 것이 목표</li> </ul>
Loreal	프랑스	<ul style="list-style-type: none"> <li>프랑스 스타트업 Carbios의 효소기술을 이용해 재활용 플라스틱으로 만든 최초의 화장품 용기 구현('21.06)</li> <li>2025년에 효소 재활용 기술로 용기를 생산하는 것을 목표로 하고 있으며, 향후 바이오템이 로레알 브랜드 중 최초로 해당 용기 사용 제품 출시 계획</li> </ul>
Agilyx	미국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>전 세계에서 현재 유일하게 차사 열분해 시스템을 이용해 폴리스티렌(PS)을 재활용할 수 있는 설비를 갖춘</li> <li>ExxonMobil, Toyo Styrene, Braskem, Trinseo, INEOS 등 글로벌 화학업체들과 기술을 개발하거나 생산설비를 신설 중</li> </ul>
JGC	일본	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>일본의 Ebara Environmental Plant, Ube Industries, Showa Denko와 공동으로 플라스틱 가스화 기술인 EUP(Ebara Ube Process)를 이용한 플라스틱 폐기물 재활용 협업 계약 체결('20.10)</li> </ul>

기업명	국가	내용
DOW	미국	<p><b>물리적 재활용 + 화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Recycling 목표: '30년까지 1백만 톤의 플라스틱을 재사용, 재활용 계획, '35년까지 전제품들이 재사용 또는 재활용 가능한 패키징으로 판매될 예정</li> <li>첨단 재활용 프로세스 접목: Mura Technology와 파트너십을 통해 Hydrothermal 플라스틱 재활용 솔루션 활용</li> </ul>
Dupont	프랑스	<p><b>물리적 재활용 + 화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>2030년 로드맵에서 폐기물 감축을 위한 4R(Reduce, Reuse, Repurpose, Recycle) 프로그램을 도입</li> <li>Tyvek 재활용 프로그램 - 미국 내 PPE 의류 수집, 운송, 보관 및 재활용 활동</li> <li>Entira EP copolymer 기술을 활용하여 혼합 플라스틱 폐기물 재활용 개발 중</li> </ul>
LG화학	한국	<p><b>물리적 재활용 + 화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>쿠팡과 플라스틱 재활용, 자원 선순환 생태계 구축을 위한 MOU 체결. 쿠팡이 폐기하는 3,000톤가량의 포장용 비닐을 재활용해 쿠팡에 재공급 계획('21.09)</li> <li>'24년 1월까지 국내 최초 초임계 열분해유 공장 건설, 연 2만 톤 규모로 시작하여 점차 확대 예정(영국 무라테크놀로지 지분 투자)</li> </ul>
롯데케미칼	한국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>'24년까지 1,000억 원을 투자해 향후 '30년까지 울산 PET 공장 전체를 재생 PET 공장으로 전환하겠다는 계획 발표('21.04)</li> </ul>
한화솔루션	한국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>산자부 '폐플라스틱 열분해유 기반 나프타 생성기술' 사업 주관 기업 선정('21.04)</li> <li>폐플라스틱을 고온에서 분해한 열분해유에서 불순물을 제거하고 분자 구조를 변화시켜 납사를 생성하는 기술(PTC, Plastic to Chemicals) 개발이 목표</li> <li>열분해 기반 화학적 재활용 기술을 '24년까지 개발해 내재화 방침('21.04)</li> </ul>
SK 지오센트릭 (구 SK 종합화학)	한국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>해중합 기술을 보유한 캐나다 루프 인더스트리에 지분(10%) 투자('21.01)</li> <li>루프 인더스트리사와 함께 '25년까지 연간 8.4만 톤 규모의 PET 해중합 설비 구축 계획('21.07)</li> <li>미국 브라이트 마크사와 협력해 '24년까지 연간 10만 톤 규모의 열분해 생산설비 구축 예정('21.07)</li> <li>폐플라스틱 재활용 규모를 '25년까지 90만 톤 → '27년 250만 톤까지 확대 계획</li> </ul>
SKC	한국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>열분해 기술을 보유한 일본 벤처기업 칸쿄에너지(Kankyo Energy)와 상업화 추진 중('21.06)</li> </ul>
SK케미칼	한국	<p><b>화학적 재활용</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>해중합 기술과 생산 설비를 보유한 중국 수예(Shuye) 지분(10%, 230억) 투자 통해 화학적 재활용된 원료를 구매할 수 있는 권한 확보</li> </ul>

기업명	국가	내용
효성	한국	<b>화학적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>PET 해중합, 후공정을 통해 재생 폴리에스터 수지(리젠) 상업 생산 성공('08년)</li> <li>'22년 초까지 울산 지역 내 해중합 설비를 갖추고 부산·전남 지역 폐어망을 모아 연간 1,800톤 상당의 재활용 나일론 섬유를 생산 계획('21.08)</li> </ul>
휴비스	한국	<b>물리적 재활용 + 화학적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>'21년 4월부터 연간 2천 톤 규모의 물리적 재활용 방식을 사용한 원사 '에코에버' 가동 돌입('21.03)</li> <li>물리적 재활용 원사 브랜드 '에코에버'에 화학적 재활용 원사 브랜드 '에코에버 CR' 까지 추가('21.06)</li> </ul>
삼양패키징	한국	<b>물리적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>PET 플레이크를 생산해 재활용 사업을 영위하는 시화공장에 약 430억 원을 투자해 페플라스틱 재활용 신규 설비를 도입한다는 계획 발표('22.01)</li> <li>고순도 PET 플레이크와 고부가가치 제품의 원료가 되는 리사이클 페트칩생산 설비 2중 도입 예정. '23년 말부터 본격 설비 가동 시작할 예정</li> </ul>
ACI엔텍	한국	<b>물리적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>인공지능(AI) 및 사물인터넷(IoT) 기술을 활용한 폐기물 수거 및 처리 전문기업</li> <li>고품질 PET 플레이크를 생산하는 페트병 재활용라인, HDPE 용기 및 LDPE 필름을 생산하는 폴리올레핀 재활용라인, rPET 시트 압출생산라인 보유</li> <li>사모펀드운용사 VL인베스트먼트로부터 70억 원 투자 받음('21.10)</li> </ul>
에코 크레이션	한국	<b>화학적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>열분해유 제조 및 열분해 설비 생산기술 보유 중소기업</li> <li>인천 청라에 신규 열분해 열분해 플랜트 제조공장 구축 중</li> <li>SK지오센트릭으로부터 68억 원 투자 받음('21.08)</li> </ul>
슈퍼빈	한국	<b>물리적 재활용</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>인공지능(AI) 기술을 활용해 재활용 폐기물을 회수하는 로봇 '네프론'을 2016년에 개발하여 상용화에 성공한 스타트업</li> <li>회수된 재활용 폐기물을 고부가가치 재생소재로 가공해 제품 생산업체에 판매하는 '순환경제 사이클'을 구축할 계획</li> <li>200억 원 규모의 시리즈B 투자를 유치해 누적 투자금 270억 원, 기업가치 1,000억 원을 달성('20.08)</li> </ul>

자료: PwC, 기사 종합



4.  
순환경제를 이끌  
두 가지 핵심 분야

② 배터리(이차전지)

미래 산업의 변화는 전동화(Electrification)·무선화(Cordless)가 핵심으로, 무선가전·로봇·드론·에너지저장장치(ESS)·전기차 등 향후 산업 변화를 이끌 주요 품목들의 기반에는 이차전지가 있다. 또한, 이차전지는 친환경화라는 글로벌 트렌드 속에서 지속가능성장의 핵심수단으로, 시장 조사기관 IHS Markit은 2025년에는 이차전지가 메모리반도체보다 더 큰 시장을 형성할 것으로 전망하고 있다. 이차전지 시장의 성장과 함께 폐배터리도 증가할 것으로 예상되는데, 통상 5~10년인 EV 배터리 수명 고려 시, 2025년 이후 폐배터리 처리가 주요 이슈로 부각될 것으로 예상된다. 에너지경제연구원은 2029년 국내 기준 전기차 폐배터리가 약 8만여 개 배출될 것으로 추정하고 있는데, 자동차뿐 아니라 에너지저장장치 및 가전 등의 다양한 분야에서 폐배터리 배출량 증가가 예상되어, 이에 대한 순환경제 생태계 구축이 필요하다.

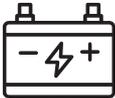
그림 32. 이차전지 적용분야



## ① 이차전지란?

이차전지(secondary cell, rechargeable battery)는 외부의 전기 에너지를 화학 에너지의 형태로 바꾸어 저장해 두었다가 필요할 때에 전기를 만들어 내는 장치를 말한다. 여러 번 충전할 수 있다는 뜻으로 “충전식 전지”라는 명칭도 쓰이는데, 한 번 쓰고 버리는 일차전지(primary cell)에 비해 경제적인 이점과 환경적인 이점을 모두 제공한다. 여러 번 충전할 수 있다는 것이 장점이지만, 일차전지에 비해 더 비싸고 이차전지에 쓰이는 일부 화학제품이나 금속의 독성은 더 강한 편이다. 흔히 쓰이는 이차전지로는 납축 전지, 니켈-카드뮴 전지, 니켈-메탈 수소 전지, 리튬이온 전지가 있는데, 2000년대 이후 리튬이온 전지가 시장을 주도하고 있다. 리튬이온이 주력이 된 이유는 기존 니켈계 전지의 단점이었던 메모리 현상(충전지를 완전 방전되기 이전에 재충전하면, 충전지 수명이 줄어드는 현상)이 없고 소형화가 가능하며, 짧은 충전시간 대비 긴 수명, 납/수은 등의 유해물질이 없다는 점 때문이다.

표 14. 이차전지의 역사

	1900년대 납축 전지	1950년대 니켈계 전지	2000년대 리튬이온 전지	미정 차세대 전지
				
<b>수요</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차</li> <li>산업기기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>휴대용 전자기기</li> <li>하이브리드차량</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트폰</li> <li>태블릿, 노트북</li> <li>전기차</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>모바일기기</li> <li>초소형 전자기기</li> <li>전기차</li> </ul>
<b>요구 기능</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>기기의 상시 전원 공급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>전자기기의 이동성 부여</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고용량, 경량화, 소형화</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>고안전성, 초소형, 플렉서블, 고용량</li> </ul>
<b>주요 기업</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Johnson Controls, Exide, GS Yuasa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Salt, Sanyo, Toshiba, Panasonic</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>LG화학, 삼성SDI, SK이노베이션</li> </ul>	

자료: PwC, 기사 종합

리튬이온 이차전지는 응용분야에 따라 IT 기기 등에 사용되는 소형전지와 전기자동차 등에 사용되는 중·대형 전지로 구분된다. 2000년대까지는 IT분야를 중심으로 한 소형전지가 주를 이루었으나, 2010년대 이후 전기차 시대가 도래하며 중대형 전지가 전체 이차전지 시장의 성장을 이끌고 있다.

표 15. 리튬이온 이차전지 발전사

1990년대	2000년대	2010년대	2020년~
<ul style="list-style-type: none"> <li>1991, 일본 리튬이온 이차전지 최초 양산</li> <li>일본 기업 중심</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>스마트폰 보급확대</li> <li>한/중 기업 성장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>(한) 유럽·미·글로벌 수요</li> <li>(중) 내수확대로 급성장</li> <li>(일) 테슬라向 공급</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>한중일 + 미국/ EU</li> <li>완성차업체의 배터리 내재화</li> </ul>
소형 2차전지 중심		전기차 시대 도래 → 중대형 2차 전지	

자료: PwC

표 16. 분야별 이차전지 사용량 비교

항목	스마트폰	E-Bike	HEV	PHEV	BEV
용량	0.01kWh	~1.0 kWh	1.5 kWh	12 kWh	40 kWh
사용량 비율	1	100	150	1,200	4,000

\* 순수전기차(BEV)용 전지는 스마트폰 대비 4,000배의 전력량이 필요

\* HEV(하이브리드 전기자동차): 주 동력원이 석유이고, 보조동력원이 전기에너지인 전기차

\* PHEV(플러그인 하이브리드 전기자동차): HEV처럼 전기모터와 가솔린 엔진을 동시에 쓰지만, 충전 시 BEV처럼 콘센트를 통해 충전. 플러그를 꽂는 HEV라는 뜻에서 PHEV라고 부름

\* BEV(배터리식 전기자동차): 전기 배터리와 전기 모터로만 추진력을 얻는 자동차. 순수 전기차라고도 불림

자료: PwC

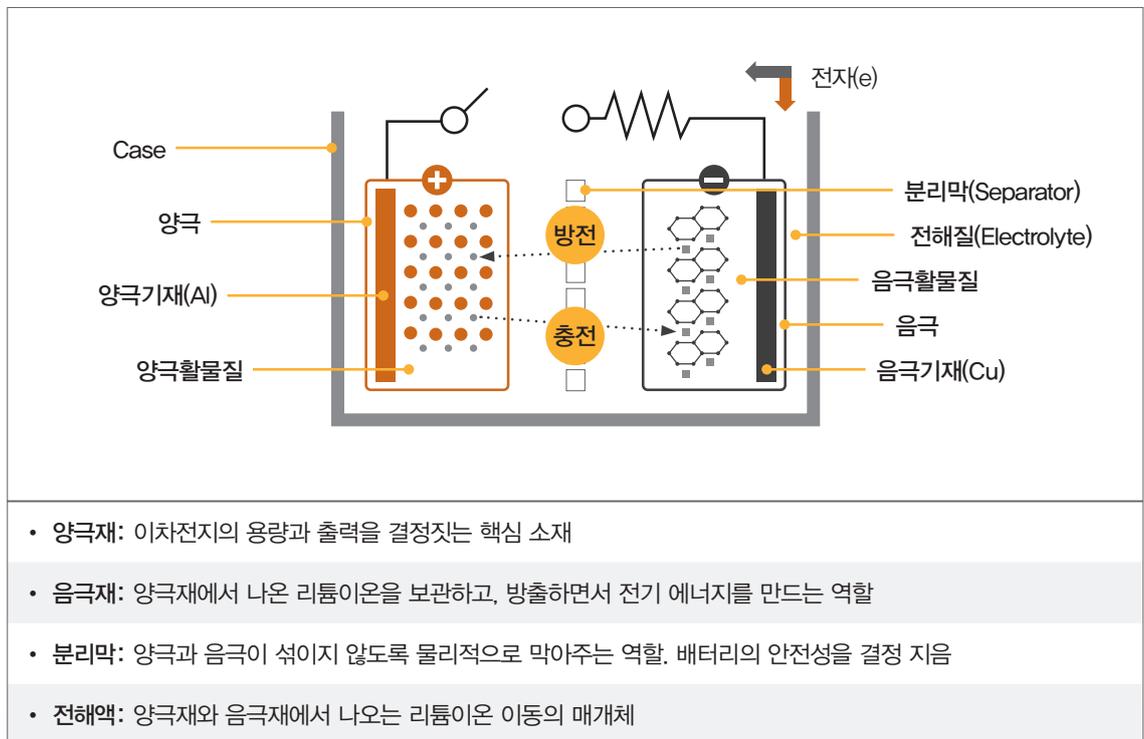


## ② 이차전지의 구조: 리튬이온 이차전지

### 1) 화학적 구성 및 작동 원리

리튬이온 이차전지는 양극재, 음극재, 분리막, 전해질 등으로 구성된다. 리튬이온이 충전시 양극에서 음극으로 이동하고, 방전시 음극에서 양극으로 이동하며 이 사이 전압차에 의해 에너지가 발생하게 된다. 분리막은 양극재와 음극재를 분리시키면서 리튬이온을 통과시키는 고분자 필름이며, 전해액은 이온이 이동할 수 있는 통로 제공의 역할을 한다. 양극재와 음극재 사이의 전압차인 '전위(전기에너지 위치)'가 곧 배터리의 전압이므로, 음극재 전위 낮게 하거나 양극재 전위를 높게 하기 위해 기술이 진화 중이다.

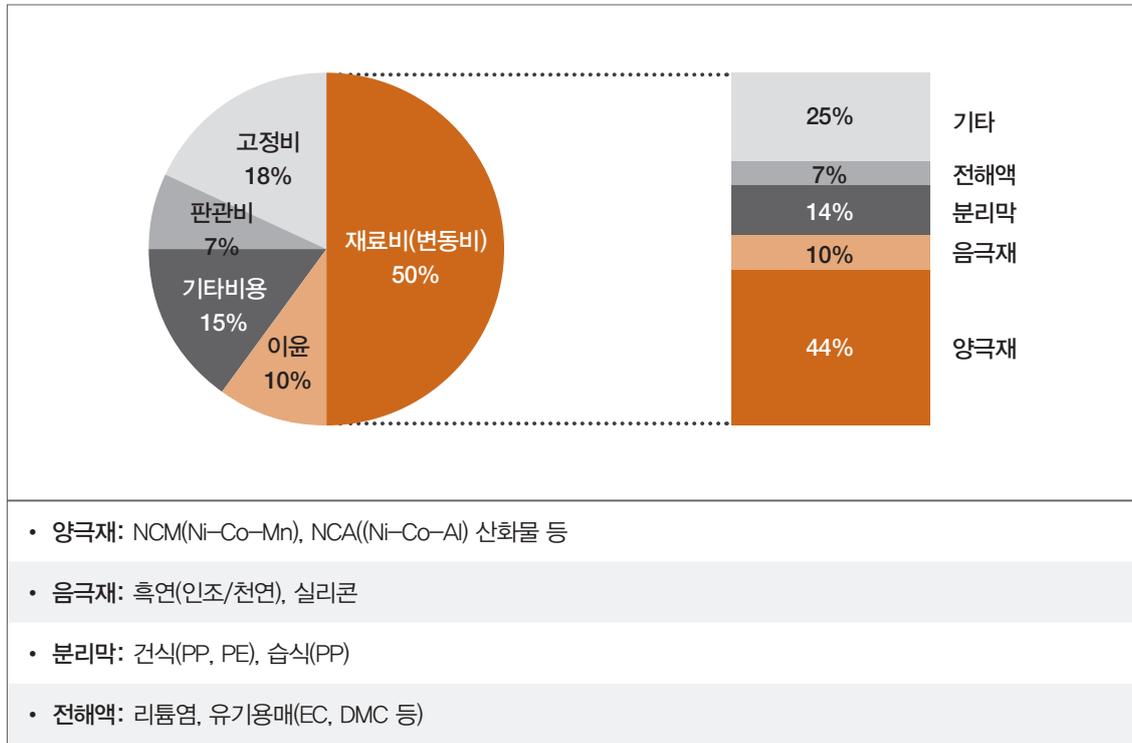
그림 33. 리튬이온 이차전지의 구조



자료: PwC

원가구조 측면에서 보면 전체 비용에서 소재가 차지하는 비중이 50% 수준이며, 소재 내에서는 양극재 44%, 분리막 14%, 음극재 10%, 전해액 7% 순으로 제조 단가를 구성하고 있다. 특히 양극재와 음극재는 배터리의 가장 핵심이 되는 소재로, 양극재는 리튬이온의 소스로 배터리 용량과 평균 전압을 결정하고, 음극재는 충전속도와 수명을 결정한다.

그림 34. 리튬이온 이차전지의 원가 구조 및 소재

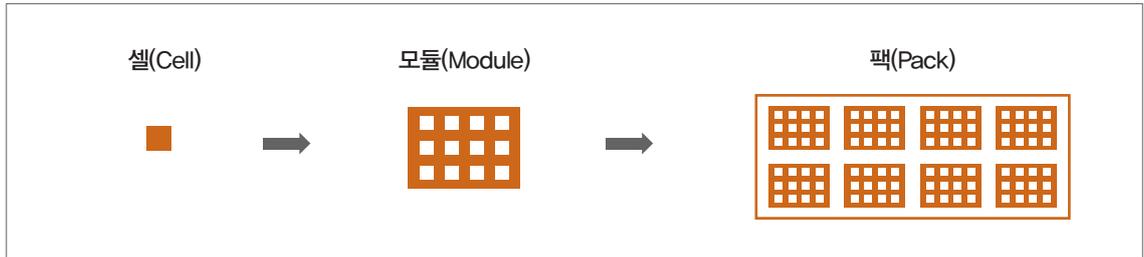


\* 전기차 배터리 기준  
 자료: 한국전지산업협회(2021), PwC

## 2) 외적 구성

배터리는 셀(cell), 모듈(module), 팩(pack)으로 구성되어 용량 조절이 가능하다. 셀은 배터리의 최소 단위이자 성능을 좌우하는 단위로, 단위 부피당 높은 용량이 요구된다. 셀을 외부 충격 및 열로부터 보호하기 위해 일정한 개수로 묶어 프레임에 넣어 구성된 조립체가 모듈이다. 최종적으로 모듈에 배터리관리시스템, 냉각 장치 등 제어장치를 장착하여 일체화된 팩이 구성되고, 조합 변경이 다양하게 가능해 모듈 및 팩의 설계도 경쟁 요소로 작용한다.

그림 35. 배터리 팩 구성 과정



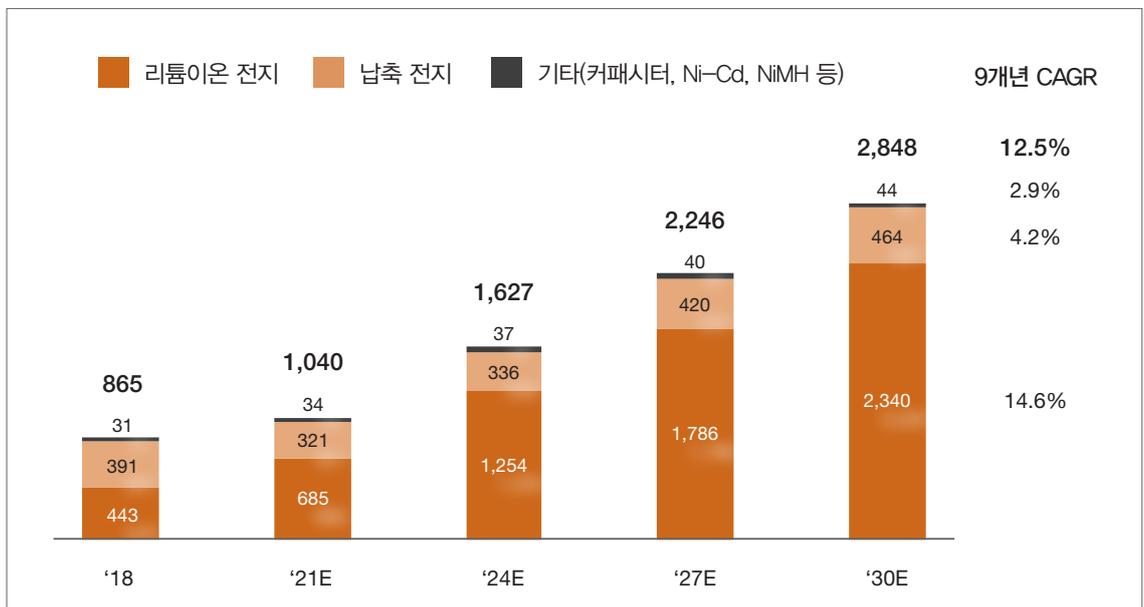
\* 12셀 = 1모듈, 8모듈 = 1팩  
 자료: 삼성SDI, PwC

### ③ 이차전지 시장 규모 및 전망

이차전지는 리튬이온 전지를 중심으로 향후 9년 간 3배 수준 성장할 것으로 전망된다. 2021년 기준 전체 이차전지 시장규모는 1,040억 달러(약 125조 원)이며, 2030년에는 2,848억 달러(약 340조 원)에 달할 것으로 예상되는데, 리튬이온 전지가 연평균 14.6% 성장하며 전체 시장 성장을 견인할 것으로 보인다.

그림 36. 전체 이차전지 시장 규모 및 전망

단위: 억 달러

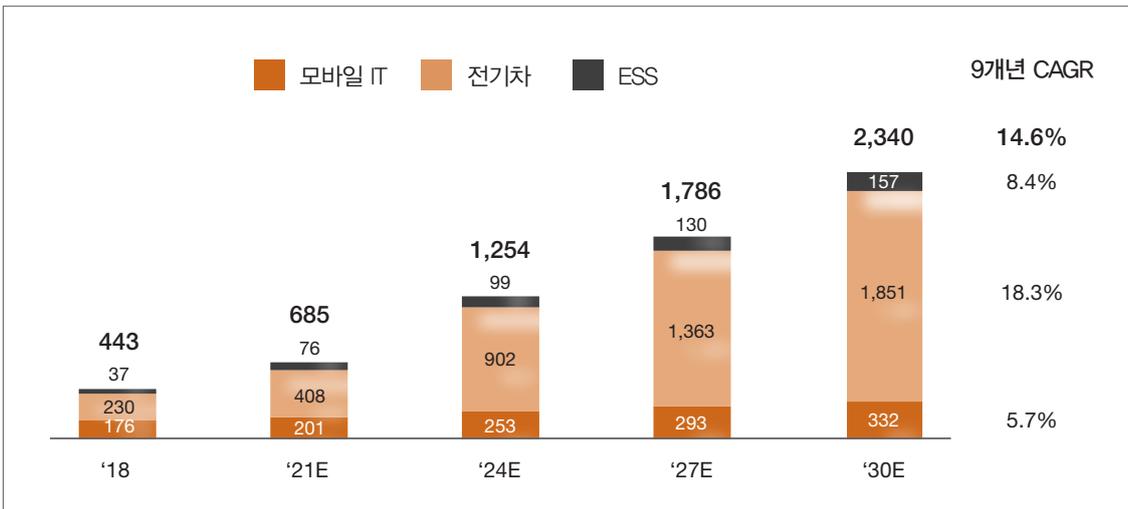


자료: 한국전지산업협회(2021), KIET산업연구원, PwC

리튬이온 이차전지 수요처 별로는 전기차가 연평균 18.3% 폭발적으로 성장하여, 2030년 기준 전기차용 배터리 시장의 규모는 1,851억 달러(약 222조 원)에 달하며, 전체 이차전지 내 65%의 비중을 차지할 것으로 전망된다. 이 외에도 에너지 저장장치(ESS)가 매년 8.4%, 모바일 IT 분야는 5.7%씩 성장하며 전 분야에서 리튬이온 전지 사용이 증가할 것으로 보인다.

그림 37. 용도별 리튬이온 이차전지 시장 규모 및 전망

단위: 억 달러



자료: 한국전지산업협회(2021), KIET산업연구원, PwC

#### ④ 글로벌 경쟁 구도

이차전지 부문은 한국(44.1%), 중국(33.2%), 일본(17.4%)이 글로벌 시장의 95%를 점유하고 있다(2020년 기준). 에너지밀도 등 전지 제조기술 수준은 3국이 유사하나, 생산성은 한국, 가격은 중국이 다소 우수한 입지를 차지하고 있다. 전기차용 이차전지에 대한 각국의 공격적 투자 진행되며 시장 선점을 위한 경쟁이 가속화되고 있는데, 중국 기업이 내수에 집중하고 있다면, 한국·일본 기업은 유럽 및 미국 등 주요 시장을 선점하기 위해 경쟁 중이다. 기업별로는(중)CATL 30%,(한)LGES 25%,(일)파나소닉 13%,(중)BYD 8%,(한)SKI 5%,(한)삼성SDI 5%의 점유율을 보이고 있다(2021년 기준).

표 17. 한국의 이차전지 세계시장 점유

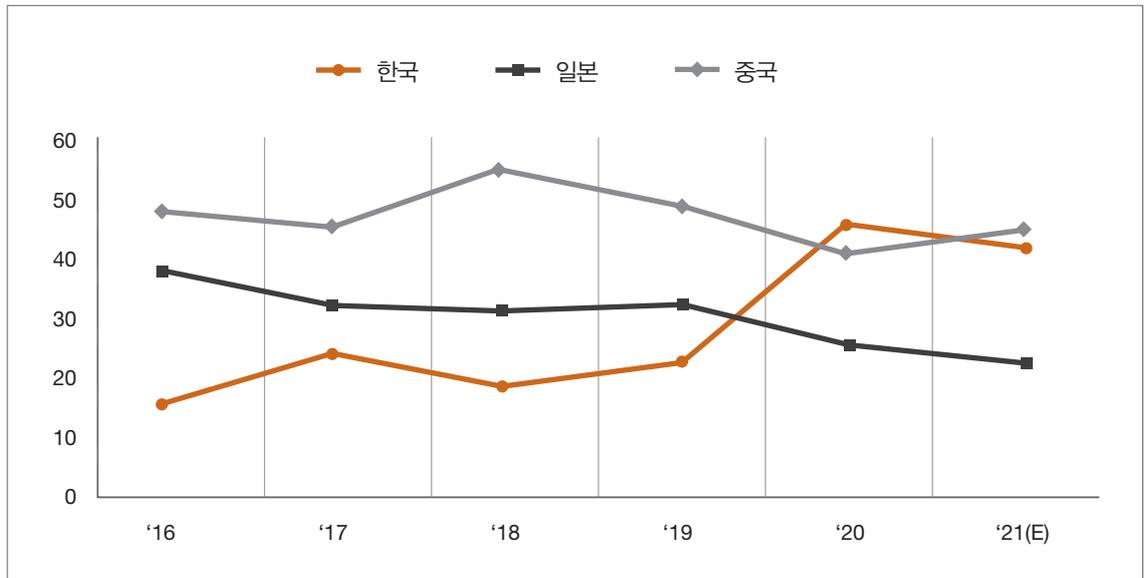
단위: %

구분	'19년	'20년	'21년(E)
IT	46.7 (1위)	45.0 (1위)	44.5 (1위)
EV	22.1 (3위)	39.8 (1위)	38.7 (2위)
ESS	66.5 (1위)	70.5 (1위)	72.7 (1위)
종합	34.3 (2위)	44.1 (1위)	43.6 (1위)

자료: 산업통상부(2021.04), PwC

그림 38. 전기차용 이차전지 시장 점유율: 국가별

단위: %



자료: 산업통상부, PwC

표 18. 한·중·일 이차전지 경쟁력 비교

구분	한국	중국	일본
에너지밀도	250~300Wh/kg		
가격	100	95	100
생산성	100	90	95

\* 가격 및 생산성: 한국=100 기준 비교 분석

자료: 전지협회(2020), PwC

이차전지의 급속한 성장과 함께 세계 각국에서 폐배터리 처리 문제가 사회적으로 대두되고 있다. 이차전지 중 납축전지의 경우 재활용 시스템이 잘 구축되어 있는데, 미국의 사례를 볼 경우 에도 납축전지의 약 98%가 수집되어 재활용되고 있으며, 역수송에 의해 생산자에게 반환되는 시스템이 구축되어 있다. 그러나 리튬이온 전지는 재활용이 활성화되어 있지 않으며, 이는 자동차 제조사별 상이한 요구사항, 배터리 제품의 다양성·복잡성, 화학적 재료 차이에 의한 공정의 다양성 등에 기인한다. 리튬이온 이차전지 재활용의 필요성은 ① 환경적 관점과 ② 경제적 관점에서 살펴볼 수 있다.

### ① 환경적 관점

전기차 도입의 가장 큰 이유가 친환경이기 때문에, 배터리를 안전하게 수거해 환경오염 이슈 없이 재활용하는 것이 친환경적 전기차 생태계를 완성하는 마지막 퍼즐이다. 국립환경과학원은 리튬·망간·니켈 등으로 구성된 폐배터리를 유독 물질로 분류하고 있는데, 전기차 배터리가 외부 노출 시 화재와 폭발 위험이 있고, 함부로 버릴 경우 환경오염 악화로 이어질 수 있는 점 고려 시, 폐배터리 안전한 처리가 반드시 필요하다.

또한 배터리에는 여러 가지 고가의 희유금속이 함유되어 있어, 자원 보전 및 순환경제 관점에서도 재활용과 재사용이 필수적이다. 수명이 종료된 폐배터리 재활용시 은·구리·니켈·코발트·리튬 등 희토류의 80% 이상을 재추출 할 수 있어, 이를 위한 재활용 시스템 구축이 요구된다.

표 19. 폐배터리가 인체 건강 및 환경에 미치는 영향

성분	건강 영향	환경 영향
니켈	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 니켈카보닐은 폐암과 비강 암의 원인</li> <li>• 가려움증 및 작열감과 같은 피부 질환 및 피부가 건조하고 비늘이 생기는 경향</li> <li>• 니켈로 오염된 물은 단백질과 같은 신장</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 니켈 노출은 식물의 녹색 색소 결핍을 유발하며 인간의 철분 결핍과 유사한 영향 미침</li> <li>• 콜로이드 니켈은 동물에게 악영향을 미침</li> </ul>
리튬	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 신체의 수분 균형에 심각한 장애</li> <li>• 갑상선 호르몬 합성을 차단</li> <li>• 졸음, 언어장애, 떨림, 불안정한 걸음걸이, 근육 경련, 근 긴장, 발한 및 발열 유발</li> <li>• 영향을 받은 어린이는 체중 증가, 구토,</li> <li>• 두통, 메스꺼움 및 떨림으로 고통</li> <li>• 급성 및 만성 신부전을 일으킬 수 있음</li> <li>• 임신부에 대한 부작용</li> <li>• 리튬에 감염된 영아는 얇은 호흡, 무기력, 청색증 및 서맥 경험</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 탄수화물 대사의 간섭과 설치류의 성장 및 뇌하수체 호르몬 변화</li> <li>• 전염병으로 이어지는 생리학적 및 면역학적 불규칙성</li> <li>• 구개열, 골격 기형 같은 선천적 장애</li> <li>• 시험 동물의 뇌 성장 장애</li> </ul>

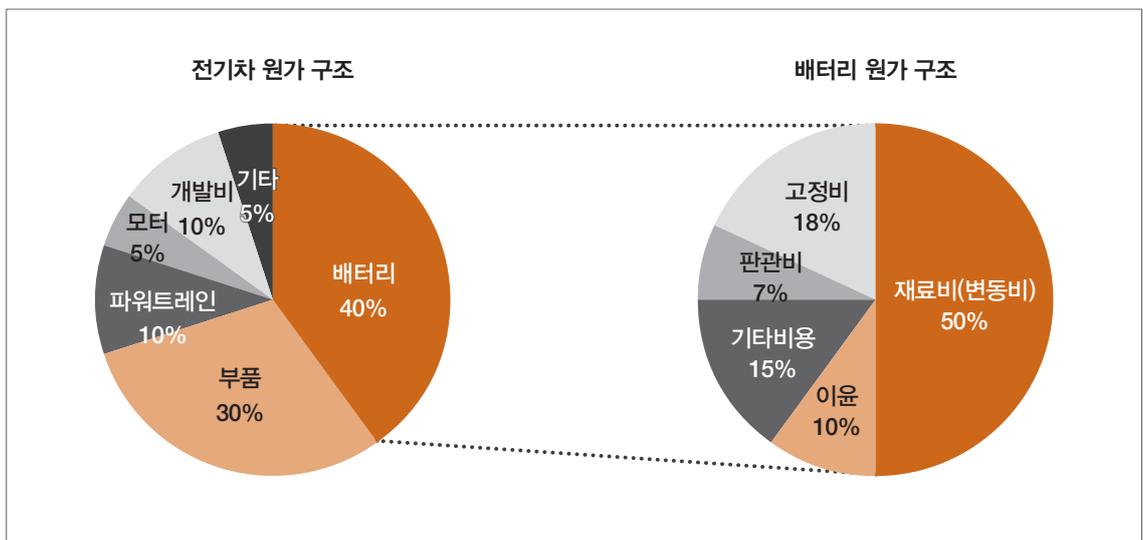
성분	건강 영향	환경 영향
망간	<ul style="list-style-type: none"> <li>노출시 기침, 복통 및 메스꺼움을 유발</li> <li>'망간 광기' 또는 '파킨슨병' 등 신경 정신병 장애 유발</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>가연성의 미세 분산 입자는 공기 중에서 폭발성 혼합물을 형성</li> <li>해양 무척추동물의 면역 체계에 영향</li> <li>일부 조류에서 철분 결핍을 유도하여 엽록소 합성을 억제</li> <li>목화의 주름진 잎과 감자의 줄기 괴사와 같은 일부 작물에 장애를 유발</li> </ul>

자료: 환경부, PwC

## ② 경제적 관점

전기차 내에서 배터리의 원가 비중은 40% 수준이며, 배터리 내 소재(변동비)가 차지하는 비중은 50%다. 따라서 이차전지 산업과 이에 기반한 전기차 산업의 확산을 위해서는, 안정적인 소재 확보가 필수적이며, 폐 배터리의 재활용은 거의 모든 소재(원료)를 수입에 의존하는 국내 실정상 타국가 대비 더욱 중요할 수밖에 없다. 전기차 한대당 니켈과 코발트만 추출한다고 가정해도 약 1백만 원 이상의 가치가 있다고 알려져 있는데, 향후 국내 연간 말소 등록 차량 130만대가 모두 전기차로 변환된다고 가정 시, 연간 1.3조 원 이상의 시장 규모가 형성될 수 있다.

그림 39. 전기차 및 배터리 원가 구조



자료: 한국전지산업협회(2021), PwC

## ① EU

유럽에서는 매년 80만 톤의 자동차 배터리, 19만 톤의 산업용 배터리, 16만 톤의 일반 소비자 배터리가 소비된다. 이와 같이 엄청난 양의 배터리로 인한 환경오염 문제를 인식하고, EU는 2006년에 배터리 관련 법안인 EU 배터리 지침(Directive 2006/66/EC)을 발표했다.

표 20. EU 배터리 지침(Directive 2006/66/EC) 주요 내용

주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배터리와 폐배터리가 가져올 수 있는 부정적 효과 최소화</li> <li>• EU 시장의 배터리 관련 요구사항 통일</li> <li>• 유해한 물질이 들어간 배터리의 판매 금지 (수은: 배터리 무게의 0.0005% 이상 포함 금지 / 카드뮴: 배터리 무게의 0.002% 이상 포함 금지)</li> <li>• 배터리 수거와 재사용에 대한 기준 명시</li> <li>• 배터리 라벨링에 관한 규정과 기계로부터 배터리를 제거할 수 있는 기준 명시</li> </ul>
폐배터리 수거 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 휴대용 배터리 수거 장소를 일반 시민이 접근 가능한 거주지 근처에 설치하고, 소비자가 폐배터리를 버릴 때 비용 부과 금지</li> <li>• 2012년 9월까지 모든 EU 국가의 수거율 25% 달성, 2016년 9월까지 45% 달성 목표</li> </ul>
재활용 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU 국가들의 폐배터리 재활용 기술 개발 지원을 지침에 명시</li> </ul>

자료: 유럽연합 의회, KOTRA, PwC

2019년 4월 유럽연합 의회는 EU 배터리 지침이 잘 시행되고 있는지 평가 보고서를 발표했는데 해당 보고서에서는 i) 폐배터리 수거 관리에 EU 국가들의 법적 의무가 없고 ii) 폐배터리 재활용에 대한 구체적인 목표가 없다는 기존 지침의 한계를 지적했다. 이러한 한계점의 보완을 위해 2020년 12월 새로운 배터리 규제안(Batteries Regulation)을 발표했다. 새로 발표된 배터리 규제안의 골자는 EU 시장에서 거래되는 배터리들이 수명기간 동안 안전해야 함과 동시에 재활용·재사용 가능해야 한다는 점이며, 이는 유럽 그린딜의 핵심 목표이기도 하다.

표 21. 배터리 규제안(Batteries Regulation) 주요 내용

주요 내용	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EU 시장에 출시된 배터리는 전체 수명주기 동안 지속 가능하고 성능이 뛰어나며 안전해야 함. 또한 수명이 다한 배터리는 재활용 또는 재사용하여 원료를 경제에 다시 공급해야 함</li> <li>• EU 시장에 출시된 모든 배터리(산업용, 자동차/전기자동차용, 휴대용)는 2024년부터 탄소발자국을 공개해야 함</li> </ul>
폐배터리 수거 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 재료 재활용 비율을 높이기 위해 폐배터리 수거 비율도 높일 계획             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2020년 현재 수거율 45% → 2025년 65% → 2030년 70%</li> </ul> </li> </ul>
재활용 관련	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 배터리 주재료의 일정 부분을 재활용 원료 사용해야 함             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2030년 1월부터 배터리에 사용하는 코발트의 12%, 리튬 4%, 니켈 4%는 반드시 재활용 원료를 쓰도록 제안</li> <li>- 2035년부터는 코발트 20%, 리튬 10%, 니켈 12%로 강화</li> </ul> </li> </ul>

자료: 유럽연합 의회, KOTRA, PwC

## ② 미국

미국은 바이든 정부의 친환경 정책 기조와 전기차 시장 성장세에 맞물려, 폐배터리 재활용에 대한 수요가 빠르게 증가하고 있다. 2019년 배터리 재활용 인프라에 2,050만 달러를 투자했으며 배터리 수거 및 재처리율을 5%에서 90%로 확대할 계획을 밝히고 있으나, 연방정부 차원이 아닌 주정부 차원의 규제가 가진 한계로 인해, 일관된 규정 적용에는 다소 시일이 소요될 것으로 판단한다.

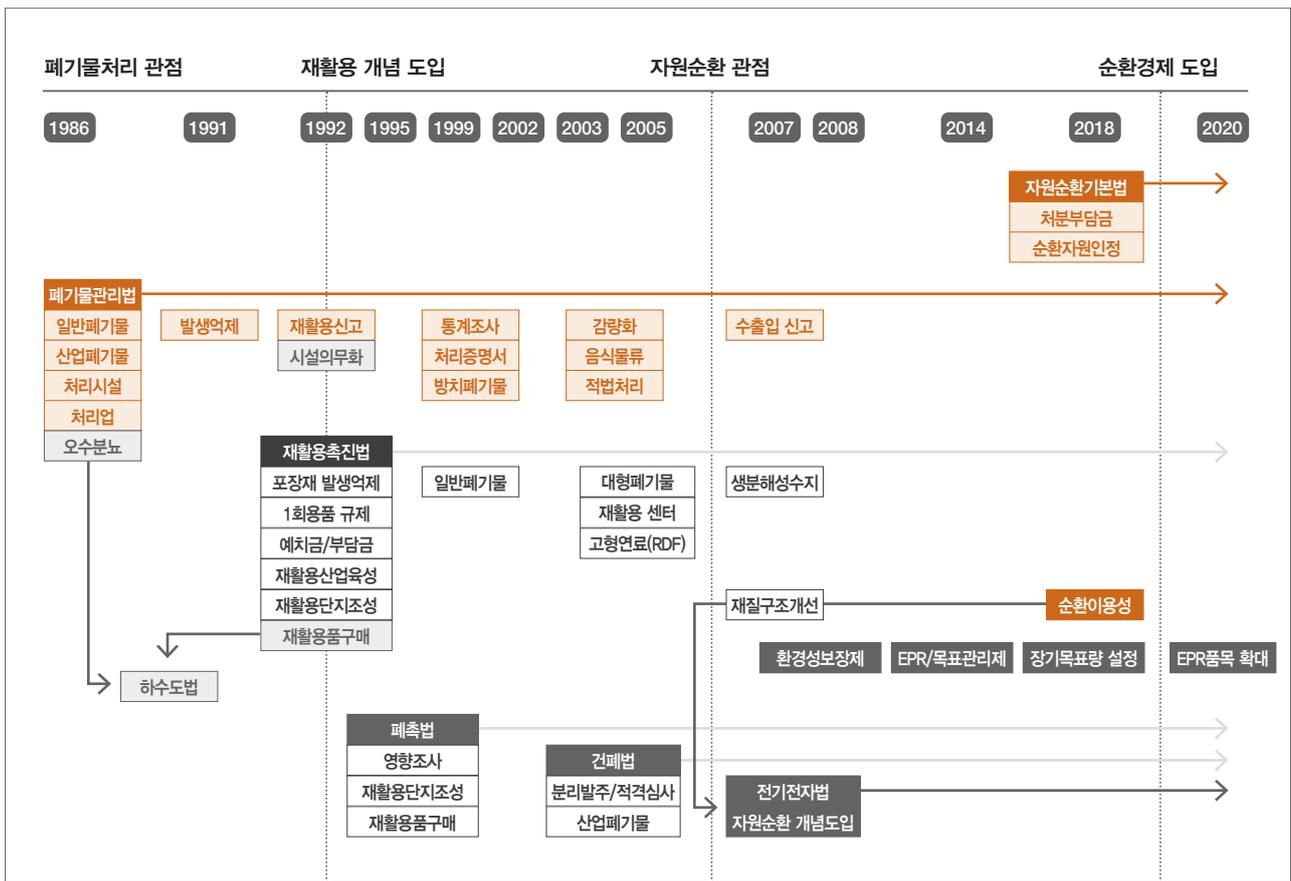
## ③ 중국

중국 정부는 자동차 및 배터리 제조사, 폐차 회수 및 분해기업들이 폐배터리 회수 및 재활용 시스템 구축에 적극 동참하도록 하기 위해, 2018년 '신에너지자동차 배터리 회수·이용 잠정 방법'을 발표하였다. 해당 방침의 일환으로 폐배터리 재활용 시범사업을 진행 중인데, 2018년 7월부터 17개 지역에 배터리 재활용센터를 세우고 배터리 제조사, 중고차 판매상, 폐기물 회사와 공동으로 폐배터리 회수·재판매가 가능한 시스템을 구축하고 있다. 또한, 자동차 제조사에 배터리 회수와 재활용 네트워크 구축 책임을 지우고 배터리 추적 시스템을 갖추도록 하였다.

#### ④ 국내

정부는 2007년 4월 ‘전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률(이하 전기전자법)’을 공포하고, 2008년부터 전기·전자제품 및 자동차 생산 시 유해물질 사용제한 및 재활용 촉진 등을 제도화한 환경성 보장제를 시행 중이다. 해당 법에 따라 전지 6종(수은전지, 산화은전지, 니켈·카드뮴 전지, 리튬 일차전지, 망간·알칼리전지, 니켈수소전지)은 생산자책임 재활용의 의무대상 품목으로 지정하고 있으나, 전기차 성장과 함께 급증하고 있는 리튬이온 이차전지에 대한 재활용에 대한 규정은 존재하지 않았다. 이에 환경부는 2018년과 2021년에 걸쳐 폐자원의 적정처리 및 재활용을 위하여 ‘전기전자법’ 및 ‘폐기물관리법’을 개정하였다. 해당 법에 의해 폐배터리의 운송·보관·재활용 등에 관한 기준이 마련되었으며, 이 외에도 정부는 2020년부터 총 171억 원의 예산을 투입하여 ‘미래 폐자원 거점 수거센터’를 통한 공공 수거체계 구축을 진행 중이다.

그림 40. 한국의 폐기물 법률 및 제도



자료: 국가법령정보센터, 환경부, PwC

이외에도 정부는 2021년 7월 ‘2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략’을 발표하고, 폐배터리 수거부터 활용, 각 분야별 정보 공유를 위한 종합정보시스템 구축까지의 전방위적 사업을 추진하고 있다.

표 22. 폐배터리(이차전지) 시장 활성화 전략

성분		환경 영향				
회수체계 마련	<ul style="list-style-type: none"> <li>전국 4개 권역에 거점수거센터를 구축 - 수도권(시흥), 영남권(대구), 호남권(정읍), 충청권(홍성)</li> </ul>					
활용기반 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>기업의 이차전지 선별(성능 안전성평가 등) 및 제품화를 지원하기 위해 '사용 후 이차전지 산업화 센터' 확대 구축</li> </ul> <p>[사용 후 이차전지 산업화 센터]</p>					
	지역	제주	전남 나주	울산	경북 포항	충북 진천
	구축	'19.10월	'21.12월	'21.12월	'20.9월	'20.5월
	연간 처리용량	(팩)750대 (모듈)6,000대	(팩)1,250대 (모듈)17,000대	(팩)600대 (모듈)1,400대	(팩)2,400대 (모듈)6,400대	(팩)14,400대 (모듈)14,400대
제품화	<ul style="list-style-type: none"> <li>산업화 센터 중심으로 ESS, 전동카트 등 폐배터리를 활용한 응용제품 개발 및 제품 성능 안전성 평가 기술, 배터리 관리기술(BMS) 등 기술 이전</li> <li>ESS 등 폐 이차전지를 활용한 제품의 안전성 사업성 검증을 위해 실증특례를 적용하는 규제 샌드박스 사업('20~'22년) 추진</li> </ul>					
종합 정보시스템 구축	<ul style="list-style-type: none"> <li>폐 이차전지 '회수 → 수집·운반 → 보관 → 성능평가 → 민간매각'全过程 관리를 위해 '종합정보관리시스템' 구축('22~'24년)</li> </ul> <p>[종합정보관리시스템]</p>					
	시스템 통합 연계	국토부	환경부	산업부, 중기부		
		차량등록말소정보, 사고이력정보	전기차 보조금, 폐배터리 회수	성능평가검사정보		

자료: 정부부처 합동(2020.07), PwC

폐배터리 처리 방법은 크게 재사용(Re-Use)과 재활용(Re-Cycling)의 두 가지로 나누어진다. 재사용은 통상 중대형 전지에 적용하는데, 전기차 등에서 분리된 전지를 ESS(에너지 저장장치)등의 전원으로 사용하는 것이며, 현재 기술 개발 단계로 상용화 되지 않았다. 재활용은 배터리 크기에 관계없이 적용 가능하나 주로 소형전지를 중심으로 이루어지고 있으며, 폐전지로부터 희유금속을 추출해 금속을 다시 활용하는 것을 의미한다.

그림 41. 폐배터리 재활용의 방법



자료: 산업통상자원부, PwC

① 폐배터리 재사용(Re-Use)

일반적으로 수거한 폐배터리를 약간의 공정을 거쳐 다시 제품화하여 사용하는 것으로, 주로 전기차에 사용되는 중·대형 리튬이온 이차전지를 대상으로 한다. 초기 용량 대비 70% 이하로 성능이 저하된 배터리는 급제동·가속 등의 고출력을 요구하는 자동차에는 사용이 어렵지만, 고출력을 요구하지 않는 분야에는 용도 변경을 통해 짧게는 3년에서 길게는 10년 이상 사용이 가능하다.

그림 42. 폐배터리 Re-Use 공정도



자료: 환경부, PwC

재사용 과정에서 팩, 모듈, 셀로 나눌수록 해체 난이도가 높아진다. 배터리 팩을 재사용하는 경우에는 공정이 단순하나, 배터리 팩의 형태가 달라 재활용되는 제품 적용이 제한적이다. 셀로 분해 후 재조립하면 제품 적용이 용이하나 해체 비용이 많이 든다. 해체는 작업자의 수작업으로 진행될 수밖에 없어 노동집약적이고, 배터리 팩의 형태가 다양해 자동화하기엔 한계가 있다.

표 23. Re-use 배터리의 활용 단위별 특징

구분	배터리 셀	배터리 모듈	배터리 팩
형상			
해체 시간 / 난이도	上	中	下
장점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 불량 Cell 대처 가능</li> <li>• 다양한 형태의 ESS 구성 용이</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해체 비용 저렴</li> <li>• 용도에 따른 제한적 재구성 가능</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 해체 비용 저렴</li> <li>• 해체 후 단순 조립으로 ESS 생산 가능</li> </ul>
단점	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모듈 해체 시간 및 비용 증가</li> <li>• 모듈 해체 시 화재 위험 증가</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 모듈 내 일부 Cell 불량시 성능 저하</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 특정 모듈 및 Cell 불량시 성능 저하</li> </ul>

자료: 환경부, PwC

Re-use 시장은 전기차 시장 개화가 오래되지 않아 수거가능한 배터리가 적고, 지역별로 수거처가 분산되어 있는데다 이동 중 폭발 등의 위험이 있어 아직은 활성화되지 않은 시장이다. Re-use 배터리 개발은 완성차 업체가 주도하여 진행 중이며, 국내의 경우 2017년 현대자동차가 폐배터리와 신규 배터리를 결합하여 ESS로 제조한 사례가 존재한다. 국외도 GM, BMW, Nissan 등 완성차 업체 위주로 Re-use 사례가 있으나 실용화 단계는 아니며, 연구단계 수준에 머물고 있다.

## ② 폐배터리 재활용(Re-Cycling)

배터리 Re-Cycling 은 수명이 다한 배터리에서, 양극재에 포함된 희유 금속인 니켈·코발트·망간 등과 알루미늄·구리·플라스틱 등의 배터리 원재료를 회수하는 것을 의미한다. 주로 소형 리튬이온 이차전지인 LCO계를 중심으로 수행되고 있으며, 회수공정은 i) 폐전지 폭발위험 제거 및 파쇄하는 전처리와 ii) 화학용액을 활용하여 희유금속을 회수하는 후처리 공정으로 구분된다. 기술적 난이도가 높은 단계는 후처리 공정으로, 황산용액(H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>)의 농도조절과 전해정련을 통한 희유금속 회수가 핵심기술이며, 해당 공정을 수차례 반복적으로 수행하면서 99.9% 이상의 순도로 정제된다.

표 24. 폐배터리 Re-Cycling 공정도

구분	공정명	공정 세부내용	최종제품
전처리	폐전지 방전	페리튬 2차전지 방전을 통한 폭발위험 제거	투입원료 LCO계 : 40% NCM계 : 50% NCA계 : 10%
	폐전지 파쇄	폐전지를 분쇄기에 장입하여 파쇄	
	자석 및 비중선별	자석 및 무게로 외장캔, 분리막 및 음·양극 등 분류	
후처리	CoSO <sub>4</sub> 및 MnSO <sub>4</sub> 회수	황산(H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> )용액으로 황산코발트(CoSO <sub>4</sub> ) 및 황산망간(MnSO <sub>4</sub> ) 회수	CoSO <sub>4</sub> 분말, MnSO <sub>4</sub> 분말
	Ni 회수	전해공정으로 니켈(Ni) 회수	Ni 금속
	Co, LiPO <sub>3</sub> 회수	각 용액으로부터 고체 상태의 고순도 Co, Ni 회수	Co 금속, LiPO <sub>3</sub> 분말

자료: 환경부, PwC

Re-Cycling 기술은 크게 건식 제련과 습식 제련 두 가지로 나뉘며, 이외에도 양·음극활물질을 직접 recycle하는 direct recycle 방식이 있으나 이는 현재 연구단계에 있는 기술이다. 재활용 처리공정은 습식 제련만 하거나, 습식과 건식 제련을 혼합하는 방법이 있다.

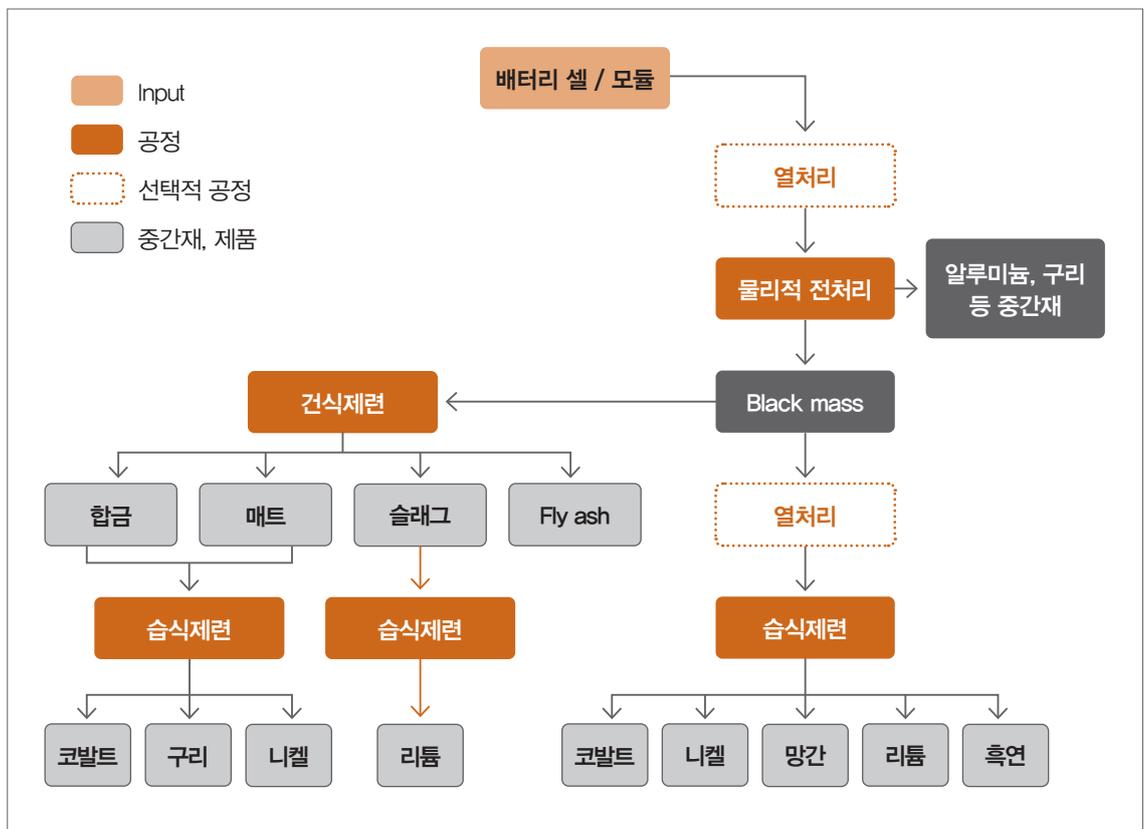
### 1) Re-Cycling 기술: 습식 제련

습식 제련은 광석·폐기물 등을 물·수용액·유기용매와 반응시켜 금속을 얻는 제련 공정이다. 배터리의 경우 방전시킨 배터리를 기계장치에 넣어 파쇄시키는 물리적 전처리 후, 밀도와 자력을 활용해 희유 금속이 포함되어 있는 black mass와 알루미늄·구리 등을 분류한다. 이렇게 분류된 black mass를 주로 황산을 사용하여 녹인 다음 여과-용매추출-침출 과정을 거쳐 니켈·코발트·망간을 회수한다. 습식 제련의 장점은 연소 과정이 불필요해 이산화탄소 배출이 없다는 점과 현 기술로는 건식 제련에서 회수하기 힘든 리튬과 망간을 추출할 수 있다는 것이다. 그러나 낮은 온도에서 수행되기 때문에 금속 회수를 위한 오랜 공정시간이 소요되고, 대량의 제련을 하기에는 어려움이 따른다는 단점이 있다.

## 2) Re-Cycling 기술: 건식 제련

건식 제련이란 광석으로부터 금속을 얻는 과정에 있어 열을 이용하여 금속을 녹이는 기술을 말한다. 흔히 '제련'하면 떠오르는 것이 뜨거운 용광로와 펄펄 끓는 쇠물인데, 그것이 바로 건식 제련의 한 모습이다. 배터리 건식 제련은 먼저 폐배터리를 용융로를 통한 고온의 열처리로 메탈 혼합물(니켈, 코발트, 구리 함유), 슬래그(리튬, 알루미늄, 망간 등 함유)로 만든다. 이렇게 만들어진 메탈 혼합물을 습식 제련을 통해 니켈, 코발트를 회수한다. 건식 제련은 결국 만들어진 메탈 혼합물의 습식 제련을 통해 희유 금속을 회수하는 과정이 필요한 기술이지만, 그럼에도 불구하고 대량의 recycle이 가능하기 때문에 많은 업체들이 채택 중에 있다. 하지만 건식 제련은 높은 온도의 열을 가해 줘야하는 공정상의 이유로 이산화탄소 배출이 불가피하며, 용융로 등의 설비가 필요해 초기 많은 CAPEX가 필요하다.

그림 43. 습식 제련 vs 건식 제련 공정도



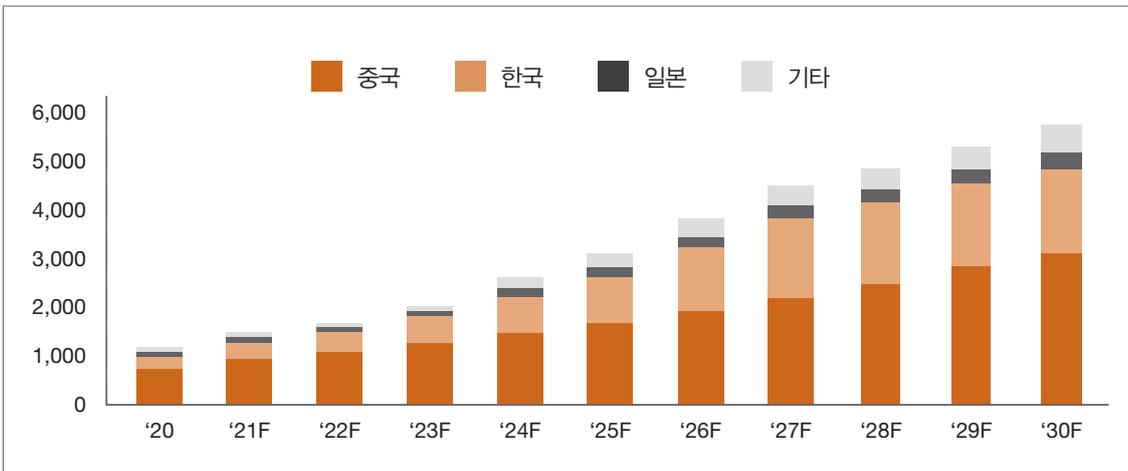
자료: 한국전지산업협회, PwC

수거가 어렵고 고가의 코발트 함량이 높은 IT기기에서 배출되는 소형 폐전지는 Re-Cycling에 적합하며, 수거가 비교적 용이하고 자동차 운행 중 흔들림 방지를 위해 레이저 용접 등으로 강하게 결합되어 있는 전기차 폐전지는 분해도 대단히 어렵기에 Re-Use가 적합하다. 현재 폐배터리 산업에 진출한 주요 회사들은 Re-cycling에 집중하고 있지만, 전기차 누적 판매량이 빠르게 늘고 있고, 향후 전기차 폐배터리 수거율이 높아지면, 수명이 다한 전기차 배터리를 Re-Use 하는 시장이 빠르게 성장할 것으로 전망한다.

폐배터리 시장은 빠르게 커질 것이다. 성장의 방향성이 명확하고, 속도도 가파르다. SNE리서치는 글로벌 배터리 생산량이 향후 10년간 연평균 18.5% 수준 증가할 것으로 전망하고 있어, 이에 따른 폐배터리도 동반 성장할 것으로 예상된다. 또한, 통상 5년이 교체주기인 전기차 배터리의 특성과 2020년 이후의 본격적인 전기차 판매량 증가 등을 고려할 경우, 2025년 이후에는 전기차가 폐배터리 시장 성장의 중심축이 될 것으로 보인다.

그림 44. 글로벌 배터리 생산전망

단위: GWh

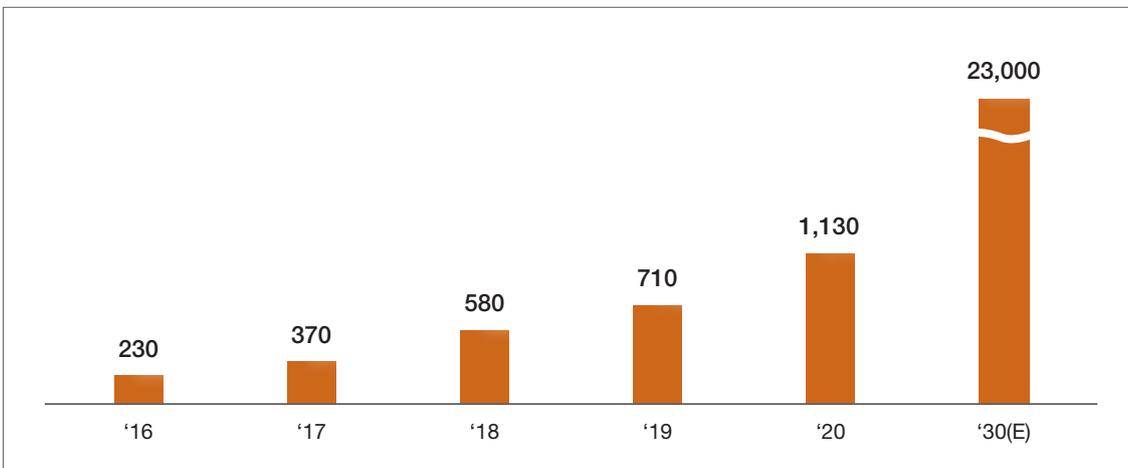


\* IT/ 전기차/ ESS 포함

자료: PwC, 기사 종합

그림 45. 글로벌 전기차 판매량(누적)

단위: 만 대



자료: 국제에너지기구(IEA), PwC

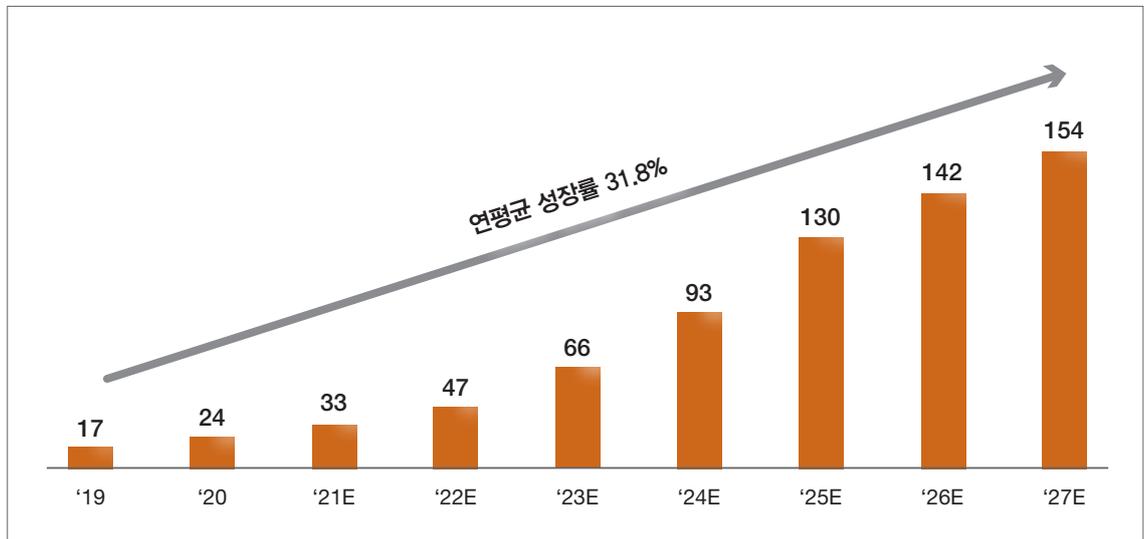
폐배터리 재활용 시장이 크게 활성화되기 위해서는 i) 수거가 원활(많이, 쉽게 수거)해야 하고, ii) 회수한 물건을 가공 후 판매함에 있어서 경제적인 이득이 있어야 하며 iii) 특히 재활용은 한정된 자원을 다시 사용함으로써 환경 보호에도 도움이 되기 때문에 정부의 지원까지 더해지면서 더욱 유망하다. 폐배터리 시장은 i) 2025년 이후 전기차용 폐배터리가 기하급수적으로 증가함에 따라 수거가 용이해지고, ii) 재활용 기술 발달에 따라 경제적 효용이 높아질 것이며, iii) 정부의 지원이 지속될 것으로 보인다. 이에 따라 향후 성장성을 의심할 여지가 없어 보인다.

### ① 글로벌

글로벌 배터리 재활용 시장은 2019년 17억 달러에서 향후 연평균 31.8% 성장하여 2027년에는 약 154억 달러에 이를 것으로 전망된다. SNE리서치도 이와 유사한 전망을 하고 있는데, 폐배터리 시장 규모는 2030년 175억 달러에서 2050년에는 5,000억 달러에 이르며, 향후 20여년간 약 30배 성장할 것으로 예측하고 있다. 이와 같은 가파른 성장의 배경에는 전기차 확산이 있다.

그림 46. 글로벌 배터리 재활용 시장 규모

단위: 억 달러



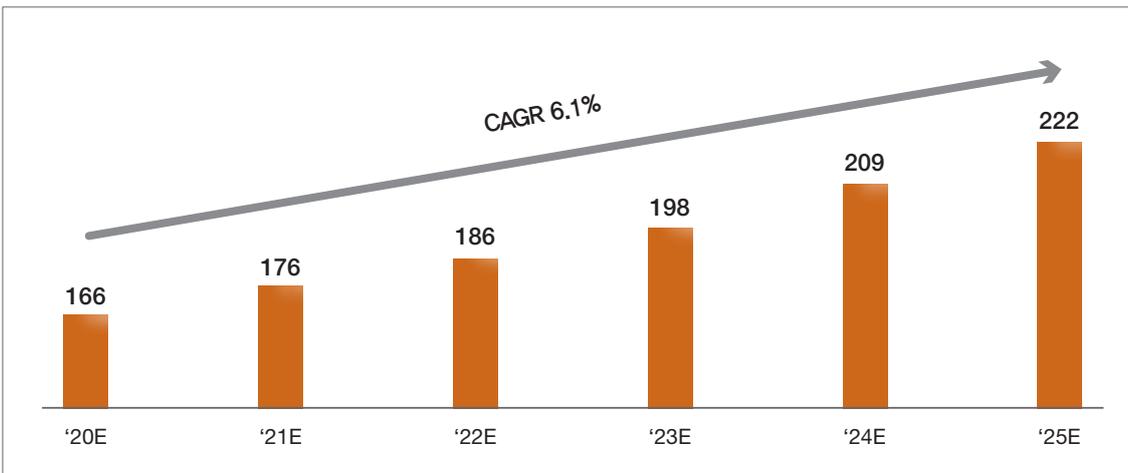
자료: PwC

## ② 국내

정부 산하 연구개발특구진흥재단의 조사에 따르면에 따르면 국내 배터리 재활용 시장은 2020년 1.7억 달러(약 1,990억 원)에서 연평균 성장률 6.1%로 증가하여, 2025년에는 2.2억 달러(약 2,650억 원)에 이를 것으로 전망된다. 2025년까지 성장률이 한자리 수에 머무는 이유는, 전기차 확산 시기 등을 고려 시 폐배터리가 본격적으로 증가하는 시점이 2025년 이후이기 때문이다. 국내 전기차 폐배터리 배출은 2019년 1백 대에서 2029년 7.9만 대로 증가할 것으로 추정되어, 2025년 이후 폐배터리 시장 성장의 핵심요소로 작용할 것으로 판단된다.

그림 47. 국내 폐배터리 시장 규모

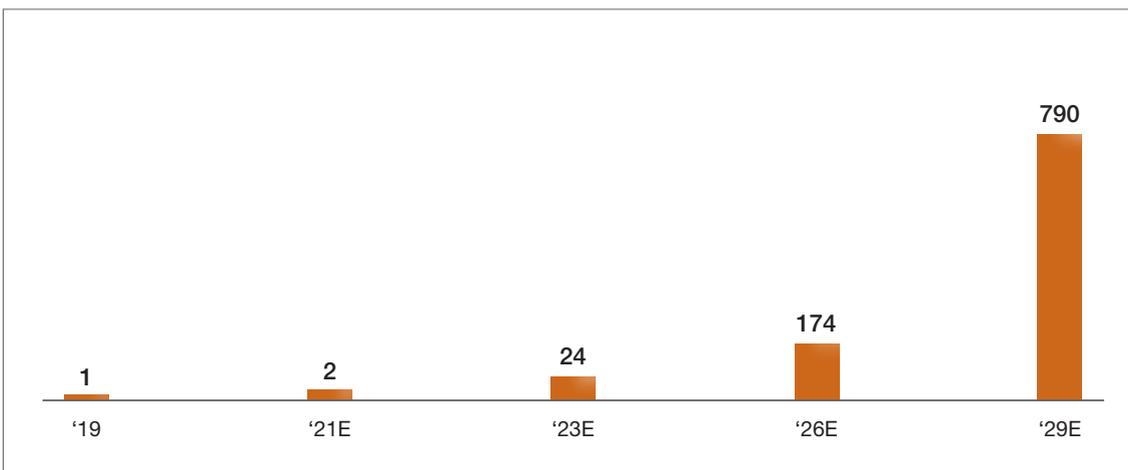
단위: 백만 달러



자료: 연구개발특구진흥재단, PwC

그림 48. 국내 전기차 폐배터리 배출 추정치

단위: 백 대



자료: 에너지경제연구원(2018), PwC

전 세계 리튬이온 배터리 재활용 시장의 주요 기업은 벨기에의 유미코어(UMICORE), 스위스의 글렌코어 인터내셔널(Glencore International), 캐나다의 러머터리얼즈(Raw Materials), 중국의 거린메이(GEM) 등이 있으며, 국내에는 성일하이텍이 배터리 재활용 전문회사이다. 이러한 폐배터리 재활용 전문기업 외에도 테슬라, 현대차와 같은 완성차 업체나 CATL(중국), BYD(중국), LG화학, 삼성SDI 등의 배터리 제조사들도 폐배터리 재활용·재사용 관련 분야에 투자를 진행하고 있다.

표 25. 주요 기업들의 폐배터리 재활용·재사용 사업 동향

기업명	국가	내용
Tesla	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>재활용 배터리 생태계 구축의 선두주자로 2019년 4월 자체 배터리 재활용 설비 계획 발표</li> <li>폐기된 전기차나 배터리 셀 등으로부터 회수한 재료를 재활용·재유통 하는 식으로 순환적인 공급망을 구축해 니켈, 구리, 코발트 등 전기차 배터리 원료 물질의 채굴 수요를 줄일 계획</li> <li>중국 상하이 기가팩토리에 배터리 재활용 시설을 추가할 계획</li> </ul>
BASF	독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>전 세계 전기자동차용 배터리 생산 업체에 양극활물질 공급을 선도</li> <li>현재 건립 중인 독일 슈바르츠하이데 양극재 공장에 전기차 폐배터리로부터 리튬이온을 회수하는 시설을 추가하여 2022년 가동할 예정</li> </ul>
CATL	중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>세계 최대 전기차 배터리 제조사</li> <li>계열사 광동방푸와 후베이이화그룹이 합작사를 설립해 중국 후베이성 이창시에 약 5조 9,200억 원 규모의 배터리 재활용 기지 건설할 계획</li> </ul>
BYD	중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국의 대표적인 배터리, 전기차 제조기업</li> <li>수명이 짧은 전기버스 배터리를 재사용으로 활용한 ESS 제품 개발 추진</li> </ul>
레드우드 머터리얼즈 (Redwood Materials)	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>테슬라 공동창업자인 JB 스트라우벨이 2017년 설립한 배터리 재활용 스타트업</li> <li>배터리를 연소시켜 내용물을 녹인 후 액체에 담겨 각 원자재를 추출하는 독자적 배터리 재활용 기술 보유</li> <li>포드, 볼보와 전기차 배터리팩 재활용 사업 발표('22.02)</li> </ul>
듀센펠드 (Duesenfeld)	독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>배터리 셀 재활용 시 91%의 높은 비율로 재료를 회수하는 리튬이온 배터리 재활용 중소기업</li> <li>고온 공정없이 적은 에너지로 높은 재료 회수율을 제공하는 방법을 개발하여 특허를 얻음</li> </ul>
리덱스 (Redux)	독일	<ul style="list-style-type: none"> <li>최대 99%의 정확도로 초당 40개의 배터리를 분류할 수 있는 프로세스 개발</li> <li>2015년 세계 최대 배터리 제조업체 중 하나인 Energizer와 협력하여 재활용 배터리 구성 요소를 재사용하여 생산된 "EcoAdvanced" 배터리 출시</li> </ul>

기업명	국가	내용
포텀 (Fortum)	핀란드	<ul style="list-style-type: none"> <li>금속 재활용 전문기업인 크리솔텍오와이(CrisolteQ Oy)를 인수하여 리튬 이온 배터리 재활용률을 약 80% 이상으로 끌어올리는 저탄소 재활용 공정 솔루션 제공</li> </ul>
리튬이온 (Lithion)	캐나다	<ul style="list-style-type: none"> <li>업계 최고 수준의 배터리 원료 회수율 및 고순도 원료 재생 기술 보유</li> <li>친환경 습식공법을 통해 폐배터리 파쇄 과정에서 폐수 및 분진을 발생시키지 않음</li> <li>종합건설사 아이에스동서의 지분 투자를 받아 한국내 친환경 습식 공법최초로 도입할 예정('22.01)</li> </ul>
유미코어 (Umicore)	벨기에	<ul style="list-style-type: none"> <li>배터리 제작과 재활용을 대표하는 유럽 기업으로, LG화학, 삼성SDI, SK이노베이션에 양극재를 공급</li> <li>재활용 분야의 핵심역량을 바탕으로 새로운 비즈니스 모델을 개발 중</li> <li>건식제련과 습식제련 기술을 결합하여 리튬 이차전지를 재활용하는 기술 보유</li> <li>3년 동안 한국 천안과 중국의 장먼에 있는 시설에 약 1억 7,700만 달러 투자 계획</li> </ul>
글렌코어 (Glencore International)	스위스	<ul style="list-style-type: none"> <li>리튬이온 배터리와 같은 니켈 함유 및 코발트 함유 물질의 재활용 및 가공 대표 기업 중 하나</li> <li>리튬이온 또는 NiMH 배터리, 촉매 및 도금 슬러지와 같은 복잡한 공급물을 안전하게 처리할 수 있는 기술 보유</li> </ul>
러머터리얼즈 (Raw Materials)	캐나다	<ul style="list-style-type: none"> <li>배터리리 재활용 기업으로 캐나다 온타리오주와 미국 뉴욕주에 배터리 재활용 시설을 운영</li> <li>배터리 수거 및 재활용 강화 위해 Call2Recycle(미국)과 파트너십을 체결</li> </ul>
리-사이클 (Li-cycle)	미국	<ul style="list-style-type: none"> <li>북미 최대 리튬이온 전지 재활용 회사로, SPA과 거래로 뉴욕 증권 거래소에 상장</li> <li>뉴욕에 1만 규모 재활용 공장 단지를 설립하는 등 빠르게 규모를 확대</li> </ul>
노스볼트 (Northvolt)	스웨덴	<ul style="list-style-type: none"> <li>Norsk Hydro와 함께 배터리 재활용 합작 회사인 Hydro Volt를 설립하고, 노르웨이 Fredrikstad에서 폐배터리를 재처리</li> <li>2022년에는 스웨덴 Skelleftea에 대형 배터리 재활용 시설 건설을 계획</li> <li>2030년까지 회수한 재활용 물질의 50% 이상을 새로운 배터리 셀 생산에 활용하는 것을 목표</li> </ul>
카멜 (Camel)	중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국의 납축전지 기업인 Camel은 2007년 리튬 이차전지 제조업체인 Camel New Energy를 설립하여 납축전지 재활용 기술을 접목한 제품 개발 중</li> </ul>
거린메이 (GEM)	중국	<ul style="list-style-type: none"> <li>BYD, 토요타, 혼다, 폭스바겐 등 100개 자동차 기업과 협업해서 중국의 동력전지 회수 체계를 구축하고, 공동으로 회수 책임을 이행. 거린메이의 폐전지 회수는 중국 전체의 10%를 차지</li> <li>국내 양극재 생산기업인 에코프로와 전기차 배터리 재활용 및 리사이클 MOU 체결 ('19.10)하고 합자회사를 설립하여 공장건설 예정</li> </ul>
현대차	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>한국수력원자력 및 OCI 등과 업무협약을 통해 전기자동차에서 발생한 폐전지를 활용한 ESS를 태양광 발전시스템에 접목하여 실증사업을 진행</li> <li>ESS 대규모 보급사업에 필요한 안정적인 생산 시스템을 확보하고자 ESS 부품 및 설계업체인 파워로직스와 공동으로 청주에 Pilot 생산라인 구축</li> </ul>
삼성SDI	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>국내 재활용 업체인 성일하이텍과 업무협약을 통해 내부에서 발생하는 소형전지 불량품 등으로부터 희유금속을 추출하여 재사용</li> </ul>

기업명	국가	내용
LG에너지솔루션	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>호주의 폐전지 재활용업체인 인바이로스트림과 협약을 통해 소형 전지 재활용 진행</li> </ul>
SK이노베이션	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>삼성SDI·LG화학과 달리 자체적으로 재활용을 수행하여 희유금속을 회수할 수 있는 기술을 개발 중</li> <li>전기자동차용 폐전지와 관련되어 렌탈(Rental)방식의 사업화 검토. 해당 방식은 기존의 자동차 회사의 전지 판매방식과 달리 일정 기간 전지를 대여하는 방식으로, 폐차 시 대여한 전지를 수거</li> </ul>
성일하이텍	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>LG에너지솔루션, 삼성SDI, SK온 등 국내 배터리3사를 비롯해 현대차 등을 고객사로 둔 폐배터리 재활용 분야의 국내 대표 기업</li> <li>2008년 전북 군산에 리튬이온 배터리의 물리적 전처리 공장을 세우며</li> <li>폐배터리 사업을 본격화. 최근 LG화학의 유럽 공장(폴란드, 헝가리)</li> <li>주변으로 폐배터리 재활용 공장 증설 진행</li> </ul>
피엠그로우	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>포항 블루밸리 산업단지에 전기차 배터리팩 설계·제작 및 중고배터리를 활용한 ESS 등 배터리 시스템 생산하는 '배터리 그린 사이클 캠프' 준공('21.07)</li> <li>데이터 분석 센터를 통해 폐배터리 등급을 분류하고, ESS, 비상전원공급장치 등 납축전지 대응 배터리 시스템 제작·생산에 나설 계획</li> </ul>
에코프로씨엔지	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>'20년 설립된 에코프로그룹 자회사로서 폐배터리 재활용 사업을 전담</li> <li>'19년 LG에너지솔루션과 폐배터리 장기공급계약 체결하여 '24년 4월까지 국내 오창 및 폴란드에서 폐배터리 약 2만 톤을 조달 받을 계획</li> <li>포항 폐배터리 재활용 공장 BRP(Battery Recycle Plant)를 가동하여 연간 2만 톤의 폐배터리 및 작업 폐물을 이용해 리튬, 니켈, 코발트 등을 회수할 예정('21.06)</li> </ul>
GS건설	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>자회사 에네르마를 설립하여 폐배터리 재활용 사업 주도('20.10)</li> <li>포항 일반산업단지에서 유가 금속을 회수하는 재활용 공장 건설 중</li> <li>'23년까지 1,500억 원을 투자해 연간 4,500톤 규모의 리튬·코발트·니켈·망간 등을 생산하고, 연간 1만 6,000톤까지 생산량을 늘릴 계획</li> </ul>
포스코	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>중국 화유코발트와 합작회사 '포스코HY클린메탈'을 설립하여 '22년 7월 준공 예정인 폐배터리 재활용 시설 구축 중</li> <li>유럽 공장에서 전처리한 폐배터리 분말을 들여와 유가 금속 추출 예정</li> <li>광양 경제자유구역 울촌산업단지에 1,200억 원을 투자해 폐배터리 분말을 연간 1만 톤 처리할 수 있는 생산라인을 착공할 계획</li> </ul>
영풍	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>사용 후 전기차 배터리에서 건식용융기술을 통해 주요 배터리 원료 소재 95% 이상을 회수하고, 더스트 집진 설비를 이용해 리튬을 90% 이상 회수할 수 있는 기술 확보('21.05)</li> <li>'22년까지 연간 배터리 2,000톤 처리 규모의 파일럿 공장을 완공하고, '23년까지 대형 플랜트를 건설해 연간 최대 10만대 수준의 전기차 배터리 처리 능력을 확보할 계획</li> </ul>
영화테크	한국	<ul style="list-style-type: none"> <li>자동차부품 제조 전문기업으로, 국내 최초로 충남도와 전기차 폐배터리를 재사용한 태양광 발전설비 ESS를 제작하는 기술 개발('20.12)</li> </ul>

자료: PwC, 기사 종합

## 5. 결론

산업혁명 이후 대량생산과 소비 풍조는 자원고갈, 환경오염, 폐기물발생 및 지구온난화 문제를 야기시켰는데, 이는 제품의 제조-사용-폐기를 반복하는 선형경제에 기인된 것이다. 이러한 문제점을 극복할 대안은 자원이용 효율성 향상을 넘어서, 궁극적으로는 폐기물 발생 제로화를 추구하는 순환경제로 경제 전반의 메커니즘을 변경하는 것이다. 순환경제로의 전환은 생산과 소비를 아우르는 생활방식 전반의 거스를 수 없는 대세이며, 정부와 기업은 이러한 새로운 패러다임에 맞춘 선제적 투자를 통해, 글로벌 경제 내 우위 선점이 필요하다. 향후 순환경제를 주도할 주요 영역은 플라스틱과 배터리로, 해당 부문에 대해 요약하면 다음과 같다.

### ① 플라스틱

환경 오염에 대한 심각성은 심화되고 있으나, 오히려 플라스틱 사용량은 해마다 증가하고 있다. '21년도 글로벌 플라스틱 사용량은 코로나로 인한 택배, 음식 배달 및 포장 등의 증가로 '19년 대비 +20% 이상 증가한 것으로 추정되고 있다. 이에 따라 플라스틱 생산량 역시 계속 증가하고 있으며(국제에너지기구(IEA)에 따르면 플라스틱 생산량은 연평균 +3.4% 증가) 따라서 폐플라스틱 양도 기하급수적으로 늘어나고 있다.

플라스틱 사용량을 줄이기 어렵다면 생산된 플라스틱이 순환될 수 있도록 '순환경제'를 만들어야 한다. 비용의 문제로 플라스틱 재활용에 등한시했던 국가 및 기업들은 이제 더 이상 물러설 곳이 없다. 각국 정부 차원의 플라스틱 관련 환경 규제 강화가 기업들(특히 석유화학)에게 피할 수 없는 현안으로 다가오고 있고 소비자들의 인식 역시 친환경기업에 우호적으로 변하고 있기 때문이다. 유럽연합 회원국은 '21년 1월부터 재활용되지 않는 플라스틱 폐기물 발생량에 비례하여 1kg 당 0.8유로의 기부금을 부담하고 있다. 또한 미국에서도 바이든 행정부 출범 이후 그간 미진했던 플라스틱에 대한 규제(플라스틱 생산자에게 대단위 생산자 책임 부과 등)가 강화되고 있는 추세다. 만약 기업들이 기존과 같은 안일한 태도로 플라스틱을 생산한다면 확산되는 규제와 세금으로 인해 향후 이익이 크게 하락할 것으로 전망된다. 플라스틱 재활용은 이제 환경적 차원과 경제적 차원 양면에서 각 국가 및 기업들, 특히 석유화학 기업들에게는 피할 수 없는 거대 담론이 되어 가고 있음을 명심해야 할 것이다.

플라스틱 재활용의 방법은 물리적, 화학적, 열적 재활용 방식으로 나뉜다. 현재 활용되는 방법은 물리적 방식과 열적 재활용이나, 향후 진정한 의미에서 순환경제를 달성하기 위해서는 화학적 재활용이 필수적이다. 화학적 재활용은 처리과정에서 유해물질을 걸러낼 수 있어 물리적 재활용이 불가능한 플라스틱도 활용할 수 있으며, 폐플라스틱을 화학적 반응을 통해 최초의 원료 형태인 모노머(Monomer, 단량체)로 완전히 되돌리기 때문에, 산업 전반에 기초재료로 광범위하게 사용될 수 있다. 그러나 해당 방식은 현재 상용화 이전 단계로, 조속한 개발을 통한 글로벌 시장 선점을 위해 정부 지원과 관련 기업들의 선제적 투자가 요구된다.

## ② 배터리

이차전지는 수소 에너지와 더불어 친환경 에너지 기술 내 핵심 영역이다. 빠르게 성장하고 있는 전기차 산업과 더불어 IT, 에너지 저장장치(ESS) 등 다양한 분야에서 이차전지 사용량은 꾸준히 증가하고 있다. 한국전지산업협회에 따르면 2030년까지 이차전지 시장은 전기차 보급에 힘입어 연평균 10.5% 성장할 것으로 전망되며, 이 중 전기차 배터리 생산량은 연평균 18.3% 씩 증가할 것으로 예상된다. 통상 5~10년이 사용주기인 전기차 배터리의 수명을 고려할 경우, 2025년부터는 폐배터리가 급속도로 증가할 것으로 보이며, 수명이 끝난 배터리를 회수하여 재활용·재사용하는 기술을 개발하는 것이 중요한 현안으로 부상하고 있다.

폐배터리 사업은 Re-cycling(재활용)과 Re-use(재사용) 방식으로 구분된다. Re-use(재사용)는 수거한 폐배터리를 약간의 공정을 거쳐 다시 제품화하는 것으로, 주로 전기차에 사용되는 중·대형 리튬이온 이차전지를 대상으로 하며 아직은 활성화되지 않은 시장이다. 현재 폐배터리 사업은 대부분 Re-cycling 위주로 이루어지고 있으며, 수명이 다한 소형 리튬이온 이차전지에서 희유 금속인 니켈·코발트 등과 알루미늄·구리 등의 원재료를 회수하고 있다. 아직까지 폐배터리 산업은 Re-cycling에 집중하고 있지만, 2025년 이후 전기차 폐배터리가 증가함에 따라, 수명이 다한 전기차 배터리를 Re-Use 하는 시장이 빠르게 성장할 것으로 전망한다.

폐배터리의 친환경적 자원순환 및 신시장 창출을 위해, 수거-선별-재활용·재사용의 전체 프로세스를 망라하는 종합적 재활용 모델이 필요하다. 이를 위하여 정부의 제도적 기반 마련과 함께, 폐배터리 재활용 산업의 활성화를 위한 다양한 기술적·금융적 지원 방안 마련이 필요할 것으로 보인다.

순환경제 비즈니스는 정부 규제와 사회적 이슈에 민감한 특성을 가지고 있으며, 시장 선점을 위해서는 Feedstock(원료) 확보와 기술 혁신이 필수적이다. 이에 순환경제 비즈니스에 대한 다양한 연구와 투자, 인수·합병, 기술 제휴 등이 이루어지고 있는 가운데 정부와 기업, 개인의 입장에서 대응 전략을 제시해본다.

그림 49. 순환경제 비즈니스의 특성과 대응 방안

순환경제 비즈니스의 주요 특징	대응 방안
<b>재활용 부문이 순환경제 구현의 핵심</b> • 재활용 활성화가 순환경제 성공의 key	순환경제 구현 가능한 재활용 사업모델 및 솔루션 개발
<b>규제가 시장을 활성화시키는 산업</b> • 각국 정부의 재활용 확대 정책으로 유관 시장 활성화	재활용 관련 정부 정책에 기민한 대응
<b>Feedstock(공급원료) 확보가 필수</b> • 수요 증가에 따른 Feedstock 가격 상승 추세 • 안정적 원료 확보가 중요	Feedstock 제공 가능한 업체와 발빠른 협약
<b>인수 및 제휴로 진입하는 산업</b> • M&A 및 파트너십 기반으로 시장 진입 필요	제휴 대상 업체 Pool 상시 관리와 인수 및 제휴 추진 절차 간소화
<b>기술 혁신이 경쟁력인 산업</b> • 혁신 기술 보유 여부가 시장 지배력 결정	자체 기술 개발 및 기술 보유 기업과의 협약
<b>사회적으로 민감한 업종</b> • NIMBY 등 지역 갈등 존재 • 대기업 시장 참여를 통해 시장 재편 및 사회적 비용 감소 가능	대기업의 솔루션 및 자본력 투입으로 친환경 인식 확보

자료: PwC

표 26. 순환경제 성공을 위한 각 주체별 대응 전략

주체	대응전략
정부	<p><b>1. 컨트롤타워 구축</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 학계, 시민사회, 산업계 등 전문가들과 함께 컨트롤 타워를 구성하고, 세부적 이행계획 도출 및 이행 상황을 주도 면밀하게 모니터링</li> <li>• 제품 경량화, 산업 자동화, 지능화 트렌드에 따라 향후 생산되는 제품은 전자폐기물, 이차전지, 플라스틱이 복합적으로 사용될 것으로 전망. 이에 따라 해당 폐기물을 포괄하는 통합적 정책 필요</li> </ul>
	<p><b>2. 금융·정책 지원</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 순환경제 활성화를 위한 법적기반 마련 필요</li> <li>• ‘생산자책임제’, ‘제품 생산이력제’ 등을 위한 제도적 기반 마련과 더불어, 국제적인 통용에 필요한 산업간 표준 정립</li> <li>• 순환경제 혁신 기업에 대한 세제 및 금융 지원</li> <li>• Feedstock 확보 지원: 고품질의 Feedstock이 분리배출/수거 단계에서 용이하게 회수될 수 있도록 분리배출 제도 강화</li> </ul>
	<p><b>3. 사회 인프라 구축</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기업지배구조 보고서 의무화 확대, 지속가능경영보고서 공시 활성화 등</li> <li>• 자원 순환을 우선시하는 기업에 대한 재정적 지원, 폐기물 생성을 억제하기 위한 규제책, 순환적 자원흐름을 촉진하는 물리적 시설(분리수거 편리화, 재활용 통합정보센터 등)을 혼합한 사회 인프라 구축</li> </ul>
기업	<p><b>1. 기술 확보·인재 육성</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 디지털, 온라인 플랫폼, 기술을 이용하여 자원 사용 추적 및 최적화</li> <li>• 공급망 참여자간의 상호 연결 강화</li> <li>• 재활용·재사용 기술 고도화 및 전문가 양성(특히 폐배터리의 Re-use관련)</li> </ul>
	<p><b>2. 신제품 개발</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 제품 설계 과정에서부터 적절한 제품 수명 및 확장성 고려, 수명이 다한 제품에 대해 수거 및 재활용 계획 수립</li> <li>• 재생/재사용 가능하며, 독성이 없는 재료 사용한 신제품 생산</li> </ul>
	<p><b>3. Process 효율화</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 재활용 사업은 선별 및 처리 영역에서 대부분의 비용이 발생하므로, 프로세스 효율화 및 관련 기술 도입으로 가격경쟁력 확보 및 수익성 개선 필요</li> </ul>

주체	대응전략			
----	------	--	--	--

[Value Chain 별 비용 구조]

구분	수거	선별	재활용 처리	재생원료 판매
플라스틱	OPEX (20%)	OPEX (40%)	OPEX (30%)	OPEX (10%)
폐배터리	OPEX (20%)	OPEX (50%)	OPEX (50%)	OPEX (20%)

**4. Feedstock 확보**

- 고품질의 Feedstock을 안정적으로 확보할 수 있는 대형 선별장 확보가 핵심 성공 요인
  - 폐플라스틱: 지자체 위탁사 등과 계약을 통해 원료 확보
  - 폐배터리: 리사이클링 업체들은 배터리 제조시 발생하는 스크랩 활용을 위해 전기차/배터리 제조사와 공급 계약을 체결하고, 협력사 인근 공장에 재활용 공장을 설립하는 전략 구사 중. 향후 한단계 더 나아가 공급처뿐 아니라, 주요 수요처 주변에 폐배터리 수거를 위한 센터 구축 필요

[주요 폐배터리업체 및 자동차/배터리 OEM 간 제휴 현황]

**Umicore**

제휴 기업	시기	제휴 내용 상세
Audi	'19. 12월	• EV 폐배터리 공급 계약 체결
LG Chem	'19. 9월	• 음극재 Scrap 공급/NCM 재판매 계약 체결

**Li-Cycle**

제휴 기업	시기	제휴 내용 상세
NFI Group, ATLAS	'21. 11월	• EV 폐배터리 공급 계약 체결
HELBIZ	'21. 7월	• EV 스쿠터/자전거 폐배터리 공급 계약

**성일 하이텍**

제휴 기업	시기	제휴 내용 상세
SK네트웍스	'19. 11월	• 휴대폰 폐전지 공급 계약 체결
삼성SDI, SK Innovation, LG Chem	'21. 7월	• 배터리 제조 Scrap 공급 계약 체결(추정)
BMW, Audi	'21. 7월	• EV 폐배터리 공급 계약 체결(추정)

**Redwood Materials**

제휴 기업	시기	제휴 내용 상세
Ford	'21. 11월	• 폐배터리 공급 계약 및 자사의 EV제조 공정에 재활용 공정 일원화 적용 시도
TESLA	'21. 6월	

기업

주체	대응전략
기업	<p><b>5. M&amp;A 및 제휴</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 규모의 경제 달성 및 글로벌 시장 선점을 위한 몸집 키우기 필요</li> <li>• 혁신적 기술을 보유한 업체에 대해 M&amp;A, 업무협약 등을 통한 유대 강화</li> </ul>
개인	<p><b>1. 소비자의 힘: 친환경 제품 소비 및 재활용 증대</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 환경적·윤리적 영향을 고려한 제품 구매</li> <li>• 덜 버리고, 더 재활용하기</li> </ul>
	<p><b>2. 투자자의 힘</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 기업의 ESG 활동에 대한 면밀한 모니터링 및 주주권리 행사</li> <li>• 순환경제 구축에 적극적인 친환경 기업에 대한 투자</li> </ul>
	<p><b>3. 발상의 전환: 소유에서 공유로</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 공동소유 및 공동사용을 통해 제품의 내재가치 증가시킴으로써, 한정된 자원의 무분별한 사용을 막고, 궁극적으로 인간생존 문제 해결에 기여</li> </ul>

자료: PwC

## 참고문헌

- EC, Circular Economy Action Plan: For a cleaner and more competitive Europe, 2020
- EU, PlasticsEurope Annual Review, 2018
- OECD, RE-CIRCLE: Resource Efficiency and Circular Economy, 2018
- EEA, Circular design: Products in the circular economy, 2017
- Google, Closing the Plastics Circularity Gaps, 2021
- 국회 입법조사처, 유럽그린딜(European Green Deal) 논의 동향과 시사점, 2020.01
- 메리츠증권, 전략공감 2.0, 2021.11
- 환경부 · 한국환경산업기술원, 순환경제와 폐자원에너지의 역할: EU 정책 중심으로
- 원광전력주식회사 기술연구소, 선형경제에서 순환경제로의 전환, 2021.03
- 환경부 · 한국환경산업기술원, 그린뉴딜을 위한 순환경제 비즈니스 모델
- 산업통상자원부, 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립, 2021.12
- 환경부 · 한국환경산업기술원, 플라스틱의 화학적 재활용
- 삼성증권, ESG 시대 · 순환경제, 2021.03
- 교보증권, KIF 2022 Kyobo Intelligence Forum, 2021.10
- 한국IR협의회, 플라스틱 업사이클링, 2021.07
- 한국환경산업기술원, 순환경제로의 전환을 위한 플라스틱 관리전략 연구, 2019
- 환경부, 폐플라스틱 열분해로 순환경제, 탄소중립 선도, 2021.06
- 환경부 · 한국환경산업기술원, 미래폐기물 재활용 및 적정처리, 2019
- KOTRA, 유럽의 배터리 규제안과 독일 배터리 재활용 동향, 2021
- KITA, 美 리튬 이온 배터리 재활용 시장 현황, 2021
- KDB미래전략연구소, 페리튬 2차전지의 Re-Use와 Re-Cycling 산업 및 기술현황, 2019
- KDB미래전략연구소, 전기차 폐배터리 활용 현황과 시사점, 2019.09
- 정부 관계부처 합동, 2030 이차전지 산업(K-Battery) 발전 전략, 2021.07
- 케이프투자증권, 전기차 폐배터리 끝장내기, 2020.02
- 한국투자증권, 리 사이클 홀딩스, 2021.12
- 연구개발특구진흥재단, 리튬이온 배터리 재활용 시장, 2021.07
- KOTRA, “中, 일회용 플라스틱 제한 · 금지조치 시행”, 2020.07
- 환경부 · 한국환경산업기술원, 플라스틱 규제 동향과 대응방안, 2020

# Author Contacts

## 삼일PwC경영연구원

이은영 Director

eunyoung.lee@pwc.com

02-709-0824

오선주 Senior Manager

sunjoo.oh@pwc.com

02-3781-9344

최형원 Associate

hyungwon.choi@pwc.com

02-3781-9638

# Business Contacts

## 삼일PwC

## PwC컨설팅

### 화학 Sector

### 화학 Sector

#### Assurance

이기복 Partner

kibok.lee@pwc.com

02-3781-9103

#### Deals

최창윤 Partner

chang-yoon.choi@pwc.com

02-3781-3057

#### Tax

김찬규 Partner

chan-kyu.kim@pwc.com

02-709-6415

정경인 Partner

kyungin.jung@pwc.com

02-709-0408

### 에너지 Sector

### 에너지 Sector

#### Assurance

선민규 Partner

mingyu.sun@pwc.com

02-709-3348

#### Deals

한정탁 Partner

jungtak.han@pwc.com

02-3781-0165

#### Tax

김주덕 Partner

michael.kim@pwc.com

02-709-0707

유원석 Partner

won-seok.yoo@pwc.com

02-709-4718

### 모빌리티 Sector

### 모빌리티 Sector

#### Assurance

신승일 Partner

seung-il.shin@pwc.com

02-709-0648

#### Deals

곽윤구 Partner

yun-goo.kwak@pwc.com

02-3781-2501

#### Tax

이경민 Partner

kyungminlee@pwc.com

02-3781-1550

백종문 Partner

jong-moon.baek@pwc.com

02-3781-3476

### ESG Platform

#### ESG Platform Leader

스티븐 강 Partner

steven.c.kang@pwc.com

02-709-4788

#### Assurance

이진규 Partner

jin-kyu.lee@pwc.com

02-3781-9105

#### Deals

곽윤구 Partner

yun-goo.kwak@pwc.com

02-3781-2501

#### Tax

이종현 Partner

alex.lee@pwc.com

02-709-0598

#### Assurance

권미엽 Partner

miyop.kwon@pwc.com

02-709-7938

#### Deals

서용태 Partner

yong-tae.seo@pwc.com

02-3781-2340

#### Tax

심수아 Partner

sooa.shim@pwc.com

02-3781-3113

**[www.samil.com](http://www.samil.com)**

S/N: 2204W-RP-013

© 2022 Samil PricewaterhouseCoopers. All rights reserved. "PricewaterhouseCoopers" refers to Samil PricewaterhouseCoopers or, as the context requires, the PricewaterhouseCoopers global network or other member firms of the network, each of which is a separate and independent legal entity.