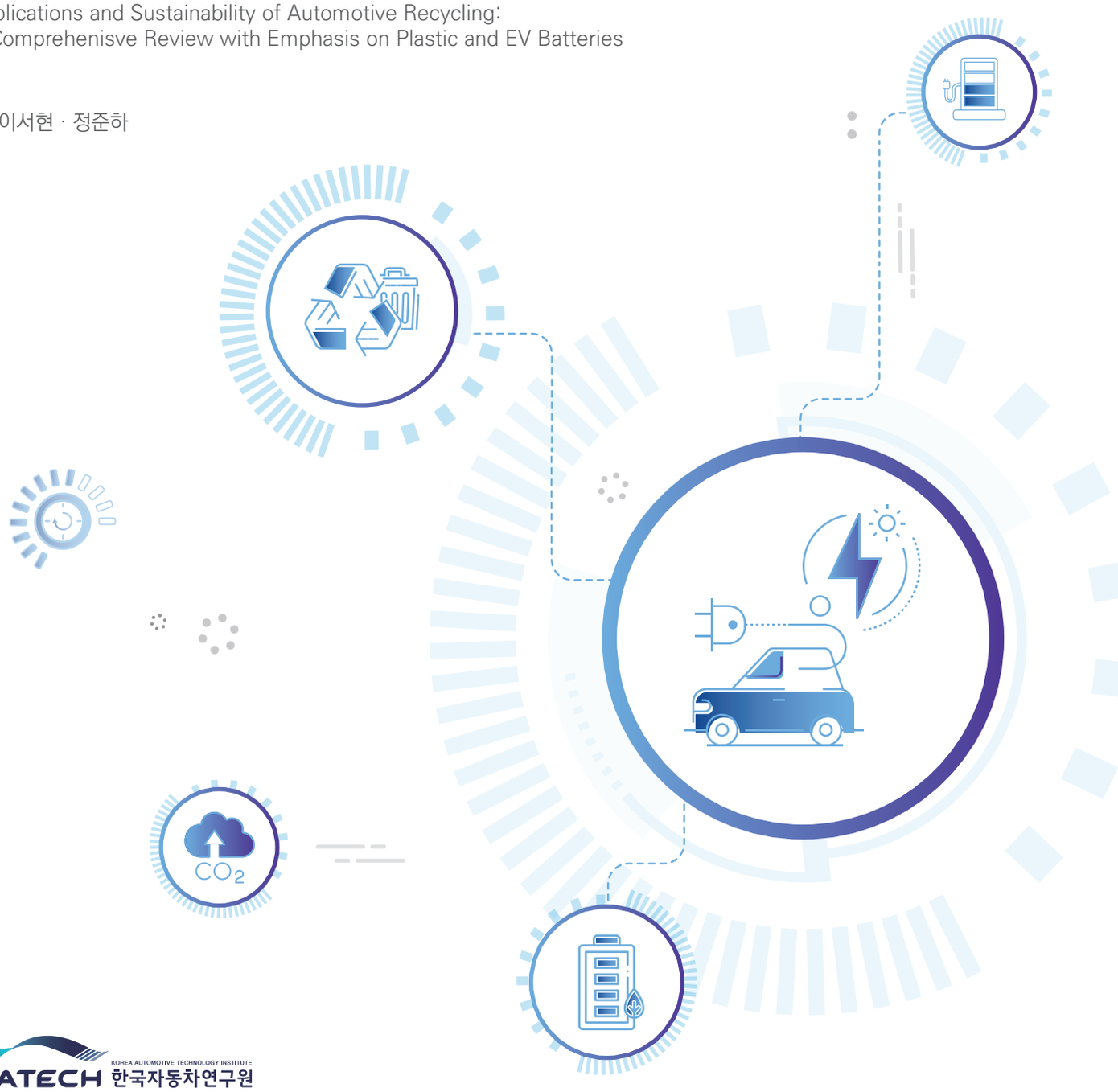
KATECH FOCUS Vol. 2

자동차 자원순환의 필요성과 시사점

플라스틱·배터리 재활용을 중심으로

Implications and Sustainability of Automotive Recycling:
A Comprehenisve Review with Emphasis on Plastic and EV Batteries

이서현 · 정준하



KATECH KOREA AUTOMOTIVE TECHNOLOGY INSTITUTE 한국자동차연구원

저자

이서현(LEE Seohyun)

산업정책연구소 산업분석실

Tel: 041-559-5905

E-mail: shlee3@katech.re.kr

정준하(JUNG Junha)

산업정책연구소 모빌리티사업단

머리말

자동차 산업은 환경규제 강화에 직면하면서 지속 가능한 발전을 위한 새로운 해법을 모색하고 있다. 이 과정에서 자동차 자원순환은 기업 경쟁력을 결정하는 필수 요소로 부각되고 있다. 유럽연합(EU)·중국을 비롯한 주요국은 자동차 자원순환을 촉진하기 위해 다양한 정책·규제를 신설·강화하고 있다. 이에 따라 기업은 자원의 효율적 활용, 재활용 역량 강화 등을 주요 과제로 삼고 있다.

특히 전동화·전장화가 진행됨에 따라 플라스틱, 배터리와 같은 핵심 소재 사용량이 증가하고 있다. 이러한 핵심 소재의 재활용은 원재료 비용 절감뿐만 아니라 공급망 리스크, 글로벌 환경규제 등에 효과적으로 대응하기 위한 중요 전략으로 부상하고 있다. 자동차·부품 제조기업은 자원순환을 통해 환경적 책임을 다하는 동시에 경제적·기술적 우위를 확보할 기회를 가질 수 있다. 그리고 이를 위해서는 공급망 내 협력기업 및 재활용 관련 기업과의 협력이 필요하다고 평가된다.

본 보고서는 이러한 글로벌 산업·정책 동향을 고려하여 자동차 자원순환의 현황과 이가 자동차 산업에 미치는 영향을 분석하고 우리나라 기업의 경쟁력 강화 방안 등을 모색하고자 한다. 특히 플라스틱, 배터리 재활용의 필요성과 이를 위해 해결이 필요한 과제를 살펴보고, 정책적 시사점을 제안하고자 한다.

우리나라 자동차·부품 제조기업과 소재 기업이 글로벌 자동차 자원순환 관련 산업·정책 동향을 파악하고 대응 방향을 모색하는데 본보고서가 도움이 되기를 바란다.

본 보고서는 한국자동차연구원 산업분석실 이서현 선임이 연구 총괄을, 미래모빌리티사업단 정준하 연구원은 우리나라 사용후 배터리 자원순환 현황 및 사용후 배터리 자원순환 기술 분석을 담당하였다. 또한 보고서의 질적 향상을 위해 원내·외 전문가께서 도움을 주셨다. 굿바이카 폐차산업의 남준희 대표님, 중고차유통연구소 신현도 소장님 등께서 산업 현황분석에 많은 도움을 주셨다. 한국자동차연구원 화학소재기술부문 윤주호 부문장님과 박현욱 선임님, 전기동력기술부문 김태훈 책임님, 빅데이터·SW기술부문 임헌정 책임님께서 기술 동향 파악에 많은 도움을 주셨다. 이 외에도 여러분께서 도움을 주신 바, 이 자리를 빌려 진심으로 감사 인사를 드린다.

끝으로 본 보고서 내용은 작성자 개인의 의견이며 연구원의 공식적인 견해가 아니라는 점을 밝힌다.

목차

머리말 ····· i
요약 ····· viii
Abstract ····· xv

PART 1 서론 ····· 1
1 배경 ····· 3
2 연구 목표 및 구성 ····· 4

PART 2 자동차 자원순환의 개요와 정책 동향 ····· 5
1 자동차 자원순환 개요 ····· 7
1.1. 자동차 자원순환 흐름 ····· 7
1.2. 미래차 전환이 자동차 자원순환에 미치는 영향 ····· 11
2 자동차 자원순환 정책 동향 ····· 14
2.1. 글로벌 자동차 자원순환 관련 정책 방향성 ····· 14
2.2. 우리나라의 자동차 자원순환 관련 정책 동향 ····· 15

PART 3 국내외 자동차 자원순환 현황 ····· 25
1 우리나라 자동차 자원순환 현황 ····· 27
1.1. 사용후 자동차 ····· 27
1.2. 플라스틱 ····· 33
1.3. 사용후 배터리 ····· 40
2 주요국의 자동차 자원순환 현황 ····· 52
2.1. EU ····· 52
2.2. 중국 ····· 60
3 국제비교 및 소결 ····· 67

PART 4 자동차 자원순환 관련 기술 현황과 발전 방안 ····· 71
1 플라스틱 회수·재활용 기술 ····· 73
1.1. 현행 관련 기술 수준 ····· 73
1.2. 향후 발전 방안 ····· 76
2 사용후 배터리 회수·재활용 기술 ····· 79
2.1. 현행 관련 기술 수준 ····· 79
2.2. 향후 발전 방안 ····· 86

PART 5 결론과 시사점 ····· 89
1 자동차 산업 내 플라스틱 순환이용 촉진 ····· 91
2 사용후 배터리 국내 순환이용 촉진 ····· 93
2.1. 수출말소 시 전기차 보조금 회수 가이드라인 작성·배포 ··· 94
2.2. 국내 중고 전기차 거래 활성화 ····· 95
2.3. 미래차 부품 재제조·재사용 활성화 ····· 96
3 산업 간, 기업 간 협력체계 강화 ····· 99
3.1. 산업 간, 기업 간 데이터 연계 추진 ····· 99
3.2. 자원순환 활성화를 위한 재활용정보 제공 범위 보장 ··· 100

부록 사용후 배터리 재사용·재활용 최신 기술 동향 ····· 103
1 사용후 배터리 재사용 ····· 105
1.1. 배터리 해체 ····· 105
1.2. 배터리 진단 ····· 108
2 사용후 배터리 재활용 ····· 110
2.1. 직접 재활용 ····· 110
2.2. 리튬 선침출 ····· 113
2.3. 친환경 침출 ····· 114

표 목차

표 2-1 본 보고서 분석 대상 자원순환 방식 ····· 7
표 2-2 본 보고서의 사용후 자동차(End of Life Vehicle) 구분 ····· 8
표 2-3 자동차 폐차·재활용 사업자의 재활용 방법 및 기준 ····· 10
표 2-4 현재·미래의 자동차 내 플라스틱 사용 비중 추정 ····· 12
표 2-5 자동차에 사용되는 플라스틱의 종류 및 특징 ····· 13
표 2-6 EU의 자원순환 관련 주요 정책 ····· 14
표 2-7 우리나라 순환경제 이행계획 ····· 15
표 2-8 우리나라 환경성보장제(EcoAS) 대상 기업별 폐자동차 재활용 책임 ····· 16
표 2-9 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 상 생산자의 재활용 책임 범위 ····· 17
표 2-10 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」상 재사용 용도 사용후 배터리 안전성 검사제도 ····· 20
표 2-11 우리나라 재사용 배터리 안전성 검사기관 지정 현황 ····· 20
표 2-12 우리나라에서 사용후 배터리가 순환자원으로 인정되기 위한 요건 ····· 21
표 2-13 우리나라 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안' 주요 내용 ····· 22
표 3-1 자동차 유래 폐자원 및 순환자원의 양적 변화 ····· 27
표 3-2 우리나라 자동차 차종별 폐차 주기('00~'22년) ····· 28
표 3-3 UNEP이 지적한 중고차 국제 거래로 인한 온실가스 배출 심화 문제 ····· 29
표 3-4 셀투팩·셀투섀시 등 배터리 패키징 구조 기술과 배터리 재활용 ····· 30
표 3-5 우리나라 '전주기 탈플라스틱 대책' 상 플라스틱 재활용 목표('20~'25년) ····· 35
표 3-6 우리나라 사용후 배터리 회수·재활용 시장규모 전망('23~'31년) ····· 40
표 3-7 순환자원정보센터 사용후 배터리 매각 사례 ····· 43
표 3-8 미래폐자원거점수거센터 사용후 배터리 회수 및 출고 현황('23.9월 기준) ····· 44
표 3-9 우리나라의 전기차 및 사용후 배터리 보조금 회수 현황 ····· 45
표 3-10 구매 시 보조금 등 정부 지원을 받은 저공해 자동차·건설기계 사용기간별 지원 금액 회수 기준 ··· 45
표 3-11 우리나라의 중고 전기차 등 수출 현황('19~'23년) ····· 46
표 3-12 주요국의 신차·중고 전기차 등 HS Code 분류 ····· 47
표 3-13 주요국의 중고 전기차 등 수출 대상국('19~'23년) ····· 47
표 3-14 EU ELV 규정 개정안에서 제시한 폐자동차 자원순환 문제 및 문제 해결을 위한 정책 수단 ··· 53
표 3-15 EU ELV 규정 개정안에 따라 사용후 자동차에서 의무로 탈거해야 하는 부품 ····· 53
표 3-16 EU 주도 데이터 연계 플랫폼 Catena-X와 자동차 자원순환 ····· 55
표 3-17 EU ELV 규정 개정안 상 플라스틱 재활용 관련 규정 내용 ····· 56
표 3-18 EU 배터리 규정상 배터리 구분 ····· 58
표 3-19 사용후 배터리 회수·재활용 관련 EU 배터리 규정 내용 ····· 59
표 3-20 중국의 중고차 수출 산업 동향 및 순환자원 관리 법제 정비 동향 ····· 61
표 3-21 중국 국가표준 상 해체재활용업자 요건 ····· 62
표 3-22 중국 순환자원 재활용 관련 기업에 대한 증치세 과세방식 ····· 63
표 3-23 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 현황 국제 비교 ····· 68

표 3-24 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 정책 동향 국제 비교 ····· 70
표 4-1 플라스틱 재활용 기술 구분 ····· 74
표 4-2 플라스틱 화학적 재활용 기술별 비교 ····· 75
표 4-3 플라스틱 고도 재활용 기술 구분 ····· 77
표 4-4 이차전지 분야 주요국 기술평가 ····· 79
표 4-5 배터리 구성단위별 사용후 배터리 재사용 장단점 ····· 80
표 4-6 배터리 상태 진단 검사법 비교 ····· 81
표 4-7 사용후 배터리 재활용 후처리 공정 비교 ····· 84
표 4-8 '24년 중소벤처기업부 사용후 배터리 재사용·재활용 연구과제 핵심기술 리스트 ····· 87
표 4-9 일본 도레이 경영연구소 선정 배터리 재사용·재활용 분야 과제 ····· 87
표 5-1 전기차 1대 폐차 시 우리나라 해체재활용업자가 얻을 수 있는 수익 ····· 97
표 5-2 한국자동차연구원의 자동차 부품 재제조·재사용 기술 연구 프로젝트 사례 ····· 97
표 5-3 한국자동차연구원의 데이터 연계 플랫폼 KADaP, KADaP-X ····· 100
표 5-4 국제해체정보시스템(IDIS) 상 제조사별 제공 재활용정보 비교 ····· 102
표 부록-1 사용후 배터리 직접 재활용 방식 중 양극활물질 주요 재결합 공정 ····· 111
표 부록-2 배터리 상태별 양극재 구성 ····· 112
표 부록-3 탄소원별 가열 및 침출 과정과 리튬 회수율 ····· 113
표 부록-4 공융용매(DES)의 종류 및 활용처 ····· 114
표 부록-5 기존 습식공정과 DES 활용 공정 특성 비교 ····· 114

그림 목차

그림 2-1 우리나라 사용후 자동차 유래 폐자원 흐름 ····· 9
그림 2-2 우리나라 환경성 보장제(EcoAS) 개요 ····· 16
그림 2-3 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 등 폐기물 재활용 관련 제도 대상 품목 ····· 18
그림 2-4 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 대상 자동차 유지관리용 부품 ····· 18
그림 2-5 우리나라 배터리 전주기 이력관리 시스템 운영(안) ····· 23
그림 2-6 우리나라 배터리 재생원료 인증제(안) ····· 23
그림 2-7 사용후 배터리 순환이용 체계도(안) ····· 23
그림 3-1 우리나라 자동차 등록대수('15~'23년) ····· 28
그림 3-2 자동차 자원순환 흐름 도식 ····· 32
그림 3-3 OECD의 글로벌 폐플라스틱 흐름 변화 추정('19~'60년) ····· 33
그림 3-4 플라스틱 자원순환 흐름도 ····· 39
그림 3-5 주요 지역별 사용후 배터리 발생량 전망 ····· 41
그림 3-6 글로벌 사용후 배터리 재활용 설비 용량 및 원료 발생량 전망 ····· 41
그림 3-7 우리나라 미래폐자원거점수거센터 개요 ····· 43
그림 3-8 사용후 배터리 재제조 공정도 ····· 48
그림 3-9 사용후 배터리 재사용 공정도 ····· 49
그림 3-10 습식 공정을 통한 사용후 배터리 재활용 공정도 ····· 50
그림 3-11 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름도 ····· 51
그림 4-1 물리적·화학적 재활용 방식을 통한 재생 플라스틱 생산 과정 ····· 74
그림 4-2 플라스틱 고도 재활용 방식 ····· 76
그림 4-3 폐플라스틱 재질·특징 및 최우선 목표에 따른 적정 재활용 방식 트리 ····· 78
그림 4-4 사용후 배터리 재사용 공정도 ····· 80
그림 4-5 배터리 SoH 추정 기법 분류 ····· 81
그림 4-6 CT 활용 배터리 진단 예시 ····· 82
그림 4-7 배터리 패키징 방식별 구조 차이 ····· 82
그림 4-8 사용후 배터리 재활용 공정도 ····· 83
그림 4-9 사용후 배터리 재활용을 위한 전처리, 후처리 공정 ····· 84
그림 4-10 배터리 재활용 건식공정 과정 ····· 85
그림 4-11 배터리 재활용 습식공정을 통한 물질 추출 과정 ····· 85
그림 5-1 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름 개선도 ····· 98
그림 5-2 우리나라 산업 공급망 데이터 플랫폼 구축 개념도 ····· 100
그림 5-3 국제해체정보시스템(IDIS) 개요 ····· 101
그림 부록-1 사용후 배터리 재사용·재활용 분야별 소개 기술 분류 ····· 105
그림 부록-2 로봇을 활용한 배터리 해체 기본 과정 ····· 106
그림 부록-3 R-CNN과 YOLO 모델의 개요(a,b) 및 나사 탐지 예시(c,d) ····· 107
그림 부록-4 배터리 해체 로봇-인간 협업 공정 개념도 ····· 107

그림 부록-5 데이터 기반 배터리 진단 기법별 장단점 비교 ····· 109
그림 부록-6 한국자동차연구원이 추진 중인 배터리 재사용 검증기술 ····· 109
그림 부록-7 사용후 배터리 재활용 등 배터리 자원순환 과정 ····· 110
그림 부록-8 배터리 재활용 공정별 비용, 환경 효과 비교 ····· 111
그림 부록-9 배터리별 첫 사이클 충방전 커브(a), 금속 몰비(b) 및 사이클 성능(c) ····· 112
그림 부록-10 포름산(a)과 L-타르타르산(b)을 활용한 리튬 선침출 기법 공정도 ····· 113

요약

1. 서론

(배경)

- EU를 중심으로 글로벌 자동차 자원순환 정책이 강화되고 있으며, 공급망 리스크 문제 등이 대두됨에 따라 자동차·부품 제조사에 있어 자동차 자원순환의 필요성이 증가

2. 자동차 자원순환의 개요와 정책 동향

(자동차 자원순환 개요)

- (사용후 자동차) 자동차는 다양한 자원을 복합 사용하여 생산되며, 사용 과정에서 노후가 진행되어 국가 환경적·경제적 기준상 사용에 적합하지 않은 사용후 자동차(폐자동차)는 폐차 처리 대상이 됨

〈표 1〉 본 보고서의 사용후 자동차(End of Life Vehicle) 구분

구분	처리
국내 규제상 주행이 불가하거나 수리 비용이 차량 가치보다 높아 폐차가 적합하며 ①해외에서도 중고차로 사용할 수 없을 정도로 노후되었거나, ②수출 제비용(수리·운송비, 통관 절차, 관세 등)보다 수출 수익이 높지 않아 수출할 유인이 없는 차	폐차 처리
국내 규제상 주행이 불가하거나 수리 비용이 차량 가치보다 높아 폐차가 적합하나 해외에서는 중고차로 사용할 수 있어 수출할 수 있는 자동차 (해외 규제 수준이 국내보다 낮은 경우, 저렴한 인건비 등으로 인해 현지 수리 비용이 낮은 경우 등)	폐차 처리, 또는 수출

- (자원순환) 사용후 자동차와 그 폐자원은 성능·순환이용 용도 등에 따라 재제조·재사용·재활용함

〈표 2〉 본 보고서 분석 대상 자원순환 방식

구분	
재제조	「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조 제2호에 따른 재활용가능자원[1]을 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 중에서 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등의 공정을 거쳐 원래의 성능 또는 그 이상의 성능을 가진 상태로 만드는 산업활동
재사용	재활용가능자원[1]을 그대로 또는 고쳐서 다시 쓰거나 생산활동에 다시 사용할 수 있게 하는 활동
재활용	폐기물을 재사용·재생이용하거나 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동
재생이용	재활용가능자원[1]의 전부 또는 일부를 원료*로 다시 사용하거나 다시 사용할 수 있도록 하는 것 * 재활용가능자원의 전부 또는 일부를 재생이용한 원료는 '재생원료'로 정의

주: 1) 재활용가능자원은 사용되었거나 사용되지 않고 버려진 후 수거된 물건과 부산물 중 재사용·재생이용할 수 있는 것

- (폐차 자원순환 과정) 사용후 자동차와 그 폐자원은 해체재활용업자·파쇄재활용업자·파쇄잔재물(ASR) 재활용업자·폐가스류처리업자를 거쳐 재활용됨
- (미래차 전환과 자동차 자원순환) 전동화·전장화가 진행되며 자동차 생산 시 금속, 플라스틱, 전자부품 등의 사용량이 대폭 증가할 전망이나 이들은 재활용이 어려워 자원순환 난도 상승 전망

(자동차 자원순환 정책 동향)

- (글로벌 정책 방향성) 유럽연합(EU)을 중심으로 자동차 자원순환 정책 범위·의무가 강화, 따라서 자동차·부품 제조기업에 자원순환을 고려한 제품 설계·생산, 공급망 데이터 연계 검토 필요성 증가

〈표 3〉 자동차 자원순환 관련 유럽연합(EU)의 주요 정책 방향성

구분	발효	주요 내용
에코 디자인 규정 (Eco Design Regulation)	'24.7	• 제품의 내구성 및 재사용 가능성을 고려한 순환형 제품 설계 촉진 • 기업별 연간 폐기량·재활용 등 정보 공개 • 디지털 제품 여권(DPP) 첨부 의무화
배터리 규정 (Battery Regulation)	'23.8	• 디지털 배터리 여권 도입, 재생원료 사용 의무화, 배터리 생산자에 사용후 배터리 회수·재활용 의무 부과 등
ELV 규정 (ELV Regulation) 개정안	미정 ('23.7월 초안 공표)	• 현행 EU ELV 지침(폐차처리지침) 강화 예정으로 사용후 자동차 수출 금지, 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용·폐자동차 플라스틱 재활용 의무화, 사용후 자동차에서 전기차 구동 모터·전자부품 등 탈거 의무 등 제시

- (우리나라 자동차 자원순환 정책❶) 환경성보장제(EcoAS), 생산자책임재활용제도(EPR) 등을 통해 자동차 자원순환을 추진해왔으며 최근에는 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법제 구축 중
- (우리나라 자동차 자원순환 정책❷) 우리나라 EPR 제도 대상에 자동차는 포함되지 않으며, '23년 플라스틱 재질 자동차 유지보수용 부품이 대상에 포함됨. 사용후 배터리를 EPR 제도에 포함하는 방안을 '23년 검토했으나 도입되지 않았으며 LFP 배터리를 포함하는 방안 검토 중

〈표 4〉 자동차 자원순환 관련 우리나라의 주요 정책

구분		주요 내용
사용후 자동차 (폐자동차), 플라스틱	환경성보장제 (EcoAS)	• (자동차 제조·수입기업) 차량 제조시 유해물질 함유 기준 준수, 해체재활용업자 등에 필요한 재활용 정보(분해·해체절차, 합성고분자화합물의 구성 재질, 제거되어야 할 위험물질의 위치, 부품의 효율적 처리 및 재활용 방법 등) 제공 • (해체재활용업자·파쇄재활용업자·파쇄잔재물재활용업자·폐가스류처리업자) 폐자동차 재활용률 목표(95%)를 달성하기 위해 폐자동차를 가능한 한 재활용
	생산자책임 재활용제도 (EPR)	• 생산자에게 플라스틱 등 폐기물의 회수 및 재활용까지의 책임 부여 • 우리나라는 EU와 달리 자동차, 사용후 배터리를 EPR 대상에 포함하지 않음 • 다만 '23년부터 플라스틱 재질 자동차 유지관리용 부품(범퍼, 몰딩·가나쉬, 언더커버, 워셔 탱크, 냉각수 탱크)을 EPR 제도 대상에 포함
사용후 배터리	전기용품 및 생활용품 안전관리법	• 사용후 배터리 재사용은 안전성 검사를 거친 경우에 한해 유통을 허용 • 사용후 배터리 재사용 안전성 검사기관 지정
	순환경제사회 전환 촉진법	• 사용후 배터리는 본디 폐기물 규제를 적용받았으나, 사용후 배터리 용도가 재제조·재사용인 경우 순환자원으로 지정하여 기업의 규제 부담 완화
	사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안	• '27년까지 사용후 배터리 산업 주관 부처별 배터리 전주기 이력관리 시스템 구축 및 개별 시스템 연계 통합 포털 구축 (산업부) 배터리 공급망 데이터, 거래 정보 시스템(유통 및 재사용 이력) (환경부) 전기차 전주기 통합환경정보 시스템(전기차 보급·충전·재활용 이력) (국토부) 전기차 배터리 안전인증관리 시스템(배터리 안전성 인증, 전기차 운행, 성능평가, 폐차, 재제조 이력 등) • 재생원료 인증제(생산, 사용) 도입 • 배터리 탈거 전 성능평가 도입 • 사용후 배터리 유통체계 마련(사용후 배터리 거래 원칙 수립, 사업자 등록제, 운송·보관 기준, 거래 정보 시스템 확립)

3. 국내외 자동차 자원순환 현황

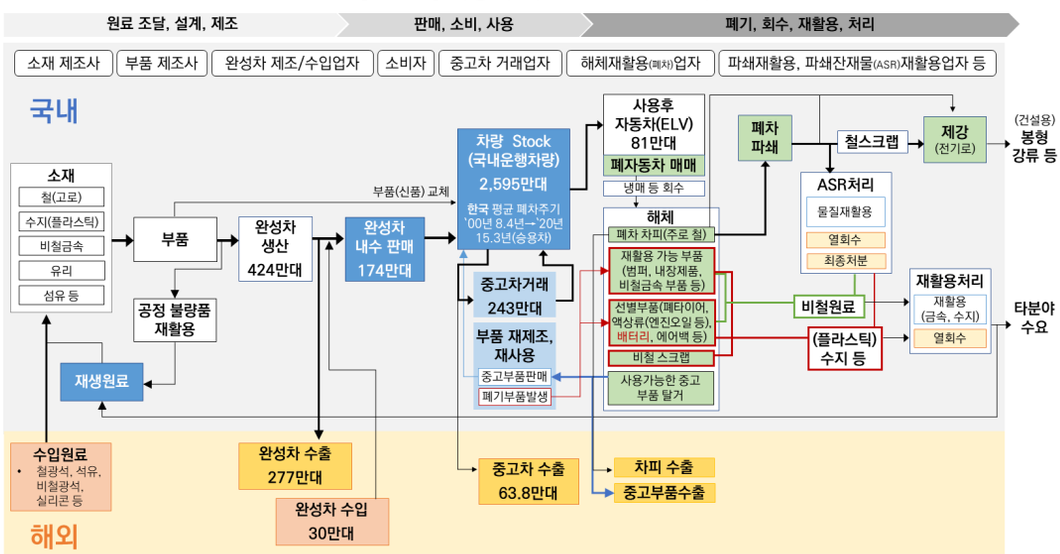
(우리나라 자동차 자원순환 현황)

◎ (조사대상) 미래차 전환, 글로벌 정책 동향 등을 고려하여 사용후 자동차(폐자동차)의 자원순환 현황, 그리고 그 폐자원 중 플라스틱·사용후 배터리의 자원순환 현황을 중점적으로 조사

❶ 사용후 자동차

- (현황) 우리나라는 주요국에 비해 폐차 관리 행정체계가 잘 구축되어 있어 사용후 자동차 대부분이 적격 해체재활용업자에 의해 회수·재활용되고 있음
- (과제) 다만 우리나라는 사용후 자동차와 그 폐자원의 재활용률이 낮다고 평가되며 이를 개선하기 위해서는 파쇄잔재물(ASR) 처리기술 개발 등이 필요하다고 평가
- (전망) 한편 앞으로 전기차 폐차량이 점차 증가할 것으로 예상되는데, 해체재활용(폐차)업자 등이 전기차를 회수·재활용하기 위해서는 신규설비·기술·인력 투자가 필요하여 지원이 필요

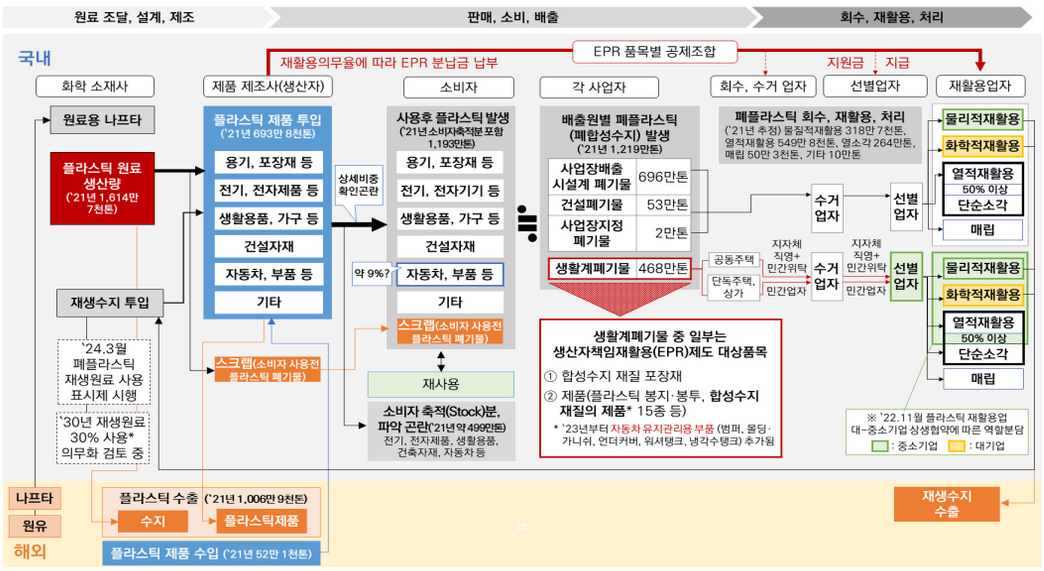
[그림 1] 자동차 자원순환 흐름 도식



❷ 플라스틱

- (글로벌 플라스틱 사용량·배출량) 자동차는 플라스틱 사용량이 3번째로 많은 산업으로 신차 생산 시 소재 중 플라스틱 비중은 중량 기준 약 10%, 부피 기준 약 50%에서 더욱 증가할 전망. 한편 사용후 자동차(ELV)에서 배출된 플라스틱 대부분은 재사용·재활용이 어려워 소각 처리되고 있음
- (국내 플라스틱 사용량·배출량) 국내 자동차 산업 플라스틱 사용량·배출량 등은 관련 통계 부재로 확인이 어려우나 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용 비율, 車 유래 플라스틱 재활용률은 높지 않음
- (글로벌 정책동향) 주요국은 플라스틱 신품 생산 시 재생원료 사용 의무화 등 개별 정책 도입과 UN 플라스틱 협약 체결 등을 추진 중, 플라스틱 사용량·배출량이 많은 자동차 산업에도 큰 영향이 예견
- (현황) 플라스틱 신품 생산에 사용할 수 있는 고품질 재생원료에 대한 수요 대폭 증가 전망, 그러나 국내에서는 고품질 원료 수급이 어려우며 영세 중소기업 위주인 국내 재활용 산업 생태계 특성상 규모의 경제 달성에 어려움이 존재. 다만 대-중소기업 상생협약 등에 기반한 점진적 개선 기대
- (전망) 자동차 제조사의 재생 플라스틱 사용 비율 목표(현행 2%→'30년 20%)와 '23년 EPR 제도 개정(자동차 유지보수 부품 대상에 포함) 동향을 고려할 때 점진적 재활용률 개선 기대

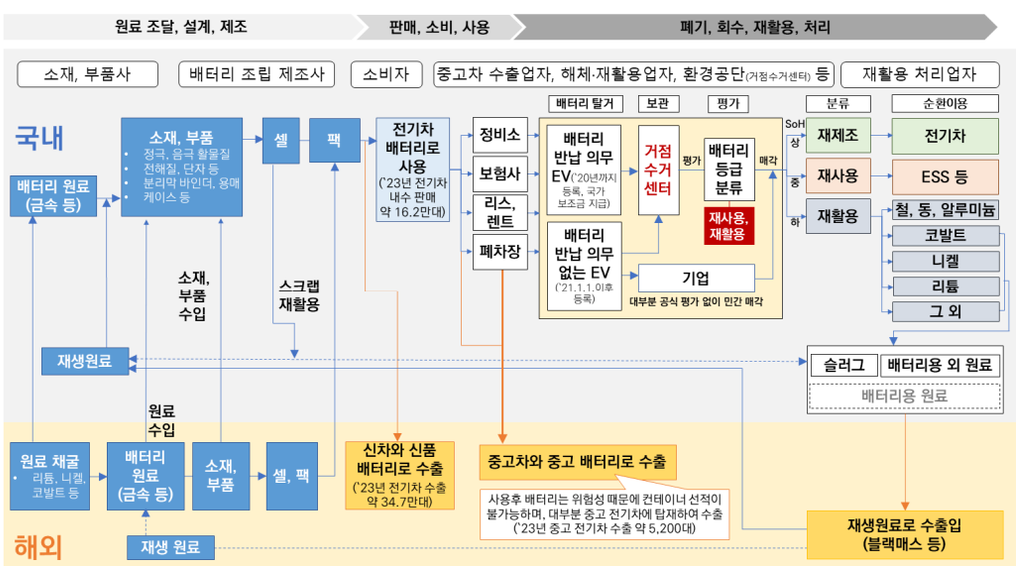
[그림 2] 플라스틱 자원순환 흐름도



❸ 사용후 배터리

- (국내외 배터리 사용량·배출량) 전기차 보급으로 배터리 사용량이 증가 중이나 전기차 폐차량·사용후 배터리 배출량은 아직 많지 않으며 '30년 이후 대폭 증가 전망('24년 국내 사용후 배터리 발생량 1.4만→'30년 10.8만 개). 사용후 배터리 산업 활성화를 위해서는 원료확보를 통한 규모의 경제 달성이 급선무로 평가
- (국내 정책 동향) 정책목표 등을 고려할 때 전기차·사용후 배터리가 일정 기간 국내에서 순환 이용되는 것이 바람직하다고 보고 정부는 의무운행 기간을 채우지 않고 전기차를 등록말소하는 경우 보조금을 일부 회수하는 제도를 도입, 특히 수출말소에 대해서는 의무운행 기간을 2년→5년→8년으로 강화
- (현황) 전기차 폐차(수출은 제외) 시 사용후 배터리를 지방자치단체에 반납할 의무를 부과했으나 '21년 이후 등록된 전기차에는 반납 의무를 폐지하며 사용후 배터리 관리 기반에 공백이 존재
- (전망) 사용후 배터리는 성능(SoH)에 따라 재제조·재사용·재활용 용도로 활용되는데, 그동안 주로 재활용 산업이 주목받았으나 앞으로는 재제조·재사용 산업도 함께 발전할 전망

[그림 3] 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름도



(주요국의 자동차 자원순환 현황)

◎ (조사대상) 글로벌 자동차 자원순환 정책 동향을 주도하는 EU, 전기차 생산·판매 규모가 높으며 사용후 배터리 회수관리 체계를 가장 이른 시기에 구축한 중국을 조사 대상국으로 선정

❶ EU

- (사용후 자동차) 재활용 기술 등은 비교적 높은 수준이나 사용후 자동차 관리체계가 미비하여 역내 사용후 자동차 중 3분의 1의 흐름이 파악되지 않는 상황(Missing ELV). 이에 사용후 자동차 관리체계를 통합하고 ELV 규정 개정안을 도입하여 사용후 자동차 및 그 폐자원 관리체계를 강화할 예정
- (플라스틱) EU ELV 규정 개정안 초안은 (생산 단계) 신차 생산 시 재생 플라스틱 25%(폐차 유래 재생 플라스틱) 사용, (폐기 단계) 사용후 자동차 플라스틱의 30% 이상 재활용 등을 의무화할 예정
- (사용후 배터리) '23.8월 시행된 EU 배터리 규정은 배터리 생산자에 사용후 배터리 회수·재활용 책임을 부과하고 재생원료 사용·공급망 실사 등 정보 입증을 요구, 이를 달성하기 위한 수단으로서 산업 간·기업 간 데이터 연계 플랫폼 Catena-X 등의 구축도 추진 중

❷ 중국

- (사용후 자동차) 정식 해체재활용업자의 경쟁력이 약하고, 사용후 자동차 관리체계가 미비하여 85% 이상의 사용후 자동차와 그 폐자원이 불법적으로 처리되는 것으로 추정됨. 이에 중국 정부는 자동차 EPR 시범사업, 정식 해체재활용업자에 대한 증치세 경감 등의 조치를 도입
- (플라스틱) 플라스틱 회수 및 재활용률은 높지 않으며 사용후 자동차 유래 플라스틱 재활용을 촉진하는 관련 제도가 미비하여 중국 자동차 내수시장 내 재생 플라스틱 수요는 높지 않은 상황
- (사용후 배터리) 주요국보다 이른 시기('18년)에 사용후 배터리 이력관리 플랫폼을 구축하여 운영 중. 다만 법제 구조, 정식 회수·재사용·재활용 기업의 낮은 경쟁력 등으로 제도 개편 필요

❸ 국제비교

- 우리나라와 EU, 중국의 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 현황과 정책 동향을 비교 분석한 결과는 다음과 같이 정리할 수 있음

〈표 5〉 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 현황 국제 비교

구분	사용후 자동차와 그 폐자원			
		사용후 전기차	사용후 배터리	플라스틱
우리나라	• 사용후 자동차 거의 대부분이 정식 해체재활용업자에 인계 • 최근 개발도상국에의 수출 증가	• 사용후 전기차 상당량 수출	• 안전성 문제로 사용후 배터리 단독으로는 운송·거래되지 않고 전기차에 탑재되어 해외로 수출 • 재생원료(배터리 스크랩, 블랙매스)를 EU 등에서 수입 중	• 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용률은 2% 미만, '30년까지 20%로 제고 목표
EU	• 사용후 자동차 1/3이 행방불명되어 정식 해체재활용업자에 인계되지 않고 있음 • 최근 개발도상국에의 사용후 자동차 수출 증가	좌동	• 안전성 문제로 사용후 배터리 단독으로는 운송·거래되지 않고 전기차에 탑재되어 해외로 수출 • 재생원료(배터리 스크랩, 블랙매스)를 수출(블랙매스 총 발생량 3만톤 중 2만톤 우리나라에 수출)	• 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용률은 약 8%
중국	• 사용후 자동차 85% 이상 행방불명되어 정식 해체재활용업자에 인계되지 않고 있음 • 사용후 자동차 수출량은 제한적	• 중고차 수출 이루어지지 않다가 최근 시작됨. 단 수출 중고차는 대부분 신차급 신에너지차	• 사용후 배터리 75%는 적격 기업이 아닌 기업에 의해 회수·재활용되고 있음 • 사용후 배터리, 블랙매스 수입은 거의 불가	• 거의 회수·재활용 되고 있지 않음

〈표 6〉 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 정책 동향 국제 비교

구분	사용후 자동차와 그 폐자원			
		사용후 전기차	사용후 배터리	플라스틱
우리나라	• EPR 제도 비대상, 환경성 보장제(EcoAS)로 폐자동차 재활용률 등 목표 설정 • 폐자동차등록·관리시스템에 의해 거의 모든 폐자동차가 관리	• EPR 제도 비대상 • 사용후 전기차 수출말소 시 보조금 회수 제도 강화	• EPR 제도 비대상 • '20년 이전 등록 전기차는 말소 시 사용후 배터리 지자체 반납 의무 • '21년 이후 사용후 배터리 반납 의무 없음 • '24~'27년 배터리 전주기 이력관리 시스템 구축예정	• EPR 제도 비대상 → '23년부터 자동차 유지보수용 부품 5종(범퍼, 몰딩·가나쉬, 언더커버, 워셔 탱크, 냉각수 탱크)은 EPR 제도 대상
EU	• EPR 제도 대상 • EU 역내 자동차 등록·관리 시스템 통합 예정 ('28~'29년 내 완성) • EU 역내에서 사용이 불가한 폐자동차를 폐기물로 규정하여 역외 (주로 개발도상국) 수출 제한 검토 중	좌동	• EU 배터리 규정에 따라 ① 전기차 배터리 회수 등 EPR 제도 적용, ②생산 시 재생원료 사용 의무화, ③ 배터리 이력 데이터 관리 체계 구축(배터리 여권) • 폐차 시 전기차 배터리 외에 SLI 배터리도 의무 분리하도록 규정할 예정 • 블랙매스를 유해폐기물로 지정, 수출 제한 추진 중	• 자동차 EPR 제도 대상 • 폐자동차에 포함된 플라스틱 중 30% 이상 (중량 기준) 재활용 의무화 • '30년 이후 신차 생산 시 플라스틱 25% 이상 재생 플라스틱(6.25%는 폐자동차 유래 재생 플라스틱) 사용 의무화
중국	• EPR 제도 비대상 • 해체재활용업자 경쟁력 제고 정책 도입(예 : 증치세 (부가가치세에 상당) 간이과세 방식 적용)	• EPR 제도 비대상 • 신에너지차 구동 배터리는 전주기 이력 관리 시스템으로 '18년부터 관리	• EPR 제도 대상 • 배터리 전주기 이력관리 시스템 '18년부터 운영 중, '24년 말 시스템 고도화 예정 • 원료 확보를 위해 사용후 배터리 및 블랙매스 수입 허용하는 방안 검토 중 ('24년 내 결론 도출 예정)	• 별도 재활용 활성화 정책 확인되지 않음

4. 자동차 자원순환 관련 기술 현황과 발전 방안

(플라스틱 회수·재활용 기술)

- (현황) 플라스틱 재활용 기술은 통상 물리적, 화학적, 열적 재활용으로 구분됨. 자동차 산업에 대한 환경규제를 고려할 때 물리적, 화학적 방식으로 재생 플라스틱 생산 및 폐자동차 유래 플라스틱 재활용이 필요
- (전망) 현재 재생 플라스틱 생산 등에는 주로 물리적 재활용 방식이 활용되나 처리 범위와 재활용 산출물의 질에 한계가 있어 수거·회수·세척 고도화와 화학적 재활용 기술개발이 병행될 필요가 있다고 평가

(사용후 배터리 회수·재활용 기술)

- (재사용-현황·전망) 주로 배터리 진단과 배터리 해체 관련 기술이 주로 개발되고 있는데 최근 로봇과 데이터 분석 등을 통해 공정 속도와 정확성을 개선하기 위한 연구가 진행 중
- (재활용-현황·전망) 주로 건식·습식 공정 기술을 활용하여 희소 금속을 추출함. 각각 금속 추출 가능성과 환경성에 장단점이 있어 최근에는 경제성과 친환경성을 개선하기 위한 신기술 개발 추진 중

5. 결론 및 시사점

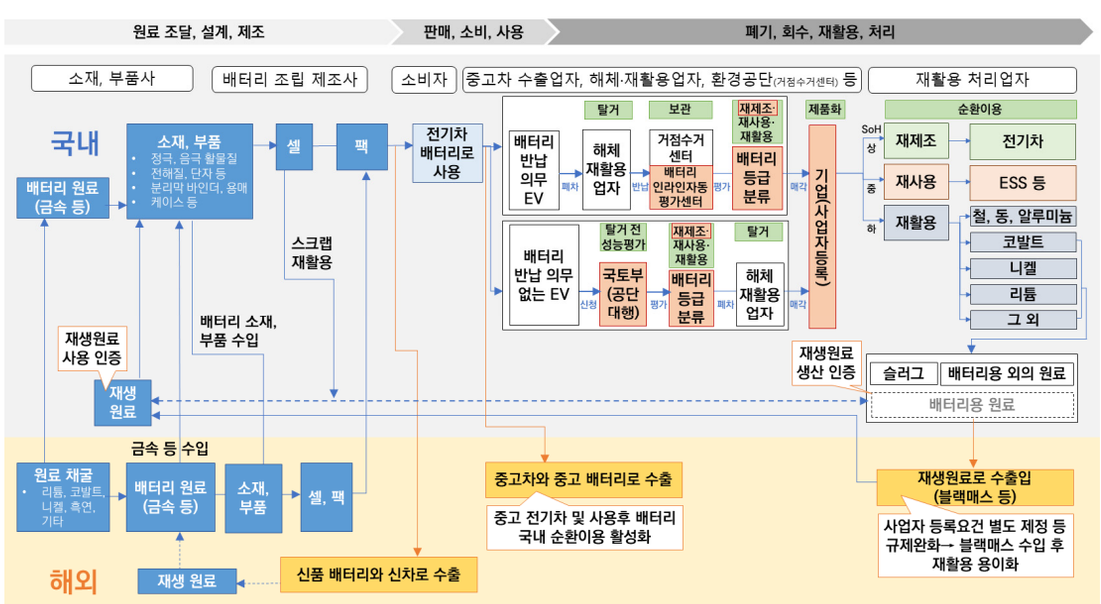
(자동차 산업 내 플라스틱 순환이용 촉진)

- 플라스틱 재활용 효율성·경제성 등을 개선하기 위해 선별·수거·세척 분야 기술개발·설비 투자가 필요
- 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용 의무화, 폐자동차 유래 플라스틱 재활용 의무화 등 규제에 대응하기 위해 폐자동차 유래 플라스틱 분리·회수 촉진, 파쇄잔재물(ASR) 재활용 기술개발 등이 필요
- 자동차 제조사는 신차 생산 시 재생 플라스틱의 경제성 확보·신품 수준의 품질 확보·탄소 배출량 저감 등 과제 해결이 필요, 이를 위해 물리적 재활용 방식과 함께 화학적 재활용 방식 기술개발이 필요
- 플라스틱 자원순환 현황을 파악하고 UN 플라스틱 협약에 대응하기 위해 통계체계 구축이 필요

(사용후 배터리 국내 순환이용 촉진)

- 우리나라 정부는 사용후 배터리 산업 활성화를 위해 법·제도·인프라를 '27년까지 구축할 예정이며 전주기 이력관리 체계 구축, 기업 부담 완화, 거래 활성화, 재생원료 사용·생산 촉진 등 목표 제시
- 사용후 배터리 산업 활성화는 원료 확보가 관건이므로 국내 순환이용을 촉진할 필요가 있음. 현행 전기차 수출말소에 대한 보조금 회수 가이드라인 구축, 중고 전기차 국내 거래 활성화 등이 필요
- 또한 우리나라 사용후 전기차 자원순환을 촉진하고 자원 공급망 리스크 등을 완화하기 위해 사용후 배터리 외 구동 모터 등 미래차 부품의 재제조·재사용 활성화를 함께 추진할 필요
- 사용후 배터리 산업 활성화를 위한 법·제도·인프라가 구축되고 사용후 전기차 순환이용이 활성화된다면 사용후 배터리 자원순환 흐름 개선 기대 가능

[그림 4] 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름 개선도



(산업 간, 기업 간 협력체계 강화)

- 글로벌 자동차 환경 규제에 효율적으로 대응하기 위해 산업 간·기업 간 데이터 연계 필요성이 증가 중, 우리나라 자동차·부품 제조기업·소재 기업·재활용 기업 간 데이터 연계 촉진이 필요
- 자동차 제조·수입기업의 재활용정보 제고 수준을 담보하기 위해 현행 법안 일부 보완 검토 가능

Abstract

Implication and Sustainability of Automotive Recycling: A Comprehensive Review with Emphasis on Plastic and EV Batteries

LEE Seohyun and JUNG Junha of Korea Automotive Technology Institute

1. Introduction

(Background)

- The need for automotive recycling is increasing among OEMs and parts manufacturers as global policy, led by the EU, continue to be strengthened and supply chain risks emerge.

2. Overview of Automotive Recycling and the Policy Trends

(Overview of Automotive Recycling)

- (ELVs) Vehicles use a vast amount of resources during their production. After being used, they may be scrapped if they don't meet the relevant environmental and economical standards.

〈Table 1〉 Classification of End of Life Vehicles(ELVs)

Classification	Process
Vehicles that are inoperable domestically due to regulations and are suitable for scrap because the repair costs are higher than their current value, and: ① they are inoperable also in overseas due to their poor condition, or ② export is impossible because the expenses(transport costs, etc.) outweigh the profits	Scrap
Vehicles that are inoperable domestically due to regulations and suitable for scrap because repair costs are higher than their value, but can be exported because they are operable overseas (due to more relaxed regulations, or cheaper repair costs due to lower labor costs)	Scrap or Export

- (Recycling) End-of-Life Vehicle(ELV) and its resources are either remanufactured, reused or recycled, depending on their condition.

〈Table 2〉 Classification of Recycling Methods

	Definition
Remanufacturing	Among the activities that make "recyclable resources*" to recyclable, reusable condition, activity that restore the resources their original performance(or better) through processes such as disassembly, inspection, maintenance, and reassembly, etc.
Reuse	Activity that allows "recyclable resources" to be reused in their current condition or after minor repairs
Recycle	Reusing or recycling waste materials
Circulation Use	Using whole or some of "recyclable resources" as raw material * Raw materials which consist of whole or some of "recyclable resources" are defined as "recycled raw materials"

* The meaning of 'recyclable resources' is defined in Article 2, Subparagraph 2 of the 「ACT ON THE PROMOTION OF SAVING AND RECYCLING OF RESOURCES」

- (ELV Recycling Process) In South Korea, ELVs and their resources are recycled through automotive dismantling recyclers, scrap recyclers, ASR(Automotive Shredder Residue) recyclers, and waste gas treatment business operators, sequentially.
- (Vehicle Electrification and Recycling) Due to the motorization and electrification of vehicles, the use of metals, plastics, and electronic components is expected to grow exponentially. However, these materials are difficult to recycle, making automotive recycling even more arduous.

(Global Policy on Automotive Recycling)

- (Trends) As regulatory obligations and their scope continue to strengthen, the need to consider resource circulation during the product design stage and to share supply chain data is increasing.

〈Table 3〉 European Union's Core Policies Regarding Automotive Recycling

Policy	Effective Date	Overview
Eco Design Regulation	2024.7	• Promote circular product design, taking into consideration the product durability and reusability • Disclosure of recycling information, such as annual waste volume • Mandatory attachment of Digital Product Passport(DPP)
Battery Regulation	2023.8	• Introduction of Digital Battery Passport • Mandatory usage of recycled raw materials in battery production • Requirement for battery producers to collect and recycle EoL batteries
ELV Regulation (Proposed amendment to current ELV directive)	TBD (Proposal released 2023.7)	Current ELV directive is to be strengthened, including: • A ban on the export of ELVs(Vehicle that is inoperable in EU due to regulations and suitable for scrap because repair costs are higher than their value, but can be exported because they are operable overseas) • Mandatory use of recycled plastic in vehicle production • Mandatory recycling of plastics originated from ELV • A requirement for the removal of e-drive motors, electronic components, EoL batteries and other sixteen kinds of parts

- (South Korean Policies❶) Eco-Assurance System(EcoAS) and Extended Producer Responsibility (EPR) are in effect for the automotive recycling, with the legal framework to foster the growth of EoL battery reuse and recycle industries is being established.
- (South Korean Policy Changes❷) While vehicles are not subject to EPR, five types of plastic-based vehicle maintenance parts became subject to EPR in 2023. Including all types of EoL batteries in the EPR list was considered but not implemented. However, adding LFP batteries alone to the EPR list is currently under consideration.

〈Table 4〉 South Korea's Core Policies Regarding Automotive Recycling

Classification		Overview
ELVs & Plastics	EcoAS	• (OEMs, Vehicle importers) Must comply with hazardous substance content standards and provide relevant recycling information (including the dismantling process, location of hazardous materials to be removed, and composition of synthetic polymer compounds, etc.) to recyclers • (Recyclers) Must recycle ELVs and their parts as much as possible to meet the ELV recycling target of 95%
	EPR	• Assigns the responsibility for the recovery and recycling of waste materials, such as plastics, to product producers • EoL batteries are not included, unlike the EU • Five types of plastic-based vehicle maintenance parts(bumpers, moldings and garnishes, under covers, washer and coolant tanks) are included in 2023
EoL Batteries	Electrical Appliances and Consumer Products Safety Control Act	• Distribution of EoL batteries for reuse is only permitted if they pass safety inspections, which are to be conducted by designated agencies • Designation of EoL battery inspection agencies(9 agencies available, as of August 2024.)
	Act on Promotion of Transition to Circular Economy and Society	• Designation of EoL batteries as 'circular resources'* rather than waste, reducing regulatory burden for companies * Only for the purposes of remanufacturing and reuse(recycling is not included)
	Law·Policy·Infrastructure Building Plan for EoL Battery Reuse and Recycle Industries	• Establishment of various battery life cycle management systems, to be developed by different government ministries: (MOTIE) Battery supply chain data, trade information system (EoL battery distribution and reuse history, etc.) (ME) Integrated EV life cycle environmental information system(battery recharge information, battery recycling history, etc.) (MOLIT) EV battery safety certification management system(battery safety certification, performance evaluation, remanufacturing history) • An integrated platform, connecting aforementioned systems • Introduction of certification system for recycled raw materials (production and usage) • Introduction of battery pre-removal evaluation system • Establishment of distribution system for EoL batteries(incl. the establishment of specialized business registration, trade and storage standards, and transaction information system)

3. Current Status of Automotive Recycling

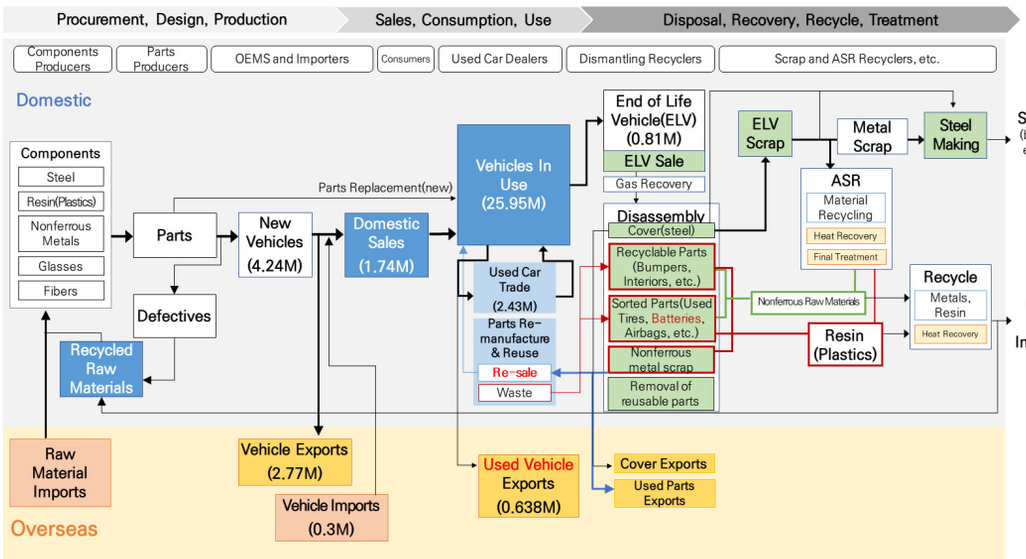
◆ (Automotive Recycling in South Korea)

◎ (Scope) This research focuses on the domestic circulation of ELVs, specifically plastic and EoL batteries. The latest trends in global policies and vehicle electrification are taken into consideration.

❶ End-of-Life Vehicle(ELV)

- (Status) S. Korea has a relatively well-established ELV management structure compared to other countries, with almost all ELVs processed by registered recyclers.
- (Issue) However, the recycling rate of ELVs and their resources in S. Korea is assumed to be relatively low. The development of ASR treatment technology is proposed as a solution.
- (Outlook) As the number of EoL EVs is expected to rise, investments and support are needed for recyclers, as they require additional infrastructure and technology to process these EVs.

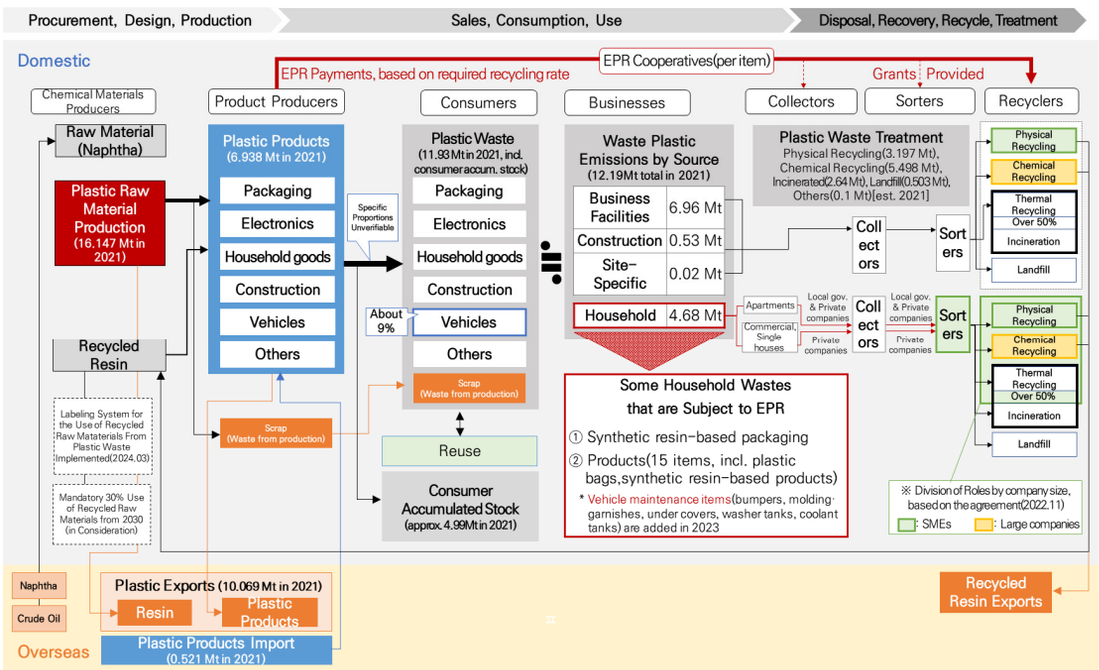
[Figure 1] Overview of Automotive Circulation Flow in South Korea



❷ Plastic

- (Global plastic usage and waste) The automotive industry ranked 3rd in plastic usage among all industries. The proportion of plastic used in new vehicle is expected to rise(currently 10% by weight and 50% by volume). However, most of the plastic from ELVs is difficult to reuse or recycle, leading to a predominance of incineration.
- (Domestic plastic usage and waste) Plastic usage and emissions within the Korean automotive industry are unverifiable due to a lack of statistical data. However, the usage of recycled plastic in vehicle production and the recycling rate of plastic originating from ELVs are both low.
- (Global policy trends) Major countries are introducing policies such as mandates for the use of recycled raw materials in the production of new plastics. Given the extensive use of plastic in vehicles, these trends are expected to have huge impact on the automotive industry.
- (Status) Demand for high-quality raw materials suitable for recycled plastic production is anticipated to rise exponentially. However, since the domestic recycling industry is primarily composed of SMEs, obtaining a sufficient amount of high-quality raw materials remains a challenge. Nevertheless, based on the recent mutual growth agreement between large companies and SMEs, gradual improvement can be expected.
- (Outlook) The recycling rate of plastic is expected to gradually increase, driven by the revision of EPR in 2023 and the target for the use of recycled plastics by OEMs.(20% by 2030, up from the current 2%)

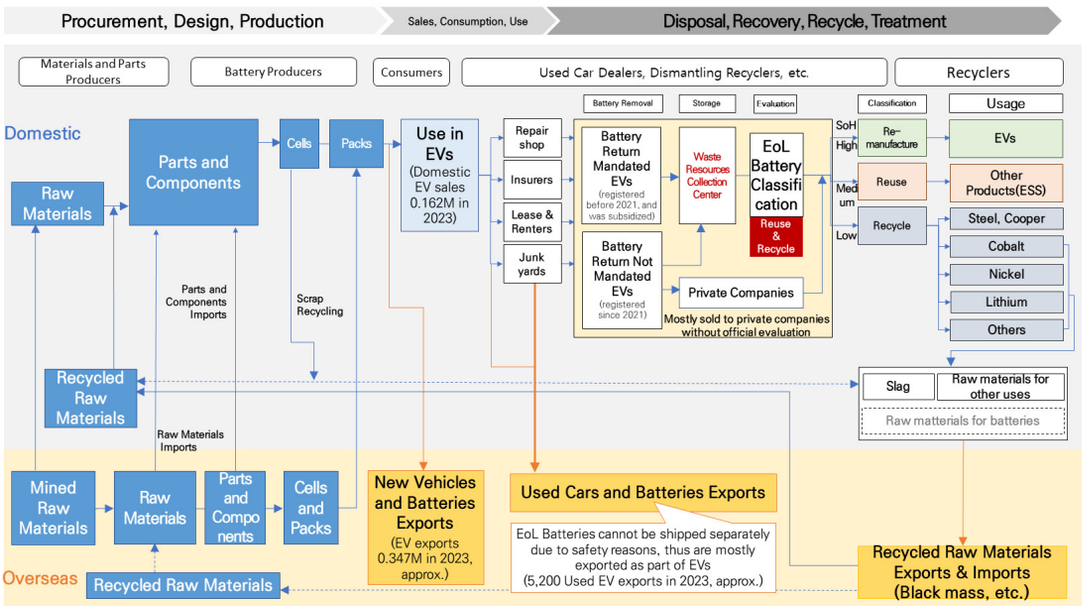
[Figure 2] Overview of Plastic Circulation Flow in South Korea



❸ End-of-Life(EoL) Batteries

- (Battery usage and waste) While the adoption of Electric Vehicle(EV) continues to rise, EoL batteries are expected to be discharged in large quantities starting in 2030. For instance, the current output of EoL batteries(14,000 unit) in South Korea is expected to grow to 108,000 unit by 2030. Hence, achieving economies of scale by securing raw materials remains a top priority, to foster the growth of EoL battery reuse and recycling industries.
- (Domestic policy) The South Korean government has amended its EV subsidy recovery policy to ensure that EoL EVs and their batteries are primarily circulated domestically. If an EV is deregistered before completing the mandatory operation period—especially for export reasons—the last owner of the EV must return a portion of the subsidy.
- (Status) Previously, EoL batteries from scrapped EVs were required to be return to the relevant local governments. However, EVs registered since 2021 are exempt from this rule, thus leaving a gap in the management of EoL batteries.
- (Outlook) After being removed from EVs, EoL batteries are classified and sent to remanufacturing, reuse, or recycling industries based on their state of health(SoH). While the battery recycling industry has garnered some attention recently, the remanufacturing and reuse industries are also expected to grow exponentially in the future.

[Figure 3] Overview of End of Life(EoL) Battery Circulation Flow in South Korea



(Automotive Recycling in Major Countries)

◎ (Scope) The EU and China are researched, as they lead on global policy making and EV sales, respectively. China is also the fastest to establish EoL battery recovery system.

❶ EU

- (ELV) Despite having world-leading recycling technologies, the EU has a relatively inferior ELV management system, with one-third of ELVs considered to be missing. To address the issue, the EU proposed the ELV regulation to reinforce its management structure and plans to develop an integrated ELV management system.
- (Plastic) The ELV regulation will mandate a 25% use of recycled plastics (from ELVs) in vehicle production, and mandate a 30% recycling rate of plastics originated from ELVs.
- (EoL Batteries) The Battery regulation, which came into effect in August 2023, assigns battery manufacturers the responsibility of recovering and recycling EoL batteries, and require proof of the use of recycled raw materials and supply chain due diligence. To facilitate this, cross-industry data sharing platforms, such as Catena-X, are being developed.

❷ China

- (ELV) Due to relatively poor ELV management system and the competitiveness of registered recyclers, over 85% of ELVs and their resources are believed to be processed illegally in China. To counteract this problem, the government has initiated a pilot program for automotive EPR and introduced tax reductions for registered dismantling recyclers.
- (Plastic) The overall recovery and recycling rate of plastics is not high, and the policies promoting the use of ELV-originated plastic are considered insufficient. Likewise, the demand for recycled plastics within the local automotive industry is minimal.
- (EoL Batteries) China has established an EoL battery life cycle management system in 2018, the fastest among major countries. However, some amendments are required to enhance its effectiveness.

❸ Comparison between major countries

- The comparative analysis between South Korea, the EU, and China are summarized as below.

〈Table 5〉 Comparison of Major Countries' Recycling Status of ELVs and Its Resources

Country	ELVs and Its Resources			
		EoL EVs	EoL Batteries	Plastics
South Korea	• Almost all ELVs are processed through registered recyclers • Exports of ELV to developing nations are on the rise	• A significant amount of EoL EVs are being exported	• Due to safety issues, EoL batteries are not traded separately, but as part of the EV • Recycled raw materials are imported en masse from the EU	• The usage rate of recycled plastics in vehicle production is targeted to 20% by 2030, up from the current 2%
EU	• One-third of ELVs are considered missing • Exports of ELV to developing nations are on the rise	• Exports to developing nations are on the rise	• Due to safety issues, EoL batteries are not traded separately, but as part of the EV • Recycled raw materials are exported(ex: 20,000 tons of black mass exported to South Korea(out of 30,000 tons))	• The usage rate of recycled plastics in vehicle production is approximately 8%
China	• 85% of ELVs are processed improperly • The export amount of ELVs is limited	• The export of EoL EVs began recently, with most of exported vehicles being almost new NEVs(New Energy Vehicles)	• 75% of EoL batteries are processed improperly by unregistered companies • The import of EoL batteries and black mass is nearly impossible	• Recovery and recycling are almost non-existent

〈Table 6〉 Comparison of Major Countries' Policies Regarding ELVs and Its Resources

Country	ELVs and Its Resources			
		EoL EVs	EoL Batteries	Plastic
South Korea	• Not subject to EPR, but the target recycling rate is set by EcoAS • Almost all ELVs are managed properly through ELV registration and management system	• Not subject to EPR • The EV subsidy recovery policy has been strengthened to discourage EV deregistration for export.	• Not subject to EPR • EVs registered prior to 2021 are required to return their batteries, but EVs registered since 2021 are exempt from this requirement. • A battery life cycle management system is planned(by 2027)	• Not subject to EPR, but five plastic- based vehicle maintenance parts (bumpers, moldings and garnishes, under covers, washer tanks, coolant tanks) are subject to EPR
EU	• Subject to EPR • An integrated vehicle registration and management system is planned(by 2029) • Limiting exports of inoperable ELV by designating them as wastes is being considered	• Subject to EPR • An integrated vehicle registration and management system is planned(by 2029) • Limiting exports of inoperable ELV by designating them as wastes are being considered	• Through the Battery Regulation: ① Application of EPR ② Mandating the use of recycled raw materials in product production ③ Establishment of a battery life cycle management system • Require SLI batteries to be disassembled • Limiting the export of black mass by designa ting it as hazardous waste	• Subject to automative EPR • A minimum of 30%(by weight) recycling of plastics originated from ELV is mandatory. • A minimum of 25% use of recycled plastic (6.25% from ELV based) in vehicle production from 2030
China	• Not subject to EPR • Introduction of policies to promote the competitiveness of registered dismantling recyclers, such as the application of a simplified tax method for value-added tax	• Not subject to EPR • NEV batteries are managed by a life cycle management system since 2018	• Subject to EPR • A battery life cycle management system in operation, with an upgrade planned by the end of 2024 • Allowing imports of EoL batteries and black mass is under conside- ration (to be determined by the end of 2024)	• No verifiable policy to promote plastic recycling

4. Status and Outlook of Automotive Recycling Technology

(Plastic Recovery and Recycling)

- (Status) Plastic recycling technologies can be classified into physical, chemical, and thermal methods. Considering the environmental regulations concerning the automotive industry, physical and chemical recycling are primarily employed to recycle plastics from ELV and to produce recycled plastics.
- (Outlook) Currently, physical recycling is the most widely used methods for producing recycled plastics. However, it has limitations in terms of the scope of application and the quality of the output. Therefore, advancements in plastic recovery and cleaning systems, as well as the development of chemical recycling technology, are suggested.

(EoL Battery Recovery and Recycle)

- (Battery Reuse) Advancements are being made in the fields of battery diagnosis and dismantling, with a focus on applying AI and data analysis techniques to enhance the speed and accuracy of the these processes.
- (Battery Recycling) Pyrometallurgy and hydrometallurgy are currently widely used techniques to recover rare metals from EoL batteries. Recent studies have concentrated on improving the economic efficiency and environmental impact of battery recycling.

5. Conclusion and Implications

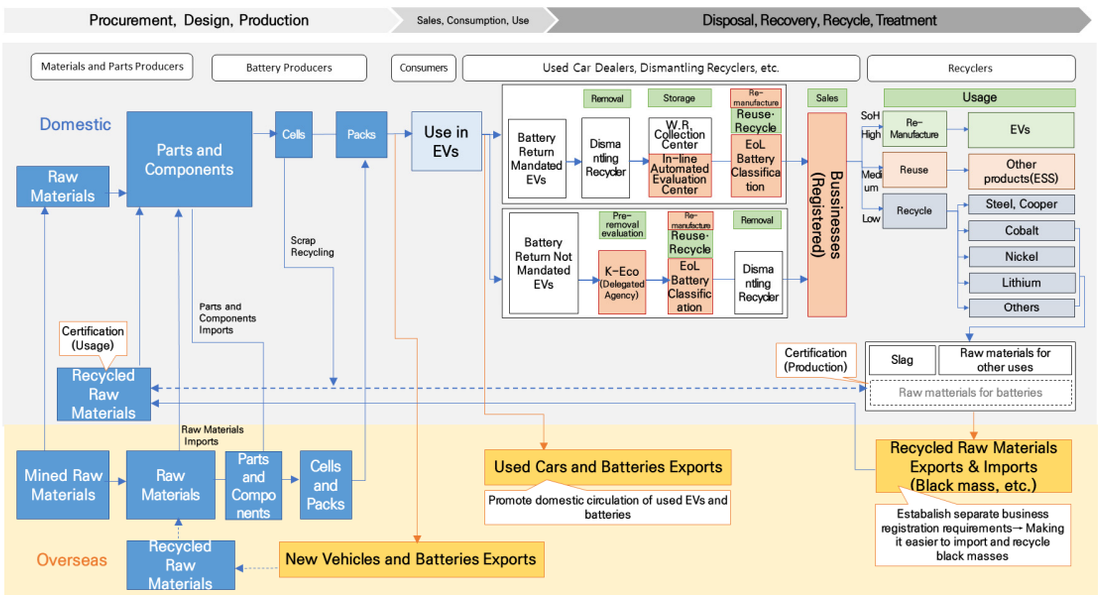
(Promote the Plastic Recycling Within the Automotive Industry)

- Investments are needed in plastic collection, sorting, and cleaning sectors to enhance the efficiency and economic feasibility of plastic recycling.
- In order to meet the regulatory requirements, such as the mandatory use of recycled plastic in vehicle production and the recycling of plastics originated from ELV, advancements in plastic separation and recovery systems, as well as ASR recycling technology, are essential.
- For OEMs, it is crucial to ① achieve the economic feasibility of using recycled plastics in vehicle production, ② ensure that the quality of recycled plastics matches that of new ones, and ③ reduce carbon emissions. In order to accomplish these goals, leveraging chemical recycling technology would be needed, alongside the physical recycling.
- Last but not least, the establishment of an advanced statistical system is vital, not only in understanding an accurate overview of the plastic recycling today, but also in meeting the requirements of international regulations such as the UN plastic treaty.

(Promote the Domestic Circulation of EoL Batteries)

- To bolster the growth of EoL battery reuse and recycle industries, the South Korean government plans to establish relevant law, policy, and infrastructures by 2027. This includes ① a life cycle management system, ② a certification system for the use and production of recycled raw materials, ③ EoL battery pre-removal evaluation system.
- Since acquiring raw materials(EoL batteries) remains a critical task for the aforementioned industries, promoting the domestic circulation of EoL EVs and their batteries is necessary. Encouraging domestic trade of EVs and developing guidelines for EV subsidy recovery policy should be considered.
- To further promote the circulation of EVs and reduce supply chain risks, it's important to foster the growth of remanufacture and reuse of other automotive parts as well, such as e-drive motors.
- When aforementioned framework is established and the recycling of EoL EVs is enhanced, substantial improvement in EoL battery recycling can be expected.

[Figure 4] Expected Improvement in EoL Battery Circulation Flow in South Korea



(Consolidate Cross-Industry Cooperation)

- To effectively address global regulatory requirements, the need for cross-industry data integration is becoming more prominent. Accordingly, domestic companies—including OEMs, parts manufacturers, and raw material manufacturers—need to cooperate.
- Amendments to current regulations may be considered to ensure the quality of recycling information provided by OEMs and vehicle importers.

PART 1

서론

1 배경
2 연구 목표 및 구성

PART 1

서론

1. 배경

최근 자동차 산업은 탈탄소화라는 메가 트렌드를 맞이하여 빠르게 변화하고 있다. 주요국의 글로벌 환경 규제, 자원 공급망 리스크가 새로운 과제로 부상하며 자동차·부품 생산기업은 자동차 자원순환을 통해 경제성과 환경성이라는 과제를 동시에 달성해야 하게 되었다.

자동차 자원순환은 자동차의 설계, 생산, 사용, 폐기까지 전 과정에 걸쳐 자원을 최대한 사용하는 것을 의미한다. 자동차는 생산과정에서 플라스틱, 철·비철금속, 고무, 유리 등의 자원을 복합적으로 사용한다. 이후 사용수명을 다한 자동차(사용후 자동차; ELV; End of Life Vehicle)를 폐기하는 과정에서 고철·비고철 금속, 폐타이어, 폐유, 폐부품 등 대량의 폐기물이 발생하게 된다.

최근에는 전동화·전장화가 진행되며 자동차 구조, 설계, 소재 전반이 변화하고 있는데, 이는 자동차 자원순환의 필요성과 가능성에도 큰 영향을 미칠 것으로 평가된다. 일례로 전기차가 확산되며 전기차 부품인 배터리·구동 모터 등의 원료인 희소 금속 사용량이 증가할 것이며 자동차를 경량화하기 위해 플라스틱 사용량도 증가할 전망이다. 그런데 희소 금속은 자원 수급난과 공급망 리스크를 안고 있어 재활용 필요성이 높다고 평가되며, 그간 잘 사용되지 않았던 폐기물은 기존 기술, 설비로는 재활용이 어려운 측면이 있다. 사용후 자동차와 그 폐기물이 적절하게 처리되지 않으면 환경오염을 유발할 수 있으나, 반대로 효율적으로 회수·재활용된다면 자원순환을 통해 새로운 가치와 가능성을 창출할 수 있다.

이에 최근 유럽연합(EU)을 필두로 주요국은 자동차 자원순환 정책을 강화하고 있다. 따라서 자동차·부품 생산 시 재생원료를 사용하고 입증할 의무, 자동차 폐기 시 재활용률 목표를 준수할 의무 등이 부과될 예정이다. 또한 전동화·전장화가 진행되면서 플라스틱과 전기차 배터리의 사용량이 대폭 증가할 예정인데 그 회수·재활용도 의무화될 예정이다. 이러한 자동차 자원순환 정책은 수년 내 시행될 예정이며 글로벌 표준으로 작용할 전망이다. 이를 충족하지 못하면 높은 비용을 부담해야 하며 신차 판매에도 제약이 발생할 수 있어 자동차·부품 제조사의 적극적 대응이 요구된다.

글로벌 자동차 자원순환 정책의 변화는 자동차·부품 제조사의 경쟁력을 결정하는 중요 요소로 작용할 전망이다. 과거에는 자동차 자원순환은 주로 기업의 이미지를 제고하는 부가적 요소로 인식되었다. 그러나 앞으로 글로벌 자동차 자원순환 정책에 대응하기 위해서는 자동차 생산 단계부터 친환경소재와 부품을 사용하고 전 과정에서 탄소 배출량을 저감하기 위한 노력이 필수 불가결해진다.

특히 전기차는 기존의 내연기관차와 달리 배터리 등 부품에 희소 금속을 더 많이 사용하므로, 자원순환의 중요성은 더욱 증가한다. 최근 전기차 보급 확대에 따라 니켈·코발트·망간·네오디뮴 등 희소 금속 사용량이 증가하고 있다. 이러한 희소 금속을 회수·재활용하면 원료 조달 비용과 공급망 리스크 등을 낮춰 기업 경쟁력을 제고할 수 있을 것으로 기대된다. 이에 따라 각국은 최근 배터리 전주기 관리체계·기반을 구축·강화하고, 사용후 배터리 운송 규제 등을 정비하여 해외 유출을 방지하는 등 자동차 자원순환에 필요한 원료를 확보하기 위해 경쟁하고 있다.

또한 최근 전기차·배터리 산업에서 핵심 주제로 부상하고 있는 사용후 배터리 관련 미래차 전환으로 인한 자동차 자원순환의 변화, 제품 설계 단계부터 재사용·재활용을 고려하고 재생원료를 적극적으로 적용하는 등 종합적인 변화가 필요하다. 또한, 해체재활용업자 등 폐자동차 재활용 분야 기업 등과 협력을 강화하여 자원순환 체계를 구축할 필요가 있을 것이다.

2. 연구 목표 및 구성

본 보고서는 자동차 자원순환의 현황과 가능성을 경제적·기술적 측면에서 분석하고, 정책적 시사점을 도출하는 것을 목표한다. 특히, 미래차 전환기를 맞이하여 우리나라와 주요국의 자동차 자원순환 현황 및 관련 기술 동향을 심도있게 분석하여 우리나라 자동차·부품 산업의 가능성과 경쟁력을 높이는 데 기여하고자 한다. 이를 위해 다음과 같은 세부 목표를 설정하였다.

첫째, 자동차 자원순환의 필요성을 분석한다. 자동차 자원순환의 흐름을 살펴보고 미래차 전환이 자동차 자원순환에 미치는 영향을 분석한다. 특히 플라스틱, 배터리 사용량이 증가할 것으로 예상됨에 따라 사용후 자동차(ELV)와 플라스틱, 사용후 배터리의 자원순환 흐름을 중점적으로 평가한다.

둘째, 국내외 자동차 자원순환 현황과 정책 동향을 분석한다. 최근 EU를 선두로 주요국의 자동차 자원순환 정책이 전반적으로 개편되고 있는데, 각 정책의 구체적인 내용과 그로 인한 영향을 검토한다. EU 폐차처리 규정 개정안(End of Life Vehicle Regulation) 규정 개정안, EU 배터리 규정(Battery Regulation), 중국의 사용후 배터리 관리체계, 중국의 폐차 관리 규정 등 글로벌 자동차 자원순환 정책 변화 양상을 살펴보고 이가 자동차 산업에 미치는 영향에 대해 개관한다. 주요 조사국으로는 글로벌 자원순환 정책을 주도하는 EU와 전기차 산업이 급성장하고 있는 중국을 선정하였다.

셋째, 자동차 자원순환 관련 기술 동향을 분석한다. 특히 기존 기술로는 회수·재활용이 제한적인 플라스틱과 사용후 배터리 등의 순환이용 방안을 살펴보고 기술 발전 가능성과 한계를 평가한다.

넷째, 우리나라 자동차 자원순환을 촉진하기 위해 해결해야 할 몇 가지 과제와 정책적 시사점을 도출한다. 이를 통해 우리나라 자동차·부품 산업의 글로벌 경쟁력 강화에 도움이 되는 것을 목표한다.

본 보고서는 제1장 서론을 포함하여 총 5개의 장과 부록으로 구성된다. 제2장에서는 자동차 자원순환의 필요성, 제3장에서는 국내외 자동차 자원순환 현황을 분석한다. 제4장에서는 자동차 자원순환 관련 기술의 현황을 살펴보고, 제5장에서는 결론과 시사점을 도출한다. 부록에서는 최근 주목도가 높은 사용후 배터리 재사용·재활용 최신 기술에 대해 상술한다.

PART 2

자동차 자원순환의 개요와 정책 동향

1 자동차 자원순환 개요
2 자동차 자원순환 정책 동향

PART 2

자동차 자원순환의 개요와 정책 동향

1. 자동차 자원순환 개요

1.1. 자동차 자원순환 흐름

「순환경제사회 전환 촉진법」에 따르면 자원순환이란 폐기물의 발생을 억제하고 발생된 폐기물을 순환이용하는 등 자원의 순환 과정을 환경친화적으로 이용·관리하는 것을 말한다. 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」은 자원의 순환이용을 도모하기 위한 '재활용'을 폐기물 재사용·재생이용 또는 폐기물로부터의 에너지 회수 등 순환이용을 포괄하는 광범위한 용어로 정의하고 있다.

한편 자동차 업계에서는 부품 등을 회수하여 분해·분류·파쇄 등 물리화학적 가공을 거쳐 원재료로 생산에 다시 투입하는 것은 재활용, 일련의 과정을 거쳐 부품을 다시 사용할 수 있도록 하는 것은 재사용으로 구분하고 있다.[1] 부품 재사용은 그 과정에 따라 다시 재제조, 재사용으로 세분한다. 「환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률」은 재제조를 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등의 공정을 거쳐 원래의 성능 또는 그 이상의 성능을 가진 상태로 만드는 것이라 정의한다.

본 보고서는 자동차 업계 관점에 따라 자원순환 방식을 재제조, 재사용, 재활용으로 구분한다. 재활용은 재생이용, 즉 재생원료 생산공정을 포함한다. 한편 폐기물로부터의 에너지회수 또한 광의의 재활용에 해당하나 주로 에너지 또는 석유화학 산업 등과 밀접하게 연관되며 자동차 산업과의 연관성은 상대적으로 낮으므로 서술을 생략한다.

〈표 2-1〉 본 보고서 분석 대상 자원순환 방식

구분		
재제조		「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」 제2조 제2호에 따른 재활용가능자원[1]을 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동 중에서 분해·세척·검사·보수·조정·재조립 등의 공정을 거쳐 원래의 성능 또는 그 이상의 성능을 가진 상태로 만드는 산업활동
재사용		재활용가능자원[1]을 그대로 또는 고쳐서 다시 쓰거나 생산활동에 다시 사용할 수 있게 하는 활동
재활용		폐기물을 재사용·재생이용하거나 재사용·재생이용할 수 있는 상태로 만드는 활동
	재생이용	재활용가능자원[1]의 전부 또는 일부를 원료*로 다시 사용하거나 다시 사용할 수 있도록 하는 것 * 재활용가능자원의 전부 또는 일부를 재생이용한 원료는 '재생원료'로 정의

주: 1) 재활용가능자원은 사용되었거나 사용되지 않고 버려진 후 수거된 물건과 부산물 중 재사용·재생이용할 수 있는 것
자료: 「자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률」과 「환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률」 내용을 저자 정리

1) 산업통상자원부 순환경제정보플랫폼, "재제조란?", https://www.circular-economy.or.kr/site/siteRemanuf/info-reman, accessed: 2024. 9. 12.

자동차는 대량의 철과 비철금속, 플라스틱 등 자원을 사용하여 생산되는 제품으로, 자원순환 필요성이 높은 산업 중 하나이다. 주요국에서 판매되는 신차의 평균 공차중량이 지속 증가하면서 자원 사용량과 자동차 유래 폐자원 또한 배출량이 대폭 증가할 것으로 전망된다.[2)3)] 이에 따라 우리나라와 주요국 정부는 자동차에서 발생하는 폐기물의 양을 줄이고 자원순환을 더 강화하기 위해 노력하고 있다. 본보고서는 아래에서는 자동차 폐차 과정상 자원순환 흐름을 분석한다.

자동차는 생산된 뒤 사용되면서 노후화된다. 그리고 차량의 상태가 계속 사용하기에 적합하지 않은 경우 소유주는 차량을 처분한다. 소유주가 처분한 차량은 국내에서 중고차로 사용되거나 폐차 또는 수출을 하기 위해 말소등록을 하게 된다. 그런데 수출 중고차에는 국내에서 주행하는 데 문제가 없는 차량과 국내 경제성·환경성 기준상 폐차가 적합하나 해외 기준상 중고차로 간주되기도 하는 노후 차량이 혼재되어 있다.[4)] 경제성이란 국내 수리 비용 또는 노후차 조기 폐차 보조금 등이 차량 가치보다 높은 경우, 환경성이란 국내 환경규제 상 주행이 불가한 경우를 생각할 수 있다. 본 보고서는 국내 경제성·환경성 기준상 폐차가 적합한 차를 '사용후 자동차'(폐자동차; End of Life Vehicle; ELV)라고 구분한다.

〈표 2-2〉 본 보고서의 사용후 자동차(End of Life Vehicle) 구분

구분	처리
국내 규제상 주행이 불가하거나 수리 비용이 차량 가치보다 높아 폐차가 적합하며 ①해외에서도 중고차로 사용할 수 없을 정도로 노후되었거나, ②수출 제비용(수리·운송비, 통관 절차, 관세 등)보다 수출 수익이 높지 않아 수출할 유인이 없는 차	폐차 처리
국내 규제상 주행이 불가하거나 수리 비용이 차량 가치보다 높아 폐차가 적합하나 해외에서는 중고차로 사용할 수 있어 수출할 수 있는 자동차 (해외 규제 수준이 국내보다 낮은 경우, 저렴한 인건비 등으로 인해 현지 수리 비용이 낮은 경우 등)	폐차 처리, 또는 수출

자료: 저자 작성

소유주는 자동차 해체재활용(폐차)업자를 통해 자동차를 말소등록한다. 해체재활용(폐차)업자는 폐차 요청된 자동차(이륜자동차는 제외함)의 인수, 재사용이 가능한 부품의 회수, 폐차 및 그 말소등록신청의 대행을 업으로 하는 자를 의미한다.[5)]

자동차 말소등록 사유에는 여러 가지가 있는데, 폐차 처리를 하는 경우 또는 수출 예정인 경우가 대표적이다.[6)] 폐차란 자동차를 해체하여 장치 등의 성능을 유지할 수 없도록 압축·파쇄·절단하거나, 해체하지 않고 바로 압축·파쇄하는 것을 의미한다.[7)]

---

2) 우리나라에 판매되는 차량의 평균 공차중량은 '16년 1,555.7kg에서 '18년 1,595.4kg, '20년 1,621.8kg으로 증가하고 있음 (환경부(2022), 2016~2020년 자동차 온실가스 관리제도 이행실적 공개(2022. 11. 16.))

3) 미국에 판매되는 차량의 평균 공차중량은 '80년대보다 1,000파운드 증가한 '22년 4,329파운드(약 1,963.6kg) 수준임 (Capital One, "4 Reasons Why New Cars Are So Heavy(2024. 5. 24.)", https://www.capitalone.com/cars/learn/finding-the-right-car/4-reasons-why-new-cars-are-so-heavy/3283, accessed: 2024. 8. 19.)

4) 최근 우리나라·일본·EU에서 개발도상국으로 중고차 수출이 증가하고 있는데, 노후 차량이 이전되며 글로벌 온실가스 배출량이 증가한다는 지적도 제기됨(〈표 3-3〉 UNEP이 지적한 중고차 국제 거래로 인한 온실가스 배출 심화 문제를 참조) 이에 EU는 노후 차량 수출을 제한하는 조치를 도입하려 하기도 함(제3장 2.1.1. EU – 사용후 자동차를 참조)

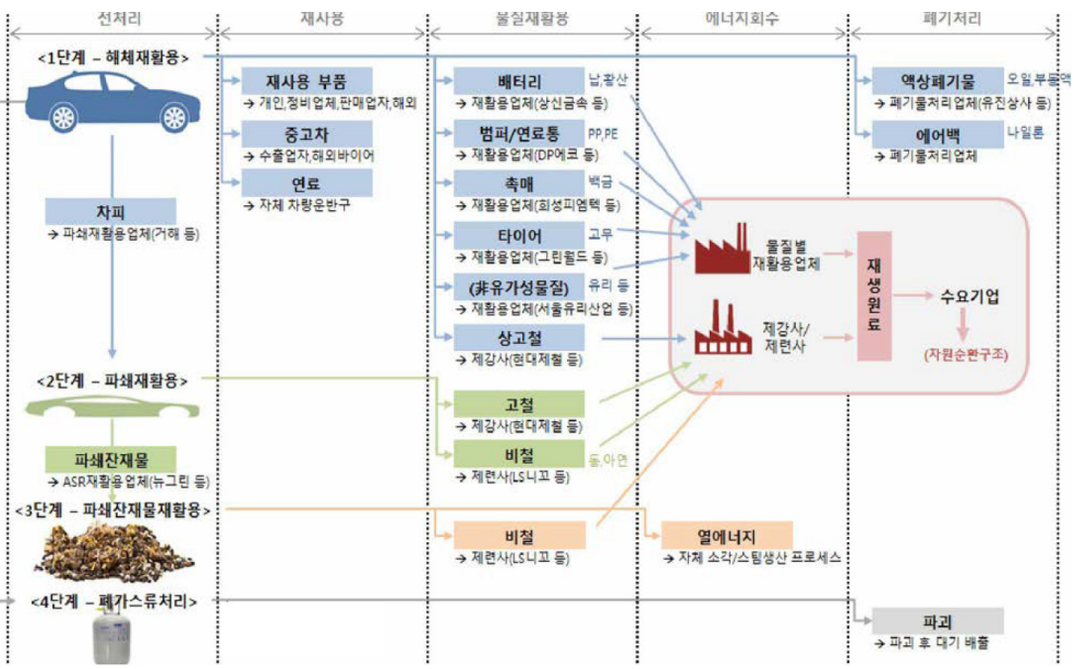
5) 「자동차관리법」 제2조 제9호가 '10년에 개정되어 '자동차폐차업자'가 '자동차해체재활용업자'로 변경되었음. 그러나 '24년 현재에도 '폐차업자'라는 용어가 통용되고 있어, 본 보고서는 해체재활용업자와 폐차업자라는 용어를 병용함

6) 「자동차관리법」 제13조에 따르면 이 외에도 다양한 말소등록 사유가 있음. 자동차가 사고·화재 등으로 본래의 기능을 회복할 수 없거나 멸실된 경우, 행정처분 이행으로 말소하는 경우, 「여객자동차 운수사업법」에 따른 차령(車齡)이 초과한 경우, 자동차 제작·판매자 등에게 반품한 경우 등에 자동차 소유주는 말소등록을 할 의무를 짐

7) 「자동차관리법」 제2조 제5항

최종 소유주로부터 인수한 사용후 자동차의 상태가 상대적으로 양호한 경우, 해체재활용업자는 폐차 처리보다 더 큰 수익을 기대할 수 있는 중고차 수출을 고려할 수 있다. 주로 국내에서는 폐차하는 것이 합리적이나 규제 수준과 수리 비용이 낮은 해외에서는 중고차로 사용할 수 있는 사용후 자동차가 대상이다. 폐차 처리보다 중고차 수출로 더 큰 수익을 기대할 수 있는 이유로는 노동력을 투입하여 해체하는 것보다 중고차로 수출하면 비용 대비 수익이 높다는 점, 해외 중고차 수요가 높아 높은 부가가치를 인정받을 수 있다는 점 등을 들 수 있다.

[그림 2-1] 우리나라 사용후 자동차 유래 폐자원 흐름



자료: 이민영 외(2016), 폐자동차 적정 처리·재활용비용 산정 등에 관한 연구, 환경부 용역과제 보고서를 재수정

사용후 자동차에서 발생한 폐자원은 해체재활용업자, 파쇄재활용업자, 파쇄잔재물(ASR) 재활용업자, 폐가스류 처리업자 등을 거쳐 재활용된다.[8)]

해체재활용업자는 차량에서 법정분리품목(촉매·배터리·범퍼 등)을 해체하고 액상폐기물·냉매 등을 회수하며, 회수량 등을 국토교통부·환경부의 관련 시스템에 입력한다.[9)] 해체재활용업자는 차량의 상태에 따라 수출, 철·비철금속 등 원자재 추출 등을 통해 수익을 창출한다.[10)] 재제조·재사용·재활용이 가능한 부품은 회수하여 정비소·재활용 업자·부품 수출업자 등에 판매하여 추가 수익을 창출하기도 한다.

최근 해체재활용업자는 전기차에서 사용후 배터리를 탈거한 뒤 미래폐자원거점수거센터에 반납하는 역할도 담당한다. 미래폐자원거점수거센터에서 사용후 배터리를 안전하게 반납받아 활용하기 위해서는 사용후 배터리 상태를 진단하고 방전기를 이용하여 방전할 필요가 있다. 이후 리프트를 이용하여 사용후 배터리를 분리·보관·수거하는 등의 절차가 추가로 필요하다.[11)] 전기차 폐차를 위한 전용 설비, 기술에 신규 투자를

8) 이희선 외(2015), 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름 분석, 한국환경정책·평가연구원.
9) 「폐전기·폐전자제품 및 폐자동차 운반자 등의 관리표 작성·제출에 관한 지침」 별지5에 따른 법정분리품목은 연료, 에어컨 냉매, 액상폐기물, 부동액, 연료통, 액화가스탱크, 에어백, 배터리, 타이어, 촉매, 범퍼, 전기자동차 배터리임
10) 중앙일보, ""1세대 전기차 들어온다"…전국 562개 폐차장 기대감 충전 중(2024. 4 .2.)", https://www.joongang.co.kr/article/25239617, accessed: 2024. 9. 11.
11) 내연기관차 폐차 시에는 데이터를 상시 기록하거나 진단기기를 작동하는 등의 절차가 필요 없음. 그러나 전기차 폐차 시에는 진단기기를 작동하여 배터리 상태를 측정하고 정보를 기록하는 등의 절차가 필요함. 평가·진단기기를 작동할 수 있는 인력이

하지 않고는 전기차를 안전하게 폐차하기 어려워, 현재 국내외 해체재활용업자 중 전기차 폐차를 수행하는 기업은 매우 한정적이라고 한다. 이에 한국환경공단 등은 해체재활용업자의 전기차 폐차 설비구축 등에 대해 지원사업을 추진하고 있다.[12)]

한편 차량에는 해체재활용업자가 재활용 처리하기 어려운 비유가성 물질인 플라스틱·시트·고무·유리 등도 대량 탑재되어 있다. 비유가성 물질은 재활용이 어렵거나 재생원료의 가격이 낮아 수익성이 낮은 물질을 의미한다. 해체재활용업자가 이를 해체·수거하여 재활용 업자에 판매하는 경우도 존재하나 개별 사업장의 재활용 실태를 관련 당국이 확인하기 어려우며, 대체로 수익성이 낮기 때문에 플라스틱 등의 비유가성 물질은 대체로 분리·재활용되지 않고 차피에 남겨지고 있다.[13)]

해체재활용업자가 재활용 처리를 마치면 남은 차량은 압축하여 차피를 파쇄재활용업자에 인계하고, 폐냉매는 폐가스류 처리업자에 인계한다. 파쇄재활용업자는 압축 차피에서 철·비철금속 등 순환자원을 회수·재활용한 뒤 남은 파쇄잔재물(ASR; Automobile Shredder Residue)을 파쇄잔재물 재활용업자에 인계한다. 파쇄잔재물 재활용업자는 ASR에 남아있는 철·비철금속 등을 재활용하고, 나머지 ASR에서 열에너지를 회수하거나 소각한다. 폐가스류 처리업자는 폐냉매를 인수하여 파괴 또는 재활용한다.

〈표 2-3〉 자동차 폐차·재활용 사업자의 재활용 방법 및 기준

구분	재활용·적정처리 물질	재활용 방법 및 기준
1단계: 해체재활용업자	폐자동차 인수 → 부속품(법정 분리품목, 재사용 부품 등) 분리·재활용 → 차피, 폐냉매 인계	• 배터리, 액화가스탱크, 촉매장치, 타이어·연료봉·범퍼 등 대형 합성수지 제품 분리·제거 • 전기차 사용후 배터리는 환경부 고시 방법에 따라 분리·보관 • 에어백은 제거하거나 안정화 • 액상류(연료, 오일, 부동액(냉각수 포함) 및 그 폐기물 분리·배출 • 기후·생태계변화 유발물질(CFC, HCFC, HFC, SF6 등) 분리·보관 등
2단계: 파쇄재활용업자	차피 인수 → 철·비철(구리, 아연 등) 재활용 → 파쇄잔재물(ASR) 인계	• 폐자동차를 파쇄하여 철, 비철금속류와 파쇄잔재물(ASR) 분리·선별 • 파쇄잔재물은 폐자동차와 무관한 다른 폐기물과 혼입 방지 • 파쇄잔재물을 물질재활용 용도와 열회수 용도로 구분하여 분리·배출
3단계: 파쇄잔재물 재활용업자	파쇄잔재물(ASR) 인수 → 열에너지 회수 및 잔여 철·비철 재활용	• 단위 중량 기준으로 전력·중기·가스·금속·고형연료제품 등의 에너지회수 및 철·비철금속 등의 재활용 시 에너지 회수율 및 재활용률 60% 이상
4단계: 폐가스류 처리업자	폐냉매 인수 → 폐냉매 파괴 또는 재활용	• 기후·생태계 변화유발 물질 파괴: 분해율 99.9% 이상 • 기후·생태계 변화유발 물질 재활용: KS I 3004에 따른 회수재생냉매 품질규정 또는 「고압가스 안전관리법」에 따른 고압가스 품질 기준 준수

자료: 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 시행령」 별표 7 내용을 저자 정리

우리나라 및 주요국은 폐자동차 재활용률 95% 이상을 목표하고 있으며, 이를 달성하기 위해서는 파쇄잔재물(ASR) 재활용 기술 개선이 필요하다. ASR은 자동차 해체 공정에서 회수하지 못하고 남은 부분을 파쇄기(Shredder, 슈레더)로 파쇄한 것을 의미한다. 플라스틱, 섬유, 발포우레탄, 고무, 목재, 종이, 기타, 금속, 전선, 유리, 나무 등이 포함되어 있다.[14)]

상주하며 데이터를 관리해야 하므로 고급 인력이 더 필요하다고 함('24.4월 전기차 해체재활용업자 인터뷰 내용)

12) 이를 위해 신규설비 투자가 필요한데, 한국환경공단은 총 15억 원 규모 '전기차 폐배터리 회수체계 지원사업'을 통해 해체재활용업자를 대상으로 전기차 사용후 배터리 분리·보관·화재방지·성능평가·방전 설비 구매비용의 50%(사업자 당 1억원 한도)를 지원할 예정임(뉴스핌, "한국환경공단, 폐배터리 회수 지원사업 신청자 접수…최대 1억 지원(2024. 7. 23.)", https://www.newspim.com/news/view/20240723000968, accessed: 2024. 9. 9.)

13) 남준희(2018), 굿바이! 카, 한티재.

14) Marklines, "Automobile Recycling: Reusing Resources and Plastic Recovery: Securing recovered plastic raw materials and designing vehicles for easy disassembly(2024. 1. 30.)", https://www.marklines.com/en/report

우리나라는 특히 ASR 내 자원 선별·분리·재활용 수준이 타국에 비해 낮아 개선이 필요하다. 우리나라에서 발생하는 ASR은 폐자동차 중량의 약 25%로 현재 철·비철금속 외에는 거의 재활용되지 않고 소각되고 있어 경제적·환경적 부담이 크다.[15] ASR 소각에 추가 비용이 발생하며 그 과정에서 탄소배출량이 증가하기 때문이다. 따라서 ASR에서 회수할 수 있는 자원을 선별·분리하고 재활용률을 제고할 필요가 있다. 이를 위해서는 해체재활용·파쇄재활용업자 단계에서 플라스틱 등 4대 비유가성 물질의 선별·분리를 촉진하고, 파쇄잔재물 재활용업자 단계에서 ASR 내 플라스틱 등의 분리, 재활용을 촉진하기 위해 화학적 재활용 기술개발 및 설비투자가 필요하다.[16]

한편 폐자동차 재활용 관련 업자의 기대 수익성이 낮아지면서 부품 재제조·재사용이 중요해질 전망이다. 자동차 생산 시 재활용 수익성이 높은 철의 사용량이 줄고, 재활용이 어렵거나 순환자원으로서 가치가 낮은 플라스틱, 해체가 어려운 CFRP 등 복합 소재 사용량이 증가할 것이기 때문이다. 따라서 해체재활용업자 등은 사용후 배터리·구동 모터 등 고가의 부품을 재제조·재사용·재활용하여 수익성을 높일 필요가 있다. 다음 절에서는 미래차 전환이 자동차 자원순환에 미치는 영향을 살펴본다.

1.2. 미래차 전환이 자동차 자원순환에 미치는 영향

미래차 전환으로 인해 자동차 자원순환에도 큰 변화가 예상된다. 전동화·전장화가 진행되며 미래차 설계·구조 및 부품·소재 구성 전반이 변화하여 희소 금속 및 희토류 사용량이 증가하면서 자동차 자원순환의 난도가 상승할 것으로 보인다. 내연기관차와 전기차 소재 구성을 분석한 선행연구에 따르면 전기차에 사용되는 금속량은 내연기관차보다 50% 이상 많으며, 재활용이 어려운 희소 금속 사용량은 2.5~4배 이상 높다고 한다.[17] 전기차 구동 배터리에는 리튬·니켈·코발트·망간 등 희소 금속, 구동 모터 등에는 네오디뮴 등 희토류 자원 등이 대량 사용된다. 또한 센서, 반도체 칩 등 전기·전자부품이 대량으로 사용되는데 이들 전기·전자부품에도 희소 금속이 사용된다.

그러나 최근 글로벌 자동차 산업의 핵심과제로 부상하고 있는 자동차 온실가스 전과정평가(LCA)를 고려할 때, 자동차 자원순환 역량을 높이면 자동차·부품 제조사의 상대적 경쟁력을 높이는 기회로 활용할 수 있다고 평가되기도 한다. 자동차 온실가스 전과정평가는 자동차 제작과정 및 운행단계, 폐기단계 동안 전생애주기 자원투입량과 온실가스 배출량을 관리하는 체계이다.[18] 앞으로 자동차 산업에 차량의 제작부터 폐기까지 고려한 LCA 온실가스 배출량 기준으로 각종 환경규제가 도입될 예정이며, 자동차·부품 제조사는 LCA 기준 온실가스 배출량을 산정, 제출하도록 요구받게 될 전망이다. 희소 금속은 매장량이 한정되어 있으며 이를 채굴·가공하는 과정에서 다량의 탄소를 배출한다. 이를 재사용·재활용하면 탄소배출량 저감[19], 원가 절감, 공급망 리스크 완화 등을 기대할 수 있다. 이에 본래의 용도 또는 그 외 용도로 사용할 수 있는 부품은 가급적 재제조·재사용하고, 재제조·재사용이 어려운 부품은 희소 금속 등을 회수·재활용하는 기술을 개발할 필요가 있다고 평가된다.

/rep2569_202311, accessed: 2024. 7. 26.

15) 전호석 외(2014), 독일의 폐차(ELVs) 및 파쇄잔재물(ASR) 처리현황, 한국폐기물자원순환학회 추계학술연구발표회, Vol. 2014(0), pp. 160~160.

16) 연합매일신문, "[칼럼] 자동차 조기폐차와 폐차 과정의 허점(2022. 6. 21.)", http://www.ymnews.co.kr/news/articleView.html?idxno=17984, accessed: 2024. 7. 26.

17) Marta Iglesias-Embil et al.(2020), Raw material use in a battery electric car? a thermodynamic rarity assessment, Resources, Conservation and Recycling, Volume 158.

18) 환경부(2024), 자동차 전과정평가 민관이 함께 준비한다(2024. 2. 26.)

19) Dale Hall and Nic Lutsey(2018), Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, ICCT.

한편 앞으로 플라스틱 등 복합 소재 사용량이 증가할 전망인데, 재활용이 어려운 소재를 물리적·화학적으로 재활용하는 기술을 개발할 필요가 있다. 미래차로의 전환에 따라 자동차·부품 제조사는 신소재 연구·개발에 집중하고 있으며 그중 가장 주목받는 소재는 플라스틱이다.[20] 플라스틱은 가격이 저렴하고 화학적으로 안정되어 있으며 무게가 가벼워, 원가 절감 및 차량 경량화에 크게 기여할 수 있기 때문이다. 전기차는 구동 배터리 무게 때문에 동급 내연기관차보다 300kg 이상 무거워지며, 차량 경량화는 연비 효율, 성능 개선, 내구수명 개선을 위해 필수적이다. 따라서 자동차 생산 시 플라스틱 사용량이 크게 증가할 전망이다.[21] 특히 CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)처럼 다른 소재와 결합해 내열성·내구성 등을 강화한 복합 소재 플라스틱이 주목받고 있다. 강도가 높고 가벼워서 고성능 차량에 주로 사용되고 있다.

American Chemistry Council(ACC)은 '21년 기준 북미 생산 신차의 소재 중 플라스틱의 비중을 부피 기준 50% 초과, 중량 기준 약 9.6% 수준으로 추정하였다.[22] 동 추정에 따르면 '12년 대비 '21년 북미 지역 신차 생산 시 플라스틱 중량 비중은 16% 증가했으며, 가격 비중은 12% 증가했다고 한다. 또한 플라스틱을 차량에 사용하면 연비 개선, 운행 시 발생하는 탄소 배출량 저감을 기대할 수 있으며 앞으로 전기차가 보급되면서 차량 소재 중 플라스틱의 중요성이 더 증가할 것이라고 한다.

Marklines에 따르면 현재 자동차 1대당 평균 132kg의 플라스틱이 사용되지만, 미래에는 내연기관차와 전기차 모두에서 평균 208kg의 플라스틱이 사용될 것으로 추정된다. 차체 일부나 경첩 등에 플라스틱을 적용하는 사례가 늘면서 모든 차량에서 플라스틱 사용량이 증가할 것이다. 그러나 플라스틱은 PP, PET 등을 제외하면 대체로 재활용이 쉽지 않다. 특히 CFRP와 같은 복합 소재 플라스틱은 해체가 쉽지 않아 재활용이 더 어렵다.

〈표 2-4〉 현재·미래의 자동차 내 플라스틱 사용 비중 추정

(단위: kg, %)

구분		현재의 (내연기관)차	미래 내연기관차	미래 전기차
차량 총중량		1,100kg	1,300kg	1,600kg
플라스틱이 차량 총중량에서 차지하는 비중		12%	16%	13%
차재 플라스틱 소재 비중	PP	37%	37%	40%
	PUR	15%	15%	10%
	PA	12%	12%	8%
	PE	8%	8%	15%
	ABS/SAN	7%	7%	5%
	PET	5%	8%	10%
	Others	16%	13%	12%
	합계	100%	100%	100%

자료: Marklines, "Automobile Recycling: Reusing Resources and Plastic Recovery: Securing recovered plastic raw materials and designing vehicles for easy disassembly(2024. 1. 30.), https://www.marklines.com/en/report/rep2569_202311, accessed: 2024. 7. 26.

20) 자동차 경량화를 위해 플라스틱 외에도 알루미늄, 마그네슘 합금, 티타늄, 복합 금속 소재 등이 사용되고 있으나 본보고서의 주제를 고려하여 설명을 생략함

21) 현대차 실측에 따르면 1,500kg의 승용차 무게를 약 10% 줄이면 연비는 3.8%, 가속성능은 8% 증가하고 차체 내구수명도 1.7배 증가했다고 함(오토헤럴드, "자동차, 놀라운 다이어트 효과…세상에서 가장 가벼운 차와 무거운 차(2023. 7. 11.)", https://www.autoherald.co.kr/news/articleView.html?idxno=50807, accessed: 2024. 8. 10.)

22) American Chemistry Council(2023), Chemistry and Automobiles Lighting the Way to the Future of Motor Vehicles

〈표 2-5〉 자동차에 사용되는 플라스틱의 종류 및 특징

구분	특성	자동차 부품 사용 사례	재활용 가능성
PP	기계 강성이 높음	엔진커버, 범퍼, 도어 트림	높음
PUR	다양한 형태·용도로 활용할 수 있으며 절연성, 강성, 탄력성이 높음	시트, 인테리어 트림, 단열재, 방음재 등	낮음
PA	강성, 내마모성, 내열성이 높음. 흡수력이 높다는 단점이 있으나 유리 섬유 등을 첨가하여 단점을 개선	엔진 관련 부품(흡기 매니폴드, 연료 인젝터 등), 기어, 액셀·브레이크 페달, 도어 핸들 등	가능하나 공정이 복잡하고 비용이 많이 듦
PE	내구성이 높고 저렴하며 약품·미생물에도 변형되지 않음	연료탱크, 배선보호 튜브 등	PP, PET보다 낮지만 PUR, CFRP보다 높음
ABS/SAN	충격 흡수, 강성, 내열성이 높으며 가공이 용이하고 표면 미감이 뛰어남	대시보드, 도어패널, 트림, 휠 커버 등	상대적으로 낮음
PET	유연하고 비교적 저렴하며 습기에 강함. 악취·연기도 발생시키지 않아 비교적 안전성이 높음	시트벨트, 트렁크 라이너, 커넥터 하우징, 차체 외장부품·케이스, 엔진커버 등	높음
Others			
CFRP	강도가 높고 가벼움	뒷문, 보닛 후드, 프로펠러 샤프트 등 중량 감소가 중요한 부품	낮음
PC	투명하고 충격에 강함. 강성, 내구성이 높으며 가공이 쉬움	헤드램프, 범퍼, 방탄유리 등	PP, PET보다 낮지만 PUR, CFRP보다 높음

자료: Rapid Direct, "自動車産業で使用されるプラスチックの種類(2022. 9. 23.), https://www.rapiddirect.com/ja/blog/types-of-automotive-plastics/, accessed: 2024. 8. 6. ; 三和鍍金, "CFRPと自動車産業の関係 | 剥離技術がもたらす将来の可能性(2024. 5. 31.)", https://sanwamekki.com/info/column/column_peeling/cfrp_and_automotiveindustry/, accessed: 2024. 8. 6. 등을 참조하여 작성

요약하면 앞으로 전동화·전장화가 진행되면서 사용후 배터리, 플라스틱 및 전자부품 등 기존에 사용되지 않던 자원이 대량 사용될 것으로 예상되나, 현행 기술로는 재사용·재활용이 어렵다. 그러나 자동차 자원순환은 자동차·부품 제조사의 경쟁력을 결정하는 핵심 요인으로 작용할 수 있어, 개선이 필요하다.

따라서 자동차 제조사는 자동차 설계 단계부터 재사용·재활용을 고려할 필요가 있다. 폐자동차에서 부품·소재를 쉽게 분리하고 재활용할 수 있도록 하는 것이다. 또 자원순환 목표를 달성하기 위해 완결적 순환체계(Closed Loop)의 구축 필요성이 대두되며 자동차·부품 제조사와 해체재활용(폐차)업자, 재활용 업자 간 협력을 추진할 필요성이 높아질 것으로 보인다.

2. 자동차 자원순환 정책 동향

2.1. 글로벌 자동차 자원순환 관련 정책 방향성

최근 EU는 자동차 자원순환 관련 정책을 신설·강화하고 있으며 이는 글로벌 표준·기준으로 자리잡을 가능성이 높다. 이미 '00년대부터 주요국은 EU의 규제에 준거하여 자국 환경규제를 수립해 온 바 있다.

EU에서 도입 중인 자동차 자원순환 관련 정책으로는 앞 절에서 설명한 자동차 온실가스 전과정평가(LCA) 외에도 신순환경제실행계획, 폐기물 운송 규정, 에코 디자인 규정, 배터리 규정, 현행 ELV(폐차처리) 지침 및 ELV 규정 개정안 등이 대표적이다. 이 외에 기업에 공급망 내 협력기업의 인권·환경을 실사할 의무를 부과하는 공급망 실사지침(CSDDD) 등도 자동차 산업에 직간접적 영향을 미칠 전망이다.[23)]

〈표 2-6〉 EU의 자원순환 관련 주요 정책

구분	발효	내용
신순환경제 실행계획 (Circular Economy Action Plan 2020)	'20	• 원자재, 생산, 유통, 폐기 등 전 주기에 걸쳐 지속가능성 개선, 지속가능한 제품 디자인 체계 구축, 폐기물 감축, 수리할 권리(Right to Repair) 등 소비자 권리 강화 • 7대 분야별 시책 마련(전자기기·ICT, 배터리·자동차, 용기·포장재, 플라스틱 등) * 배터리: 배터리 회수율·재활용률 개선, 탄소발자국, 재사용·재활용을 고려한 배터리 지속가능성·투명성 요건 도입, 소비자 정보 제공 * 자동차: '00년 제정 ELV(End of Life Vehicle) 지침 개정 → 차량 설계와 폐차처리 연계, 부품 생산 시 일정 비율의 재생원료 사용 의무화
폐기물 운송 규정 (New Waste Shipment Regulation)	'24.5	• EU 역외로의 폐기물 운송 감소 • 순환경제, 기후중립 목표를 달성하기 위해 운송 절차를 개선 • 전자문서 제출 및 정보교환 적극 활용, 불법 운송 방지 조항 보완
에코 디자인 규정 (Eco Design Regulation)	'24.7	• 대부분의 물리적 제품에 대해 제품 내구성, 재사용 가능성 등 순환형 제품 설계 촉진 • 소비자를 위한 정보 공개 의무화, 기업의 연간 폐기량·폐기 이유·재활용 등 정보 공개 • 디지털 제품 여권(DPP) 첨부 의무화
배터리 규정 (Battery Regulation)	'23.8	• 배터리 분야 지속가능성 강화→ 디지털 배터리 여권 도입, 재생원료 사용 의무화 등
ELV 규정 (ELV Regulation) 개정안	미정 ('23.7월 초안 공표)	• 자동차 차량 설계부터 폐차까지 과정에서 자원순환성을 높이기 위해 자동차 설계, 폐차 관리 요구사항 규정

주: EU는 최근 사용후 배터리와 그를 전처리한 블랙매스(Black Mass)를 폐기물로 보고 역외 반출을 규제하는 방안을 검토 중임. 사용후 배터리 원료가 역외에 유출되는 것을 막기 위한 것임. 상세 내용은 보고서 제3장 2.1.3. EU-사용후 배터리를 참조
자료: 황준석(2024), EU 에코디자인 규정 발효에 따른 시사점 및 대응방안, Trade Focus, 2024년 28호, 한국무역협회 국제무역통상연구원; 박희주(2020), EU의 신순환경제실행계획의 주요 내용과 시사점, 한국소비자원 등을 참조하여 정리

글로벌 정책 변화에 대응하기 위해 앞으로 자동차·부품 제조사는 폐차 단계에서 발생하는 폐자원 재제조·재사용·재활용 외에도 설계, 생산, 소비 단계에서도 자원 사용을 줄이고 제품 수명을 연장하며 부품 등의 재사용을 촉진할 필요가 있다. 또한 제품의 전주기 지속 가능성 개선, 재생원료 등 사용을 입증할 필요가 있어 공급망 내 협력 기업과 데이터를 연계할 필요성이 증가한다고 평가된다.[24)]

우리나라 자동차 산업은 수출의존도가 높아 특히 글로벌 정책동향에 기민한 대응이 필요하다. 이에 우리나라 정부는 순환경제 이행계획 등을 수립하여 대응하고 있다. 다음 절에서는 우리나라의 자동차 자원순환 대표 정책인 환경성보장제, EPR 제도와 사용후 배터리 관련 정책 동향을 살펴본다.

---

23) Impact On, "현대차, 국내외 공급망 지속가능성 관리 박차…ESG 평가 기반 표준계약서 마련(2024. 6. 11.)", https://www.impacton.net/news/articleView.html?idxno=11717, accessed: 2024. 9. 12.
24) 이서현(2024b), 유럽·日 산업데이터 연계동향과 우리의 방향, 산업분석 Vol. 136, 한국자동차연구원.

〈표 2-7〉 우리나라 순환경제 이행계획

구분	내용
생산·유통단계 자원순환성 강화	• '23년부터 플라스틱 제조업체에 재생원료 사용 의무 부과, PET의 경우 '30년까지 30% 이상 재생원료 사용 의무 부과 • 재생원료 품질인증, 고품질 재생원료공급을 위한 수거·선별 체계 강화 • 에코디자인 적용 강화(제품 설계 시 순환이용이 쉬운 원료 사용, 내구성 및 수리 용이성, 재사용·재제조 용이성 등을 고려) * EU 자원효율표준 등을 참고하여 제품별 내구성, 재생원료 사용 비율, 재제조 가능성 등 평가
폐자원 재활용 확대	• '22년부터 원칙적으로 모든 제품의 재제조 허용(기존에는 열거된 87개 품목(엔진·변속기 등 자동차 부품 포함)에 한해 재제조 허용) * 전기차 배터리 핵심부품 등의 재제조 기술, 희소 금속 재자원화 기술 확보 • 순환자원 인정 기준 완화, 절차 간소화 * 유가성이 크고 유해성이 낮은 폐기물에 대해 폐기물 관련 규제 면제 • 순환경제 신기술·서비스 분야 규제샌드박스 도입
순환경제 사회 전환	• 생산·유통·소비 전 과정에서 자원의 효율적 이용 및 순환이용 활성화를 위한 법적 기반 마련

자료: 산업통상자원부·환경부(2021), 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립(2021. 12. 30.) 내용을 일부 편집

2.2. 우리나라의 자동차 자원순환 관련 정책 동향

2.2.1. 환경성보장제(EcoAS)

우리나라는 「자동차관리법」과 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률」을 통해 폐자동차 재활용 등 관리를 규정하고 있다. 이 대상은 자동차 제조·수입업자, 해체재활용업자, 파쇄재활용업자, 파쇄잔재물 재활용업자, 폐가스류 처리업자이다. 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률 시행령」 제23조에 따라 '15년부터 폐자동차를 중량 기준 95% 이상 재활용 또는 열회수(열회수는 10% 한도)한다는 목표를 설정하고 있다.

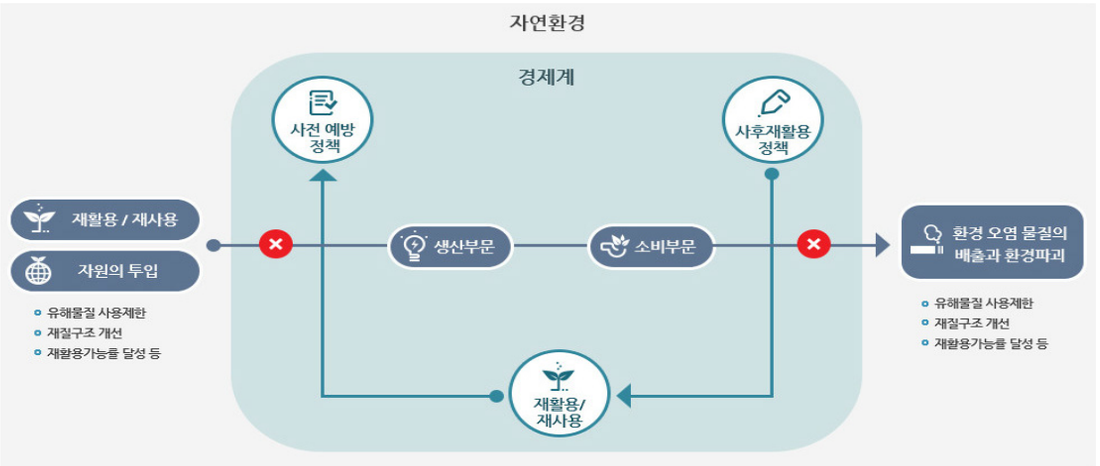
상기 법률을 준거하기 위해 우리나라는 '08년부터 자동차 등에 환경성보장제(EcoAS) 제도를 도입하여 운영하고 있다. 환경성보장제는 유해물질 사용을 억제하고 재활용하기 쉽게 제품을 제조하며, 그 폐기물을 적정하게 재활용하게 하여 자원순환 체계를 구축하는 것을 목표한다.

환경성보장제는 사전 예방, 사후 관리의 2가지로 구분할 수 있다. 사전 예방은 환경 유해성을 낮추기 위해 설계·제조 단계에서부터 재활용 가능성을 사전에 관리하는 것을 의미한다. 이에 따라 자동차 제조·수입업체는 자동차 제조 시 유해물질 함유 기준, 연차별 재활용 가능률 달성, 재질 구조 개선, 재활용정보 제공 등 기준을 충족해야 한다.

사후 관리는 자동차에서 유래하는 폐기물을 환경친화적으로 회수하는 것을 의미한다. 이에 따라 자동차 제조·수입업체 및 자동차 해체재활용(폐차)업자·파쇄재활용업자·파쇄잔재물 재활용업자·폐가스류 처리업자 등에 각각의 역할과 의무를 부과한다. 자동차 제조·수입업체는 폐자동차 재활용률을 준수하기 위해 폐자동차 재활용 기술개발을 개발하고 관련 기술을 해체재활용업자에 지원해야 한다. 자동차 해체재활용업자·파쇄재활용업자·파쇄잔재물 재활용업자·폐가스류 처리업자는 폐자동차 재활용률을 준수하고 폐기물·폐자원을 최대한 회수해야 하며, 자신이 처리한 잔여 부분을 다음 처리업자에 인계하도록 하여 자원순환이 지속되도록 해야 한다. 다만 동 규정은 개별 업자에게 재활용률 등 구체적인 목표를 부과하지 않아 실효성이 낮으며, 그 결과 우리나라 ASR 재활용률이 주요국에 비해 낮다는 지적도 존재한다.[25)]

25) 동아경제, "자동차폐차장 친환경 공간으로 탈바꿈하다(2022. 8. 29.)", https://www.daenews.co.kr/17032, access

[그림 2-2] 우리나라 환경성 보장제(EcoAS) 개요



자료: EcoAS, "제도소개 – 환경성보장제(EcoAS)", https://www.ecoas.or.kr/user/system/about.eco, accessed: 2024. 7. 26.

〈표 2-8〉 우리나라 환경성보장제(EcoAS) 대상 기업별 폐자동차 재활용 책임

구분		역할		
사전예방	제조·수입업자	사전 예방 의무이행		• 유해물질 함유 기준 준수 및 준수공표 • 연차별 재활용 가능률 달성 및 준수공표 • 재활용정보* 제공 의무 준수 * ①제품명, ②출시 연도, ③모델명, ④분해·해체 절차, ⑤합성고분자화합물의 구성 재질(자동차의 경우 100g 이상의 합성수지 부품과 200g 이상의 합성고무 제품에 재질 명을 표기하여 제조한 경우에는 제외), ④대상 제품 내 제거되어야 할 유해물질의 포함 위치 및 제거 방법, ⑤자동차 제조·수입업자가 알고 있는 부품의 효율적 처리 및 재활용 방법
사후관리	제조·수입업자	재활용 기술지원	폐자동차 재활용률 준수	• 폐자동차 재활용 기술개발 및 자동차 해체재활용(폐차)업자 등에게 기술지원
	해체 재활용업자	해체		• 폐자동차를 해체하여 최대한 재활용 • 재활용 후 남은 폐자동차의 잔여 부분은 파쇄재활용업자에게 인계
	파쇄 재활용업자	파쇄 재활용		• 금속류 등을 최대한 회수 • 재활용이 가능한 파쇄잔재물(ASR)은 파쇄잔재물 재활용업자에게 인계
	파쇄잔재물 재활용업자	파쇄잔재물 재활용		• 파쇄잔재물 중 금속류를 최대한 회수 • 파쇄잔재물로부터 에너지회수
	폐가스류 처리업자	폐가스류 처리		• 기후·생태계변화를 유발하는 물질이 포함된 가스의 재활용 또는 안전한 처리
	사업자단체	재활용결과 제출 대행		• (사업자단체 가입자 한정) 폐자동차 재활용결과 제출 대행 • (자체 재활용시설을 가지고 있고 재활용업으로 등록된 자) 폐자동차 재활용

주: 2009년~2014년까지는 폐자동차 재활용 및 에너지회수 합이 대당 중량 기준 85% 이상(단 에너지회수는 5%까지 인정)이면 재활용률을 준수한 것으로 보았으나 2015년부터는 재활용 및 에너지회수 합이 대량 중량 기준 95% 이상(단 에너지회수는 10%까지 인정)이어야 준수한 것으로 봄

자료: EcoAS, "제도소개 – 환경성보장제(EcoAS)", https://www.ecoas.or.kr/user/system/about.eco, accessed: 2024. 7. 26.

우리나라는 환경성보장제를 통해 폐자동차 재활용 및 에너지회수 비율을 1대당 중량 기준 95%로 목표하고 있다. 우리나라에서 폐자동차 재활용률 목표가 달성되고 있는지 또는 실제 재활용률이 어느 정도인지는 관점 및 기준에 따라 판단이 다르나, 95%라는 목표를 달성하지 못하고 있다고 추정된다.[26] 재활용률 목표를 달성하지 못하는 원인은 폐자동차 재활용이 제대로 이루어지고 있는지를 관리·감독하는 주체가 불분명한 점, 디지털 데이터에 근거하여 재활용 실태를 검증할 방법이 마땅치 않아 각 기업의 자율적 신고에 의존하는 측면이 큰 점 등 때문이라고 한다.[27]

ed: 2024. 9. 20. ; 머니투데이, "폐차업계도 그린뉴딜 전환해야…폐차 95% 재활용 가능(2021. 3. 15.)", https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2021031506008220889, accessed: 2024. 9. 20.

26) 산업통상자원부에 따르면 폐자동차 재활용률은 '21년 89% 수준이며 '30년 93%, '50년 95%를 목표함(산업통상자원부(2021), 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립) 즉 아직 95%라는 목표를 달성하지 못하고 있음

현행 환경성보장제는 실효성이 낮으므로 자동차 등을 생산자책임재활용(EPR)제도 대상에 추가해야 한다는 주장이 일각에서 제기되기도 한다. 또한 95%라는 재활용 목표를 달성하기 위해 폐자동차 중량의 25%를 차지하는 파쇄잔재물(ASR) 재활용 효율성을 높일 필요가 있다고 지적된다. 다음 절에서는 현행 EPR 제도, 그리고 플라스틱·사용후 배터리에 대한 EPR 제도 도입 논의에 대해 살펴본다.

2.2.2. 생산자책임재활용제도(EPR)

우리나라는 폐기물 자원순환을 활성화하기 위해 생산자책임재활용제도(EPR, Extended Producer Responsibility)를 운영하고 있다. 기존에 생산자는 재활용이 쉬운 재질 구조의 제품을 생산하여 판매하는 시점까지만 책임을 지고, 사용후 발생한 폐기물은 소비자가 책임을 지는 구조였으나 생산자책임재활용제도에 따라 생산자는 폐기물의 회수 및 재활용까지 책임을 져야 한다. 회수·재활용 과정에서 발생하는 비용이 재활용을 통해 얻는 수익보다 높은 폐기물의 재활용을 촉진하는 것을 목표한다.

대상 품목 폐기물과 재활용 의무율을 정하고, 생산자가 분담금을 각 EPR 공제조합 등에 납부하거나 직접 폐기물을 회수·재활용하면 의무를 다한 것으로 본다. EPR 공제조합에 분담금을 납부하는 방식을 선택하는 경우 생산자는 제품생산량, 단가에 재활용 의무율을 곱한 금액을 분담금으로 납부하고, EPR 공제조합은 폐자원 선별·회수·재활용 업체의 처리량 등에 비례하여 지원금을 지급한다.[28]

〈표 2-9〉 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 상 생산자의 재활용 책임 범위

생산자책임	생산	판매	소비	폐기	회수	재활용
기존	○	○				
확대	○	○	○	○	○	○

자료: 한국순환자원유통지원센터, “EPR제도란”, http://www.kora.or.kr/epr/epr.do, accessed: 2024. 7. 26.

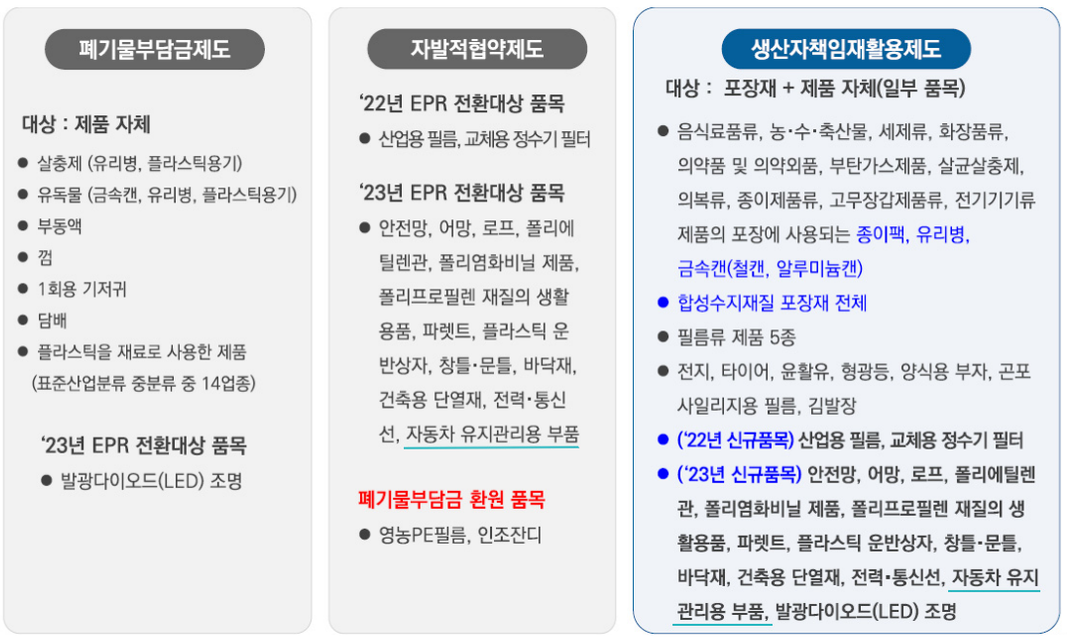
우리나라 EPR 제도 관리품목은 4개 포장재군(종이 팩, 금속 캔, 유리병, 합성수지 포장재), 9개 제품군(윤활유, 전지류, 타이어, 조명 제품, 수산물 양식용 부자, 곤포 사일리지용 필름, 김발장, 필름류 제품 5종, 합성수지 재질의 제품 15종)이 있다.[29] 그 외 자동차 유래 폐자원 중 EPR 제도 대상 품목으로는 타이어, 그리고 자동차 유지관리용 부품 등이 있다.[30][31] EPR 제도는 전산업을 망라하는 제도로 본 절에서는 자동차 유지관리용 부품(플라스틱)과 전기차 사용후 배터리에 한정하여 EPR 제도 동향을 개관한다.

플라스틱은 대표적인 비유가성 물질로 자동차 제조사는 약 10년간 자발적 협약에 따라 PP 재질의 자동차 부품을 회수·재활용 해오고 있었다. 그러다 EU 폐차처리(ELV) 규정 개정안 등으로 인해 자동차 산업 내 플라스틱 재활용 필요성이 증가하고, 재활용 기술 또한 발전하면서 자동차 유지관리용 부품에 대해 EPR 제도를 도입하게 된 것이다.[32]

---

27) 비즈한국, “자동차 '재활용률 90%'는 근거 부족…'생산자책임재활용제도' 기약 없어(2023. 6. 21.)”, https://www.bizhankook.com/bk/article/25822, accessed: 2024. 5. 10.
28) 한국순환자원유통지원센터, “EPR제도-제도이행절차”, http://www.kora.or.kr/epr/system.do, accessed: 2024. 7. 17.
29) 한국환경공단, “생산자책임재활용제도-재활용의무 대상품목”, https://www.iepr.or.kr/sys/mrrs/eprIntroduce/eprIntroduce05.do, accessed: 2024. 7. 17.
30) 자동차 의자나 각종 부품에 있는 비닐커버, 부동액 브레이크액 및 윤활유 포장용기 등 또한 생산자책임재활용제도 대상 품목임(한국포장재활용사업공제조합, “EPR Q&A: 자동차의 의자나 각종 부품에 있는 비닐 커버도 EPR 대상인지 여부?”, https://kprc21482.cafe24.com/html/main/sub.htm?ptype=&page=2&code=faq&MN=02&PN=06, accessed: 2024. 7. 18.) 단 이들은 포장재로서의 성격이 더 높다고 보고 본 보고서에서는 서술을 생략함
31) 배터리 또한 생산자책임재활용제도에 포함되어 있으나 이는 ①수은 배터리, ②산화은 배터리, ③니켈·카드뮴 배터리, ④리튬1차 배터리, ⑤망간·알칼리망간 배터리, ⑥니켈수소 배터리를 의미하며 전기차 사용후 배터리는 포함되지 않음. 본 보고서의 조사 범위 등을 고려하여 이들 전지에 대한 EPR 제도 상세 설명은 생략함
32) ’23년 7월에 제시된 EU ELV 규정 개정안은 플라스틱 재활용을 의무화할 예정임. 따라서 자동차 신차 생산 시 재생 플라스틱,

[그림 2-3] 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 등 폐기물 재활용 관련 제도 대상 품목



자료: 한국환경관리공단(2023), 2023년도 EPR 의무생산자 교육자료, 한국환경관리공단.

[그림 2-4] 우리나라 생산자책임재활용제도(EPR) 대상 자동차 유지관리용 부품

기능면에서 충돌 충격을 완화하여 차체와 탑승자를 보호하고 디자인 면에서 차량전체의 외관을 좌우하는 부품, 차량 앞과 뒤에 부착되어 있으며 플라스틱으로 된 범퍼 커버

범퍼

차체의 측면 혹은 측면 하부 등에 부착되어 있으며 차체 손상방지, 디자인 연출에 사용

몰딩(가니쉬 포함)

차체 하부오염 방지, 하부충격 대비용 1차적 보호커버

언더커버

워셔액을 담는 플라스틱 탱크

워셔탱크

냉각수를 담는 플라스틱 탱크

냉각수탱크

자료: 한국자동차자원순환공제조합, "조직 및 주요사업", https://k-autorc.or.kr/doc/sub1_3.php, accessed: 2024. 8. 9.

특히 폐자동차 유래 재생 플라스틱 사용이 의무화될 예정임. 상세 내용은 제3장 2.1. EU를 참조

「자원재활용법」 제16조는 EPR 제도 대상인 자동차 유지관리용 플라스틱 부품을 자동차 범퍼, 몰딩·가니쉬, 언더커버, 워셔 탱크, 냉각수 탱크로 열거한다. 자동차에서 탈거가 쉬우며 대체로 PP 재질로 되어 있어 재활용이 쉬운 부품을 우선 대상으로 선정한 것으로 보인다. '24년 현재 자동차 유지관리용 플라스틱 부품 생산에 대한 분담금은 kg당 230원에 재활용 의무율('24년 50.2%)을 곱한 금액이다.[33]

한편 최근 전기차가 보급되면서 발생하는 사용후 배터리에도 EPR 제도를 도입해야 한다는 주장이 제기되고 있다. 사용후 배터리에 적절한 조처를 하지 않고 방치하면 오히려 대량의 환경오염을 발생시킬 수 있으므로 재활용이 필요하다. 그러나 재생원료를 확보하기 위한 회수 체계 구축 및 재활용 공정 개선, 기술개발이 이루어지지 않으면 재활용 수익이 비용보다 낮을 수 있어 EPR 제도 도입 여부를 검토할 필요가 있다는 것이다. 참고로 EU는 사용후 배터리에도 EPR 제도를 도입할 예정이며, 우리나라 기업 중에서도 EU 시장에서 배터리 생산자(제조사, 협력업체, 유통업체, 전기차 제조사 등)로 구분되는 기업은 EPR 제도 대상이 된다.

사용후 배터리는 구성 물질 및 주원료인 금속 가격의 변동 등에 따라서 유가성 물질로 볼 수도 있으나 비유가성 물질로 볼 수도 있다. 전기차 배터리로 삼원계 배터리가 주로 사용되었으나 최근에는 리튬인산철(LFP) 배터리가 비용적 이점 및 물리적 안정성 때문에 많이 사용되고 있다. 그러나 삼원계 사용후 배터리는 재활용 공정에서 수익성을 확보할 가능성도 존재하나 LFP 배터리는 고가의 금속을 포함하고 있지 않아 규모의 경제를 달성하더라도 재활용 공정에서 수익성을 확보하기 어렵다고 평가된다.

'23년 환경부는 전기차 사용후 배터리에 EPR 제도를 도입하는 방안을 검토하였으나 배터리 업계 및 해체 재활용업계의 강력한 반대로 중지한 바 있다.[34] 업계는 현재 국내에서 생산·사용되는 배터리 대부분은 삼원계 배터리이며, 삼원계 배터리는 유가성이 높아 이미 시장 질서에 따라 회수되고 있으므로 EPR 제도 등 규제를 도입할 필요가 없다고 주장하였다. 다만 환경부는 LFP 배터리의 경우 경제성이 떨어져, EPR제도를 도입하는 방안을 검토할 것이라고 밝혔다.

2.2.3. 사용후 배터리 자원순환을 위한 법·제도 구축 현황

전기차 사용후 배터리의 경우 현재 환경성보장제(EcoAS), 생산자책임재활용제도(EPR) 대상이 아니나 자동차 자원순환에서 가장 중요한 분야로 대두할 것으로 보인다. 그간 우리나라 기업들은 사용후 배터리 재활용에 주로 관심을 두어 왔으나, 앞으로는 재제조·재사용 관련 기술개발·사업화에도 주력할 것으로 예상된다. 우리나라 배터리 제조사는 그동안 삼원계 배터리를 주로로 생산해 왔으나 향후 LFP 배터리로 제품군을 확장할 예정이기 때문이다.[35]

사용후 배터리 순환이용을 위해서는 재생원료 확보가 전제되어야 한다. 이를 위해서는 배터리의 생산부터 폐기·재활용까지 전 주기에 걸쳐 이력을 추적·관리할 수 있는 시스템을 구축하고 순환이용 관련 법·제도를 정비할 필요가 있다고 지적되고 있다. '21년 이후 등록한 전기차는 사용후 배터리 반납 의무에서 제외되었는데 이에 따라 사용후 배터리 관리가 미비해진 측면이 있기 때문이다. 또한 민간의 재사용·재활용을 촉진하기 위한 규제 완화·불확실성 개선 등도 필요하다고 평가된다.

---

33) 환경부, 2024년 제품·포장재별 재활용 의무율 고시 (환경부 고시 제2023-304호)
34) 동아일보, "[단독]환경부, 전기차 폐배터리 EPR 도입 사실상 철회(2023. 11. 2.)", https://www.donga.com/news/Society/article/all/20231102/121981258/1, accessed: 2024. 7. 17.
35) 삼원계 배터리에 비해 LFP 배터리는 사이클 수명이 5배 이상으로 길지만 희소 금속을 거의 포함하고 있지 않아 재활용 시 경제성이 매우 낮다고 지적되고 있음. 이에 따라 일반적으로 LFP 배터리는 주로 재사용 용도로 적합하고 삼원계 배터리는 재활용 용도로 적합하다고 평가되고 있음

우리나라는 이에 '23년을 전후로 사용후 배터리 자원순환을 위한 법·제도를 정비하고 있다. 우리나라는 재제조·재사용 용도 배터리 활용을 촉진하기 위해 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」을 개정하고 「순환경제사회 전환 촉진법」을 제정하였다. 한편 '24.7월에는 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축 방안'을 발표하여 사용후 배터리 재제조·재사용·재활용 전반을 지원하는 법제 정비를 추진할 것이라고 밝혔다. 다음 절에서는 이 상세 내용에 대해 개관한다.

2.2.3.1. 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」, 「순환경제사회 전환 촉진법」

우리나라는 소비자가 안심하고 재사용 배터리를 사용할 수 있도록 '23년 10월 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」을 개정했다. 재사용 배터리 모듈 또는 배터리 시스템을 검사할 수 있는 재사용 배터리 안전성 검사기관을 총 9개 선정, 이들 기관이 안전성을 검사한 재사용 배터리에 한해 판매와 유통을 허용한다.[36] 기업의 안전성 검사 부담을 완화하기 위해, 일정 요건을 충족하면 자신을 안전성 검사기관으로 지정하여 자체적으로 안전성 검사를 할 수 있도록 허용할 방침이다.[37]

〈표 2-10〉 「전기용품 및 생활용품 안전관리법」상 재사용 용도 사용후 배터리 안전성 검사제도

분류	세부 내용
검사 의무	안전성 검사를 거친 재사용 용도 사용후 배터리만 유통 가능
검사기관 지정 및 관리	검사역량을 갖춘 기관(제조사 포함)을 지정, 지도·감독을 통해 검사기관에 대한 신뢰성 확보
책임보험	검사 과정에 고의·과실 등에 의한 소비자 손해배상을 위해 안전성검사기관의 보험가입 의무화

자료: 산업통상자원부

〈표 2-11〉 우리나라 재사용 배터리 안전성 검사기관 지정 현황

안전성 검사기관명	소재지	지정일	검사 품목
제주테크노파크	제주	2023.10.19	재사용 전지 모듈
한국산업기술시험원	충남 천안	2023.11.9	재사용 전지 모듈, 재사용 전지 시스템
한국기계전기전자시험연구원	충북 음성	2023.12.21	재사용 전지 모듈, 재사용 전지 시스템
피엠그로우	경북 포항	2023.12.21	재사용 전지 모듈
시스피아	대전	2024.3.5	재사용 전지 모듈
디티앤씨	경기 용인	2024.4.2	재사용 전지 모듈
한국화학융합시험연구원	경기 용인	2024.4.19	재사용 전지 모듈, 재사용 전지 시스템
민테크	대전	2024.4.19	재사용 전지 모듈
HCT	경기 용인	2024.6.28	재사용 전지 모듈, 재사용 전지 시스템

자료: 국가기술표준원(2024), 안전성검사기관 지정현황('24.6월 기준), 국가기술표준원.

한편 사업자 등록 기준 세분·명확화, 규제 개선 또한 사용후 배터리 재사용·재활용 관련 산업 활성화를 위해 필요한 과제라고 평가되고 있다. 그간 우리나라에서 사용후 배터리와 사용후 배터리를 전처리한 중간 가공품인 블랙매스(Black Mass)는 폐기물로 구분되었다. 폐기물 처리(수집·운반·재활용·처분)를 업으로 하는 자로서 폐기물처리업자로서 허가를 받은 뒤, 「폐기물관리법」의 기준과 방법에 따라 폐기물을 처리해야 한다.[38] 그런데 폐기물 관련 규제로

36) KC 10031에 규정된 검사설비·자격 보유, 2인 이상의 시험·검사요원(3년 이상의 관련 경력 필요) 상시 근무 요건 등 충족 필요
37) 다만 KC 10031에 규정된 요건(검사설비 구축, 인력 고용 등)을 충족하기 위해서는 초기 대규모 투자가 필요할 것으로 예상됨. 현재 사용후 배터리 재사용 사업은 수익성이 낮아 기업이 대규모 투자를 단행하기 어려운 상황임. 따라서 사용후 배터리 재사용 기업의 초기 투자를 지원하기 위한 조세·재정 지원 혜택 증대 등 인센티브를 제공하는 방안을 검토할 필요가 있음
38) 단 폐기물을 재활용하기 쉬운 상태로 만든 중간 가공폐기물은 운반·보관 시 완화된 처리 기준과 방법을 적용함

인해 민간 기업이 사용후 배터리 처리(재제조·재사용·재활용 및 수집·운반 등)를 하기 어려워 개선이 필요하다는 지적이 제기되어 왔다. 또한 블랙매스 등은 무해화 처리를 거치기 때문에 해외에서는 폐기물로 구분하고 있지 않으나 우리나라에 수입하면 폐기물로서 규제 대상이 되므로 기업에 대한 규제를 완화해달라는 요구도 제기되어 왔다.

이에 우리나라 관련 기업 협의체 '배터리 얼라이언스'는 사용후 배터리를 폐기물이 아닌 제품으로 보아야 하며, 사용후 배터리를 다룰 수 있는 사업자 요건을 세분화·명확화하여 관련 산업을 활성화해야 한다고 주장해 왔다.[39] 배터리 얼라이언스는 참여 기업의 의견을 수렴하여 '23.11월 「사용후 배터리 통합관리체계 업계(안)」을 제시하였다. 업계안은 사용후 배터리 관련 사업을 육성하기 위해 민간 중심의 사용후 배터리 거래 체계 구축, 배터리 전주기 통합 이력관리 시스템 구축, 재생원료 사용 의무제 도입 등의 광범위한 정책 제언을 담고 있다.[40]

우리나라 정부는 기업의 요청을 반영, 재제조·재사용 사용후 배터리를 순환자원으로 지정하여 폐기물 관리법상 규제를 면제하고 있다. 법적 근거는 「자원순환 기본법」을 전부 개정하여 '24년 1월 1일부터 시행하는 「순환경제사회 전환 촉진법」이다. 동법 제23조는 환경부 장관이 산업통상자원부 장관과 협의하여 폐기물 중 일부를 순환자원으로 지정하여 고시할 수 있다고 규정하고 있다.

순환자원으로 인정되면 「폐기물관리법」 등 관련 법률 규제가 면제 또는 유예된다. 따라서 전기차 사용후 배터리의 유통이 기존보다 자유로워지고 폐기물 관리 비용을 절감할 수 있으며 경우에 따라서는 정부 지원 혜택을 받을 수 있을 전망이다.[41] 다만 고시된 순환이용의 용도, 방법 및 기준 등을 준수해만 한다.

「순환자원 지정 등에 관한 고시」에 따라 순환자원으로 지정된 품목은 폐기물로 보지 않는 것이 순환이용 촉진에 더 효과적이며, 경제성이 있어 유상 거래가 가능하고 방치될 우려가 없는 7가지 품목으로 전기차 사용후 배터리를 포함한다. 따라서 재제조·재사용 용도 사용후 배터리는 요건을 충족하면 별도 신청·심사를 거치지 않고 순환자원으로 인정받을 수 있게 되었다.[42] 사용후 배터리를 순환자원으로 인정받으려는 기업은 사용후 배터리 거래 이력 기록·보존, 안전기준 준수 등 의무를 준수해야 한다.

재활용 용도 사용후 배터리(폐배터리)는 「폐기물관리법」상 규제가 계속 적용된다. 다만 재활용 용도 사용후 배터리 보관량과 처리 기한을 각각 30일분·30일에서 180일분·180일로 늘려 부담을 다소 완화하였다.

〈표 2-12〉 우리나라에서 사용후 배터리가 순환자원으로 인정되기 위한 요건

범위, 순환이용의 용도	준수사항
• (범위) 침수·화재·변형·파손 등이 없고 셀 훼손으로 인한 유해물질 유출, 화재·폭발 등 위험이 없는 전기차 폐배터리(사용후 배터리) • (용도①) R-2-1(단순 수리·수선, 건조 및 세척을 통해 본래 용도로 재사용하는 유형) • (용도②) R-2-2(단순 수리·수선, 건조 및 세척을 통해 본래와 다른 용도로 재사용하는 유형)	• 순환자원을 취급하는 자는 순환자원의 발생·공급 등 이력을 기록하고 마지막 기록일로부터 3년간 기록물을 보존해야 함 • 「전기자동차 폐배터리의 분리, 보관 방법에 관한 세부 규정」 제4조에 따른 보관 방법을 준수해야 함 • 「전기자동차 배터리 반납 등에 관한 고시」 제9조에 따른 전기차 배터리 운반 방법을 준수해야 함 • 전기용품 안전기준(KC 10031)에 따른 사용후 배터리 재사용을 위한 리튬이차전지 안전 요구사항을 준수해야 함

자료: 「순환자원 지정 등에 관한 고시」 별표2 내용을 정리

39) 배터리·자동차 제조사, 배터리 재제조·재사용·재활용기업, 해체재활용(폐차)업계, 보험업계, 배터리산업협회 등 24개 기관 참여
40) 배터리 얼라이언스(2023), 사용후 배터리 통합관리체계. 업계(안), 배터리산업협회.
41) 대한민국 정책브리핑, "순환경제 규제 샌드박스 1일부터 시행…폐기물 순환 촉진(2024. 1. 2.)", https://www.korea.kr/news/policyNewsView.do?newsId=148924288#policyNews, accessed:2024. 8. 10.
42) 폐지류, 고철, 폐금속 캔류, 비철금속 중 알루미늄·구리, 전기차 사용후 배터리, 폐유리 및 폐유리병류

2.2.3.2. 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

’24년 7월 10일 정부는 ‘사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안’을 발표하여 사용후 배터리 통합적·체계적 관리 기반을 마련할 것이라고 밝혔다. EU 배터리 규정 등 주요국의 환경규제에 대응하고, 사용후 배터리 관리 기반을 정비하기 위해서이다.

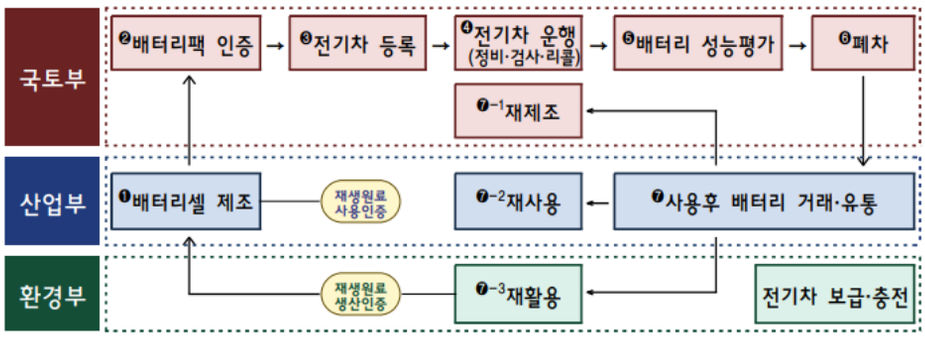
사용후 배터리 재제조·재사용·재활용은 각각 국토교통부·산업통상자원부·환경부가 주관하되, 전체 정책을 아우르는 통합법을 제정하고 사업자 등록 요건 등 규정을 신설·보완할 예정이다. 개별 부처는 관련 배터리 이력 정보를 제공하는 시스템을 ’26년까지 구축하고, 개별 시스템 데이터를 연계하는 ‘배터리 전주기 이력 관리 시스템’을 ’27년까지 구축할 예정이다. 그 밖에도 재생원료 생산·사용 시 인증하는 체제를 마련하고 사용후 배터리 성능평가를 할 수 있게 하며, 사용후 배터리 유통 체계를 마련하여 사용후 배터리 재제조·재사용·재활용 산업 육성을 위한 전방위 지원에 나설 예정이다.

〈표 2-13〉 우리나라 ‘사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안’ 주요 내용

<table>
<tr><th>구분</th><th>세부 내용</th></tr>
<tr><td>(가칭) 사용후 배터리 산업 육성 및 공급망 안정화 지원에 관한 법률 제정</td><td>• (일반규정) 사용후 배터리 정의, 사업자 등록 등 규정 신설·보완
* 사용후 배터리 유통·재사용 사업자는 요건 신설 예정
* 사용후 배터리 재제조·재활용 사업자는 기존 사업자 요건 활용, 부가 요건 보완
• (성능평가) 전기차 배터리 탈거 전 성능평가
• (안전관리) 유통 전 안전 검사, 사후검사 의무화
• (제도·인프라) 배터리 전주기 이력관리 시스템, 재생원료 인증제</td></tr>
<tr><td>배터리 전주기 이력관리 시스템</td><td>• (①개별 시스템 구축) ’24~’26년까지 개별 시스템 구축
* 산업부: 배터리 공급망 데이터, 거래 정보 시스템(유통 및 재사용 이력)
* 환경부: 전기차 전주기 통합환경정보시스템(전기차 보급·충전·재활용 이력 등)
* 국토부: 전기차 배터리 안전 인증관리 시스템(배터리 안전성 인증, 전기차 운행, 성능평가, 폐차, 재제조 이력 등)
• (②통합 포털 개설) ’27년까지 개별 시스템 연계 통합 포털 개설</td></tr>
<tr><td>재생원료 인증제 도입 (기업 자율 참여)</td><td>• (생산인증) ’25년까지 재활용 배터리에서 추출한 유가금속을 재생원료로 인증
• (사용인증) ’25년까지 신품 배터리 내 재생원료 사용 비율 인증
• (향후 계획) 재생원료 사용목표제 도입 검토 예정</td></tr>
<tr><td>배터리 탈거 전 성능평가 도입 (전기차 소유주, 보험사, 자동차 제조사 의무 참여)</td><td>• (성능평가) ’27년까지 전기차에 탑재된 사용후 배터리를 탈거 전 성능 평가할 수 있게 하고, 재제조·재사용·재활용 용도로 분류
* (담당) 대행 기관인 한국교통안전공단 자동차검사소
* (평가 방식) 사전 육안 검사를 통해 일부 배터리(외관 파손 등)를 재활용 용도로 분류함. 나머지 배터리는 SoH(잔존용량), 셀전압 편차 평가 결과와 정비·검사·리콜 이력 등을 검토하여 등급 및 용도 분류 실시</td></tr>
<tr><td>사용후 배터리 유통체계 마련</td><td>• (기반) 거래 원칙, 사업자 등록제, 운송·보관 기준, 거래 정보 시스템 확립
* 안전하고 공정한 거래·유통을 위해 공정거래 가이드라인, 사업자 등록제, 안전기준 등 마련
* 특히 사업자 등록을 의무화하여 사용후 배터리의 무분별한 유통 및 활용을 방지. 담당 부처와 사업자 등록제 요건을 명확화
<table>
<tr><th>사업자 유형</th><th>법령</th><th>소관</th><th>비고</th></tr>
<tr><td>유통</td><td>「친환경산업법」 및 하위법령</td><td>산업부</td><td>신설</td></tr>
<tr><td>재제조</td><td>「자동차관리법」 제30조의 2, 동법 시행규칙 제40조의5 등</td><td>국토부</td><td>기존 체계 활용</td></tr>
<tr><td>재사용</td><td>「친환경산업법」 및 하위법령</td><td>산업부</td><td>신설</td></tr>
<tr><td>재활용</td><td>「폐기물관리법」 제25조, 동법 시행규칙 제28조 등</td><td>환경부</td><td>기존 체계 활용</td></tr>
</table></td></tr>
</table>

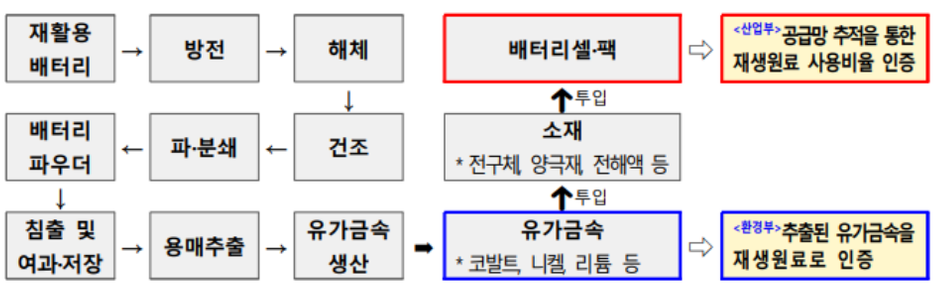
자료: 관계 부처 합동(2024), 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

[그림 2-5] 우리나라 배터리 전주기 이력관리 시스템 운영(안)



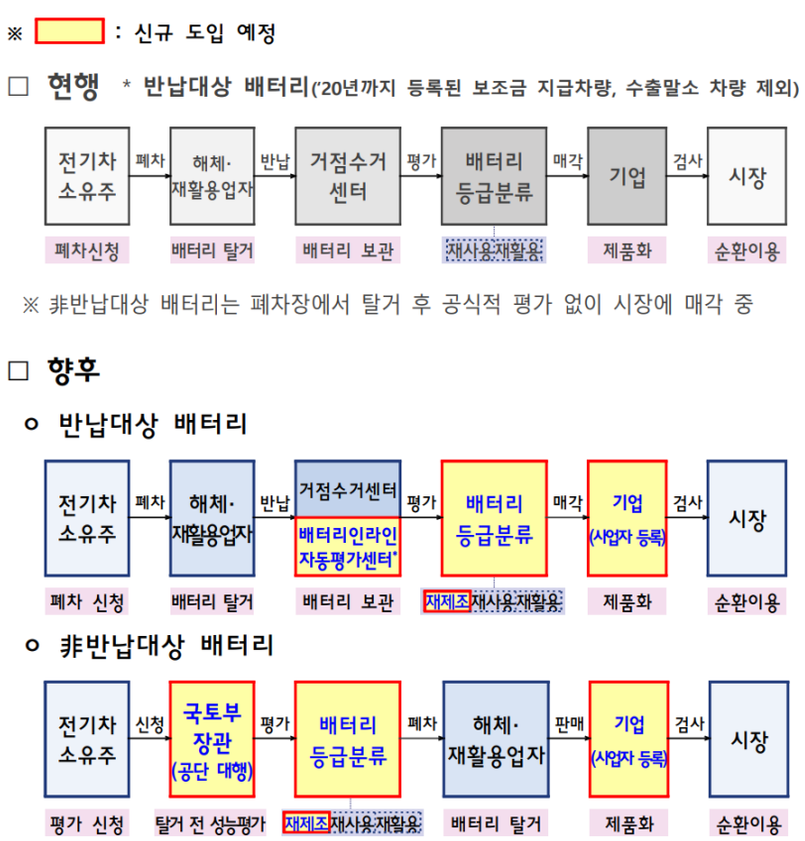
자료: 관계 부처 합동(2024), 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

[그림 2-6] 우리나라 배터리 재생원료 인증제(안)



자료: 관계 부처 합동(2024), 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

[그림 2-7] 사용후 배터리 순환이용 체계도(안)



자료: 관계 부처 합동(2024), 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

PART 3

국내외 자동차 자원순환 현황

1 우리나라 자동차 자원순환 현황

2 주요국의 자동차 자원순환 현황

3 국제비교 및 소결

PART 3

국내외 자동차 자원순환 현황

1. 우리나라 자동차 자원순환 현황

1.1. 사용후 자동차

1.1.1. 사용후 자동차 발생 현황 및 전망

자동차는 생산-판매-사용-폐기라는 전 주기에 걸쳐 다양한 자원을 사용하고 폐자원을 배출한다. 사용후 자동차 유래 폐자원 및 재생원료의 양은 자동차 사용 행태 변화, 자동차 설계 및 소재 변화, 국내·외 정책 변화로 인해 변화할 것으로 예상된다. 아래에서는 우리나라에서 사용후 자동차 유래 순환자원의 양적 감소·증가 요인을 자동차 판매·이용, 회수, 해체, 순환 자원화 단계로 나누어 개관한다.

〈표 3-1〉 자동차 유래 폐자원 및 순환자원의 양적 변화

단계	국내 순환자원 양적 감소 요인	국내 순환자원 양적 증가 요인
판매·이용 (신차 판매)	• 인구감소, 인구 구조 변화 • 평균 폐차 주기 증가 • 중고차거래 대수 증가	-
회수 (사용후 자동차 발생)	• 신차 판매 감소→대체 차량 구매 또한 감소 • 중고차 수출 증가 • 폐차 차피 수출	• 중고차 수출 대상국의 중고차 수입 규제 강화
해체	• 사용후 자동차(폐자동차; ELV) 감소 • 폐플라스틱 증가로 파쇄잔재물(ASR) 처리 난이도 증가: 특히 재활용이 어려운 CFRP, 폴리카보네이트(PC) 등 사용 증가	• 기술 발전, 제도 혁신으로 인한 파쇄잔재물(ASR) 감소 • 플라스틱, 유리 등의 재활용 기술 향상
순환 자원화	• 사용후 자동차에서 발생하는 자원 감소 • 촉매, 사용후 배터리 등 고가 부품 해외 유출 • 폐자동차 차피 수출	• 플라스틱, 유리 등 폐자원 재활용 수요 증가 • 정부의 순환경제 정책 강화

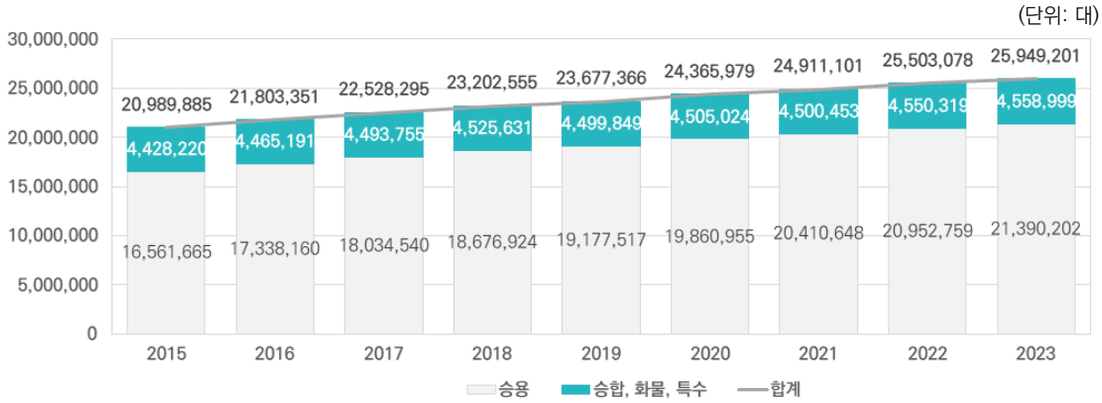
자료: 저자 작성

판매·이용 단계에서 우리나라 국내 폐자동차 및 순환자원의 양은 중장기적으로 감소할 전망이다. 우리나라의 등록대수, 즉 현재 운행되고 있는 자동차 저량(Stock)은 '15년 약 2,099만 대에서 '23년 약 2,595만 대로 지속해서 증가하고 있다. 그러나 앞으로 우리나라 인구감소, 고령화가 진행되면서 내수시장 신차 판매 대수는 중장기적으로 감소할 것으로 예상된다. 연합뉴스가 한국자동차모빌리티산업협회·카이즈유데이터연구소 통계자료를 분석한 결과, 최근 10년간 20대의 신차 등록대수는 감소했지만, 중고차 등록대수는 평균보다 빠른 속도로 증가하고 있다고 한다.[43] 신차 판매 대수가 감소하면서 기존 차량을 대체 구매하는 수요 또한 감소하고, 중고차 거래가 증가하고 있다. 남준희(2023)에 따르면 한국의 평균 폐차주기는 '00년 8.3년에서 '15년 14.87년, '22년 15.8년으로 지속해서 증가하고 있다고 한다.[44] 따라서 사용후 자동차와 그에서 발생하는 순환자원의 양이 중장기적으로 감소할 전망이다.

43) 연합뉴스, "20대, 신차·중고차 등록 추이 정반대…전체 연령대 중 유일(2024. 6. 30.)", https://www.yna.co.kr/view/AKR20240629038000003, accessed: 2024. 8. 29.

[그림 3-1] 우리나라 자동차 등록대수('15~'23년)

(단위: 대)



자료: 국토교통부(자동차운영보험과), 2024, 자동차등록현황보고 – 자동차등록대수현황 데이터를 저자 가공

〈표 3-2〉 우리나라 자동차 차종별 폐차 주기('00~'22년)

(단위: 년)

차종	'00년	'05년	'10년	'15년	'20년	'22년
승용	8.4	11.2	13.4	14.8	15.3	15.5
승합	8.2	10.2	12.0	14.9	15.5	15.1
화물	8.0	10.9	8.0	15.1	16.8	17.1
특수	9.9	11.9	15.6	17.1	16.8	18.4
전체	8.3	11.05	13.26	14.87	15.59	15.8

자료: 남준희(2023), Review of Korean National System, fifth FORS international conference 발표자료, Polish Vehicle Recycling Association.

회수 단계에서 국내 사용후 자동차 및 순환자원의 양은 중장기적으로 감소할 전망이다. 우리나라에서 중고차를 수출하거나, 반대로 중고차를 수입하면 자동차와 그에 탑재된 자원이 함께 이동한다. 우리나라의 중고차 수입량은 '23년 약 58.5만 대, 중고차 수출량은 '23년 약 63.8만 대로 수출량이 더 많다. 특히 우리나라의 중고차 수출량은 '19년 46.9만 대보다 36% 증가한바, 동기간 신차 수출보다 중고차 수출 증가율이 더욱 높았다고 한다. 다른 변화 요소가 없다면, 앞으로도 우리나라 중고차 수출량이 계속 증가할 것으로 예상되므로 우리나라의 사용후 자동차 발생량은 감소할 것으로 보인다.[45]

다만 우리나라 중고차 수출 대상국이 중고차 수입 규제를 강화하면 중고차 수출량 성장세는 낮아질 수 있다. 우리나라의 주된 중고차 수출 대상국은 리비아, 요르단, 터키, 이집트, 키르기스스탄, 러시아, 몽골, 르완다 등 개발도상국이다. 이들 개발도상국에 수출하는 중고차는 주로 내수시장에서 중고차로 더 이상 거래하기 어려운 노후 차량이 대다수이다. 우리나라 규제상 주행이 어렵거나 수리 비용이 많이 들어 폐차해야 하는 차량이라도 개발도상국에서는 주행이 가능한 중고차로 간주할 수 있어서 이와 같은 국제 거래가 성립하고 있다. 그러나 앞으로 개발도상국 등이 중고차 수입 규제를 강화하면 노후 차량을 수출하기 어려워질 것으로 보이며, 이들 차량은 우리나라에서 해체·재활용하게 될 전망이다.

44) 국토교통부(자동차운영보험과), 2023, 1인당 자동차 등록대수(시도/시/군/구), accessed: 2024. 8. 16,
45) 한국무역협회, "중고차 수출 6조원대 시장으로 성장…"산업으로 육성해야"(2024. 2. 23.)", https://www.kita.net/board/totalTradeNews/totalTradeNewsDetail.do;JSESSIONID_KITA=EFEBD67F97A7A1F83AB6A8589A1DF0D1.Hyper?no=82066&siteId=1, accessed: 2024. 8. 16.

〈표 3-3〉 UNEP이 지적한 중고차 국제 거래로 인한 온실가스 배출 심화 문제

UNEP(2021)은 우리나라·일본·EU에서 중고차를 대량 수출하고 있으나 대부분이 개발도상국으로 흘러들어가 온실가스 배출을 심화시킬 수 있다고 지적하였다.[46] 선진국의 환경규제를 충족하지 못하는 노후 중고차가 상대적으로 규제가 약한 개발도상국으로 수출되며 해당국의 대기오염을 유발한다는 것이다. 특히 버스·트럭 등 노후 대형차가 수출되며 질소산화물·초미세먼지 등 대기오염을 유발한다고 보았다.

최근 개발도상국에서도 수입 중고차로 인해 발생하는 환경오염, 도로 안전 및 자동차 안전성 문제를 방지할 필요가 있다고 인지하고 규제를 강화하고 있다. 일정 연식 이상인 중고차 또는 배출가스 기준(EURO4·Ⅳ 등)을 충족하지 못하는 중고차의 수입을 금지하는 방식으로 수입 중고차를 규제하는 것이다. 중고차를 수입하는 146개 개발도상국의 '21.8월 시점 환경규제를 조사한 결과, 절반 수준인 80개국만이 중고차 연식을 제한하고 있었다고 한다. 한편 중고차 수입을 원천 금지하는 국가도 존재한다.[47]

그러나 개발도상국이 중고차 수입을 규제해도 이를 회피하는 수단이 존재할 수 있다. 예를 들어 중고차 수입을 원천 금지하는 국가의 경우, 해당국의 중고차 딜러 등은 중고차 엔진룸 등을 절단하는 등 부분적으로 해체하여 차피로 만들어 우회 수입한다. 이후 해당국에서 수입한 차피와 부품을 재조립하여 차량으로 변경할 수 있다.[48]

UNEP은 따라서 중고차 국제 거래가 온실가스 배출을 심화시키는 우회로가 되지 않도록 중고차 수출국과 수입국이 공동책임을 져야 한다고 밝혔다. 중고차 수출국으로서는 중고차가 연식·주행거리 등 기준을 충족하는지를 관리해야 하며, 수입국은 중고차 수입 규제를 강화해야 한다는 것이다.[49]

이와 같은 견해를 반영하여 EU는 EU 회원국의 환경규제 등을 충족하지 못하여 폐차 처리해야 하는 폐자동차(사용후 자동차)가 중고차라는 명목으로 개발도상국에 수출되는 것을 문제로 보고 있다. EU가 도입을 추진하고 있는 EU ELV 규정 개정안이 도입되면 노후 차량(EU 회원국 규제상 주행이 불가한 폐자동차)의 OECD 비회원국에의 수출이 제한될 것으로 보인다.[50]

자료: 저자 작성

해체·순환 자원화 단계에서 사용후 자동차 및 폐자원 양은 불확실성이 높아 예측이 어렵다. 사용후 자동차 유래 폐자원은 여러 현안 과제로 인해 재활용이 어려운 측면이 있기 때문이다. 앞으로 전동화·전장화가 진행되며 자동차·부품 경량화를 위해 플라스틱 사용량이 증가하게 될 것으로 보인다.[51] 그러나 이들 플라스틱 중 대부분은 재활용이 어렵거나, 회수·재활용 비용이 수익보다 높아 해체·재활용되지 않고 차피에 포함되어 파쇄잔재물(ASR)로 폐기되고 있다. 이에 따라 우리나라 파쇄잔재물 처리 난도가 높아지고 폐자동차 재활용률 목표를 달성하기 어려운 상황이 이어지고 있다.

한편 자동차·부품 설계 시 재활용 고려 여부도 중요하다. 최근 가격경쟁력·안정성 등 장점에 힘입어 구동 배터리로 LFP 배터리와 셀투팩, 셀투바디, 셀투섀시 등 배터리 패키징 구조 기술이 주목받고 있다. 그러나 셀투바디, 셀투섀시 방식은 배터리를 접착제로 차체에 부착하므로 사용후 배터리 탈거 및 재사용·재활용이 어려워질 수 있다.

46) UNEP(2021), USED VEHICLES AND THE ENVIRONMENT – Progress and updates 2021, UNEP.
47) JETRO, "中古車の輸入が制度上困難な国々(2023. 1.)", https://www.jetro.go.jp/world/qa/04J-101001.html, accessed: 2024. 8. 12.
48) 남준희(2018), 굿바이! 카, 한티재.
49) 뉴스펭귄, "중고차 수출왕 한국, 기후위기도 팔고 있었다?(2024. 3. 29.)", https://www.newspenguin.com/news/articleView.html?idxno=16440, accessed: 2024. 8. 16.
50) EU의 EU ELV 규정 개정안 상 노후 차량 수출 제한에 대해서는 제3장 2.1.1. EU – 사용후 자동차를 참조
51) 자동차 부품 소재 변화 등에 대해서는 제2장 1.2. 미래차 전환이 자동차 자원순환에 미치는 영향을 참조

〈표 3-4〉 셀투팩·셀투섀시 등 배터리 패키징 구조 기술과 배터리 재활용

최근 자동차·배터리 제조사들은 셀투팩(CTP; Cell to Pack), 셀투섀시(CTC; Cell to Chassis), 셀투바디(CTB; Cell to Body) 등 배터리 패키징 구조 기술을 개발하기 시작했다. 배터리 패키징 구조 기술개발에 나서게 된 이유는 LFP 배터리의 단점을 극복하기 위해서이다. LFP 배터리는 삼원계 배터리보다 에너지 밀도가 낮아 전기차 주행거리가 짧다는 점이 단점으로 지적된다. LFP 배터리의 에너지 밀도가 낮다는 약점을 배터리 셀 탑재량을 늘려 극복하기 위해 개발된 것이 셀투팩·셀투섀시·셀투바디 등 배터리 패키징 구조 기술이다.

일반적으로 배터리는 셀, 모듈, 팩 단위로 구성된다. 셀투팩은 모듈화 과정을 생략하고 배터리 셀을 바로 배터리팩으로 만들어 공간을 절약하는 기술이다. 셀투섀시는 더 나아가서 배터리 셀을 바로 자동차 섀시(chassis)에 직접 부착하는 기술, 셀투바디는 자동차 섀시가 아니라 차체(body)에 부착하는 기술이다.

그러나 배터리를 전기차에 직접 부착하면 사용후 배터리 재활용이 어려워질 수 있다. 일반적으로 전기차 배터리를 재활용하려면 모듈만 분해하면 된다. 그러나 셀투팩 방식으로 탑재된 배터리는 팩 전체를 분해해야 한다. 더군다나 셀투섀시·셀투바디 등 방식은 배터리를 섀시·차체에 접착제로 부착한다. 그러나 Nikkei가 셀투바디 방식이 적용된 중국 BYD의 Seal을 해체(Teardown)해본 결과, 배터리를 탈거하려면 중장비가 필요했다고 한다. VW, Tesla 전기차를 분해했을 때에 비해 배터리 재활용 공정 난이도 및 비용이 대폭 증가할 것으로 평가하였다.[52]

결론적으로 셀투섀시·셀투바디 등 방식과 LFP 배터리가 최근 원가경쟁력으로 주목받고 있으나 사용후 배터리 재활용이 의무화되는 가운데, 한계를 안고 있다고 할 수 있다.

자료: 한국자동차연구원(2023), 제2장 자동차 산업, 2023 한-인도네시아 산업혁신 연구협력사업 국제 공동연구: Making Indonesia 4.0 산업정책 5대 전략산업 및 제4차 산업혁명 혁신 정책Ⅲ, 경제인문사회연구회를 참조하여 작성

반면 최근 주요국에서 자동차 자원순환의 중요성을 인지하고 관련 정책을 적극 도입하고 있어 순환자원의 양이 증가할 수도 있다. 특히 플라스틱 등의 고도 재활용 기술이 개발되고 있어, 기존에는 재활용하지 못하고 소각·매립 처리하던 폐자원도 순환자원으로 다시 활용할 수도 있다. 자동차·부품 제조사와 재활용 기업의 재활용 기술개발 및 주요국의 순환경제 관련 정책의 실효성에 따라 사용후 자동차 유래 순환자원 효율성이 크게 달라질 것으로 보인다.

1.1.2. 사용후 자동차 회수·재활용 현황

우리나라에서는 거의 모든 사용후 자동차가 관허 폐차장에 회수되어 재활용되고 있다.[53] 참고로 EU·중국 등에서는 사용후 자동차 중 추적이 어려운 차량(Missing ELV)이 각각 1/3, 85% 이상으로 관리에 어려움을 겪고 있는데, 그에 비하면 매우 뛰어난 성과를 내고 있다고 할 수 있다.

이와 같은 성과는 해체재활용(폐차)업자를 중심으로 한 우리나라 사용후 자동차 관리 행정체계에 기인한다. 자동차를 말소등록하지 않으면 세금 및 보험료, 과태료를 지속해서 부담해야 하므로 차주는 사용을 마친 자동차를 방치하지 않고 말소등록을 하게 된다. 대체로 해체재활용(폐차)업자가 말소등록 등 절차 일체를 대행하고 폐차처리 작업을 진행한 뒤 폐차 통합관리 시스템에 폐차한 차량의 기본 정보를 입력한다. 폐차처리 작업 후 폐기물이 발생하게 되는데, 해체재활용업자는 이 폐기물 정보를 재활용 업자에 인계하기 전에 환경부의 All baro 전산시스템에 등록해야 한다. All baro 전산시스템을 통해 배출부터 운반·최종 처리 전 과정이 온라인으로 실시간 자동 관리되며 전자 인계서를 통해 기업간 폐기물 흐름 데이터를 추적·연계할 수 있다.

52) Nikkei X Tech, "再利用・リサイクルとは相性悪く: BYD「シール」のブレードバッテリー(2024. 3. 3. 8.", https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/mag/at/18/00017/00042/, accessed: 2024. 9. 20.
53) 남준희(2023), Review of Korean National System, fifth FORS international conference 발표자료, Polish Vehicle Recycling Association.

다만 사용후 자동차 회수율은 매우 높지만, 폐자원 재활용률은 주요국보다 높지 않아 개선이 필요하다고 지적되고 있다.

우리나라 자동차 유래 폐자원 재활용률이 높지 않은 이유 중 하나로, 생산자책임재활용제도(EPR)에 대부분의 사용후 자동차 유래 폐자원이 대상에 포함되지 않는 점을 들 수 있다.[54] 자동차에 EPR 제도를 운용하지 않는 우리나라의 경우 해체재활용업자는 폐차 과정에서 다시 사용할 수 있는 부품 등은 재제조·재사용·재활용하고, 다시 사용이 어려운 부품 중 회수·재활용의 수익성이 확보되는 유가성 물질(철·비철금속 등)은 분해·탈거한 뒤 판매하여 수익을 창출하고 있다. 그러나 재활용 비용에 비해 수익성이 낮은 비유가성 물질 대부분은 분리수거 하지 않고 차피로 압축하여 배출하고 있다. 해체재활용업자로서는 규제나 폐자원 매입 등 국가 정책 개입이 없다면 비유가성 물질을 재활용할 유인이 없다. 그 결과 이희선 외(2015)의 선행연구 등에 따르면, 자동차에 대해 EPR 제도를 운용하는 독일 등에 비해 우리나라의 자동차 재활용률이 낮다고 한다.[55]

사용후 자동차 유래 폐자원 재활용률을 높이기 위해 우리나라 환경부는 EU·독일 등과 같이 EPR 제도에 자동차를 포함하는 방안을 '11년부터 검토해 왔으나 '24년 현재까지 도입하지 않고 환경성보장제(EcoAS)를 통해 폐자동차 재활용을 촉진하고 있다.

우리나라가 자동차에 EPR 제도를 도입하지 않은 이유는 자동차 제조사와 해체재활용업자(폐차업자) 간에 의견 차이가 좁혀지지 않았기 때문이다. 우리나라 자동차 제조업계와 재활용 관련 업계 모두 자동차 폐자원의 재활용 등을 촉진해야 한다는 공통된 인식을 가지나 합의를 이루지는 못했다. 이는 EU와 우리나라 간 자동차 및 재활용 관련 산업생태계 구조 차이에서 기인한 바가 크다고 할 수 있다. 재활용 관련 산업생태계를 보면 EU는 주로 대규모 기업·공제조합 위주인데 우리나라는 다수의 중소기업 위주이다. 또한 자동차 시장 생태계의 경우 EU는 여러 완성차 제조사가 참여하고 있으나 우리나라 내수시장은 현대차그룹의 점유율이 과반이다. 이러한 산업생태계 구조에서 자동차에 EPR 제도 도입 시 재활용 의무 관리 체제 책임 권한을 어느 쪽이 가져야 하는지를 두고 이견이 좁혀지지 않고 있다.

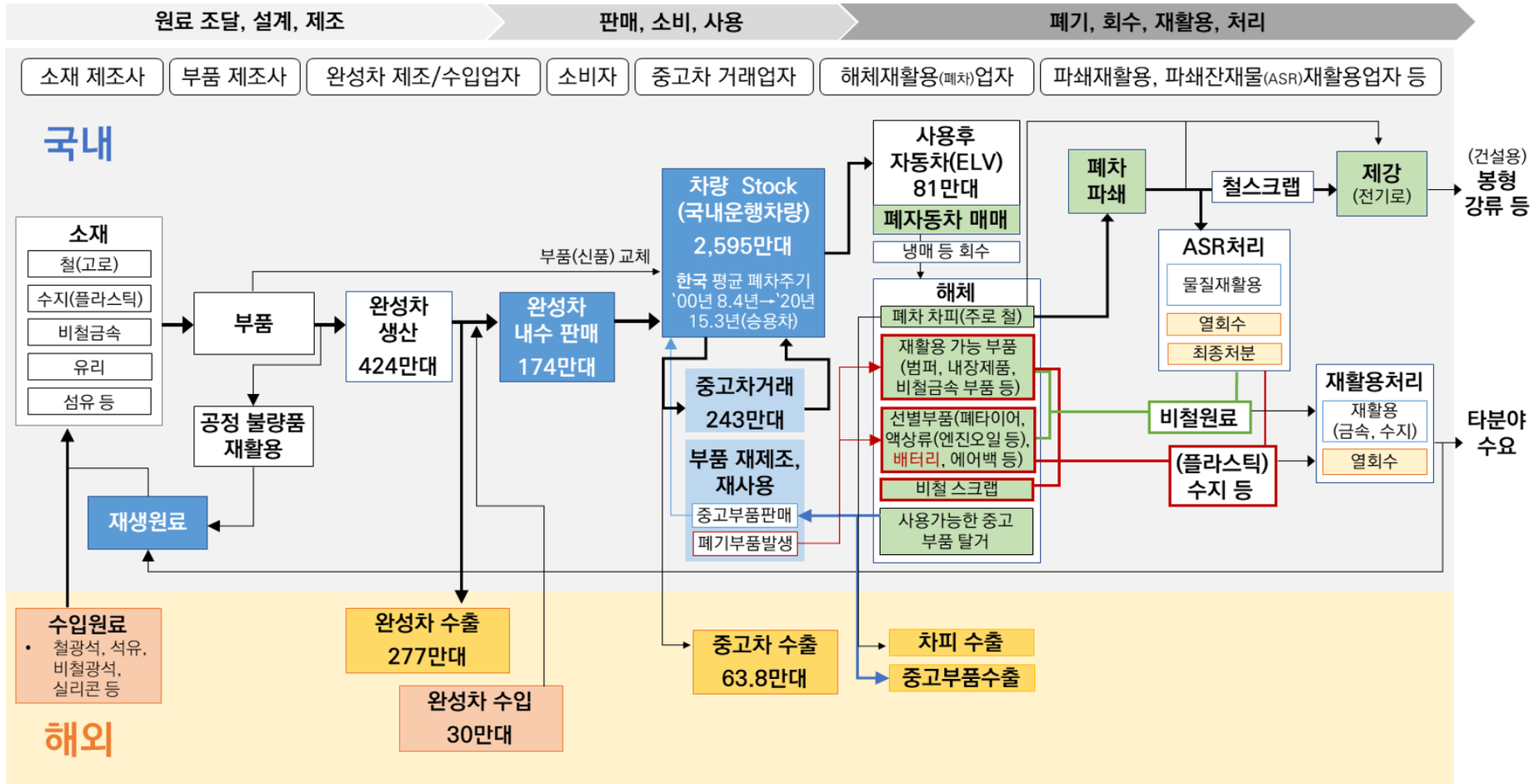
환경부와 해체재활용업계는 관리의 효율성 측면에서 자동차에 대한 EPR 제도는 단일 공제조합이 주도해야 한다고 보고 있다. 단일 공제조합은 해체재활용업자들이 주축으로 구성·운영하는데, 자동차 제조사가 EPR을 주도하게 되면 해체재활용 산업이 대기업 위주로 수직계열화될 수 있다는 것이다.

자동차 제조사는 EPR 제도 원칙에 따라 제조사가 대행 법인을 두어 직접 회수 체계를 구축하면 의무를 다한 것으로 간주해야 한다는 의견이다. 해체재활용업자들이 주축으로 구성된 공제조합이 정한 분담금을 납부하는 방식만 인정하면 분담금 단가 등이 과도하게 책정될 수 있다는 것이다.[56]

다만 자동차 유래 폐자원을 EPR 제도 대상에 포함하는 방안을 검토하는 등 점진적인 강화가 이루어지고 있다. '23년부터 자동차 유지관리용 플라스틱 부품 일부가 EPR 제도 적용 대상에 포함되었다. 또한 재활용 경제성이 낮은 LFP 배터리 등을 EPR 제도 대상에 포함하는 방안도 검토 중이라고 한다. 한편 현행 체제하에서 자동차 유래 폐자원 재활용을 제고하려면 파쇄잔재물(ASR) 재활용 기술 고도화가 필요하다고 평가되고 있다.

54) 우리나라 EPR 제도에 대해서는 제2장 1.2.2. 생산자책임재활용(EPR)제도를 참조
55) 이희선 외(2015), 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름 분석, 한국환경정책·평가연구원
56) 그린포스트코리아, "자동차 재활용률 95% '열쇠'…주인 없는 EPR 제도(2018. 10. 11.)", https://www.greenpostkorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=97095, accessed: 2024. 7. 17.

[그림 3-2] 자동차 자원순환 흐름 도식



주: 통계수치는 모두 2023년도 기준임

자료: 차량 Stock과 중고차거래량은 국토교통부 통계; 중고차 수출량은 신현도(2024), "2024년 인천항 중고자동차 수출 세미나" 발표자료, 2024.2. ; 사용후 자동차(ELV) 즉 자동차 폐차량은 남준희(2023); 완성차 생산·수출·수입량은 산업통상자원부(2024a). "K-자동차, 지난해 사상 최초로 709억 달러 수출대기록", 보도자료(2024. 1. 16.) 등을 참조하여 저자 작성

1.2. 플라스틱

1.2.1. 플라스틱 발생 현황 및 전망

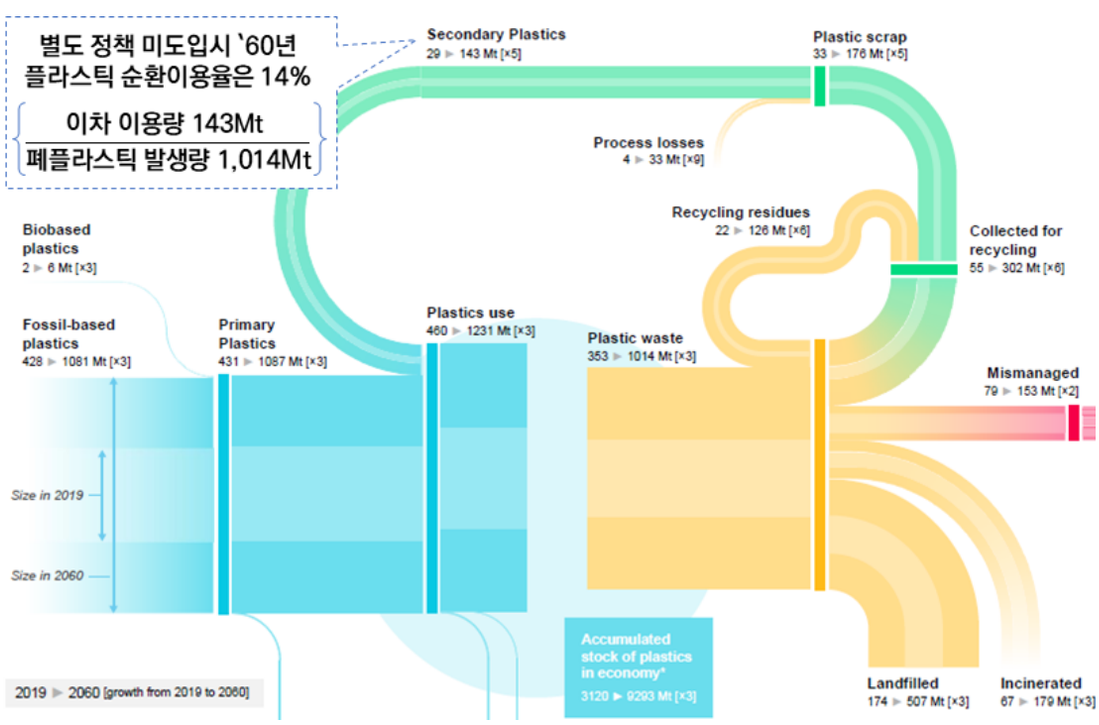
플라스틱은 생산이 쉽고 다양한 형태로 가공할 수 있으며, 가볍고 기계적 물성이 우수한 데다 화학적으로도 안정적이어서 다양한 분야에서 수요가 증가하고 있다. 자동차 산업에서도 소재로서 플라스틱의 중요성과 수요가 높아지고 있다. 자동차도 일부 핵심부품을 제외한 대부분은 플라스틱으로 만들고 있으며 내장재는 물론, 외장재 중 일부는 경량화·원가 절감을 위해 철이 아닌 플라스틱으로 대체하고 있다.

플라스틱 수요 증가에 따라 폐플라스틱 발생량도 증가 중이나 대부분은 적절히 처리되지 않고 매립, 소각, 유출되고 있다. 폐플라스틱은 다른 폐자원에 비해 재활용률이 낮은 대표적인 비유가성 물질이다. 철·유리·알루미늄의 경우 재활용률이 74%, 70%, 67%, 60% 수준이나 플라스틱의 경우 재활용률이 15~20% 수준에 불과한 것으로 추정된다.[57] 폐플라스틱 재활용률이 낮은 이유는 혼합물 종류가 다양하여 분류가 어렵고, 신품 생산 가격이 낮아 재활용할 경제적 유인이 없기 때문이다.

자동차 산업은 플라스틱 사용량이 3번째로 많은 산업이다. OECD는 '60년 산업별 플라스틱 사용량을 1,231Mt으로 전망했는데 31%는 포장재, 16%는 건설업, 그리고 14%는 자동차 산업이 차지할 것으로 전망하였다. 그러나 자동차 산업에서 사용하는 플라스틱 부품 대부분은 분리되지 않은 채 파쇄잔재물(ASR)로 배출·처리되고 있다.

[그림 3-3] OECD의 글로벌 폐플라스틱 흐름 변화 추정('19~'60년)

(단위: Mt, %)



자료: OECD(2022), Global Plastics Outlook, OECD를 재편집

57) 한정석(2022), "폐플라스틱의 화학적 재활용", '22. 화학특허판례연구회 4분기 기술동향 연구, 특허청 고분자섬유심사과.

OECD(2022)는 글로벌 폐플라스틱 발생량이 '19년 353Mt에서 '60년 1,014Mt으로 약 3배 규모로 증가할 것으로 예상하였다.[58] 또한 별도 정책을 새로 도입하지 않고 현재의 기조를 유지하면 글로벌 폐플라스틱 발생량 중 약 14%만 순환 이용되고 나머지 86%는 부적절하게 폐기될 것으로 전망했다.[59] 이에 우리나라를 포함한 175개 국가·지역이 플라스틱 생산부터 폐기 단계까지 플라스틱 오염을 줄이기 위한 UN 플라스틱 국제협약(UN Plastic Treaty)을 '24년 말까지 체결할 예정이다. 동 협약은 폐플라스틱 발생량을 줄이고 순환 이용을 촉진하기 위해 구속력 있는 정책 수단을 도입하는 것을 목표한다.[60]

폐플라스틱 발생량 감축 정책은 크게 생산 단계, 소비 단계, 회수·재활용 단계로 구분할 수 있다. 생산 단계에서는 바이오 플라스틱 등 대체 소재, 또는 폐플라스틱을 재활용한 원료를 사용하게 하는 방안이 주로 활용되고 있다.[61] 또한 플라스틱 생산자에게 제품 설계 시 재활용이 쉬운 구조·재질을 사용하도록 하고 이 정보를 재활용 업자 등에도 공유하여 재활용 효율성을 높이는 방안도 시도되고 있다. 소비 단계에서는 환경부하량이 높은 플라스틱 포장재 등을 규제하거나 플라스틱 소비량 감축에 대해 인센티브를 제공하는 방안이 주로 활용되고 있다. 회수·재활용 단계에서는 폐플라스틱 회수·선별 과정을 고도화하는 등 재생 플라스틱의 품질과 회수·재활용 효율성을 높이기 위한 기술 개발·체계를 구축하는 방안이 주로 활용되고 있다.

그러나 플라스틱 생산 단계 정책 방향성을 두고 논쟁이 존재한다. 플라스틱 생산 자체를 줄여야 한다는 주장과 플라스틱 생산량 자체를 감축하거나 제한하는 등의 규제는 과도하다는 주장이 대치하고 있다. 전자를 주장하는 측에서는 플라스틱은 재활용에 한계가 있으므로 재활용 기술개발에 대한 투자와 함께 플라스틱 신품 생산을 억제하는 조치를 도입해야 한다고 주장한다. 반면 후자를 주장하는 측에서는 플라스틱 생산을 억제하기보다 재활용 기술개발에 주력해야 한다고 주장한다. 경제성·물성 등에서 플라스틱을 대체할 만한 소재를 충분히 조달하기 어려울 수 있으며, 석유화학산업 및 글로벌 경기에 악영향을 미칠 수 있다는 것이다. UN 플라스틱 국제협약 참가국 중 중국·이란·러시아 등은 플라스틱 생산량 감축 규제를 반대하는 의견, 우리나라·일본·미국 등은 국가별로 자율적 조치를 도입해야 한다는 의견, EU·라틴아메리카·아프리카 등은 플라스틱 원료생산 감축 목표량을 설정하자는 의견이다.[62]

플라스틱 생산감축 정책 필요성을 두고 의견이 엇갈리는 가운데, 플라스틱 재활용에 대한 필요성은 모두가 공감하고 있어 향후 글로벌 및 우리나라 플라스틱 자원순환 정책은 우선 플라스틱 회수·재활용을 중심으로 추진될 전망이다. 우리나라는 단기적으로 플라스틱 회수·재활용 단계 정책을 우선 추진할 것으로 보인다. 관계 부처가 합동으로 '22년 발표된 '전주기 탈플라스틱 대책'은 '25년까지 재생원료 사용률, 물리적·열적 재활용률을 높인다는 목표를 제시하였다.

58) OECD(2022), Global Plastics Outlook, OECD.

59) 참고로 우리나라에서 발생한 폐플라스틱 중 실질적으로 재활용된 것의 비중은 약 26% 수준으로 추정됨

60) United Nations, "Nations agree to end plastic pollution", https://www.un.org/en/climatechange/nations-agree-end-plastic-pollution, accessed: 2024. 7. 4.

61) 바이오 플라스틱이 대체재로 거론되기도 하나 본문은 일반적인 플라스틱을 중심으로 서술함

62) 김호은(2024), 환경부 자원순환정책과 발표자료, 제23차 환경정책심포지엄: UN 플라스틱 국제협약 마지막 단계에서 우리의 대응 전략과 역할은?(2024. 6. 26.) 발표자료, 한국환경한림원.

〈표 3-5〉 우리나라 '전주기 탈플라스틱 대책' 상 플라스틱 재활용 목표('20~'25년)

(단위: %)

구분	'20년	'23년	'25년
재생원료 사용률	(추정) 0.2%	3%	10%
물리적 재활용률(생활계 플라스틱)	(추정) 18%	20%	25%
열적 재활용률(생활계 플라스틱)	69%	65%	55%
바이오 플라스틱 기술 수준(최상위국 미국 대비)	85%	87%	90%

자료: 관계 부처 합동(2022), 전주기 탈플라스틱 대책(2022. 10. 20.)

한편 EU는 자동차 산업 내 폐플라스틱 배출량을 감축하고 재활용을 의무화하는 법제를 도입할 예정이다. 현재 도입 준비 중인 EU ELV 규정 개정안은 사용후 자동차 유래 폐플라스틱 재활용을 의무화하는 내용을 담고 있다. 또한 신차 생산 시 재생 플라스틱을 25% 이상 사용하고 이 중 4분의 1은 사용후 자동차 유래 재생 플라스틱으로 조달해야 한다.

EU ELV 규정 개정안에 따른 재생 플라스틱 의무 사용 규제 도입 시점은 '30년 이후로 예상되나, 동 규제는 글로벌 규범으로 확산될 가능성이 높다고 평가된다.[63] 기존 EU ELV 지침에 기반하여 주요국이 자동차 자원순환 규제를 도입한 점을 고려할 때, EU의 ELV 규정 개정안이 도입되면 글로벌 자동차 자원순환 정책 방향도 이에 따라 결정되는 측면이 클 것으로 판단된다. 우리나라 자동차 산업 전체에 미치는 영향 또한 매우 높을 것으로 평가된다.

우리나라 자동차 생산 시 재생 플라스틱 사용, 자동차 유래 플라스틱 재활용 등을 촉진하기 위해서는 현황을 파악하고 그에 기반하여 정책을 수립할 필요가 있다.[64] 그러나 우리나라에서 폐플라스틱 재질 및 용도별 소비량·배출량 통계, 재생원료 품질별 생산량·용도별 사용량을 공표 통계자료는 확인이 어려운 상황이다. 또한 재활용 실적도 재활용 방식별로 구분되지 않고 있다.[65] 따라서 자동차 산업에의 신품·재생 플라스틱 사용량 및 폐플라스틱 배출량 규모를 파악하기 어렵다.

우리나라 플라스틱 생산량, 폐플라스틱 발생량, 재활용률 등을 추계한 장용철(2023)의 분석 결과에 따르면 우리나라의 신품 플라스틱 제품 생산량 약 693만 8천톤 중 약 9%인 62만 9천톤이 자동차 산업에 투입되고 있는 것으로 보인다.[66][67]

63) 상세 내용은 제3장 제2절 EU의 2.1.1과 2.1.2를 참조

64) 자동차 제조사별 EU 매출 비중은 '23년 기준 현대차 30.5%, 기아 23.8%, KG모빌리티가 25.5%(KDB 산업은행 미래전략연구소(2024), EU 공급망 실사지침의 주요 내용과 파급효과, 산은조사월보 2024년 5월, 이슈분석 제822호, KDB 산업은행.)

65) 한국일보, "정확한 재활용 통계 구축, 재생원료 수급 첫걸음(2023. 12. 20.)", https://n.news.naver.com/article/469/0000776086?sid=103, accessed: 2024. 7. 3.

66) 장용철(2023), 한국 플라스틱의 물질흐름분석과 순환경제 구축 전략, 한국폐기물자원순환학회 심포지움(2023.05), Vol. 2023 No.1, 한국폐기물자원순환학회, pp. 5~20.

67) 장용철(2023) 외에도 우리나라 폐플라스틱 물질흐름을 분석한 선행연구로는 한국은행의 2019년도 산업연관표 연장표, 이소라 외(2019), 순환경제로의 전환을 위한 플라스틱 관리전략 연구, 한국환경정책평가연구원이 있음. 다만 이들 연구는 각각 2017년, 2021년 데이터를 사용하여 분석한 바 본 보고서는 가장 최신 데이터를 사용한 장용철(2023)의 분석 결과를 차용함. 한국은행의 2019년 산업연관표 연장표는 플라스틱 제품 생산량 중 자동차 및 트레일러 제조업에 투입된 비중을 15.5%로 추정함. 이소라 외(2019)는 플라스틱 제품 수요량(연간 약 582만톤) 중 자동차 산업의 비중을 9.1%(연간 약 53만톤)로 추정하였음

다만 우리나라 자동차 산업에서 발생한 폐플라스틱 양과 재활용률 등은 확인이 어렵다. 우리나라의 거의 모든 사용후 자동차(폐자동차)는 해체재활용업자가 적법하게 처리하고 있으나 해체재활용업자 등의 폐플라스틱 재활용률이 낮고, 그가 제출한 재활용정보도 부정확성이 높을 것으로 판단되기 때문이다. 해체재활용업자는 수익을 높이기 위해 분리·해체가 어려운 부품 또는 플라스틱 등 비유가성 물질을 재활용하기보다 파쇄잔재물(ASR)로 차피와 함께 압축하여 배출하고 있다고 한다. 해체재활용업자는 폐차 시 재활용정보를 정부 부처의 데이터 포털에 제출하고 있으나 부정확한 정보를 등록하는 경우도 존재하며 담당 부처에서 정보 진위를 일일이 대조하기에는 어려움이 있다.

우리나라 자동차 제조사는 신차를 중심으로 재생 플라스틱 사용률을 점진적으로 높일 예정이다. 기아는 자동차 생산 시 사용한 플라스틱 중 재생 플라스틱의 비중은 '23년 2% 미만이었으나 '30년 20% 수준으로 높일 것이라고 발표했다.[68] 기아가 신차 EV3, EV9에 사용한 재생 플라스틱과 바이오 플라스틱 총중량은 28.5kg, 7~8kg이라고 한다. 이 목표를 달성하기 위해서는 기존 차량에 비해 신차에는 재생 플라스틱 사용량을 수십 배 이상 높여야 할 것으로 보이며, 고품질의 재생원료를 확보하는 것이 관건으로 보인다. 다만 자동차 산업 외 여러 산업에서도 고품질 재생원료를 확보하려는 경쟁이 벌어지고 있으므로 자동차 제조사 등은 사용후 자동차 유래(Car-to-Car) 재생 플라스틱 원료 또는 그로 만든 부품을 안정적으로 조달하는 방안을 모색할 필요가 있다.

1.2.2. 플라스틱 회수·재활용 현황

자동차 산업의 플라스틱 회수·재활용 규제 목표를 달성하기 위해서는 자동차 외에서 발생하는 폐플라스틱과 자동차에서 발생하는 폐플라스틱의 회수·재활용을 함께 추진해야 한다. 단 향후 플라스틱을 사용하는 산업 전반에서 재생원료 수급 경쟁이 치열해질 것으로 예상되는 가운데, 자동차 산업이 필요한 만큼 재생원료를 확보하기에는 어려움도 존재할 것으로 판단된다.[69][70] 본 절에서는 일반적 폐플라스틱과 자동차에서 발생하는 폐플라스틱의 회수·재활용을 함께 살펴본다.

우리나라는 폐플라스틱 회수·재활용을 생산자책임재활용(EPR) 제도에 기반하여 수행하고 있다.[71] 그러나 우리나라 EPR 제도는 생활계 폐기물에 해당하는 폐플라스틱만을 대상으로 하며, 이는 전체 플라스틱 생산·소비량의 4분의 1 정도에 해당한다.[72] EPR 제도 대상 폐플라스틱 수거·선별은 지방자치단체가 담당하며 직접 또는 민간 기업에 위탁하여 수행하고 있다.[73] 한편 EPR 제도 대상이 아닌 폐플라스틱은 지방자치단체를 거치지 않고 민간 기업에 의해 수거·선별되고 있다. 다만 유가성이 높지 않은 폐플라스틱 대부분은 재활용률이 낮을 것으로 추정된다.

---

68) KIA 우리사주조합, "기아, 재활용 플라스틱 10배 늘린다(2024. 7. 3.)", http://www.kiawoori.org/kia/notice/bbs02/?mode=view&id=11898&group=0, accessed: 2024. 7. 4.

69) 연합뉴스, "재활용 소재 늘리는 삼성전자…치솟는 폐플라스틱 가격이 복병(2023. 2. 13.)", https://news.einfomax.co.kr/news/articleView.html?idxno=4254310, accessed: 2024. 4. 30.

70) 시사저널e, "돈 주고 사 오는 '폐플라스틱'···수급 불안에 석화·시멘트업계 '난감'(2023. 8. 28.)", https://www.sisajournal-e.com/news/articleView.html?idxno=302874, accessed: 2024. 4. 30.

71) 상세 내용은 제2장 1.2.2. 생산자책임재활용(EPR)제도 내용을 참조

72) 민달기(2023), 폐플라스틱 원료공급 현황과 재활용 시장의 균형 발전을 위한 경제성 확보, 국회 폐플라스틱 원료부족 해결방안 정책토론회 발표자료(2023. 12. 1.), 이주환·구자근 의원실.

73) 우리나라에서는 중소 고물상 등에 수거·선별 대상 폐기물이 유출(유가성이 높은 종이·고철 등)되고 이를 재하청받아 처리하는 경우가 많음. 그러나 해외에서는 대체로 폐기물은 지방자치단체가 엄격하게 관리하고 있어 영세 고물상 등이 처리하는 경우가 많지 않음

우리나라에서 EPR 제도 등을 통해 회수한 폐플라스틱 중 실제 재활용이 가능한 것의 비중은 높지 않다. 폐플라스틱 재활용률은 산정기준에 따라 크게 달라진다. 플라스틱 재활용 방식은 물리적·화학적·열적 재활용으로 구분할 수 있는데 이중 재생 플라스틱을 생산하는 진정한 재활용은 물리적·화학적 재활용 방식이라고 할 수 있다. 물리적 재활용 방식은 상용화되었으나 화학적 재활용 방식은 상용화 진행 중이다. 단 물리적 재활용 방식으로는 복합 재질로 만들어졌거나 이물질이 다량 섞여 있는 폐플라스틱은 재활용이 어렵다. 따라서 회수한 플라스틱을 재활용하여 재생 플라스틱을 생산하기 위해서는 폐플라스틱을 세척하고, 재질별로 선별하는 등의 과정이 중요하다.

그러나 우리나라 플라스틱 재활용을 수행하는 기업 대다수는 중소기업이며 분류·선별 과정을 자동화하지 못하고 수작업으로 진행하고 있다. 분류·선별 과정의 효율성이 높지 않아 특정한 재질의 플라스틱만 처리할 수 있는 중간처리업체를 거쳐 재활용을 진행하고 있는데, 그 결과 실제로 재활용되는 폐플라스틱의 양은 크게 줄어들게 된다.

EU 회원국 중 폐플라스틱 회수·재활용 체계를 가장 잘 갖춘 국가로 평가되는 독일의 경우, 페트병 보증금 제도(Pfant)를 통해 폐기물 관리를 중앙 집권화하였으며 재활용되지 않은 플라스틱 포장재 폐기물 1kg당 0.8유로의 세율로 플라스틱 세(Plastic Tax)를 생산자에 부과하여 EPR 제도 대상이 아닌 폐플라스틱의 회수·재활용도 촉진하고 있다. 이와 같은 사례를 참조하여 우리나라도 플라스틱 생산자에 대한 입구세 또는 출구세에 해당하는 조치를 도입해야 한다는 지적이 제기되고 있다.[74] 또한 독일 등에서는 EPR 제도를 통해 확보한 재원을 폐플라스틱 수거·선별 업자에도 지원하여 플라스틱 회수·선별 단계의 효율성을 제고하고 있으나 우리나라는 플라스틱 수거·선별 단계에는 지원이 부족하다는 지적이 있다.

자동차 유래 폐플라스틱의 회수·재활용률은 확인이 어려운 상황이다. 자동차에서 배출된 폐플라스틱은 대체로 '22년 말까지 우리나라 EPR 제도 대상이 아니었다.[75] 따라서 그동안 자동차에서 발생하는 폐플라스틱 회수·재활용은 기업의 자발적 노력으로 수행됐다. 일례로 현대차그룹은 사용후 자동차에서 배출되는 플라스틱 부품 일부를 정비·해체재활용업자 등으로부터 위탁 매입하여 재활용하는 등의 사업을 수행해 왔다. 현대차그룹으로부터 위탁받아 사업을 시행하는 A사의 '폐자동차 자원순환체계고도화사업' 입찰공고를 보면 '24년 해체재활용업체로부터 연 40만kg의 폐차 유래 폐플라스틱을 매입할 예정이라고 한다. 과거에는 비교적 재활용이 쉬운 PP 단일 재질 부품만 매입하였으나 '23년부터는 PA, ABS, PE, PC 등 다양한 재질의 부품을 매입 대상에 포함하고 있다. 현대차그룹이 매입 재질을 다변화한 것은 우리나라 폐플라스틱 재활용 기술 발전을 방증한다고 할 수 있다.

다만 '23년부터 EPR 제도 대상에 자동차 유지보수용 부품이 포함되면서 자동차에서 발생하는 폐플라스틱의 회수·재활용률이 점차 높아질 것으로 예상된다. EPR 제도 대상 자동차 유지보수용 부품은 자동차 범퍼, 몰딩·가니쉬, 언더커버, 워셔 탱크, 냉각수 탱크이다. 주로 차체에서 분리하기 쉽고, 대부분 PP 소재로 이루어져 있어 재활용이 쉬운 부품을 우선 대상에 포함한 것으로 보인다. EPR 제도상 생산자의 재활용 부담금은 품목별 기준단가에 재활용 의무율을 곱하여 산출하는데, 자동차 유지보수용 부품에 대한 재활용 의무율은 최초 연도인 '23년 47.7%에서 '24년 50.2%로 강화되었다.

---

74) 홍수열(2024), 플라스틱 국제협약 전망 및 과제, 제23차 환경정책심포지엄: UN 플라스틱 국제협약 마지막 단계에서 우리의 대응 전략과 역할은?(2024. 6. 26.) 토론자료, 한국환경한림원.

75) 자동차 의자나 각종 부품에 있는 비닐커버, 부동액 브레이크액 및 윤활유 포장용기 등 또한 생산자책임재활용제도 대상 품목이나, 이는 자동차에서 배출되는 플라스틱 중 극히 일부이며 포장재로서의 성격이 더 강한 것으로 보임

한편 회수한 폐플라스틱으로 재생 플라스틱을 만들어 제품생산에 사용하기 위해서는 고품질 재생원료를 확보할 필요가 있다. 우리나라의 폐플라스틱 명목 재활용률은 약 70%지만 그중 절반 이상은 열적 재활용 또는 소각되고 있으며, 재생 플라스틱을 만드는데 사용되는 것의 비중은 26% 수준으로 추정된다.

국내에서 조달할 수 있는 고품질 재생원료와 국내에서 생산할 수 있는 재생 플라스틱 양은 매우 부족하다. '21년 기준 우리나라 플라스틱 원료 생산기업의 재생원료 투입 비율은 0.2~1.8% 수준이며, 고품질 재생원료는 수요 대비 공급이 부족하다.[76] 국내 폐기물 재활용을 촉진하기 위해 '22년부터 환경부는 폐플라스틱 등 폐기물 수입을 금지한 바 있다. 그러나 재생원료를 수입하면 규제를 우회할 수 있어, 우리나라 기업은 고품질 재생원료를 주로 일본 등 해외에서 조달하는 것으로 보인다.[77]

현재 우리나라에는 국내 폐플라스틱 회수·재활용 흐름 및 재생원료 수입량, 산업별 재생 플라스틱 사용량 등을 파악하고 관리할 수 있는 통계자료가 부재한 상황이다.[78] '24년 말 체결 예정인 UN플라스틱 국제협약은 플라스틱 통계 구축을 요구하고 있다.

또한 고품질 재생 플라스틱을 생산하기 위한 화학적 재활용 방식 기술개발·상용화가 필요하다. 현재 재생 플라스틱 생산은 거의 물리적 재활용 방식으로 이루어지고 있다. 그러나 물리적 재활용 방식으로는 신품(virgin) 플라스틱에 비해 질이 낮은 재생 플라스틱만 생산할 수 있다. 자동차 부품에는 내구성·안전성·심미성 등에서 신품과 동등한 수준의 고품질 재생 플라스틱이 필요하므로, 자동차 및 각종 산업계 수요를 충족하기 위해서는 화학적 재활용 기술개발 및 상용화가 필요하다고 평가된다.

우리나라 재활용 산업생태계 구조상 대규모 투자가 필요한 화학적 재활용 방식 기술 규모의 경제를 달성하는데 어려움이 있다. EU 등에서는 소수의 재활용 대기업이 대량의 폐플라스틱을 처리하나, 우리나라는 폐플라스틱 대부분을 다수의 중소 재활용 기업이 처리하고 있다. 한편 재생 플라스틱에 대한 전 산업 수요가 크게 증가할 것으로 예상되면서 폐플라스틱 재활용 산업에 '20년을 전후로 대기업이 진입하기 시작하였다. 이에 중소 재활용 기업 등은 대기업에 의해 생존권이 침해될 것이라며 플라스틱 원료재생업과 플라스틱 선별업을 중소기업 적합업종으로 지정해달라고 요청하였다.

정부와 관련 기업이 수년간 논의한 끝에 중소기업 적합업종으로 지정하지는 않되 '22년 11월 '플라스틱 재활용업 대-중소기업 상생협약'을 체결하여 대-중소기업 간 역할을 나누기로 합의하였다. 중소기업은 생활계 플라스틱 원료재생업·선별업 등 기존의 물리적 재활용을 담당한다. 대기업은 중소기업 담당 분야에 진입·확장을 자제하고 화학적 재활용 및 고품질 제품 제조에 집중한다.[79][80] 다만 플라스틱 수거·선별업에의 지원 확대, 선별 품질에 따른 재활용 자원 배분 등 과제도 다수 존재한다.[81] 대-중소기업간 협력을 강화하여 재활용 산업 생태계 지속가능성을 제고할 필요가 있을 것이다.

---

76) 한국일보, "폐플라스틱 부족 사태와 그 해법(2023. 12. 7.)", https://www.hankookilbo.com/News/Read/A2023120609170001352, accessed: 2024. 4. 30.

77) 환경경영신문, "폐플라스틱 일본 수입 폐PET병 국내시장 교란-한국환경공단 생산자, 재생업체 역회수 재활용 체계 구축", http://ionestop.kr/bbs/board.php?bo_table=B03&wr_id=563, accessed: 2024. 7. 3.

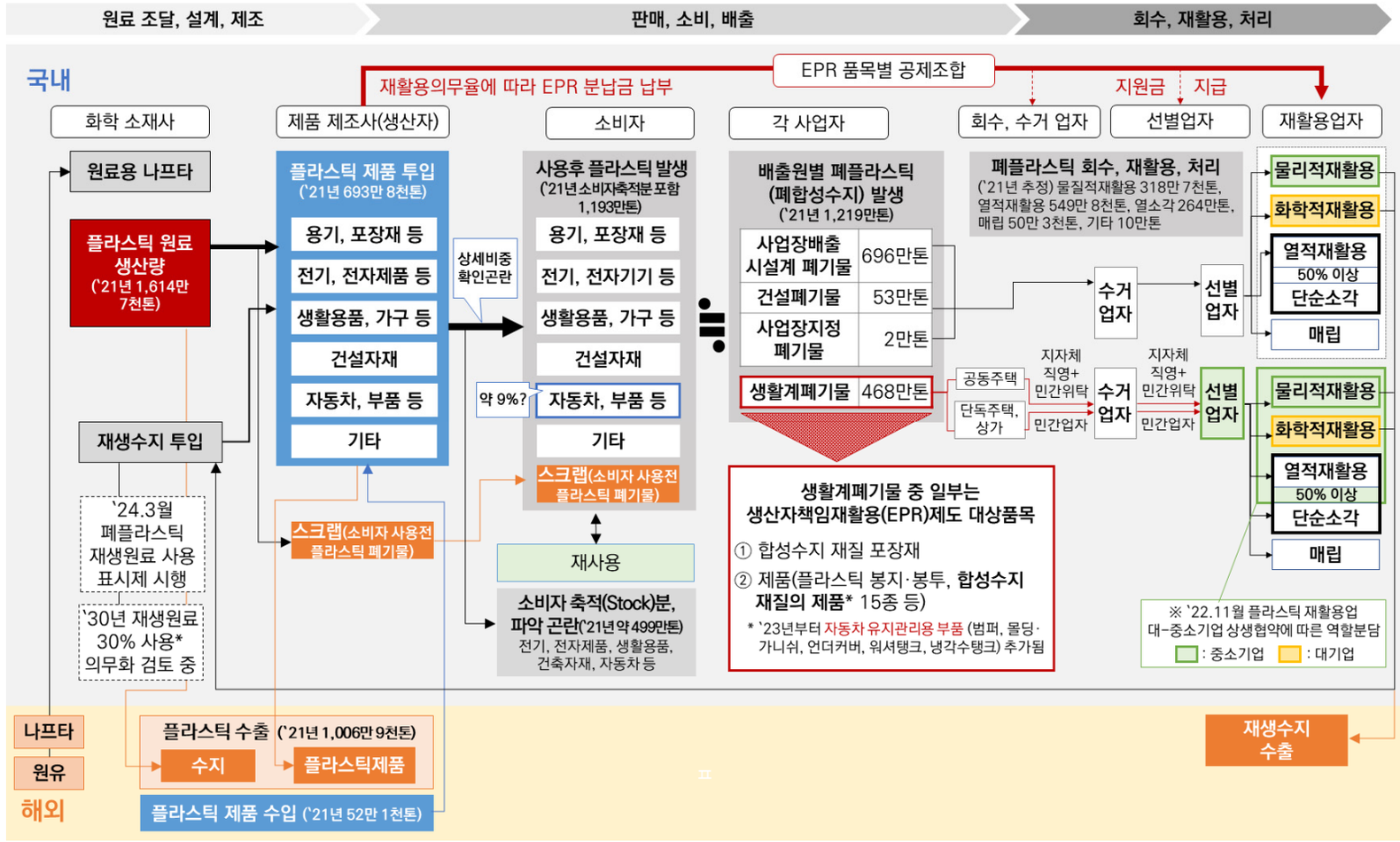
78) 서울경제, "[단독] 30% 룰 코앞인데…'재생 플라스틱' 통계도 없다(2023. 5. 3.)", https://www.sedaily.com/NewsView/29PFQHKM8D, accessed: 2024. 5. 2.

79) 한겨레, "폐플라스틱 재활용, '중기 적합업종' 지정 안한다 대·중기 상생협약 통해 역할 분담하기로 중기 물리적 재활용, 대기업 화학적 재활용", https://www.hani.co.kr/arti/economy/economy_general/1063667.html, accessed: 2024. 5. 7.

80) 대기업 진입·확장 자제 대상 범위는 공동주택·일반 가정에서 분리 배출되는 생활계 배출 폐플라스틱의 선별과 원료재생업 한정임. 사업장계·건설계 배출 폐플라스틱 및 생활계 종량제 봉투 내 플라스틱, 선별장 선별후 잔재물 플라스틱은 제외

81) 폐플라스틱 선별 품질이 고품질이면 물리적 재활용 방식, 중 품질이면 화학적 재활용, 저품질이면 열적 재활용에 배분하는 등 조정이 필요하다는 의견이 있음(플라스틱코리아, "폐플라스틱 재활용산업 현황과 시사점(3) (2024. 7. 19.)", https://www.plastickorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=24095, accessed: 2024. 7. 30.)

[그림 3-4] 플라스틱 자원순환 흐름도



주: 우리나라에는 현재 플라스틱 자원순환 흐름 및 재생 플라스틱 양을 파악할 수 있는 통계자료가 부족한 상황임

자료: 플라스틱 원료생산·수출·수입량, 사용후 플라스틱 발생량, 폐플라스틱 회수·재활용·처리 양 등은 장용철(2023)의 추정치; 배출원별 폐플라스틱 발생량은 민달기(2023)의 추정치; 그 외 정부 플라스틱 재활용업 대-중소기업 상생협약 등 관련 보도자료 등을 참조하여 저자 작성

1.3. 사용후 배터리

사용후 배터리(End of Life Battery)란 전기차 등에서 탈거되어 사용을 마친 배터리를 의미한다. 폐기물이라는 관점에서 폐배터리라는 용어와 순환이용하는 제품이라는 관점에서 사용후 배터리라는 용어가 혼용되고 있으나, 관계 부처 합동으로 '24년 7월 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안'을 발표한바 '사용후 배터리'라는 용어로 일원화될 전망이다.

전기차에서 분리·교체·회수된 사용후 배터리는 성능평가 결과에 따라 재제조·재사용·재활용된다. 재제조는 사용후 배터리의 부속품을 교체·수리하여 전기차 배터리로 재조립하여 사용하는 것, 재사용은 사용후 배터리를 일부 수리·재조립하여 ESS(에너지저장시스템) 등 기타 용도로 재조립하여 사용하는 것, 재활용은 사용후 배터리를 파·분쇄하여 리튬·코발트·니켈 등 유가금속을 추출하는 것을 의미한다. 다만 재제조·재사용 용도 배터리도 이차 사용을 마친 후에는 결국 재활용 대상이 되므로 사용후 배터리 자원순환에 있어 재활용이 최종 단계라 할 수 있다.

사용후 배터리의 성능평가 시 사용할 수 있는 기준은 여러 가지가 존재할 수 있으나, 주로 SoH가 사용된다. SoH는 초기 용량 대비 배터리가 현재 사용할 수 있는 용량을 의미한다. SoH가 높으면 재제조, 중간 정도면 재사용, 낮으면 해체하여 재활용하는데 아직 사용후 배터리 용도를 파악하는 글로벌·국내 표준 등은 명확하지 않다. 현재 우리나라에서 사용후 배터리 회수·보관·평가를 담당하는 대표 기관인 한국환경공단은 내부 지침에 따라 SoH 60%를 기준으로 사용후 배터리 용도를 재사용, 재활용으로 구분하고 있다.[82)]

한편 지금까지 우리나라에서는 사용후 배터리 재제조·재사용보다는 주로 재활용을 중심으로 기술개발 등이 이루어져 왔다. 그러나 우리나라 정부가 재제조·재사용이 가능한 사용후 배터리는 우선 재제조·재사용한 뒤 재활용한다는 방침을 제시한바, 앞으로 재제조·재사용 기술의 중요도가 높아질 전망이다.

1.3.1. 사용후 배터리 발생 현황 및 전망

사용후 배터리 산업 활성화를 위해서는 원료 확보를 통한 규모의 경제 달성이 가장 중요하다고 평가된다. 국내 전기차 사용후 배터리 회수량은 수요 대비 충분하지 않다. 우리나라는 전기차 내수 판매량이 약 16.2만 대, 수출 대수는 34.7만 대로 전기차 및 배터리 생산량 중 과반을 수출하고 있다. 다만 '30년을 전후로 사용후 배터리가 대량 발생할 것으로 예상된다. 한국환경공단에 따르면 국내 사용후 배터리 발생량은 '24년 약 1만 4천개에서 '30년 10만 8천개 수준으로 증가할 것이라고 한다.[83)] 이에 따라 우리나라 사용후 배터리 회수·재활용 시장도 '23년에 비해 수십 배 이상의 규모로 성장할 것으로 예상된다.

〈표 3-6〉 우리나라 사용후 배터리 회수·재활용 시장규모 전망('23~'31년)

(단위: 개, 백만 원)

연도	재사용	재활용	시장규모 (백만 원)	연도	재사용	재활용	시장규모 (백만 원)	연도	재사용	재활용	시장규모 (백만 원)
'23	613	32	434	'26	6,770	356	4,867	'29	21,396	1,126	15,279
'24	1,395	73	1,082	'27	14,558	766	10,800	'30	45,828	2,412	32,667
'25	2,443	129	1,706	'28	16,227	854	12,858	'31	74,771	3,935	54,812

자료: 한국전기차산업협회(2023), 전기차 사용후 배터리 산업 발전 방안 세미나 발표자료

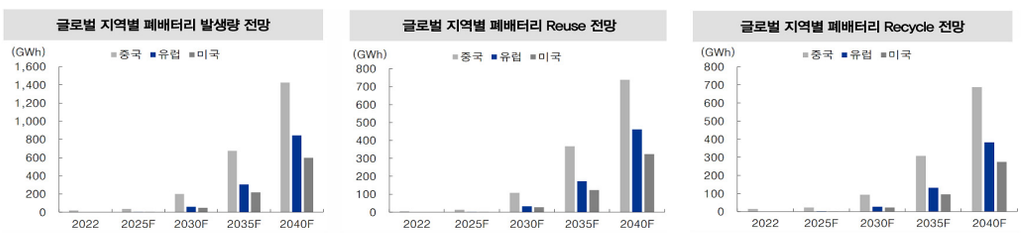
82) 머니투데이, "다 쓴 배터리 '가루' 만들었더니 "돈 되네"…폐배터리 '이렇게' 다시 쓴다(2024. 5. 6.)", https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2024050517552972602, accessed: 2024. 7. 4.

83) 뉴스핌, "6년 뒤 전기차 폐배터리 연간 10만개 봇물 '8배 급증'…'돈 되는 자원' 재사용 박차(2024. 9. 9.)", https://m.newspim.com/news/view/20240904000825, accessed: 2024. 9. 20.

글로벌 시장에서도 현재 사용후 배터리 발생량은 재사용·재활용 산업 수요에 비해 충분하지 않으나, '30년을 전후하여 대폭 증가할 전망이다. 지역별 발생량은 중국, 유럽, 미국 순으로 예상된다.

[그림 3-5] 주요 지역별 사용후 배터리 발생량 전망

(단위: GWh)



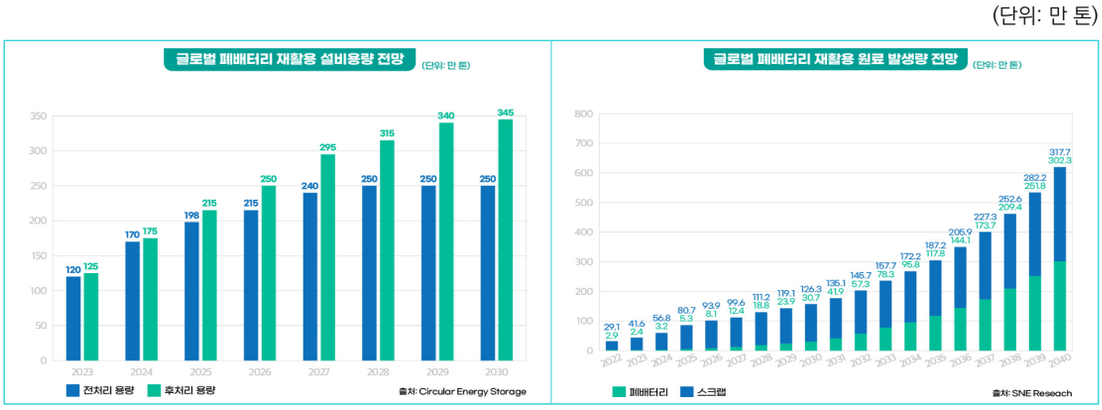
자료: IBK투자증권(2023), ESG 순환경제, 배터리 리사이클링

현재 배터리 재활용 기업은 원료를 주로 배터리 제조 공정 등의 과정에서 발생하는 스크랩을 통해 조달하고 있다. 배터리 스크랩은 배터리 제조 공정에서 발생하는 불량품 또는 품질 기준을 충족하지 않는 부품 등을 포함한다.

다만 배터리 스크랩만으로는 규모의 경제를 달성하기에 어려움이 있어 사용후 배터리 회수·관리 기반 구축 필요성이 높다. 배터리 생산량이 증가하면서 배터리 스크랩 또한 증가하고 있으나 기구축된 배터리 재활용 설비 용량을 고려할 때 앞으로도 그 양은 충분하지 않기 때문이다. 참고로 배터리 제조사들의 스크랩 발생량은 일반적으로 배터리 총생산량의 4~12%, 스타트업 기업은 15~ 30% 수준이라고 한다.[84]

[그림 3-6] 글로벌 사용후 배터리 재활용 설비 용량 및 원료 발생량 전망

(단위: 만 톤)



자료: SK에코플랜트, "글로벌 폐배터리 재활용 설비 절반이 개점휴업? 안정적인 폐배터리 수급 방안은?(2024. 3. 20.)", https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/15551, accessed: 2024. 6. 30.

우리나라 배터리 재활용 기업은 대부분 배터리 스크랩을 인수합병·계열사 활용 등의 방식 또는 해외 입찰에 참여하는 방식으로 확보하고 있다. 전자는 주로 대기업이 채택하고 있다. 예를 들어 현대차그룹은 연구 과정에서 발생한 국내 사용후 배터리를 현대 모비스를 통해 재활용하고 있다고 한다. SK는 세계 각지에 관련 기업과 합작법인을 설립하고 있다. 대표적 사례로 '23년 12월에 사용후 배터리 재활용 전문 자회사인 테스(TES)와 중국 JiangSu(장쑤)성에 배터리 재활용 공장을 설립하기도 하였다.[85]

84) S&P Global, "Looming EV raw materials supply crunch has OEMs eyeing battery recycling and production scrap(2024. 1. 4.)", https://www.spglobal.com/mobility/en/research-analysis/ev-raw-materials-supply-crunch-battery-recycling.html, assessed: 2024. 6. 30.

그외 기업들은 후자, 즉 해외 스크랩 입찰에 참여하는 방식으로 배터리 스크랩을 확보하고 있는데 코발트·니켈·리튬 등 신품 광물 시세에 따라 가격이 변동되므로 수급이 불안정하다는 단점이 있다. 현재 재활용 업계에서 확보하는 배터리 스크랩 총량은 확인이 어렵다. 국내 대표적 배터리 재활용 기업인 성일하이텍의 경우를 보면 '22년 369억 원 규모의 배터리 스크랩을 수입했는데, 이는 당해연도에 매입한 배터리 스크랩 총량의 80% 이상에 해당한다.[86]

한편 우리나라 배터리 재활용 기업은 원료 중 상당 부분을 해외, 특히 EU에서 대량의 블랙매스를 수입하여 조달하고 있다. SNE Research에 따르면 유럽에서 발생한 블랙매스 3만 톤 중 약 70%에 해당하는 2만 톤을 우리나라가 수입하고 있다고 한다.[87]

다만 블랙매스에 대해서는 EU·중국 등이 정책 변경을 추진하고 있어, 향후 우리나라 기업의 원료 수급이 더 어려워질 가능성이 있다. EU는 블랙매스를 유해폐기물(Hazardous waste)로 보고 해외로의 반출을 방지하려 시도하고 있다. 중국은 반대로 사용후 배터리 및 블랙매스를 현재 수입 금지 대상 고체폐기물로 규정하고 수입을 금지하고 있으나, 원료를 확보하기 위해 해외로부터 수입을 허용하는 방안을 2024년 말까지 검토·확정할 예정이라고 한다.[88]

1.3.2. 사용후 배터리 회수·재활용 현황

우리나라는 정부 보조금을 받아 구매한 전기차를 소비자가 말소등록할 때 사용후 배터리를 지방자치단체에 반납할 의무를 부과하였다. 그러나 반납 의무로 인해 민간 기업이 사용후 배터리를 확보하기 어려우며, 관련 산업 발전을 촉진하기 위해서는 반납 의무를 폐지해야 한다는 주장이 제기되었다. 이에 '21년 1월 1일 이후 등록한 전기차에 대해서는 사용후 배터리 반납 의무를 폐지했다.[89] 다만 이를 대체하는 관리 기반이 미비하여 보완이 필요하다는 지적이 제기되고 있다.

한편 우리나라에서 말소등록 전기차(사용후 전기차)와 그에 탑재된 배터리 상당량이 수출되고 있어 이를 방지할 필요가 있다고 지적되고 있다. 아래에서는 사용후 배터리 회수 현황을 반납 의무 대상 전기차 사용후 배터리와 비대상 전기차 사용후 배터리로 나누어 살펴보고, 말소등록 전기차와 그에 탑재된 사용후 배터리의 흐름을 수출을 중심으로 살펴본다.

우리나라에서 '20.12.31까지 보조금을 받아 구매한 전기차의 경우 차량 말소등록 시 「대기환경보전법」 제58조 5항에 따라 보조금을 지급한 지방자치단체에 배터리를 반납해야 한다. 전기차 소유자는 「전기자동차 배터리 반납 등에 관한 고시」에 따라 지방자치단체에 사용후 배터리 반납 신청을 해야 하며, 배터리 분리 작업은 자동차해체재활용업자를 통해 진행해야 한다.

반납 신청을 받은 지자체가 대행 기관인 한국환경공단에 회수를 요청하면 공단은 폐차장에서 사용후 배터리를 관할 미래폐자원거점수거센터로 운송한다.[90] 사용후 배터리 반납에 드는 운송비는 일반적으로 폐차장이 부담하나 정부는 '24년 사용후 배터리 회수 시범사업을 통해 운송비 등 일부 비용을 지원하고 있다.

85) SK에코플랜트, "글로벌 폐배터리 재활용 설비 절반이 개점휴업? 안정적인 폐배터리 수급 방안은?(2024. 3. 20.)", https://news.skecoplant.com/plant-tomorrow/15551, accessed: 2024. 6. 30.

86) 성일하이텍(2023). 2022년 사업보고서

87) SNE Research(2024), 2024 SNE Battery Day 발표자료

88) EU, 중국의 사용후 배터리 관련 정책 개정 동향은 제3장 2.1.3. EU – 사용후 배터리와 2.2.3 중국 – 사용후 배터리를 참조

89) 등록일이 '20년 12월 31일 이전인 전기차는 사용후 배터리를 반납해야 함

90) 정부는 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률」 시행령 개정안을 통해 '21.7.6.부터 미래폐자원 거점수거센터의 운영업무를 한국환경공단에 위탁하였으며, 공단은 수도권·충청권·호남권·영남권 등 4개 권역의 거점수거센터 운영을 담당하고 있음. 그 외 제주와 포항의 거점수거센터는 각각 제주 및 경북테크노파크가 운영하고 있음

전국 6곳에 있는 미래폐자원거점수거센터는 회수한 배터리를 보관하며 배터리에 대한 외관 검사, 잔존가치 평가 등의 테스트를 진행한 뒤 기업에 매각 또는 연구·교육 기관 등에 실증용으로 제공하고 있다. '22.1월부터 순환자원 정보센터의 입찰 시스템을 통해 특정 자격을 충족하는 업체·기관을 대상으로 매달 경매 방식으로 매각하고 있다.[91] 매각 시 용도를 재활용 및 재사용으로 구분하고 있는데, 침수·셀 팽창 등의 사유로 검사 부적합 판정을 받거나 용량 측정이 불가한 배터리도 매각 대상에 포함되고 있다. 매각 가격은 배터리 등록 연도·용량·SoH 등에 따라 수십만 원~수백만 원 대로 달라진다.

[그림 3-7] 우리나라 미래폐자원거점수거센터 개요

자료: 여준석·이승필(2022), 미래폐기물 자원순환 생태계 활성화를 위한 정부지원 방안: 전기차 사용후 배터리를 중심으로, 한국과학기술기획평가원

〈표 3-7〉 순환자원정보센터 사용후 배터리 매각 사례

(단위: kWh, %, 원)

차종	등록연도	용량(kWh)	SoH(잔존수명, %)	가격(원)
코나	2018.7	64	87.1	2,520,000
코나	2020.7	64	88.0	3,400,000
아이오닉	2018.3	28	86.7	805,000
아이오닉	2017.8	28	90.8	1,015,400
SM3	2014.4	26.6	68.5	250,000
SM3	2015.11	26.6	61.7	350,000
니로	2019.9	64	96.5	3,917,540
니로	2019.5	64	84.7	3,750,000
쏘울	2019.6	64	84.1	3,820,000

자료: 순환자원정보센터

다만 미래폐자원거점수거센터의 실제 회수 및 매각 실적은 아직 저조한 편이다. '23년 국회 환경노동위원회 보고서는 '23.9월 기준 미래폐자원거점수거센터 4곳의 회수·매각량은 각각 188개와 152개 수준이며, 보관 용량 이용률도 높지 않아 활용도가 낮다는 점을 지적하였다. 또한 반납의무 대상 전기차 대수 대비 실제 미래폐자원거점수거센터의 사용후 배터리 회수율은 47%로, 자원관리 차원에서 배터리 회수율을 높이고 민간의 사용후 배터리 활용을 촉진할 필요가 있다고 평가된다.

91) 매각 입찰에 참여할 수 있는 업체·기관은 「폐기물관리법」 제25조 제5항 제5~7호에 따른 폐기물재활용업 허가를 받은 자, 「산업융합 촉진법」 실증 규제 특례 확인을 받은 자, 「지역특구법」에 따른 규제특구사업자, 「환경기술산업법」 제5조에 따른 환경기술개발사업·「산업기술혁신법」 제11조에 따른 산업기술개발사업·중소기업기술혁신법」 제9조에 따른 기술혁신 촉진 지원사업에 참여하는 자, 정부 또는 지방자치단체가 예산을 지원하는 실증사업의 참여자, 정부출연연구기관, 지방자치단체 출연 연구원, 지방자치단체 출자·출연기관 등임

〈표 3-8〉 미래폐자원거점수거센터 사용후 배터리 회수 및 출고 현황('23.9월 기준)

(단위: 개수, %)

구분	수도권	충청권	영남권	호남권	합계
'23년 초 재고	245	42	60	65	412
회수	92	8	41	47	188
출고(매각, 실증 제공)	105	2	34	14	155
연말 재고	232	48	67	98	445
보관 가능용량	1,097	636	400	1,320	3,453
이용률 (연말 재고/보관 가능용량, %)	21.1	7.5	16.7	7.4	12.9

자료: 환경노동위원회(2024), 예비 심사 검토보고서

'21년 1월 1일 이후 등록된 전기차는 배터리 반납 의무가 없어 차주는 사용후 배터리를 자유롭게 민간에 매각할 수 있게 되었다. 따라서 사용후 배터리 재사용·재활용 기업 등이 해당 배터리를 매수하고 있는 것으로 추정되나 정확한 실태 파악은 어려운 상황이다. 또한 전기차 사고·정비 등으로 정비소나 보험사로 입고되는 사용후 배터리 또한 경매를 거쳐 민간 기업에 매각되는 것으로 추정되나, 관리 기반이 미비하여 흐름을 파악하기 어렵다.

이에 우리나라 정부는 사용후 배터리 관리 기반 공백 보완, 사용후 배터리 산업 육성, EU 등의 통상 규제 대응이 필요하다고 보고 '24년 7월 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안'을 발표하였다. 동 방안에 따라 사용후 배터리 사업자 등록제, 전주기 이력관리 시스템, 탈거 전 성능평가를 도입하는 등 법·제도·인프라 전반을 '27년까지 구축할 계획이다. 특히 성능평가 의무화를 통해 모든 배터리에 대한 평가와 분류를 진행하고 전주기 이력관리 시스템을 통해 배터리 정보 기록·연계를 원활화할 예정이다. 또한 정부는 사용후 배터리 민간 회수 체계를 활성화하고자 관련 인프라 구축 지원사업을 시행하고 있다. 한국환경공단은 '전기차 폐배터리 민간 회수 체계 구축 지원사업'을 통해 자동차 해체재활용업자를 대상으로 사용후 배터리 전용 분리·보관·성능평가 등의 시설 또는 장비 구매비용을 지원하고 있다.[92]

한편 우리나라 폐전기차 흐름을 보면 '22년 말소등록 전기차는 약 6,300대인데 이 중 80% 이상에 해당하는 약 5,200대가 해외에 수출되었다. 참고로 카이즈유데이터연구소에 따르면 우리나라 중고 전기차 거래량은 '22년 약 1만 7,100대, '23년 약 2만 4,600대라고 한다.[93] 사용후 배터리는 안전성 문제로 컨테이너선에 선적하기 어려워 전기차에서 분리되어 거래되는 경우는 드물며 중고 전기차에 탑재된 채 수출되고 있다. 본 절에서는 전기차 수출량을 사용후 배터리 수출량을 대변하는 수치로 보고 분석을 진행한다.[94]

최근 우리나라에서는 전기차·배터리 산업을 활성화하기 위해서는 중고 전기차와 배터리 생애주기를 체계적으로 관리해야 한다는 주장이 제기된 바 있다. 사용후 배터리가 중고 전기차에 탑재된 채로 수출되는데, 중고 전기차와 사용후 배터리를 국내에서 가급적 순환이용하도록 독려할 필요가 있다는 것이다. 또한 전기차 구매보조금은 우리나라 대기오염을 방지하는 효과를 기대하고 지급한 것인데 중고 전기차가 해외로 수출되면 재정 보조금 효과가 해외로 유출된다는 주장이 제기되었다.[95]

92) 한국환경공단, "한국환경공단, 전기차 폐배터리 민간 회수 체계 구축 지원사업 실시(2024. 7. 3.)", https://www.keco.or.kr/group02/lay1/bbs/S297T586C593/A/20/view.do?article_seq=81751, accessed: 2024 .7. 20.

93) 머니투데이, ""보조금 이게 다야?" 전기차 신차 주춤하는데…중고차는 불티, 왜(2024. 3. 6.)", https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2024030515360093968, accessed: 2024. 9. 9.

94) 다만 사용후 배터리를 전처리하여 무해화한 블랙 매스(Black Mass)는 컨테이너선에 선적되어 거래하는 사례가 존재함. 이를 위해서는 사용후 배터리 및 블랙매스의 안전성을 입증하기 위한 여러 요건을 충족할 필요가 있음. 우리나라는 주로 블랙매스를 EU·일본 등에서 수입하여 사용후 배터리 재활용에 원료로 활용하고 있음

95) 전자신문, "국가 자원 '전기차 배터리' 해외로 빠져나간다(2023. 7. 23.)", https://www.etnews.com/20230721000220,

이에 따라 환경부는 「대기환경보전법」 시행규칙을 개정하여 일정 기간 의무 운행 기간을 충족하지 않으면 보조금을 반납하도록 하는 저공해차 의무 운행 기간 제도 등을 지속하여 강화하였다.[96] 수출말소의 경우 국내에서 중고 매매 또는 폐차되는 경우보다 6년 더 긴 의무 운행 기간을 적용하는 것이다.

그러나 중고차 수출업자 또는 해체재활용업자는 최종 소유주(차주)가 보조금 반납 의무 등을 이행했는지 전산으로 확인하기 어렵다. 또한 보조금 반납 여부는 지방자치 단체 실무 담당자가 관리해야 하나, 여러 번 재·개편된 관련 제도를 정확히 숙지하기에는 어려움도 존재할 것으로 생각된다.

〈표 3-9〉 우리나라의 전기차 및 사용후 배터리 보조금 회수 현황

(단위: 대, 만 원, %)

구분	~'16	'17	'18	'19	'20	'21	'22	합계
전기차 1대당 보조금(만 원)	1,700	1,900	1,900	1,600	1,520	1,500	1,100	-
말소등록(대)	118	147	554	941	1,732	4,068	6,335	13,895
수출말소(대)	5	46	387	680	1,304	3,497	5,110	11,029
말소등록 중 수출말소 비중(%)	4.2	31.3	69.9	72.3	75.3	87.1	85.8	81.9
실제 반납 대상(대)	113	101	167	261	428	517	843	2,430
미회수량(대)	112	93	116	100	147	254	145	967

자료: 우원식 의원실 2023년 국정감사 자료; 환경일보, "전기차 폐배터리 1000개 미회수(2023. 10. 25.)", https://www.hkbs.co.kr/news/articleView.html?idxno=731986, accessed: 2024. 7. 22.

〈표 3-10〉 구매 시 보조금 등 정부 지원을 받은 저공해 자동차·건설기계 사용기간별 지원 금액 회수 기준

(단위: %)

저공해 자동차·건설기계 사용기간(운행 기간) / 지원 금액 회수 비율		보조금 지급 신청일이 '22.6.30. 이전인 차	보조금 지급 신청일이 '22.7.1. 이후인 차			
			말소등록일 '24.5.12. 이전		말소등록일 '24.5.13.~	
			수출말소	그 외 말소등록	수출말소	그 외 말소등록
6개월 미만	3개월 미만	70%	70%	70%	70%	70%
	3개월 이상	65%		65%		65%
6개월 이상 12개월 미만	9개월 미만	60%	65%	60%	65%	60%
	9개월 이상	55%		55%		55%
12개월 이상 18개월 미만	15개월 미만	50%	60%	50%	60%	50%
	15개월 이상	40%		40%		40%
18개월 이상 24개월 미만	21개월 미만	30%	55%	30%	55%	30%
	21개월 이상	20%		20%		20%
24개월 이상	30개월 미만	-	50%	-	50%	-
30개월 이상	36개월 미만		40%		40%	
36개월 이상	48개월 미만		30%		30%	
48개월 이상	60개월 미만		20%		20%	
60개월 이상	96개월 미만*		-		20%*	

주: 사용기간이 60개월 이상 96개월 미만인 경우 보조금을 20% 회수하는 규정은 전기차에만 적용함
자료: 「대기환경보전법 시행규칙」 별표21의2를 저자 정리

accessed: 2024. 9. 6.; 한겨레, "수출 몸값 높아진 중고전기차…친환경차 보급 걸림돌 되나(2022. 5. 9.)", https://www.hani.co.kr/arti/economy/car/1042054.html, accessed: 2024. 8. 22.

96) 저공해차에는 하이브리드차도 포함하므로, 법문대로라면 정부 지원을 받고 구매한 하이브리드차 또는 플러그인하이브리드차를 의무 운행 기간을 채우지 않고 수출하는 경우 보조금을 반납할 의무가 발생함. 그러나 우리나라에서는 사실상 전기차 배터리에 대해서만 반납 의무를 이행하도록 요구하고 있음. 증가하는 행정부담과 세입·자원확보 필요성 등 효익을 형량하여 결정한 것으로 추정되나 일각에서는 하이브리드차 배터리 등도 반납을 받았어야 한다는 비판도 제기됨(남준희(2018), 굿바이! 카, 한티재.)

한편 우리나라의 2019~2023년 중고 전기차 수출 대상국을 살펴보면 약 75%가 요르단에 수출되고 있다. KOTRA에 따르면 '21년 기준 요르단의 신차·중고 전기차 수입 대상국 1위가 우리나라로, 요르단은 우리나라로부터 금액 기준 총 4,300만 달러(약 592억 원)의 신차·중고 전기차를 수입하고 있다.[97]

〈표 3-11〉 우리나라의 중고 전기차 등 수출 현황('19~'23년)

(단위: 대)

구분	BEV	PHEV	HEV	합계
요르단	8,852	166	7,497	16,515
UAE	628	14	199	841
우즈베키스탄	356	11	64	431
러시아	240	36	345	621
우크라이나	240	2	51	293
키르기스스탄	136	32	1,199	1,367
카자흐스탄	132	27	204	363
몽골	13	10	302	325
르완다	7	0	693	700
아제르바이잔	6	3	282	291
기타	1,078	68	1,873	3,019
합계	11,688	369	12,709	24,766

주: 파워트레인별 중고차 HS Code로는 전기차(BEV) 8703.80-2000; 플러그인 하이브리드차(PHEV) 8703.60-2000, 8703.70-2000; 하이브리드차(HEV) 8703.40-2000, 8703.50-2000를 적용
자료: 무역협회 데이터를 저자 가공

KOTRA는 요르단이 우리나라로부터 중고 전기차를 대량 수입하는 이유를 크게 2가지로 분석하였다.

첫째, 전기차에 대한 세제 혜택 등으로 인해 내연기관차와 전기자동차의 요르단 현지 판매가격이 큰 차이가 없기 때문이다. 요르단은 전기차 등 친환경차에는 16%의 판매세를 면제하며, 내연기관차(가솔린차 91%)에 비해 낮은 관세율(전기차 10~15%, 하이브리드차 55%)을 적용한다고 한다. 그 결과 '23년 초 기준 요르단 현지 파워트레인별 중고차 판매가격은 가솔린차가 16,900~25,400달러, 하이브리드차가 24,000~49,400달러, 전기차가 17,000~35,000달러 수준이라고 한다.

둘째, 차량 재수출을 위한 수요가 높기 때문이다. 요르단은 지리적 특성상 인근 유럽·아프리카·중동 등 지역과의 중계무역에 특화된 국가로, '21년 기준 수입한 중고차 44% 이상을 재수출할 정도로 중고차 재수출 산업이 활성화되어 있다고 한다. 따라서 요르단이 우리나라에서 수입한 중고 전기차 또한 상당수가 인근 지역에 재수출하고 있을 가능성이 존재한다.

참고로 선진국에서 사용되던 중고 전기차가 개발도상국에 수출되는 현상은 우리나라 외의 주요국에서도 나타나는 것으로 보인다. 본 절에서는 Evdokia Moïsé·Stela Rubínová(2023) 등을 참조하여 '19~'23년 EU, 일본, 미국의 중고 전기차 등 수출 대상국을 분석하였다.[98]

97) KOTRA, "규모 커지는 요르단 중고 전기차 시장(2023. 2. 13.)", https://dream.kotra.or.kr/kotranews/cms/news/actionKotraBoardDetail.do?pageNo=1&pagePerCnt=10&SITE_NO=3&MENU_ID=170&CONTENTS_NO=1&bbsGbn=01&bbsSn=243%2C403%2C257%2C254&pNttSn=200310&recordCountPerPage=10&viewType=&pStartDt=&pEndDt=&sSearchVal=&pRegnCd=&pNatCd=&pKbcCd=&pIndustCd=&pHsCode=&pHsCodeNm=&pHsCdType=&sSearchVal=, accessed: 2024. 8. 11.

98) Evdokia Moïsé·Stela Rubínová(2023), Trade policies to promote the circular economy: A case study of lithium-ion batteries, OECD.

〈표 3-12〉 주요국의 신차·중고 전기차 등 HS Code 분류

구분		신차 HS Code	중고차 HS Code		
			EU	일본	미국*
BEV	추진용 전동기만을 갖춘 차량	8703.80	8703.80-90	8703.80-100	-
PHEV	불꽃 점화식 피스톤 내연기관과 추진용 모터로서의 전동기를 둘 다 갖췄으며 외부 전원에 플러그를 꽂아 충전할 수 있는 차량	8703.60	8703.60-90	8703.60-100	8703.60-0045, 8703.60-0090
	압축 점화식 피스톤 내연기관(디젤 또는 세미 디젤)과 추진용 모터로서의 전동기를 둘 다 갖췄으며 외부 전원에 플러그를 꽂아 충전할 수 있는 차량	8703.70	-	8703.70-100	8703.70-0050, 8703.70-0090
HEV	불꽃 점화식 피스톤 내연기관과 추진용 모터로서의 전동기를 둘 다 갖춘 차량(외부 전원에 플러그를 꽂아 충전할 수 있는 것은 제외)	8703.40	8703.40-90	8303.40-100	8703.40-0045, 8703.40-0090
	압축 점화식 피스톤 내연기관(디젤 또는 세미 디젤)과 추진용 모터로서의 전동기를 둘 다 갖춘 차량(외부 전원에 플러그를 꽂아 충전할 수 있는 것은 제외)	8703.50	-	8703.50-100	8703.50-0050, 8703.50-0090

주: 미국은 중고 전기차(BEV) 코드를 별도로 구분하고 있지 않음
자료: 저자 작성

EU의 중고 전기차(BEV) 수출 현황을 보면 노르웨이·네덜란드·독일 등 EU 회원국 간 수출 비중이 높다. 한편 멕시코·우크라이나 등에 중고 하이브리드차(HEV) 수출량은 적으나, 중고 전기차(BEV) 수출량은 높다는 특징을 알 수 있다. 일본의 중고 전기차(BEV) 수출 현황을 보면 러시아에의 수출 비중이 높았으며 해외 호주 속령·파키스탄·조지아 등도 상당한 비중을 차지하고 있다. 한편 미국은 중고 전기차 수출 통계를 구분하여 제공하지 않아 직접적 비교는 어렵다. 대신 중고 플러그인하이브리드차(PHEV) 수출 현황을 살펴보면 도미니카 공화국·조지아·나이지리아 등 개발도상국에 수출되는 비중이 높다.

〈표 3-13〉 주요국의 중고 전기차 등 수출 대상국('19~'23년)

(단위: 대수)

EU			일본			미국		
수출 대상국	BEV	HEV	수출 대상국	BEV	HEV	수출 대상국	PHEV	HEV
노르웨이	30,596	549	러시아	27,731	203,628	UAE	58,075	785
멕시코	29,038	1	뉴질랜드	13,569	122,535	도미니카 공화국	51,979	64
네덜란드	24,793	21,315	호주 속령	5,227	33,692	조지아	44,503	1,305
덴마크	21,825	3,295	조지아	1,705	17,679	나이지리아	33,914	6,873
우크라이나	18,092	1,440	파키스탄	1,584	33,103	리투아니아	20,086	807
독일	14,481	15,881	아일랜드	704	23,317	베냉	19,614	211
벨기에	9,804	7,936	UAE	422	66,991	우크라이나	18,057	369
프랑스	7,051	15,093	영국	189	41,632	캄보디아	13,091	2,065
이탈리아	4,586	6,227	몽골	172	230,953	요르단	12,655	3,356
스위스	4,281	8,724	방글라데시	14	52,734	리비아	11,541	101
기타	70,665	49,259	기타	10,838	196,523	기타	85,780	4,875
합계	235,212	129,720	합계	62,155	1,022,787	합계	369,295	20,811

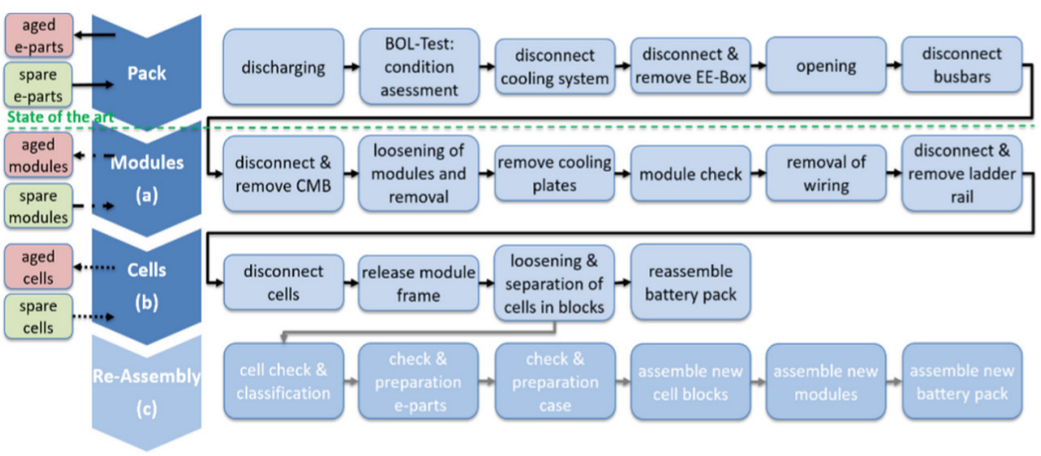
자료: EU는 Eurostat, 일본은 e-Stat, 미국은 US Census의 자료를 저자 가공

아직 중고 전기차 거래량은 전체 중고차 거래량 또는 전기차 신차 판매량에 비해 많지는 않은 상황이다. 그러나 앞으로 사용후 배터리 산업발전을 위해서는 규모의 경제 달성이 중요하다고 평가되는 만큼, 주요국은 국내 중고 전기차 거래를 활성화하는 등의 조치를 취할 수도 있다. 주요국은 자국의 전기차·배터리 산업 경쟁력을 확보하기 위해 사용후 배터리 물량확보를 통해 규모의 경제를 달성해야 한다고 보고 정책 개편을 추진하고 있기 때문이다. 현재 사용후 배터리 관련 기업은 주로 스크랩에서 원료를 조달하고 있으나 스크랩만으로는 산업 수요를 충족하기 어렵다. 이에 EU는 사용후 배터리 및 블랙매스의 역외 반출을 제한하는 방안을 추진하고 있으며 반대로 중국은 사용후 배터리 수입을 허용하는 방안을 추진하고 있다.[99]

한편 최근 전기차·배터리 제조사 등은 사용후 배터리를 회수하기 위한 대안 중 하나로, 배터리 교환식 전기차 및 배터리 구독 서비스 등에 주목하고 있다. 전기차 소유권은 차주가 갖되 배터리 소유권은 배터리 기업 또는 충전 서비스 기업이 갖게 하여 전기차 배터리를 전문적으로 관리하고 용도를 다한 배터리는 회수·재활용하는 것이다. 다만 소비자 수용성 등의 측면에서 배터리 교환식 전기차 및 배터리 구독 서비스가 보편화되기에는 한계가 있을 것으로 예상되며 주로 택시·트럭·버스 등 상용차에서 활용될 것으로 보인다.[100]

말소등록된 전기차에서 발생하는 사용후 배터리는 성능에 따라 재제조·재사용·재활용 용도로 분류되어 순환이용된다. SoH가 높은 사용후 배터리는 전기차용으로 재제조되어 사용된다. 사용후 배터리의 재제조와 재사용 공정은 방전-검사-진단 등의 과정을 통해 사용후 배터리의 현 상태를 확인하는 과정을 거친다는 점에서 유사하다. 다만 재제조의 경우 사용후 배터리를 차량용으로 다시 사용하는 만큼 더욱 정밀한 용량 평가 등이 요구된다. 이후 배터리 팩 내 불량 셀 및 모듈이 발견될 시 교체, 재조립 과정을 거쳐 출하한다.

[그림 3-8] 사용후 배터리 재제조 공정도



자료: Graner, M., Heieck, F., et al.(2023), "Requirements for a process to remanufacture ev battery packs down to cell level and necessary design modifications", Advances in Automotive Production Technology-Towards Software-Defined Manufacturing and Resilient Supply Chains

사용후 배터리 재제조는 산업 발전이 비교적 더딘 편이다. 사용후 배터리 관련 상세 안전기준이 다소 미비하여 차량에 신품이 아닌 재제조 배터리를 탑재하기 어려웠기 때문이다. 일부 완성차 제조사는 자회사에서 관련 사업을 추진해왔으나[101] 사용후 배터리 재제조 사업을 전문으로 하는 독립적인 기업은 많지 않다.

99) 상세 내용은 제3장 2.1.3. EU – 사용후 배터리와 2.2.3. 중국 – 사용후 배터리를 참조

100) 이서현(2023b), 배터리 교환식 전기차의 가능성과 필요성, 산업분석 Vol. 121, 한국자동차연구원.

101) 디일렉, "[2024 인터배터리 X 디일렉] 전기차의 친환경적 미래, 포엔의 재제조/재사용 배터리(2024. 3. 17.)", https://yelec.kr/2024-%EC%9D%B8%ED%84%B0%EB%B0%B0%ED%84%B0%EB%A6%AC-x-%EB%94%94%EC%9D%BC%E

한편 정부는 '24년 7월 10일 발표한 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안'에서 배터리 탈거전 성능평가, 재제조 배터리 탑재 제품에 대한 의무 검사, 재제조 관련 정보 관리 시스템, 사업자 등록제 등을 도입하여 사용후 배터리 재제조·재사용을 촉진할 계획이다.

재사용은 사용후 배터리를 수리·재조립하여 ESS(에너지저장시스템) 등 다른 용도로 사용하는 것이다. 통상 성능이 초기 대비 다소 저하된 배터리가 재사용으로 분류되는데 해당 배터리의 경우 고출력이 요구되는 자동차에 재사용하는 건 불가하나 고성능이 요구되지 않는 용도로의 재사용은 가능한데, 예를 들어 ESS 등으로 재사용할 시 배터리를 10년가량 더 사용할 수 있다고 한다.[102] 배터리 재사용에서는 배터리 입고 시 세척 및 외관 검사를 거쳐 팩과 모듈을 분석하여 등급을 분류한 후, 재조립하여 재사용용 배터리로 출고한다.

전기차 사용후 배터리는 ESS뿐만 아니라 다양한 용도로 활용될 수 있는데, 특히 전기 이륜차, 골프카트, 전동 굴삭기 등의 운송수단에도 활용될 수 있다. 다만 사용후 배터리 재사용 역시 현재 완성차 제조사등을 포함한 일부 기업에서 시범사업을 추진하고 있는 수준으로, 배터리 재제조와 마찬가지로 이를 전문으로 하는 기업은 아직 많지 않다. 우리나라에서는 그간 규제 샌드박스를 통해 배터리 재사용 사업을 일부 허용해왔는데, 이후 사용후 배터리 재사용 사업자에 대한 등록제 신설, 거래 가이드라인 마련, 사용후 배터리 운송 및 보관 관련 상세 안전기준 도입 등을 통해 산업의 활성화를 지원할 계획이다.

[그림 3-9] 사용후 배터리 재사용 공정도

자료: PwC

사용후 배터리 재활용은 재제조·재사용과 비교했을 때 산업이 비교적 빠르게 성장해왔는데, 이는 전기차 및 배터리 산업 성장에 따른 희소 금속 수요 증가에 기반한 측면이 크다.

일반적으로 배터리 재활용에서는 배터리를 방전 및 파쇄하는 등의 과정을 거쳐 중간 가공품인 블랙매스를 만든 후(전처리 공정), 블랙매스에서 금속을 추출하는 과정(후처리 공정)을 거친다. 재활용 기업들은 일반적으로 후처리 단계에서 습식 또는 건식 공정을 거쳐 금속을 추출한다.

이후 회수된 물질들은 배터리 제조업체 등으로 판매된다. 조지혜 등(2017)에 따르면 코발트·니켈 등의 유가금속은 전구체 제조업체와 양극활물질 제조업체, 인산리튬은 탄산리튬 제조업체에 판매된다. 이후 탄산리튬 제조사는 인산리튬을 활용해 생산한 탄산리튬을 전구체 및 배터리 제조업체로 납품한다.

B%A0%89-%EC%A0%84%EA%B8%B0%EC%B0%A8%EC% 9D%98-%EC%B9 %9C%ED%99%98%EA%B2%BD%EC%A0%81-%EB%AF%B8%EB%9E%98-%ED%8 F%AC%EC%97%94/, accessed: 2024. 8. 1.

102) 경향신문, "10년 된 배터리, 달리기엔 힘 달려도…에너지저장장치로 10년 더 갑니다(2024. 1. 16.)", https://www.khan.co.kr/economy/economy-general/article/202401160600015, accessed: 2024. 7. 2.

사용후 배터리 재활용 산업은 재제조·재사용에 비해 활성화되었으나 아직 많은 기업이 사용후 배터리 물량 부족, 리튬 가격 하락[103] 등으로 인해 경제성 확보에 어려움을 겪고 있다. 일본 도레이경영연구소는 사용후 배터리 재활용 산업을 활성화하려면 저비용, 저온처리 기술을 개발할 필요가 있다고 언급한 바 있다.[104]

[그림 3-10] 습식 공정을 통한 사용후 배터리 재활용 공정도

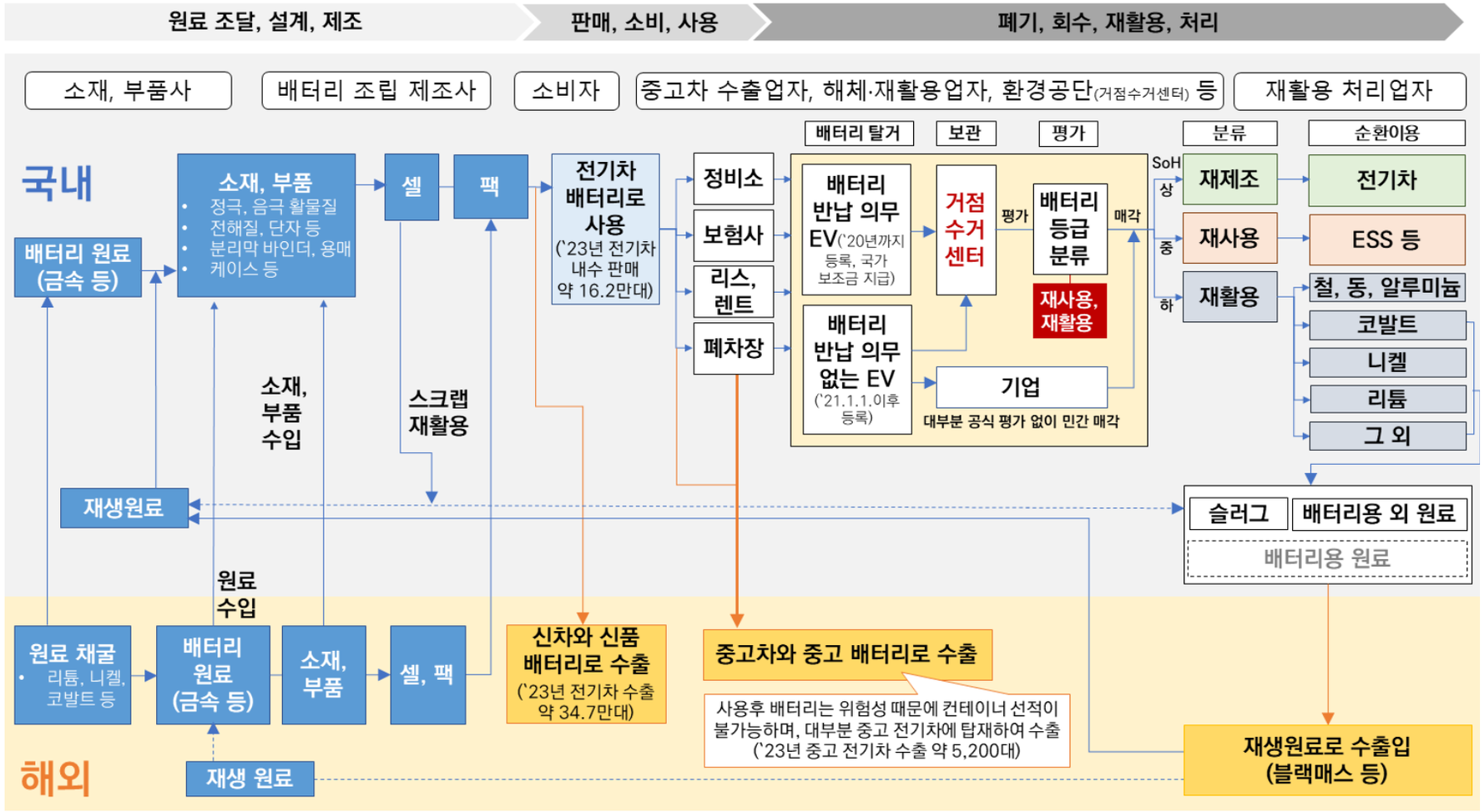
자료: 성일하이텍(2022) 자료를 바탕으로 일부 재구성

종합하면 사용후 배터리 재제조·재사용·재활용은 배터리 자원순환 및 전기차·배터리 산업경쟁력 확보에 매우 중요하다. 그러나 아직 사용후 배터리 원료 확보난, 관리 기반 미비 등으로 인해 전기차 및 배터리 생산량 대비 성장세가 부진한 상황이다. 따라서 배터리 자원순환 활성화를 위해 관련 산업 지원이 필요하다고 평가된다.

103) 파이낸셜 뉴스, “리튬값 2년새 90% 추락...공급과잉·수요감소에 양극재 업계 '한숨'(2024. 9. 2)”, https://www.fnnews.com/news/202409021349370760, accessed: 2024. 9. 6.

104) 株式会社東レ経営研究所(2023), 特集 脱炭素化のカギを握る蓄電池産業の役割と今後の注目点② サーキュラーエコノミーの先行事例としても注目される蓄電池のリユース・リサイクル

[그림 3-11] 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름도



주: 현재 우리나라에서 상당수의 전기차와 그 사용후 배터리도 함께 수출되고 있음
자료: 이서현(2024c), 사용후 배터리 재사용·재활용 정책동향, SNE Battery Day 발표자료 및 관련 자료 등을 참조하여 저자 작성

2. 주요국의 자동차 자원순환 현황

2.1. EU

2.1.1. 사용후 자동차

EU는 사용후 자동차(폐자동차; End of life Vehicle; ELV) 자원순환, 재활용을 중요한 과제로 인식하고 있다. 이에 따라 자동차에 대해 생산자책임제(EPR)를 도입하고 있다. EU의 EPR 제도는 최종 소유자가 사용후 자동차를 폐차할 때는 비용을 부담하지 않도록 한다.[105] 자동차 생산자는 사용후 자동차를 회수할 책임을 지고, 직접 또는 회수·재활용하거나 전문업자(PRO)에 재활용 분담금을 납부한다.

현재 EU 역내 사용후 자동차 재활용 제도는 '00년 초부터 시행된 「EU ELV 지침(폐차처리지침; Directive 2000/53/EC)」에 주로 기반하고 있다.[106] 다만 기존 제도로는 사용후 자동차 자원순환 효과가 부족하고, 사용후 자동차 흐름 추적 등이 어려운 등의 문제를 해결하기 어려우므로 개편할 필요가 있다는 주장이 지속해서 제기되어 왔다. 자동차 EPR 제도의 기본 방침은 EU 역내에서 동일하게 적용되나 세부 운영 방식 등은 회원국마다 차이가 있어 재활용 목표 달성 등에서도 차이가 있다. 또한 자동차 등록·말소 관리 체제 및 통계자료가 연계되지 않아 정확한 실태를 파악하기 어렵다.

이에 EU는 '23년 7월 13일 EU ELV 규정 개정안 초안을 발표, 사용후 자동차 자원순환 문제점과 이를 해결하기 위한 정책을 제시하였다. EU ELV 규정 개정안은 기존 EU ELV 지침과 「자동차 3R(재이용 가능성·재활용 가능성·회수 가능성)에 관한 자동차 형식인증 지침(Directive 2005/64/EC)」을 함께 포괄하는 방대한 법안이다.[107] 동 개정안이 통과된다면 약 25년 만에 자동차 자원순환 제도 일체가 대폭 강화될 예정이다.[108]

EU ELV 규정 개정안은 생산·제조 단계에서 재활용을 필수화하는 내용을 골자로 한다. 자동차·부품 제조사에 있어 재생 플라스틱 사용 등 자원순환은 과거 기업 이미지를 향상하기 위한 부가 요소였으나, 앞으로 기업 경쟁력을 직접 결정하는 필수 요소로 작용할 전망이다. 자동차·부품 제조사는 EU ELV 규정 개정안에 따라 강화되었거나 신설된 자원순환 의무를 지게 되며, 의무를 달성하지 못하면 EU 역내 시장에 신차 판매 등이 제약될 수 있다. 따라서 자동차 제조사 등은 신차 설계 단계에서부터 재활용을 고려하고 해체재활용업자와 협력하여 폐차 시 자원 재활용 효율성을 높여야 한다고 평가된다.

또한 사용후 자동차의 재활용을 의무화할 예정이다. 사용후 자동차에서 발생하는 플라스틱은 30% 이상 재활용되어야 하며, 폐차 시 차체에서 전기차 배터리, 10kg을 초과하는 단일 소재 플라스틱 부품 등을 탈거해야 한다. 이와 같은 규정을 준수할 책임은 주로 해체재활용업자가 지게 될 것으로 보인다.

105) 최종 소유자는 사용후 자동차의 가치에 따라 사용후 자동차 회수업자로부터 일정 가액을 받을 수도 있음(이희선 외(2015), 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름 분석, 한국환경정책·평가연구원)

106) 주요국이 사용후 자동차 재활용 목표, 유해물질 등 자국 규제를 도입할 때 EU ELV 지침을 참조할 정도로, EU ELV 지침 등 환경규제는 파급력이 높음

107) 자동차 3R(재이용 가능성·재활용 가능성·회수 가능성)에 관한 자동차 형식인증 지침(Directive 2005/64/EC) 정식 명칭은 Directive on the type-approval of motor vehicles regarding their reusability, recyclability and recoverability

108) EU ELV 규정 개정안의 명칭은 Proposal for a Regulation on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles임

〈표 3-14〉 EU ELV 규정 개정안에서 제시한 폐자동차 자원순환 문제 및 문제 해결을 위한 정책 수단

구분		폐자동차 자원순환 문제	문제 해결을 위한 정책 수단
PO1	Design Circular	설계, 제조 단계에서 자원순환성 결여: 설계 단계부터 부품, 재료의 순환(회수·재사용 등)을 고려해야 하나 고려되고 있지 않음	• 설계·제조 순환성 강화 • 해체가 쉬운 자동차 설계 도입, 해체재활용 업자에 관련 정보 제공함
PO 2	Use Recycled Content	자동차 폐차 처리 품질이 낮음: 재료 분리가 불충분하며 재사용·재활용한 철의 품질이 낮고 플라스틱 재활용률이 낮음	• 신차에의 재활용 부품 사용률을 증가시킴 • 개정안 시행 36개월 이후 형식승인된 차량에 사용된 다음 소재의 재생원료 함량을 신고해야 함 * ①철강, ②알루미늄 및 알루미늄 합금, ③마그네슘 및 마그네슘 합금, ④전기 구동 모터(e-drive motors) 영구자석에 포함된 네오디뮴·디스프로슘·프라세우디뮴·터븀·사마륨·붕소 • 개정안 시행 72개월 이후 형식승인된 차량 신차 생산에 사용한 플라스틱 중 ①25%는 재생원료로 조달. ②또한 재생원료 중 25%, 즉 6.25%는 사용후 자동차 유래(Car-to-Car) 재생 플라스틱으로 조달
PO 3	Treat Better	해외 수입 원료 의존도가 높음: 철광석, 보크사이트, 동, 석유(플라스틱 포함), 고무, 유리, 희토류(전동화로 인해 모터 영구자석에서 수요가 증가 중)	• 사용후 자동차에서 발생하는 플라스틱 30%를 재활용함
PO 4	Collect More	차량 중 1/3이 행방불명(Missing ELV): 매년 약 350만 대의 EU 역내 등록 차량이 해외 유출 또는 위법적(방치·불법 폐차)으로 처리되어 행방이 묘연함	• 해체재활용업자 등에 사용후 자동차 확인·보고의무를 부과 • 해체증명서 작성, 고도화 • 세무 당국과 정보를 공유하여 제3국에의 위법 수출 방지 • 구속력 있는 사용후 자동차 정의 등을 도입하여 사용후 자동차 및 순환자원 회수율 제고
PO 5	EPR (Extended Producer Responsibility)	EU는 자동차에 대해 EPR 제도를 운용하고 있으나 거버넌스가 약하고 협력이 부족함: 자동차 제조사(생산자)와 재활용업자 간 협력이 불충분해서 재활용 관련 비용 부담 책임을 제대로 지고 있지 않음	• 생산자책임을 강화하고 폐기물처리업자에 자금을 제공하여 재생원료·소재의 품질 향상 • 생산자-재활용업자 간 협력관계 강화
PO 6	Cover more vehicles	중량 기준으로 1/3의 차량이 EU ELV 규정 비대상: 트럭, 버스, 오토바이는 현행 ELV 규제 대상이 아님	• 트럭, 버스, 트레일러에 대한 최소한의 처리 요건을 도입하고 향후 단계적으로 ELV 규정 대상 차종 범위를 확대

주: EU는 EU 회원국의 기준을 충족하며 본 용도로 계속 사용할 수 있는 중고차, 그리고 본 용도로 사용이 어려워 처리가 필요한 사용후 자동차(폐자동차)를 분명히 구분하여 정의하려 함. 이는 사용후 자동차(폐자동차) 수출을 방지하는 규제 등을 도입하기 위해서임. 다만 EU 회원국의 환경성·경제성 기준상으로도 주행에 문제가 없는 중고차는 수출 방지 대상이 아님

자료: EU ELV 규정 개정안을 저자 정리

〈표 3-15〉 EU ELV 규정 개정안에 따라 사용후 자동차에서 의무로 탈거해야 하는 부품

의무로 탈거해야 하는 총 19종의 부품 구분			
전기차 배터리	변속기	유체용기	열교환기
SLI 배터리*	엔진	대시보드	촉매 변환기
타이어	휠	와이어링하네스	범퍼
중량이 10kg을 초과하는 단일 재질 금속 부분품	중량이 10kg을 초과하는 단일 재질 플라스틱 부분품	헤드라이트 (그 액추에이터를 포함함)	전기 및 전자부품 • 전기차 인버터 • 인쇄회로 기판(표면적 〉 10㎠) • 태양광 패널(표면적 〉 0.2㎡) • 자동 변속기용 제어 모듈 및 밸브 시스템
윈드실드, 유리로 만들어진 측·후면 창문	전기구동모터(E-drive motors), 그 케이스 및 관련 제어 유닛, 배선, 기타 부품, 구성 요소 및 자재	직접 접근가능한 인포테인먼트 시스템부품 (사운드·내비게이션·멀티미디어컨트롤러·디스플레이 (표면적 〉 100㎠) 포함)	

주: SLI 배터리는 차량용 시동 배터리를 의미함

자료: EU ELV 규정 개정안 제30조, Annex Part C

한편 기존 차량 순환성 관련 2가지 법제는 지침(Directive)이었으나 이번 EU ELV 규정 개정안은 규정(Regulation)으로 강화되었다는 점에서 큰 차이가 있다. EU 법 중 지침은 최저한의 요구사항을 규정하는 효력을 가지며, 따라서 그간 EU ELV 지침은 회원국이 각자 국내법을 제정하는 방식으로 도입되었다. 그 결과 EU 역내 사용후 자동차 처리 기준이나 관리체계가 회원국마다 달라 통합 관리가 어려웠다. 그러나 이번 개정안은 규정으로 모든 EU 회원국이 국내법 제정 절차 없이 동일한 내용을 적용하게 된다. 따라서 EU ELV 규정 개정안에 따라 EU의 사용후 자동차 처리 기준 및 관리체계가 통일될 전망이다.

EU ELV 규정 개정안이 얼마나 상세한 내용을 포괄하는지는 미정이나 기존보다 관리체계가 통일된다면 EU 역내 사용후 자동차 및 폐자원 관련 정보를 추적·관리하기 쉬워질 전망이다. EU에서는 자동차를 EPR 제도 대상에 포함하고 있음에도 불구하고 사용후 자동차의 흐름을 추적하기 어렵다는 점이 큰 문제로 지적되고 있기 때문이다.

EU는 흐름이 추적되지 않는 사용후 자동차(Missing ELV)가 많아 자원순환 등이 제대로 이루어지고 있지 않다고 보고, 해결해야 할 중요 과제로 인식하고 있다. EU 역내에서 매년 자동차 약 3분의 1이 행방이 묘연한 상태이며, 이에 따라 해당 차량에 탑재된 사용후 배터리 등도 추적·관리가 어려운 상황이다.[109] 대체로 적법하지 않은 절차를 거쳐 해외 수출 또는 폐차 처리되었거나 적절한 처리를 거치지 않고 방치된 것으로 추정된다.

EU에서 Missing ELV가 대량 발생하는 원인은 EU 회원국 간 자동차 관리체계가 연계되지 않아 추적이 어려운 점, 그리고 현행 EU 자동차 EPR 제도의 구조 때문이라고 볼 수 있다. 阿部新(2011)는 사용후 자동차를 생산자가 최종소비자로부터 무상으로 인수하는 EU EPR 제도에서는 Missing ELV 문제가 발생할 수밖에 없다는 점을 수학적으로 입증하였다.[110] EU EPR 제도에서 최종소비자는 사용후 자동차의 가치가 영(0) 또는 마이너스에 가깝다면 운송·처리 비용 등을 부담하지 않기 위해 생산자(생산자와 협약을 맺은 적격 해체재활용업자 포함)에 인도하나, 가치가 높다면 추가 이익을 얻기 위해 부적격 해체재활용업자 등에 인도한다는 것이다.

EU ELV 규정 개정안을 보면 EU는 자동차 EPR 제도의 기본 구조는 동일하게 유지할 전망이다.[111] 사용후 배터리 가치 분을 고려할 때, 사용후 전기차 또는 폐전기차의 가치가 영에 근접하기는 어려울 것으로 예상되며 향후로도 Missing ELV 문제가 계속 발생할 가능성이 존재한다.

Missing ELV 문제를 해결하기 위해 EU는 역내·외 사용후 자동차 흐름을 추적하고 관리하는 체제를 구축하려 하고 있다. 현재 EU 회원국마다 차량 등록·관리 시스템이 달라 추적이 어려운데 데이터를 연계하여 추적관리를 가능하게 할 것이라 한다. 또한 다양한 차량 등록·관리 시스템을 연계하고 세무 당국의 단일 관리체계를 거쳐 사용후 자동차의 역외 불법 수출을 방지할 것이라고 한다. 2024년 6월 개최된 국제 자동차 재활용 Congress에서 EU 위원회 Jaco Huisman 정책위원은 EU의 차량 등록·관리 통합 시스템을 약 4년 내로 완성할 것이라고 발표하였다.[112]

109) Missing ELV = 당기 말소등록 대수 추정치(= 전기 말 자동차 보유 대수 + 당기 신차 등록대수 – 당기 말 자동차 보유 대수) – (공식 통계상 말소등록 대수 + 공식 통계상 중고차 수출 대수)

110) 阿部新(2011), “拡大生産者責任と廃棄物処理行動：自動車リサイクルを事例とした制度比較”, 『研究論叢. 人文科学·社会科学』, Vol.61, pp. 1~14.

111) 阿部新(2024a), 欧州使用済自動車規則案の経済学的な視点：行方不明車問題を中心に, 速報自動車リサイクル, Vol. 155, SEIBIKAI, 2024.5.

112) Recycling International, “Automated system to tackle illegal ELV exports within four years(2024. 7. 4.)”, https://recyclinginternational.com/business/business-news/automated-system-to-tackle-illegal-elv-exports-within-four-years/57723/, accessed: 2024. 7. 30.

또한 EU는 폐자동차의 수출을 원천 금지하는 규제를 도입하려 하고 있다. EU ELV 규정 개정안 서문 제66조는 사용후 자동차(폐자동차)를 유해폐기물로 보고, OECD 비회원국에는 수출을 금지하는 내용을 담고 있다. EU가 역외 유출을 방지하려는 사용후 자동차는 본 용도로 사용이 가능한 중고차가 아닌, 본 용도로 사용이 어려운 폐자동차라는 점에 주의가 필요하다.

EU는 중고차 수출은 허용하되 폐자동차의 수출을 금지하여 개발도상국으로의 환경오염 전가를 방지하려는 것으로 보인다. 사용후 자동차는 수리·정비를 거치지 않으면 수출국 법규상 도로를 주행할 수 없는 차와 수리·정비가 불가능한 폐자동차로 구분할 수 있다. 수출국의 규제는 충족하지 못하나 수입국의 규제 수준은 충족하는 차량, 수입국에서 수출국에서보다 더 저렴하게 수리·정비할 수 있는 차량은 수입국 입장에서는 중고차로 볼 수 있으나 수출국에서는 폐자동차이다. EU의 폐자동차 수출금지 조치는 선진국 내 퇴출 대상인 폐자동차가 개발도상국에 중고차로 수출되어 계속 운행되는 것을 방지하는 효과를 가진다. 그러나 역내 자원확보의 측면에서, 상태가 양호한 중고 전기차 등의 해외 유출을 방지하지 못한다는 한계가 존재할 것으로 보인다.

한편 EU는 Missing ELV 문제, CO_2 배출량 저감, 자원순환 등 자동차 산업 내 현안 과제를 해결하기 위해 국가 간·기업 간 데이터 연계가 중요하다고 인지하고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 EU는 자동차·부품 생산자와 재활용 업자 간 협업을 촉진하기 위한 데이터 연계 등을 추진하고 있다.

EU에서 자동차 산업 분야 데이터 연계를 추진하는 대표적 플랫폼으로는 Catena-X가 있다. 아직 추진 시작 단계로 Catena-X의 성과는 많지 않으나, 배터리 여권제도·자원순환 등 규제에 대응하는 주요 수단으로써 활용될 전망이다. EU의 각종 환경규제에 대응하기 위해서는 자동차·부품 제조사와 소재사, 해체재활용업자 등 다양한 업종 간 데이터 연계가 기업 경쟁력 측면에서 매우 중요해진다. EU는 각 기업에 Catena-X 등 데이터 연계 플랫폼을 통해 사용후 자동차 재활용 목표, 신차 생산 시 재생원료 사용 의무 등 데이터를 인증받고 제출하도록 요구하고 있다. 실제로 최근 EU 자동차 제조사 등이 우리나라 기업에 데이터 제출 시 Catena-X 플랫폼을 이용하라고 요구한 것으로 알려져 있다.[113]

〈표 3-16〉 EU 주도 데이터 연계 플랫폼 Catena-X와 자동차 자원순환

Use Case	내용	예상되는 변화
CO_2/ESG Monitoring	공급망 내 배출량 데이터 통일·공유	• CO_2 배출량 계산 체계, 방법론 표준화 • 글로벌 자동차 제조사·부품기업과 협력하여 생산부터 유통, 사용, 폐차까지 CO_2 배출량 추적, 저감 가능
Circular Economy	순환경제 관련 데이터 통합, 재사용·재활용 정보 제공	• 자동차·부품·재활용 업체 등 기업 간 데이터 연계 확산, 자원순환 개선 • 중고차·부품 평가, 소재 회수가 용이 • 자동차 제조사·부품기업이 소재 회수·폐차 단계까지 관여하여 생산자책임재활용 제도(EPR) 등 준수

자료: 이서현(2023a), Catena-X가 함의하는 車 산업 데이터 공유 방향, 산업분석 Vol.118, 한국자동차연구원

2.1.2. 플라스틱[114]

EU는 플라스틱 재활용을 중요한 과제로 보고 자동차·부품 산업 내 플라스틱 재활용을 촉진하는 법제를 도입하고 있다. 상술한 EU ELV 규정 개정안은 신차 제조 시 재생 플라스틱 사용을 의무화하는 규정을 포함하고 있어 향후 자동차·부품 산업 및 재활용 산업에 큰 영향을 미칠 전망이다. 참고로 ELV 규정 개정안 도출 과정에서 철·비철금속, 희토류 등의 재활용 사용률을 의무화하는 방안 등을 검토하였으나 현행 ELV 규정 개정안에서 재활용 업자에 대한 재활용 목표치를 제시한 물질은 플라스틱이 유일하다.

113) 이서현(2024b), 유럽·日 산업데이터 연계동향과 우리의 방향, 산업분석 Vol. 136, 한국자동차연구원.

114) 본 절 내용 전반은 阿部新(2024b), “欧州使用済自動車規則案の経済学的な視点：目標値の設定を中心に”, 第157回, 速報！自動車リサイクル, SEIBIKAIを 참조하여 작성함

EU ELV 규정안에서 제시한 재생 플라스틱 사용 등 의무는 '30년 이후 도입될 것으로 예상되나, 이를 준수하지 않는 자동차 제조사는 EU 역내 시장에 자동차 판매 등이 제한될 수 있으며 글로벌 규범으로 확산될 가능성이 높다고 평가되므로 글로벌 자동차 제조사에 미치는 영향이 매우 크다고 평가된다. 기존에는 자동차 제조사가 기업 이미지를 홍보하기 위해 재생 플라스틱을 사용하였다면, 앞으로는 생산·판매를 위해 반드시 재생 플라스틱을 확보·적용해야 할 전망이다.

플라스틱 재활용에 관련된 규제는 크게 2가지로 구분할 수 있다. 먼저 신차 생산 시 플라스틱 중량 기준 25% 이상은 재생 플라스틱을 사용하고, 6.25%는 사용후 자동차(ELV) 유래 재생 플라스틱을 사용해야 한다. 이는 자동차 제조사 등 생산자와 주로 관련된 규정이다. 한편 사용후 자동차에서 발생한 플라스틱을 30% 이상을 재활용하도록 의무화하고, 10kg을 초과하는 단일 소재 플라스틱 부품을 폐차 파쇄 전 단계에 탈거할 것을 의무화하고 있는데 이는 재활용 업자와 주로 관련된 규정이다.

EU의 자동차 산업 내 플라스틱 재활용 현황을 고려할 때, EU ELV 규정 개정안의 재생 플라스틱 적용 목표는 상당히 높은 수준이라고 할 수 있다. EU ELV 규정 개정안 설명자료에 따르면 EU 내 사용후 자동차 유래 플라스틱 중 약 19%(약 20만 톤)만이 재활용되고 있다고 한다.[115] 또한 2023년 조사 결과 신차 플라스틱 사용량 중 소비자 사용후(post consumer) 폐플라스틱을 재활용한 재생 플라스틱 사용량은 약 2.5%(차량 1대당 4kg), 재생 플라스틱 일체(재사용·재활용) 사용량은 약 8%라고 한다.[116][117]

〈표 3-17〉 EU ELV 규정 개정안 상 플라스틱 재활용 관련 규정 내용

근거	목표 구분		도입 시점	참고
제6조	신차 제조 시 재생 플라스틱 사용 의무	신차에 사용한 플라스틱 중 ①25%(중량 기준)는 재생 플라스틱으로 조달. ②또한 재생 플라스틱 중 25%, 즉 신차에 사용한 플라스틱 중 6.25%(중량 기준)는 폐자동차 유래(Car-to-Car) 재생 플라스틱으로 조달	규정 발효 후 72개월 이내	
제30조	부품 의무 탈거[1] (재사용·재활용 용도)	사용후 자동차에서 10kg 초과 단일 플라스틱 소재 부품, 범퍼, 대시보드, 전기차 배터리 등 19종 부품을 탈거해야 함	규정 발효 후 36개월 이내	-
제34조	폐자동차 재사용·회수 (reuse and recovery)[2]	배터리를 제외한 차량 1대당 평균 중량의 95% 이상	규정 발효 후 36개월 이내	재사용·회수 구분하지 않고 일괄 목표 설정
	폐자동차 재사용·재활용 (reuse and recycling)[2]	배터리를 제외한 차량 1대당 평균 중량의 85% 이상	규정 발효 후 36개월 이내	재사용·재활용 구분하지 않고 일괄 목표 설정
	플라스틱 재활용	폐기물 재활용·관리업자에게 넘어간 자동차에 포함된 플라스틱[3] 총중량 30% 이상을 재활용해야 함	규정 발효 후 50개월 이내	-

주: 1) 사용후 자동차에서 의무로 탈거해야 하는 부품 목록은 보고서 제3장 〈표 3-15〉 EU ELV 규정 개정안에 따라 사용후 자동차에서 의무로 탈거해야 하는 부품을 참조
2) 회색 음영은 플라스틱을 포함한 폐자동차 재사용·회수 및 폐자동차 재사용·재활용 목표
3) 열가소성수지, 폴리우레탄(thermoplastics and polyurethanes)에 적용
자료: EU ELV 규정 개정안을 저자 정리

115) European Commission, "Questions and Answers: End-of-Life vehicles(2023. 7. 13.)", https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/qanda_23_3820, accessed: 2024. 6. 20.

116) Maury, T., Tazi, N., et al.(2023), "Towards recycled plastic content targets in new passenger cars and light commercial vehicles Technical proposals and analysis of impacts in the context of the review of the ELV Directive", JRC Science for Policy Report, European Commission.

117) 구체 설명은 확인되지 않으나, 플라스틱 신품 생산 시 발생하는 불량품(소비자 사용전 플라스틱) 등을 회수하여 재사용·재활용한 플라스틱도 포함하는 것으로 보임

EU ELV 규정 개정안 전단 Explanatory Memorandum은 자동차에 요구되는 기계적, 열적, 미적 특성(mechanical, thermal and aesthetic properties)을 고려할 때, 재생 플라스틱은 소비자 수요에 부응하기 어렵다고 지적하고 있다. 그럼에도 불구하고 높은 목표치를 설치한 이유는 규제를 도입하지 않으면 현 상황이 개선되기 어려울 것으로 예상된다는 점, 자동차 산업은 신품(virgin) 플라스틱이 대량 투입되는 산업군이라는 점, 그리고 플라스틱 회수·재활용은 경제성을 확보하기 어려워 정책 개입 없이는 재활용되기 어렵다는 점 등 때문이다.

EU 위원회가 EU ELV 규정 개정안 영향을 평가한 European Commission(2023a)을 보면 EU 산업계는 재생 플라스틱 사용을 의무화하는 것에는 대체로 동의한다는 점을 알 수 있다.[118] 다만 25%라는 재생 플라스틱 사용률의 적정성을 두고 의견이 엇갈리고 있다. 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용량을 늘려야 하는지 찬반 설문조사를 실시한 결과, 대부분의 유럽 자동차·부품 제조기업 및 관련 협회는 찬성을 표했다고 한다. 구체적으로는 70%에 해당하는 146개사는 강한 찬성, 13%에 해당하는 27개사는 중립, 12%에 해당하는 24개사는 무응답이었으며 4%에 해당하는 8개 사만이 명확한 반대 의사를 표명했다.

한편 신차 생산 시 재생 플라스틱 등 재생원료 사용 목표를 설정해야 하는지 찬반 설문조사를 실시한 결과, 50개사(이중 18개사는 대기업)의 자동차 생산·수입·공급업체 중 7개사만이 반대했다고 한다. 재생 플라스틱 사용률 목표설정을 반대한 7개사는 Tesla, Ford, 유럽자동차부품산업협회(CLEPA), 부품기업 Valeo, 에스토니아 자동차 판매·서비스협회 등이었다. 그 외 대부분의 EU 기반 자동차·부품 제조기업 및 관련 협회는 긍정 또는 중립적 입장이었다고 한다.[119]

단 자동차 업계에서는 재생 플라스틱 원료 인정 범위 및 재활용 방식 등 목표를 조정할 필요가 있다고 주장하고 있어, 향후 최종안이 어떻게 결정될지 귀추가 주목된다. '23년 7월에 발표된 EU ELV 규정 개정안에서 제시한 재생 플라스틱 사용 목표는 물리적 재활용(material recycling) 방식으로 생산한 재생 플라스틱을 대상으로 한다. 이에 대해 자동차 업계에서는 재생원료가 부족하여 재생 플라스틱 사용 목표를 달성하기 어려우므로 재생원료 범위를 확대하고 플라스틱 재활용 방법을 완화할 필요가 있다고 주장한다. 재생 플라스틱 사용 실적을 측정할 때 스크랩 등 소비자가 사용하지 않은 플라스틱을 재활용한 재생 플라스틱도 실적으로 인정하고, 물리적 재활용 방식이 아닌 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱도 실적으로 인정해야 한다는 것이다.[120] 자동차 업계와 마찬가지로 플라스틱 업계에서도 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱을 사용해도 EU ELV 규정 개정안 상 재생 플라스틱 사용 실적으로 인정해야 한다고 주장하고 있다.

EU ELV 규정 개정안은 폐자동차에 포함된 플라스틱 중 30% 이상(중량 기준)을 재활용하는 것을 의무화하고 있다. European Commission(2023a)에서는 이를 달성하기 위해서는 자동차 해체 시 회수율을 높일 수 있도록 폐자원 분류를 고도화하고 파쇄잔재물(ASR)에서 플라스틱 등 자원을 재활용하는 기술을 고도화해야 한다고 언급한 바 있다.

118) European Commission(2023a), Impact Assessment Report Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, European Commission.

119) 자동차 제조사(VOLVO, Jaguar Land Rover), 각국의 자동차 산업 협회(독일자동차산업협회(the German Association of the Automotive Industry, VDA), 유럽 자동차산업협회(ACEA), 영국 자동차산업협회(The Society of Motor Manufacturers and Traders), 스페인 자동차산업협회(Spanish Association of Automobile and Lorry Manufacturers)), 부품 제조사 (Continental), 플라스틱 제조기업 Borealis, 소재 제조기업(Evonik Industries AG) 등

120) European Commission(2023b), Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council: on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC, European Commission.

다만 플라스틱 재활용과 관련된 전 산업계 관계자 중 64%가 추가 비용 부담 등을 각오하더라도 플라스틱 재활용 의무화를 추진해야 한다고 동의했다는 점에 주목이 필요하다. EU 위원회는 '35년까지 신차 생산 시 재생 플라스틱을 10% 의무 사용하도록 할 경우 신차 1대 생산비용이 약 26유로, 폐기물 처리비용(주로 해체 비용)은 약 40유로 증가할 것이나 CO_2 배출량 감축, 재활용·자동차 해체재활용 산업 활성화 효과가 더 크다고 전망하였다.[121] 또한 '35년까지 신차 생산 시 재생 플라스틱 의무사용률을 10%로 할 경우 총 1,230만 톤, 30%로 할 경우 8,720만 톤의 CO_2q 배출량을 감축할 수 있다고 보았다.

2.1.3. 사용후 배터리

EU는 「배터리 및 폐배터리에 관한 규정(EU Battery Regulation, 이하 EU 배터리 규정)」을 2023년 8월 17일 시행했다.[122] 이에 따라 '24년부터 단계적으로 각종 의무가 도입될 예정이다. 이번 EU 배터리 규정은 기존 「EU 배터리 지침(2006/66/EC)」을 개정·대체하는 법이다. 기존 EU 배터리 지침으로는 규제 효과가 충분하지 않으며, EU 회원국 간에 규제가 통일되어 있지 않아 보완할 필요가 있다고 판단했기 때문이다. 또한 기존 지침에서는 자동차용 배터리로 일괄 구분하였으나 이번 규정에서는 전기차용 배터리 카테고리를 신설하여, 자동차 산업 현황을 반영하려 하였다. EU는 EU 배터리 규정을 통해 EU 역내 배터리 자원순환 활성화와 배터리 산업경쟁력 강화를 목표한다.

EU 배터리 규정은 역내에서 판매되는 모든 배터리를 대상으로 한다. 단 군사·우주·원자력 용 배터리는 대상에서 제외한다.[123] 배터리는 용도·중량 등에 따라 휴대용(Portable), SLI(차량용 시동배터리; Starting, lightning and ignition), LMT(전기 자전거 등 경량모빌리티용, Light means of transport), 산업용(단 2kWh를 초과하는 것), 전기차(Electric vehicle)용의 5가지로 구분한다. 배터리가 여러 구분에 해당한다고 판단되면 그중 가장 엄격한 요건이 적용되는 배터리로 구분한다.

〈표 3-18〉 EU 배터리 규정상 배터리 구분

구분	정의
휴대용 (Portable)	• 밀폐되어 있고 무게가 5kg 이하이며 산업용으로 설계되지 않았고, 전기차·LMT·SLI배터리가 아닌 것
SLI	• 점화, 조명, 시동을 위한 전력을 공급하기 위해 특별히 설계된 배터리로 차량·기타 수송수단·기계류의 보조 또는 백업용으로도 사용할 수 있는 배터리
산업용 (Industrial)	• 산업용으로 설계되었거나 용도 변경(재사용·재활용)하여 산업용으로 사용하는 배터리로, 무게가 5kg을 초과하며 전기차·SLI·LMT 배터리로 분류되지 않는 것
LMT	• 무게가 25kg 이하인 밀폐형 배터리로, 전기모터 단독으로 또는 모터와 사람의 힘을 결합하여 바퀴 달린 차량의 견인용 전력을 제공하기 위해 특별히 설계된 배터리
전기차 (Electric Vehicle)	• L 타입 하이브리드차 또는 전기자동차에 견인용 전력을 제공하기 위해 특별히 설계된 무게가 25kg을 초과하는 배터리 • M·N·O 타입 하이브리드차 또는 전기자동차에 견인용 전력을 제공하기 위해 특별히 설계된 배터리

자료: EU 배터리 규정(EU Battery Regulation) 제3조 내용을 저자 정리

121) 다만 이는 비용상승 예상 평균치이며 EU 개별 회원국, 지역별로 차이가 클 것으로 예상된다는 점에 주의가 필요

122) EU 배터리 규정 원문명은 REGULATION (EU) 2023/1542 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 12 July 2023 concerning batteries and waste batteries, amending Directive 2008/98/EC and Regulation (EU) 2019/1020 and repealing Directive 2006/66/EC

123) EU 배터리 규정 제1조 제5항

EU 배터리 규정은 배터리 생산자에 생산, 제조, 유통, 폐기, 재활용 등 전주기 정보를 관리하고 의무를 이행할 책임을 부과한다. 배터리 생산자란 EU 역내 시장에 배터리를 최초로 출시·투입한 자이다. 배터리 공급 조건에 따라 배터리 제조·수입·유통기업, 전기차 제조사가 해당할 수 있다.

배터리 생산자는 EU 배터리 규정에 따라 탄소발자국 정보 제공 및 기준 충족, 배터리 생산 시 재생원료 사용 의무화, 공급망 실사, 사용후 배터리 회수, 확대생산자책임(EPR), 배터리 분리 및 교체, 배터리 여권 제도에서 요구하는 공급망 등 관련 정보 제공 등 각종 정보를 관련 당국에 제출해야 한다.[124]

〈표 3-19〉 사용후 배터리 회수·재활용 관련 EU 배터리 규정 내용

(단위: %)

구분		내용	적용대상
탄소발자국(Carbon Foot Print) • 탄소발자국은 원재료 조달– 제조–유통–사용·유지관리–폐기·재활용 전 과정에 걸쳐 발생한 환경부하(CO_2 환산) 합산량		• 제조공장 정보, 배터리 모델 등 정보를 포함하는 탄소 발자국 등급 정보를 제공하고 제품에 라벨 표시를 해야 함 • 수명주기별 최대 배출 기준값을 설정해야 함	전기차, LMT, 산업용
EU 역내에 배터리를 사용한 제품을 판매할 때 재생원료 사용을 의무화 • 재생원료 사용 입증 • 제조공장·제조연도·모델명 등 보고		• '31년~: 코발트 16%, 납 85%, 리튬 6%, 니켈 6% 이상 재생원료	전기차, SLI, 산업용
		• '36년~: 코발트 26%, 납 85%, 리튬 12%, 니켈 15% 이상 재생원료	전기차, SLI, LMT, 산업용
실사(Due Diligence) • EU 회원국 관리당국 요청시 제3자 검증보고서 등 실사 정책 정보 제출		• 배터리 원료·제품 생산시 환경·인권·노동 문제를 고려하고 여타 EU 법률에 합치해야 함	전기차, SLI, LMT, 산업용
사용후 배터리 회수		• 휴대용 배터리 회수 목표: '23년 45%, '27년 63%, '30년 73% • LMT 배터리 회수 목표: '28년 51%, '31년 61% • 산업용·SLI·전기차 배터리 회수목표: 구체 목표는 제시하지 않고 분리수거를 보장하고 회수를 해야 한다는 점만 언급	모든 배터리
확대생산자책임(Extended Producer Responsibility, EPR)		• 배터리 생산자는 EU 역내에 공급한 배터리를 직접 또는 생산자책임기구(PRO)에 위탁하여 회수해야 함 • 사용후 배터리 회수 비용을 최종사용자는 부담하지 않음	모든 배터리
재활용 효율성, 원료 회수 목표	재활용 효율성 목표 (평균 중량 기준)	• '25년~: 납축전지 75%, 리튬이온배터리 65%, 니켈카드뮴 배터리 80%, 기타 50% • '30년~: 납축전지 80%, 리튬이온배터리 70%	모든 배터리
	원료 회수 목표	• '27년~: 코발트 90%, 구리 90%, 납 90%, 리튬 50%, 니켈 90% • '31년~: 코발트 95%, 구리 95%, 납 95%, 리튬 80%, 니켈 95%	
배터리 분리 및 교체		• 휴대용 배터리를 포함한 제품의 판매자 등은 최종 사용자가 배터리를 쉽게 탈거·교체할 수 있게 해야 함 • LMT 배터리를 포함한 제품의 판매자 등은 배터리 및 배터리 팩에 포함된 개별 셀을 쉽게 탈거·교체할 수 있도록 해야 함	휴대용, LMT
배터리 여권		• 배터리의 성능·이력·화학 성분 등 생애주기 정보를 디지털로 저장 및 공유해야 함. QR 코드 및 라벨링 제공 필요 • 배터리 재활용·수리 등 관련 기업과 EU 관련 당국에는 배터리 부품 정보, 공급사 실사 정보, 배터리 해체재활용 관련 정보 등을 제공해야 함	전기차, LMT, 산업용

자료: EU 배터리 규정(EU Battery Regulation) 원문을 저자 정리

124) 사용후 자동차와 마찬가지로 사용후 배터리는 EU EPR 제도 대상으로 회수 비용귀속 등 기본적인 제도 얼개가 비슷함. 사용후 배터리 회수 관련 비용이 발생하면 최종 소비자는 일절 부담하지 않고 배터리 생산사가 부담해야 함. 상세한 내용은 제3장 2.1.1. EU – 사용후 자동차를 참조

또한 EU 배터리 규정은 재활용업자에 대해서도 재활용 효율성 및 원료 회수 목표를 부과하고 있다. 사용후 배터리는 폐기 또는 에너지 회수용으로 사용해서는 안 된다. 또한 휴대용, LMT 배터리에 대해서는 배터리를 쉽게 탈거·교체할 수 있도록 해야 한다고 규정하고 있다.

재활용업자가 사용후 배터리 재활용 효율성 및 원료 회수 목표를 달성하기 위해서는 배터리 및 전기차 등 생산자와의 협력이 중요할 것으로 생각된다. EU ELV 규정 개정안 또한 사용후 자동차에서 전기차 배터리 및 SLI 배터리를 반드시 탈거해야 한다고 규정하고 있다.[125]

또한 EU는 사용후 자동차 및 사용후 배터리의 유출을 방지하는 조치를 도입하려 하고 있다. EU ELV 규정 개정안에는 EU 회원국 규제상 주행이 불가한 사용후 자동차(폐자동차)의 수출을 금지하는 조항을 두고 있으며, EU ELV 규정이 타결되면 사용후 자동차에 탑재된 배터리의 해외 유출도 일정 부분 감소할 것으로 추정된다. 또한 EU는 사용후 배터리 및 그를 전처리한 블랙매스(Black Mass)를 유해폐기물(Hazardous Waste)로 지정하기 위해 법 개정을 추진 중이다.

만일 블랙매스가 유해폐기물로 규정되면 OECD 비회원국에의 수출이 어려워질 전망이다. 유해폐기물의 국제 운송에는 「유해폐기물의 국가간 이동 및 그 처리의 통제에 관한 바젤협약」이 적용되기 때문이다. 동 협약은 개발도상국에 대한 무분별한 폐기물 수출을 방지하고 EU 역내 재활용을 확대하기 위해 OECD 비회원국으로의 유해폐기물 수출을 금지한다.[126] 우리나라는 현재 사용후 배터리 재활용에 필요한 원료 상당량을 EU에서 블랙매스를 수입하여 조달하고 있다. EU가 블랙매스를 유해폐기물로 규정할 경우, 우리나라는 OECD 회원국이므로 중국 등 OECD 비회원국에 비해 EU산 블랙매스 수입에 유리한 상황이나 수입을 위해서는 운송 안전성 등을 입증해야 하므로 기업의 비용 부담이 증가할 우려가 있다.

2.2. 중국

2.2.1. 사용후 자동차

중국에서는 연간 수백만 대의 사용후 자동차(폐자동차)가 발생하는 것으로 추정된다. 중국 승용차연석회의 회장 Cui Dongxiu에 따르면 중국 개인 소비자의 자동차 교체 주기는 일반적으로 10년 정도라고 한다. 현재 해외로의 사용후 자동차 및 사용후 배터리 유출 문제는 크게 불거지고 있지 않은 것으로 보인다.[127] 중국의 중고차 수출량이 매우 적기 때문이다.

다만 중국 국내에서는 사용후 자동차 재활용이 비공식 루트를 통해 이루어지는 경우가 많아 실제로 국내에서 회수·확보하는 재생원료는 양적으로 충분하지 않을 것으로 판단된다.[128][129] 중국 상무부, 중국원료재활용협회가 발표한 자료에 따르면 2020년 중국의 폐차 대수는 1,800만 대지만 정식 해체재활용업자가 처리한 차량 대수, 즉 정식 재활용 공정을 거쳐 처리된 폐차 대수는 240만 대로 약 13.33%에 불과하다. 그리고 대부분의 사용후 자동차가 불법으로 처리되는 이와 같은 현상은 2024년에도 지속되고 있다고 한다.[130] 참고로 우리나라에서는 사용후 자동차 대부분이 정식 해체재활용업자에 의해 처리되고 있으며 국토교통부·환경부 등의 전산시스템에도 별도 등록이 되고 있어 이와 같은 문제는 거의 발생하고 있지 않다.

125) 상세 내용은 보고서 〈표 3-15〉 EU ELV 규정 개정안에 따라 사용후 자동차에서 의무로 탈거해야 하는 부품을 참조

126) OECD 비회원국에 유해폐기물을 수출하려면 수입국 정부 수입허가, 수출국 정부의 폐기물 처리 지속가능성 확인허가 등 필요

127) 投中网, "海外，抢购中国"二手车"(2024. 4. 17.)", https://www.chinaventure.com.cn/news/110-20240416-380689.html, accessed: 2024. 4. 22.

128) 劉玉萍, 外川健一(2023), 中国における廃車回収・解体産業の動向と課題 - 2017 年度から2021年度までの『中国汽車市場年鑑』を分析して -, 速報自動車リサイクル, Vol.104, SEIBIKAI, 2023.1.

129) 大书豪信息网, "车源减少 二手车涨价？！多地高标准限迁二手车(2024. 3. 26.)", https://www.dashuhao.com/guangzhou/1185.html, accessed: 2024. 4. 22.

130) 盖世汽车, "以旧换新，汽车"末端经济"终于迎来重视(2024. 6. 28.)", https://auto.gasgoo.com/news/202406/28I70397075C108.shtml, accessed: 2024. 7. 10.

〈표 3-20〉 중국의 중고차 수출 산업 동향 및 순환자원 관리 법제 정비 동향

1. 중국 중고차 산업·시장은 정확한 데이터 확보가 어려운 상황

현재 중국에서는 차량 등록 대수를 공표하고 있지 않다. 따라서 정확한 차량 등록 대수 및 폐차량을 확인하기 어려운 상황이다. 이전에는 중국 공안부(경찰청에 해당)가 유료로 자동차 등록 대수 데이터를 판매하였는데 가격이 높아 주된 구매자는 자동차 제조사들로 한정되었다. 이후 중국 공안부가 자동차 등록대수 데이터 판매를 중단하였으며, 중국 자동차 등록 대수는 중국 보험회사 연합이 발표하는 자동차 보험 등록 대수(上险量)를 통해서 간접 추정할 수 있다.

중국의 중고차 수출 대수 또한 명확히 공표되고 있지 않으나, 중국 해관(우리나라 관세청에 상당)의 자동차 수출량에서 중국자동차협회의 수출량을 제외한 값으로 추정할 수 있다. 중국 해관 자동차 수출량 데이터는 중고차 수출량도 포함하나 중국자동차협회 수출량은 중고차 수출량을 포함하지 않기 때문이다.

2. 중국의 중고차 거래량 및 수출량 추정 결과, 아직 규모는 제한적이나 높은 성장률을 보임

현재 중국의 중고차 거래량은 내수시장 규모에 비해 아직 크지 않은 편이다. 이는 2019년에야 중국의 중고차 수출이 자유화되었기 때문이다. 중국 관련 협회·현지 언론에 따르면 중국 내수시장의 신차 판매량은 연 3천만 대[131], 중고차 거래량은 연 1.800만 대 정도라고 한다.[132] 중국 해관의 자동차 수출량은 522.1만 대, 중국자동차협회 자동차 수출량은 491만 대이므로 중고차 수출량은 31만 대 정도로 추정할 수 있다.[133]

중국의 중고차 수출량은 2021년 1.5만 대, 2022년 6.9만 대. 2023년 31만 대 수준이다. 중국의 신차 자동차 수출량은 약 491만 대 수준이라는 점을 고려할 때, 중국의 중고차 절대 수출량은 작다고 할 수 있다. 그러나 중국의 중고차 수출량이 최근 3년 300% 이상의 성장률을 보인다. 이를 고려할 때 앞으로도 중고차 수출량이 큰 폭으로 증가할 가능성도 존재한다. 중국 업계에서는 3~5년 내 중국 중고차 수출량은 연 50만 대 이상으로 증가할 것이라는 전망이 제기된 바 있다.[134]

3. 중국 중고차 수출량 중 대부분은 신차급 신에너지차 병행 수출량이라는 점에 주의가 필요

중국의 중고차 수출량 중 대부분은 신차급 신에너지차 병행 수출량으로 추정된다는 점에 주의가 필요하다. TianJin(톈진) 중고차 수출협회 사무총장은 중고차 수출량 중 약 25%가 중고 상용차(덤프트럭, 트랙터, 버스 등)이며 75%가 중고 승용차인데, 중고 승용차 수출량 중 90%는 연식이 오래되지 않은 신차급 차량이라고 발언한 바 있다.

또한 중고차 수출을 명목으로 한 신차급 신에너지차 병행 수출이 급증하고 있는 원인은 첫째, 신에너지차 가격이 더 높아서 1대 수출 시 더 많은 이윤을 얻을 수 있기 때문이라고 한다. 1대 판매 시 수출업자·딜러가 더 큰 이윤을 얻을 수 있으므로 신에너지차를 중심으로 수출을 추진하고 있다는 것이다. 둘째, 동일 차량을 중국 내수시장에서보다 해외시장에서 판매할 때 더 높은 가격을 받을 수 있기 때문이라고 한다. 중국 내수시장은 신에너지차 제조사·딜러가 많아 이윤을 포기하고 가격 경쟁을 펼치고 있기 때문에, 내수시장에서 신차로 구매하여 중고차로 수출할 경우 해외시장, 특히 중앙아시아, 러시아, 중동 지역에서는 많은 이윤을 남길 수 있다는 것이다.

4. 이에 중국 정부는 중고차 수출을 관리하기 위해 법제 정비를 시작할 전망

이에 2024년 2월 중국 정부는 '중고차 수출 관련 사항 공고(关于二手车出口有关事项的公告)', '중고차 수출 업무 개선에 관한 추가 고시(关于进一步做好二手车出口工作的通知)'를 제정하여 중고차 수출업자의 책임, 적격 요건 등을 강화하고 있다. 이 2가지 법제는 중고차 수출업자의 적격 요건을 강화하고 수출 비즈니스 역량을 강화하는 내용이다. 구체적으로는 고정 영업소·중고차 전시·판매 장소를 갖추고 자동차 판매·거래 경험을 보유하는 기업만 중고차 수출업으로 신고할 수 있도록 한다. 또한 중고차 수출 시 거래, 검사, 통관 등을 원스톱으로 해결할 수 있는 중고차 수출기지 구축, 중고차 수출 전자상거래 플랫폼 등의 구축을 촉진하는 내용을 담고 있다.

종합하면 아직 중국 중고차 수출량은 많지 않으며, 따라서 중국에서는 중고차 수출로 인한 폐자동차 유래 순환자원 유출이 큰 문제로 여겨지고 있지는 않다. 다만 중국 정부 또한 중고차 수출을 관리하기 위한 법제를 개편하고 있어, 향후 중고차 수출량이 급증한다면 순환자원 유출을 방지하기 위한 여러 조치를 신설·강화할 것으로 예측된다.

자료: 저자 작성

131) 中国政府, "2023年我国汽车产销量首次突破3000万辆(2024. 1. 11.)", https://www.gov.cn/yaowen/liebiao/202401/content_6925448.htm, accessed: 2024. 6. 19.

132) 中国经济网 "新政全面落地，2023年二手车交易量1841.33万辆(2024. 1. 11.)", http://auto.ce.cn/auto/gundong/202401/11/t20240111_38861351.shtml, accessed: 2024. 6. 19.

133) 山东省二手车流通协会, "中国二手车"繁花"背后，几多欢喜是隐忧！(2024. 1. 26.)", http://www.succa.cn/hyzx/798.html, accessed: 2024. 4. 22.

134) 21世纪经济报道, "年鉴 | 二手车交易创天量，"平行出口"疯狂(2024. 6. 6.)", https://www.21jingji.com/article/20240606/herald/4f35e39333a8841ce4e61c5e7d72ad0a.html, accessed: 2024. 6. 19.

중국에서는 사용후 자동차 자원순환을 위해 사용후 자동차 회수 체계 정비 및 정식 해체재활용업자 경쟁력 강화를 급선무로 평가하고 있다.[135] 사용후 자동차 85% 이상이 정식 해체재활용업자를 거치지 않고 처리되는 현재, 플라스틱 및 사용후 배터리 등의 자원을 회수·재활용하기 매우 어렵기 때문이다.[136] 따라서 중국 정부는 자동차에 대한 확대생산자책임제도(EPR) 시범사업 도입, 정식 해체재활용업자의 요건 명시, 정식 해체재활용업자에 대한 증치세(우리나라의 부가가치세에 상당) 부담 경감 등 여러 정책을 추진하고 있다.

자동차 확대생산자책임제도(EPR) 시범사업은 2022년 도입되었으며 총 11개 자동차 제조사 및 그 자회사가 시범사업에 참여하고 있다.[137] 자동차 제품확대생산자책임 시범사업은 자국의 사용후 자동차 재활용 방식을 표준화하고, 폐자동차 유래 자원순환 활용을 촉진하는 방안 등을 모색하는 것을 목표로 한다. 또한 배터리 등 핵심부품의 추적성을 강화하고 해체재활용 관련 안전 정보를 공유하기 위해 정기적으로 데이터를 수집·제출하도록 한다. 이 시범사업에 참여하는 자동차 제조사 11개 사는 Geely 승용차, Geely 상용차, Shanxi Automobile Group(버스·트럭 제조사), FAW, DongFeng, Chery, ChangCheng(장성), ChangAn(장안), SAIC 승용차, Yunnan Aerospace Shenzhou Automobile(특장차·트럭·버스 등 제조사), Chengdu Bus(버스 제조사)이다.[138][139]

또한 정식 해체재활용업자의 부지 규모 등 요건을 명시하고, 해체재활용업자의 전기자동차·사용후 배터리 해체·보관·처리 요건 등을 상세하게 규정하여 적절한 기술과 설비를 갖춘 기업만이 해제재활용업을 행하도록 하고 있다. 해체재활용업자는 사용후 배터리 및 그를 처리한 산물(블랙매스 등)을 야외에 보관해서는 안 되며, 신에너지차 구동 배터리와 납축전지 등은 별도 구역에서 탈거하고 보관해야 한다.

〈표 3-21〉 중국 국가표준 상 해체재활용업자 요건

(단위: 대, ㎡)

구분	취급 차량 대수 규모별	1개 기업의 최소 부지 규모(해체·보관 용지를 포함한 작업장 면적은 사업 면적의 60% 이상이어야 함)
규모 요건	Class Ⅰ(차량 보유 대수≥500대)	20,000㎡
	Class Ⅱ(200대≤차량 보유 대수<500대)	
	Class Ⅲ(100대≤차량 보유 대수<200대)	15,000㎡
	Class Ⅳ(50대≤차량 보유 대수<100대)	
	Class Ⅴ(20대≤차량 보유 대수<50대)	10,000㎡
	Class Ⅵ(0대≤차량 보유 대수<20대)	
구역 구분 요건	다음과 같은 기능을 하는 구역을 갖춰야 하며, 기능별로 구역을 명확히 구분해야 함 1. 사무 구역(기업 운영 및 관리 관련 업무를 처리하는 구역) 2. 작업구역(폐자동차 회수, 해체, 재활용 관련 작업을 하는 구역)은 ⓐ~ⓘ로 세분됨 ⓐ자동차 보관 구역(내연기관차와 전기차 구역을 구분해야 함), ⓑ구동 배터리 탈거(분리) 구역, ⓒ납축전지 탈거(분리) 구역, ⓓ배터리 분류 보관 구역, ⓔ해체(분해) 구역, ⓕ제품(반제품; 구동 배터리는 제외함) 보관 구역, ⓖ 파쇄 선별 구역, ⓗ일반 산업 고체폐기물(사용후 배터리 및 블랙매스 등은 중국 폐기물 코드 900-012-S17로서 고체폐기물에 포함) 보관 구역, ⓘ위험폐기물 보관 구역	

자료: 규모 요건은 报废机动车回收拆解汽车技术规范(GB22218) Article 4.2.; 구역 구분 요건은 报废机动车拆解企业污染控制技术规范(HJ348-2022) Article 5.1과 5.2를 참조하여 저자 작성

135) 中国汽车报网, "一大波老旧车来了，拆解业还会"吃不饱"吗？(2024. 5. 24.)", http://www.cnautonews.com/chanpin/2024/05/24/detail_20240524365304.html, accessed: 2024. 6. 19.

136) 搜狐 "2022年中国报废机动车回收量、报废汽车回收量及回收拆解企业销售额(2023. 5. 17.)", https://www.sohu.com/a/676412521_120992537, accessed: 2024. 9. 20.

137) 国情网, "汽车产品生产者责任延伸试点实施方案内容是什么？(2021. 7. 22.)", http://guoqing.china.com.cn/zhuanti/2021-07/22/content_77642306.htm, accessed: 2024. 6. 19.

138) 工业和信息化部办公厅 科学技术部办公厅 财政部办公厅 商务部办公厅关于公布汽车产品生产者责任延伸试点企业名单的通知 工信厅联节函[2022]263号

139) 中国循环经济协会, "规范汽车产品维修回收 汽车生产者责任延伸制度发挥功效(2022. 10. 27.)", https://www.chinacace.org/news/view?id=14078, accessed: 2024. 6. 19.

정식 해체재활용업자의 증치세(우리나라 부가가치세에 해당) 부담이 높다는 점 또한 개선이 필요하다고 지적되고 있으며, 중국 정부는 조세 부담을 경감하는 특례 등을 도입하고 있다. 자동차 해체재활용업자는 산업 특성상 증치세 매입세액공제를 받기 어렵고, 이에 따라 기업소득세(우리나라 법인세에 상당) 부담도 높아 불법 폐차 업자보다 경쟁력이 떨어진다고 평가된다.

사업자가 아닌 개인은 증치세·부가가치세 인보이스(Invoice)를 발급할 수 없으며, 자동차 해체재활용업자는 대체로 개인으로부터 사용후 자동차를 매입하므로 대부분의 매입에 대해 매입세액공제를 받을 수 없다. 우리나라는 사업자가 아닌 개인, 「부가가치세법」상 간이과세자·면세사업자로부터 재활용폐자원, 중고자동차를 매입하는 경우 매입가액의 110분의 10을 매입세액으로 공제할 수 있게 하는 중고차 의제 매입세액공제 특례제도를 운영하고 있으나 중국은 이와 같은 특례제도를 도입하고 있지 않다. 따라서 중국의 해체재활용업자는 폐자동차 매입 금액의 13%에 달하는 증치세를 공제받을 수 없어 기업소득세(우리나라 법인세에 해당) 과세표준이 높아 납세 부담이 다른 업종에 비해 높다. 결과적으로 중국의 정식 해체재활용업자는 경쟁력을 갖추기 어려운 상황이다.

이를 해결하기 위해 중국은 '22년부터 순환자원 재활용 관련 기업은 증치세를 간이과세 방식으로 납부할 수 있도록 하는 조치를 도입하였다.[140] 간이과세 방식을 선택한 해체재활용업자는 일반과세 방식에 비해 낮은 3%의 세율을 적용하여 증치세를 납세하면 된다. 매입세액공제를 받지 않는 대신, 일반과세 방식을 선택했을 때보다 10%p 낮은 세율을 적용하는 것이다.

그러나 순환자원 재활용 관련 기업이 증치세를 간이과세 방식으로 납부할 수 있게 하는 조치만으로는 충분하지 않다는 것이 관련 업계의 중론이다. 자동차 해체재활용업자가 간이과세 방식을 택하면 재활용업자에게 13%의 증치세 인보이스를 발급할 수 없기 때문이다. 자동차 해체재활용업자의 주된 수입원은 철·비철금속 등 판매 대금이다. 그런데 철·비철금속 매입처에서는 비용 처리를 위해 증치세 인보이스를 받아야 하므로 간이과세 업자와의 거래를 꺼릴 수 있으며, 따라서 간이과세 방식을 선택할 수 있더라도 실제 해체재활용업자가 이를 이용하기 어려운 경우가 많다는 것이다.

〈표 3-22〉 중국 순환자원 재활용 관련 기업에 대한 증치세 과세방식

(단위: %)

과세방식	세액 계산 방식	~'21년	'22년~
일반과세 방식	증치세 세액 = 매출세액(매출×세율(13%))-매입세액(매입×세율)* * 증치세 납부 기업이 물품(예: 폐자동차)을 매입한 경우, 거래 상대방의 요건(비사업자, 증치세 일반과세자, 증치세 간이과세자(원어 표현: 소규모 납세자))에 따라 매입세액이 달라짐. 예를 들어 비사업자로부터 매입하면 매입세액 공제를 받을 수 없었음	적용함	적용 가능
간이과세 방식	증치세 세액 = 매출×세율(3%)	적용 불가	적용 가능

주: 중국의 증치세는 우리나라 부가가치세에 상당함. 증치세 세율은 업종에 따라 다르며, 표 안에 기재한 13%, 3% 세율은 순환자원 재활용 관련 기업이 일반과세 방식 또는 간이과세 방식을 선택한 경우 적용되는 세율임
자료: 저자 작성

이에 중국 정부는 법제를 정비하여 적격 기업 육성 및 비적격 기업 퇴출, 폐자동차 및 관련 폐자원 회수 체계 보완을 추진하고 있다. 2024년 3월 중국 국무원이 발표한 「이구환신(以旧换新) 설비 및 소비재 대규모 교체 행동 방안(推动大规模设备更新和消费品以旧换新行动方案), 이하 행동방안」이 대표적으로, 폐자동차 등의 자원순환 목표를 제시하고 있다.

140) 财政部 税务总局公告2021年第40号 财政部 税务总局关于完善资源综合利用增值税政策的公告

이구환신이란 낡은 것을 새로운 것으로 대체한다는 뜻으로, 자동차의 경우 노후 차량을 폐차하고 신차를 구매하는 소비자에 보조금을 지급하는 것을 의미한다. 노후 차량 폐차 보조금을 받기 위해서는 폐자동차를 정식 해체재활용업자를 통해 처리해야 하므로 폐자동차 자원순환 흐름을 개선하고 재활용도 활성화하는 효과를 기대할 수 있다. 중국 현지 언론 보도에 따르면 이구환신 정책을 통해 폐자동차 재활용량이 '24년 1~5월 220만 대로 전년 동기 대비 19.4% 증가했다고 한다. 또한 연간 폐자동차 재활용 목표는 378만 대를 초과 달성할 수 있을 것이라 기대하고 있다고 한다.[141]

한편 행동 방안에서 제시한 폐자동차의 자원순환과 관련 정책 방향은 4가지로 정리할 수 있다. 첫째, 폐자동차 회수 체계를 정비하여 폐자동차 회수량을 늘리고 자원순환을 촉진할 것이라고 한다. '27년까지 폐자동차 회수량, 중고차 거래량을 각각 '23년의 200%, 145% 수준으로 늘릴 것이라고 한다. 둘째, 철강·비철금속·플라스틱 등 재생자원을 집약적으로 처리하기 위한 산업 클러스터 구축 사업을 지원하고, 자동차 부품 재제조 등 산업 저변을 확대·강화할 것이라 한다. 셋째, 국제표준을 충족하는 재생 플라스틱·금속·기타 재료 사용을 위한 정보 추적 시스템을 구축할 것이라 한다. 넷째, 사용후 배터리·재생원료 수입 시 필요한 표준을 제시하고 정책을 정비할 것이라 한다.

2.2.2. 플라스틱

중국 물자 재활용협회 재생 플라스틱 분과(中国物资再生协会再生塑料分会)의 통계자료에 따르면 '22년 기준 중국 내 플라스틱 폐기량은 6,300만 톤으로 추정되며 이 중 30%가 재활용, 약 32%인 2,016만 톤은 매립, 약 31%인 1,953만 톤은 열처리되고 있다고 한다.[142][143] '18년 중국이 폐기물 수입 금지 조치를 도입하면서 플라스틱 원료 조달이 줄어들었으며, 재생 플라스틱 제조업자는 중국 내에서 재생 플라스틱 생산용 원료를 조달해야 하게 되었다. 중국 현지 언론 등은 자국의 재생 플라스틱 산업을 발전시키기 위해서는 고품질의 재생 플라스틱 원료를 국내에서 확보하여 규모의 경제를 달성하고 플라스틱 재활용 기술 수준을 개발할 필요가 있다고 인식하고 있다. 현재 중국 내에서는 주로 물리적 재활용 방법이 활용되고 있는데, 화학적 재활용 방법 등을 향후 개발하고 사업화할 필요가 있다는 것이다.

아직 중국 내수시장에서 신차 생산 시 재생 플라스틱은 활발하게 적용되고 있지 않은 것으로 보인다. Ningbo(닝보) 지역 자동차 부품산업협회에 따르면, 중국내 재생 플라스틱에 대한 수요는 애초 예상보다 높으나 재생 플라스틱 물량을 확보하기 어려운 것이 문제라고 한다.[144] 중국의 폐자동차 유래 플라스틱 배출량은 연 100만 톤에 달하는 것으로 추산되나, 제대로 재활용을 하지 못하고 있다는 것이다.

이에 재생 플라스틱 원료 확보가 어려워 경제성을 확보하기 어려우며, 재생 플라스틱인지를 확인·인증하는 방법 등도 미비한 상황이다. '24.4월 중국 신화통신은 중국 TianJin(톈진) 지역에 있는 전기전자제품 폐기물 회수처리·플라스틱 재활용 기업 TCL奥博 (天津) 环保发展有限公司의 Wang Chunlin 고문을 인터뷰하였는데, 해당 기업의 생산·처리 역량에 비해 실제 폐플라스틱 회수량은 55% 수준으로 가동률이 높지 않은

141) 盖世汽车, "以旧换新，汽车"末端经济"终于迎来重视(2024. 6. 28.)", https://auto.gasgoo.com/news/202406/28I70397075C108.shtml, accessed: 2024. 7. 10.

142) 中国经济网, "废弃塑料再利用率亟待提高(2424. 4. 21.)", http://m.ce.cn/bwzg/202404/21/t20240421_38977427.shtml, accessed: 2024. 6. 14.

143) China Plastic Recycling Association, "中国再生塑料行业发展报告(2023年度)", http://www.replastics.org/news_detail.php?rid=36&id=1478, accessed: 2024. 6. 14.

144) 盖世汽车, "风雨欲来，汽车产业或现巨大变迁(2023. 11 .23.)", https://m.gasgoo.com/news/70371227.html, accessed: 2024. 6. 14.

상황이라고 한다. 또한 Wang Chunlin 고문은 해당 기업이 하이엔드 재생 플라스틱 제품을 생산할 기술적 역량을 갖고 있으며 유럽 시장 내 여러 자동차·부품 제조기업에 수출도 하고 있으나, 중국 현지 기업에 공급하는 양은 제한적이라고 답변하였다.[145)]

종합하자면 중국 내 플라스틱 회수·재활용률은 아직 크게 높지 않은 수준이며, 중국 내에서 생산한 재생 플라스틱과 그로 만든 자동차 부품은 대부분 EU 시장에 우선 수출·공급될 것으로 보인다. 현지 언론은 향후 BYD, Geely 등 중국 시장을 선도하는 로컬 자동차 제조사가 30만 위안 이상의 고가 차량에 재생 플라스틱을 사용하는 경우 재생 플라스틱 산업 동력이 강화될 가능성도 있다고 평가하였다.

2.2.3. 사용후 배터리

중국은 사용후 배터리 관리체계를 전 세계에서 가장 빠른 시기에 구축한 국가로 알려져 있다. 중국은 정부 주도로 전기차 배터리의 이력을 관리하는 '신에너지차 국가모니터링·배터리 회수 이용 이력관리 플랫폼(新能源汽车国家监测与动力蓄电池回收利用溯源综合管理平台)'을 '18년에 구축하여 운영 중이다.

'20년에 제정한「폐자동차 회수관리 방법 실시규칙(报废机动车回收管理办法实施细则)」제27조는 [회수·해체 업자는 회수한 폐자동차의 차량식별 코드, 배터리 식별번호, 수량 등 정보를 '신에너지차 국가모니터링, 배터리 회수 이용 추적 종합관리 플랫폼'에 업로드해야 한다]고 규정하여 기업의 의무를 명확히 하고 있다. 또한 배터리 회수·재사용·재활용 등에 필요한 기술 및 설비를 갖춘 적격 기업을 '화이트리스트 기업'으로 선정, 그 명단을 공표하고 있다.「폐자동차 회수관리 방법 실시규칙」제29조는 해체재활용업자가 사용후 배터리를 자동차 제조사의 배터리 회수 거점이나 화이트리스트 기업(재사용·재활용, 종합이용(재사용 및 재활용) 기업)에 매각해야 한다고 규정하고 있다.

중국과 같은 배터리 전주기 이력 관리 플랫폼, 회수관리 체계는 아직 타국에는 구축된 바 없으며 EU 등은 이와 같은 관리 체제를 구축하기 위해 '25년부터 배터리 여권제도 등을 도입하려 하고 있다.

중국은 자국이 EU보다 7년 앞서 배터리 이력 디지털 관리시스템을 운영하며 경험과 노하우 축적에 앞서 있다고 자평한다. 그러나 관리체계가 7년 이상 운영되고 있음에도 많은 전기차 배터리가 어디로 흘러갔는지 추적이 어려운 상태이며, 자국의 사용후 배터리 관리체계 실효성이 낮은바 보완이 필요하다고 인식하고 있다.[146)] 중국의 사용후 배터리 관리체계 실효성이 낮은 원인으로는 크게 2가지를 들 수 있다.

첫째, 화이트리스트 기업(적격 기업)이 아닌 자에 사용후 배터리가 흘러가더라도 이를 추적하기 어려우며, 처벌도 약하기 때문이다. 현재 중국에서 사용후 배터리 약 75%는 비적격 기업에 유입되고, 나머지 약 25%만 적격 기업에 유입되고 있다고 한다.[147)]

현재 중국의 법제는 사용후 배터리 재활용 책임을 자동차 제조사가 지도록 하나, 배터리 제조사의 책임은 불분명한 상황이다.[148)] 자동차 보증기간 내에 구동 배터리를 교체하였으면 자동차 제조사가 구동 배터리를

145) 新华每日电讯, "废弃塑料回收难，再生利用有哪些堵点？(2024. 4. 16.)", http://www.news.cn/mrdx/2024-04/16/c_1310771428.htm, accessed: 2024. 6. 14.

146) 新华报业网, "欧盟新电池法案，对我国新能源究竟是机遇还是挑战？(2024. 4. 9.)", https://www.xhby.net/content/s6614b10de4b024c1153bdef3.html, accessed: 2024. 7. 20. ; 이서현(2024b), 유럽·日 산업데이터 연계 동향과 우리의 방향, 산업분석 Vol. 136, 한국자동차연구원

147) 澎湃, "动力电池退役潮来临，回收难题如何解决？(2023. 9. 15.)". https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_24609230, accessed: 2024. 7. 20.; 이서현(2024a), 배터리 재사용·재활용 산업 활성화 방향, 산업분석 Vol. 131, 한국자동차연구원

148) CATARC, "智库观点丨吴松泉：电动汽车保有量迅速增长，别忽略动力电池回收利用问题(2024. 6. 17.)", https://

관리할 수 있으나, 그 외의 경우에는 구동 배터리는 배터리 제조사가 관리를 하게 된다. 그러나 자동차 제조사의 입장에서는 배터리 제조사가 관리하는 사용후 배터리를 재사용·재활용하기 어려운 상황이다. 또한 자동차 제조사 등이 사용후 배터리를 화이트리스트 기업이 아닌 비적격 기업에 경매 방식으로 판매하고 있으나, 화이트리스트 기업이 아닌 기업에 판매하더라도 큰 처벌이 이루어지지 않는다.

따라서 적격 기업은 시설·기술에 투자를 하지 않은 비적격 기업에 비해 가격경쟁력을 갖추기 어렵다.[149] 현지 언론 보도 등에 따르면 비적격 기업은 적격 기업보다 10% 이상의 높은 가격으로 입찰하며, 특히 삼원계 배터리 등 재활용 가치가 높은 사용후 배터리 대부분이 비적격 기업에 흘러가고 있다고 한다. 그 결과 중국의 배터리 재사용·재활용 적격 기업 등은 사용후 배터리를 확보하지 못해 기술개발, 규모의 경제 달성 등에 어려움을 겪고 있다고 한다.

둘째, 현행 체계 구조상 배터리 흐름을 추적할 수 없게 되더라도 책임을 묻기 어렵기 때문이다. 전기차 폐차 시 구동 배터리 이력 정보를 관리 플랫폼에 등록할 책임을 지는 주체와 전기차 구동 배터리가 분실되면 그 사유를 소명할 책임을 지는 주체가 각각 분산되어 있다.

「폐자동차 회수관리 방법 실시규칙」 제20조는 차량에 5대 부품(엔진, 스티어링휠, 변속기, 전후방 차축, 프레임)과 촉매, 신에너지차의 구동 배터리가 없는 경우 소유자(차주)가 서면으로 상황을 설명하고 정보의 진실성을 책임져야 한다고 규정하였다.

중국에서는 내연기관차와 신에너지차의 폐차 가능성에 차이가 존재한다. 내연기관차의 경우 차량에 프레임(또는 섀시)이나 엔진이 없는 경우 해체·회수업자로부터 폐차 회수 증명서를 받을 수 없다. 그러나 배터리가 없는 신에너지차는 소유자가 서면으로 상황을 설명하면 폐차 회수 증명서를 받을 수 있다. 엔진이 없는 내연기관차, 구동 배터리가 없는 전기차 모두 정상 주행을 할 수 없는 차량이다. 엔진이 없는 내연기관차는 폐차 처리를 할 수 없으나 구동 배터리가 없는 전기차는 폐차 처리를 할 수 있으므로 차별적 처리가 이뤄지고 있다고 볼 수 있다.

「폐자동차 회수관리 방법 실시규칙」 제27조에 따라 사용후 배터리의 흐름 등 정보를 입력할 책임은 회수·해체 업자가 지는 것이 원칙이나 신에너지차 구동 배터리가 없는 상태로 온 경우 회수·해체 업자는 관련 정보를 얻을 수 없으므로 관련 정보를 입력할 수 없으며 책임을 질 수도 없다. 신에너지차 구동 배터리가 없어지게 된 경위에 대한 정보가 진실한지, 차주에 책임을 물어야 하나 이를 검증할 행정당국의 여력 또한 부족한 것으로 보인다. 구동 배터리가 없는 신에너지차도 소유주가 서면으로 소명하면 폐차 처리를 할 수 있게 한 명확한 이유는 확인되지 않는다. 다만 중국에서 NIO 등이 배터리 교환식(Battery Swapping) 전기 승용차를 판매하고 있어 차주가 구동 배터리를 소유하지 않는 경우가 존재할 수 있기 때문이라고 짐작된다.

그 결과 현재 회수·해체 기업이 폐자동차를 인수할 때 대다수의 신에너지차에 구동 배터리가 없는 상태라고 한다. 중국 순환경제협회 회장 Zhu Liyang에 따르면 구동 배터리가 없는 신에너지차 비중은 70%에 근접하는 수준으로 대부분의 사용후 배터리가 행방불명 상태이다.[150] 일각에서는 현행 법제를 개정하여야 한다는 주장도 제기되고 있다. 전기차 폐차 시 구동용 배터리가 없는 전기차는 폐차 회수 증명서를 발급하지 못하도록 하고, 배터리 교환식 전기차에 한해 예외적으로 발급을 허용해야 한다는 것이다.[151]

---

catarc.net.cn/mobile/detail/8369e7c0e6954a98b4adb3abe6c59fbb,accessed: 2024. 6. 19.

149) 新华网, "小作坊高价"扫货" 白名单企业"难吃饱"——动力电池回收利用体系待完善(2024. 7. 2.)", https://app.xinhuanet.com/news/article.html?articleId=32f9cdaa9c83e5504b879b63058c0bde, accessed: 2024. 7. 12.

150) 中国循环经济协会, "产业链上下游协同 探索退役动力电池规范循环利用新模式(2024. 5. 21.)", https://www.chinacace.org/news/fieldsview?id=15511, accessed: 2024. 7. 12.

151) 新华网, "汽车更新消费迎来小高峰 回收拆解产业迈向千亿级(2024. 7. 1.)", http://www.news.cn/20240701/b118e404491c44ae9ee038ec7cf9452a/c.html, accessed: 2024. 7. 12.

종합하자면, 중국은 사용후 배터리 전주기 관리체계를 수년 전부터 구축, 운영하고 있으나 그 실효성이 낮아 배터리 재사용·재활용에 적합한 설비·기술을 갖춘 화이트리스트 기업은 원료 확보에 어려움을 겪고 있다. 중국 정부는 관리체계 실효성을 높이기 위해 2024년 말까지 정부·소비자·기업 대상 배터리 재활용 공공 서비스 플랫폼을 구축하여 관리체계를 고도화할 예정이라고 한다.

또한 중국은 사용후 배터리 및 블랙매스 수입을 허용하는 방안을 검토 중이다. 중국은 고체폐기물 수입 금지 조항을 도입한 바 있으며, 이에 따라 플라스틱, 사용후 배터리 등 재활용 원재료 수입을 원칙상 금지하고 있다. 중국 현지 관세법무법인에 따르면 사용후 배터리의 경우 고체폐기물로 보기 어렵다는 견해도 존재하나, 실무적으로 대부분의 사용후 배터리와 블랙매스 등의 수입은 어려운 상황이다.[152] 그러나 EU 배터리 관련 규제가 도입되면 배터리 제조사 등 생산자의 부담이 증가할 것이므로 사용후 배터리를 중국에 반입하여 재사용·재제조·재활용을 하는 방안을 검토할 필요가 있다고 보고 있다. 이에 따라 '24년 초부터 중국 국무원 판공청은 해외로부터 사용후 배터리 및 블랙매스를 수입하고 관리하는 방안을 검토하기 시작했다고 한다.[153] '24년 말까지 검토를 완료할 예정이라고 하는데, 만일 중국이 해외로부터 사용후 배터리 및 블랙매스 수입을 허용하기 시작한다면 우리나라 배터리 재활용 기업이 원료 수급이 더 어려워질 수 있어 주의가 필요하다.

3. 국제비교 및 소결

지금까지 우리나라와 EU, 중국의 자동차 자원순환 현황을 살펴보았다. 사용후 자동차와 그 폐자원의 회수·재활용 현황은 다음과 같이 비교·요약할 수 있다.[154]

사용후 자동차의 경우 EU, 중국에서 각각 1/3, 85% 이상이 행방불명되어(Missing ELV) 정식 해체재활용업자에 의해 처리되고 있지 않다. 따라서 사용후 자동차에 포함된 배터리, 플라스틱 및 철·비철금속 등 각종 폐자원 또한 제대로 회수·재활용 되고 있지 않은 것으로 보인다. 반면, 우리나라는 사용후 자동차와 그 폐자원 대부분이 정식 해체재활용업자에 인계되어 처리되고 있다.

한편 최근 우리나라와 EU에서 개발도상국 등에 대한 중고차 수출량이 크게 늘고 있다. 그런데 UNEP에 따르면 선진국에서 개발도상국에 수출되는 자동차 중 상당수는 수출국의 규제상 주행이 불가능한 노후 차량이나 수입국 기준으로는 중고차로 간주되는 사용후 자동차(ELV)라고 한다. 향후 개발도상국의 중고차 수입규제가 강화되면 이들 노후 차량은 중고차로 수출할 수 없어 국내에서 폐차하고 그 폐자원을 순환이용해야 할 전망이다. 한편 중국은 중고차 수출량이 많지 않은 편으로, 대부분의 사용후 자동차는 국내에서 처리되나 85% 이상이 부적격 해체재활용업자에 의해 처리되고 있는 것으로 보인다.

사용후 전기차 수출입은 사용후 배터리 수출입의 대리변수로 간주할 수 있으며 이를 통해 사용후 배터리 자원 흐름을 간접 추정할 수 있다. 현재 안전성 문제로 사용후 배터리는 단독으로 국제 운송되지 않고 전기차에 탑재된 채로 운송되고 있기 때문이다. 이 외에도 사용후 배터리를 전처리한 블랙매스(Black Mass) 또한

152) 海关律师网, "面对欧盟《电池和废电池法规》, 退役动力电池进口的搏弈(2024. 3. 27.)", https://www.customslawyer.cn/portal/lssf/detail/id/65510.html, accessed: 2024. 4. 29.

153) 中国汽车报网, "一大波老旧车来了，拆解业还会"吃不饱"吗？(2024. 5. 24.)", http://www.cnautonews.com/chanpin/2024/05/24/detail_20240524365304.html, accessed: 2024. 6. 19.

154) 비용과 시간의 제약으로 인해 본 보고서는 주요국 중 EU와 중국의 자동차 자원순환 현황을 조사하였음

재생원료로서 국제 거래되고 있다. 블랙매스를 국제 거래 흐름을 보면 주로 EU로부터 우리나라가 수입하는 구조이다. 한편 우리나라와 EU의 경우 일반적 사용후 자동차와 마찬가지로 일정 기간 사용된 중고 전기차가 개발도상국 등으로 수출되고 있다. 반면 중국의 경우 중고 전기차 수출량은 내수시장 규모를 고려할 때 작은 편이며, 대부분 신차급 중고차 병행수출량으로 추정된다.

사용후 배터리의 경우 EU에서 발생하는 스크랩, 블랙매스 등을 우리나라가 주로 수입하고 있다. 중국은 '18년부터 자동차 제조사가 사용후 배터리 회수·재활용을 책임지게 하고, 배터리 흐름을 관리하는 플랫폼 등을 운영하고 있다. 다만 사용후 배터리 75% 이상이 부적격 기업에 의해 처리되고 있어, 관리체계 실효성이 낮으며 적격 기업의 원료 확보량이 충분하지 않다는 지적이 있다. 또한 중국은 사용후 배터리와 블랙매스를 고체폐기물로 구분하여 수출입을 제한하고 있다.

플라스틱의 경우, 현재 자동차 생산 시 재생 플라스틱 사용률은 EU가 최대 약 8%, 우리나라는 2% 미만이며 중국의 관련 자료는 확인하기 어려운 상황이다. 대체로 플라스틱 회수·재활용은 자동차 산업 수요 대비 충분하지 않은 것으로 보인다.

〈표 3-23〉 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 현황 국제 비교

구분	사용후 자동차와 그 폐자원			
		사용후 전기차	사용후 배터리	플라스틱
우리나라	• 사용후 자동차 거의 대부분이 정식 해체재활용업자에 인계 • 최근 개발도상국에의 수출 증가	• 사용후 전기차 상당량 수출	• 안전성 문제로 사용후 배터리 단독으로는 운송·거래되지 않고 전기차에 탑재되어 해외로 유출 • 재생원료(배터리 스크랩, 블랙매스)를 EU 등에서 대량 수입	• 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용률은 2% 미만, '30년까지 20%로 제고 목표
EU	• 사용후 자동차 1/30이 행방불명되어 정식 해체재활용업자에 인계되지 않고 있음 • 최근 개발도상국에의 사용후 자동차 수출 증가	좌동	• 안전성 문제로 사용후 배터리 단독으로는 운송·거래되지 않고 전기차에 탑재되어 해외로 유출 • 재생원료(배터리 스크랩, 블랙매스)를 수출 중(총 발생량 3만톤 중 2만톤 우리나라에 수출)	• 신차 생산 시 재생 플라스틱 사용률은 약 8%
중국	• 사용후 자동차 85% 이상 행방불명되어 정식 해체재활용업자에 인계되지 않고 있음 • 사용후 자동차 수출량은 제한적	• 중고차 수출 이루어지지 않다가 최근 시작됨. 단 수출 중고차는 대부분 신차급 신에너지차	• 사용후 배터리 75%는 적격 업체를 통해 재활용되고 있지 않음 • 사용후 배터리, 블랙매스 수입은 거의 불가	• 거의 회수·재활용되고 있지 않음

주: 플라스틱은 사용후 자동차에서 발생한 플라스틱 또는 신차 생산시 사용된 재생 플라스틱을 대상으로 정리함
자료: 저자 작성

국내외 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 정책 동향을 비교하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

주요국의 폐자원 회수·재활용 정책으로는 생산자책임재활용제도(EPR)가 대표적이다. EU는 자동차와 사용후 배터리 등에 대해 EPR 제도를 운영하고 있으나, 우리나라는 현재 EPR 제도를 도입하고 있지 않다.[155] 다만 우리나라는 다만 LFP 배터리에 대해서는 EPR 제도를 도입하는 방안을 검토하고 있으며, 자동차 유지보수용 부품 일부를 '23년부터 EPR 제도 대상에 포함하여 자동차 유래 플라스틱 재활용을 촉진하고 있다. 중국은 신에너지차 배터리에 대해서는 자동차 제조사가 회수·재활용을 책임지도록 하여 EPR 제도를 도입했다고 볼 수 있으나, 그 외 사용후 자동차 등에 대한 EPR 제도 등은 확인되지 않는다.

한편 앞서 우리나라에 비해 EU와 중국은 폐자동차 중 상당량이 부적정하게 처리되고 있을 가능성이 있다고 설명하였는데, 이는 EU와 중국의 폐자동차 등록·폐기 관리 시스템 미비 등에 기인한다고 볼 수 있다.[156] EU는 현재 ELV 지침에 따라 역내 폐자동차를 회수·재활용하고 있는데, 자동차 등록·관리는 회원국의 별도 국내법과 통계 시스템에 따라 관리되며 통합 관리가 되고 있지 않다. 이에 EU는 ELV '지침'을 '규정'으로 개정하고, ELV 차량 등록·관리 통합 시스템을 약 4년 내로 완성할 예정이라고 한다.[157]

그 외 사용후 배터리에 대한 별도 회수·재활용 정책 동향으로는 사용후 배터리 이력관리 시스템 구축·강화, 블랙매스에 대한 폐기물 규제 변경 등을 확인할 수 있다.

사용후 배터리 이력관리 시스템을 운영하는 국가로는 중국이 있다. 중국은 '18년부터 신에너지차 구동 배터리 흐름을 관리하는 시스템을 정부가 운영하고 있다. 다만 그 실효성이 낮아 '24년 내로 보완책을 마련할 예정이다.[158] EU는 기업에 재생원료 사용량, 공급망 실사 정보 등을 제공하도록 요구하는 배터리 여권제도 등을 도입할 예정이다. 그 정보를 제공하는 수단은 특정하고 있지 않으나, EU 역내에서는 EU 주도 데이터 연계 플랫폼 Catena-X 등을 주로 활용할 것으로 예상된다. 우리나라 또한 '27년까지 배터리 전주기 이력관리 시스템을 구축하여 대응할 예정이다.

한편 원료로서 사용후 배터리와 이를 가공한 블랙매스(Black Mass)의 중요성이 대두하고 있다. 사용후 배터리 관련 산업을 활성화하기 위해서는 규모의 경제 달성이 급선무로 평가된다. 이에 EU는 블랙매스의 해외 유출을 방지하기 위해 규제를 강화하려 하고 있으며, 중국은 반대로 사용후 배터리와 블랙매스의 수입을 허용하는 방안을 검토하고 있다.

155) 우리나라에서도 일차전지 등은 EPR 제도 대상이나, 전기차 사용후 배터리는 EPR 제도 대상이 아님

156) 이 외에도 EU, 중국의 시장 규모, 국토 크기가 우리나라에 비해 큰 점도 원인으로 생각할 수 있음. 다만 본문은 정책 동향을 국제 비교하기 위해 관리 시스템을 중심으로 서술함

157) EU 법령체계 중 규정(Regulation)은 모든 내용이 구속력을 가지며 모든 회원국 내에서 직접적인 효력을 가짐. 반면 지침(Directive)은 회원국에 최소한의 목표를 제시함. 회원국은 자국 상황을 고려, 목표를 달성하기 위한 국내법을 제정함

158) 다만 중국이 사용후 배터리 이력관리 시스템을 '18년부터 구축하여 운영하고 있으나 75% 정도의 사용후 배터리가 비적격 기업에 의해 처리되고 있음. 이는 중국 현행 법제의 미비점에 기인한 측면이 있다고 평가됨. 중국에서 엔진 등이 없는 내연기관차는 폐차를 하지 못하나 구동 배터리가 없는 신에너차 는 폐차처리를 할 수 있도록 하고 있음

〈표 3-24〉 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 정책 동향 국제 비교

구분	사용후 자동차와 그 폐자원			
		사용후 전기차	사용후 배터리	플라스틱[1) 3)]
우리나라	• EPR 제도 비대상, 환경성 보장제(EcoAS)로 폐자동차 재활용률 등 목표 설정 • 폐자동차 등록·관리 시스템에 의해 거의 모든 폐자동차가 관리	• EPR 제도 비대상 • 사용후 전기차 수출말소 시 보조금 회수 제도 강화	• EPR 제도 비대상 • '20년 이전 등록 전기차는 말소 시 사용후 배터리 지자체 반납 의무 • '21년 이후 사용후 배터리 반납 의무 없음 • '24~'27년 배터리 전주기 이력관리 시스템 구축예정	• EPR 제도 비대상 → '23년부터 자동차 유지보수용 부품 5종은 EPR 제도 대상
EU[2)]	• EPR 제도 대상 • EU 역내 자동차 등록·관리 시스템 통합 예정 ('28~'29년 내 완성) • EU 역내에서 사용이 불가한 사용후 자동차(폐자동차)를 폐기물로 규정하여 EU 역외 (주로 개발도상국)로의 수출 제한 검토 중	좌동	• EU 배터리 규정에 따라 ① 전기차 배터리 회수 등 EPR 제도 적용, ②생산 시 재생원료 사용 의무화, ③ 배터리 이력 데이터 관리 체계 구축(배터리 여권) • 폐차 시 전기차 배터리 외에 SLI 배터리도 의무 분리하도록 규정할 예정 • 블랙매스를 유해폐기물로 지정, 수출 제한 추진 중	• 자동차 EPR 제도 대상 • 폐자동차에 포함된 플라스틱 중 30% 이상 (중량 기준) 재활용 의무화[3)] • '30년 이후 신차 생산 시 재생 플라스틱 25% 이상 사용 의무화(6.25%는 사용후 자동차 유래 재생 플라스틱으로 조달)예정
중국	• EPR 제도 비대상 • 해체재활용업자 경쟁력 제고 정책 도입(예: 증치세 (부가가치세에 해당) 간이과세 방식 적용)	• EPR 제도 비대상 • 신에너지차 구동 배터리는 전주기 이력 관리 시스템으로 '18년부터 관리	• EPR 제도 대상 • 배터리 전주기 이력관리 시스템 '18년부터 운영 중, '24년 말 시스템 고도화 예정 • 원료 확보를 위해 사용후 배터리 및 블랙매스 수입 허용하는 방안 검토 중 ('24년 내 결론 도출 예정)	• 별도 재활용 활성화 정책 확인되지 않음

주: 1) 플라스틱은 사용후 자동차에서 발생한 플라스틱 또는 신차 생산시 사용된 재생 플라스틱을 대상으로 정리함
2) EU의 사용후 자동차와 그 폐자원 회수·재활용 정책 동향은 대체로 EU ELV 규정 개정안에 따름. 다만 사용후 배터리 회수 및 재생원료 사용목표는 EU 배터리 규정, 폐자동차·사용후 배터리 운송은 폐기물 운송 규정에 따름
3) 재생 플라스틱 인정 범위가 EU ELV 규정 최종안에서 달라질 수 있음. '23.7월 제시된 현행 개정안은 소비자 사용후 폐플라스틱을 활용하여 물리적 재활용(material recycling) 방식으로 생산한 재생 플라스틱만을 인정함. 그러나 EU 자동차·플라스틱 산업계에서 스크랩을 활용하여 만든 재생 플라스틱 또는 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱도 인정해야 한다고 주장하고 있음

자료: 저자 작성

PART 4

자동차 자원순환 관련 기술 현황과 발전 방안

1 플라스틱 회수·재활용 기술

2 사용후 배터리 회수·재활용 기술

PART 4

자동차 자원순환 관련 기술 현황과 발전 방안

1. 플라스틱 회수·재활용 기술

1.1. 현행 관련 기술 수준

'21년 대한상공회의소 설문조사에 따르면 우리나라의 플라스틱 재활용 기술 수준은 최고 수준인 EU의 80% 수준이고 기술격차는 3년 수준이라고 한다.[159] 선도 국가와의 격차를 좁히기 위해서는 고품질 원료 확보를 위한 수거·선별 공정 개선, 재활용 방식 효율성 제고 등이 필요하다고 평가된다.

일반적인 플라스틱 재활용 기술은 물리적 재활용(Material Recycling; Mechanical Recycling; 물질 재활용), 화학적 재활용(Chemical Recycling), 열적 재활용(Thermal Recycling)으로 구분할 수 있다. 물리적 재활용은 세척·선별·분리한 플라스틱을 파쇄·용융·배합 등 물리적 가공 과정을 거쳐 펠릿(Pellet; 알갱이) 또는 플레이크(Flake)로 만들어 다시 사용하는 방식이다.[160] 화학적 재활용은 폐플라스틱을 화학 공정을 통해 분해하여 원료·고분자로 만들어 재활용하는 방식이다. 열적 재활용은 폐플라스틱을 직접 또는 고형 연료(SRF)로 만들어 연소한 뒤 발생하는 열에너지를 활용하는 방식이다.[161]

플라스틱은 산업군별로 적합한 회수·재활용 방식과 최종 산출물이 달라질 수 있다. 글로벌 자동차 자원순환 정책 동향을 고려할 때, 자동차 산업에서는 주로 재생 플라스틱 생산이 필요하다고 볼 수 있다. 열적 재활용 방식은 재생 플라스틱 생산보다 에너지회수와 관련되어 있으므로 본 절에서는 자동차 산업 수요를 고려하여 플라스틱 재활용을 물리적, 화학적 재활용을 통한 재생 플라스틱 생산에 초점을 두고 살펴본다.

폐플라스틱 재활용 방식은 각자 장단점을 갖고 있으나 앞으로 화학적 재활용 기술로 생산한 재생 플라스틱 수요가 증가할 전망이다. 현재 열적 재활용을 제외하면 폐플라스틱은 주로 물리적 재활용 방식으로 재활용되고 있으며, 재생 플라스틱 생산 역시 주로 물리적 재활용 방식으로 진행되고 있다. 이는 물리적 재활용 방식은 공정이 단순하여 비용이 적게 들고, CO_2 배출량이 상대적으로 낮다는 장점이 있기 때문이다. 그러나 폐플라스틱의 약 70%는 오염·혼합 소재 구성·유색 등의 이유로 물리적 재활용이 어렵다. 따라서 폐플라스틱 재활용 생산성을 높이기 위해서는 폐플라스틱으로부터 오염물을 제거하는 세척 공정과 재질별로 분류하는 선별·분리 공정에 대해서도 상당한 규모의 투자가 필요하다고 평가되고 있다.[162]

159) 대한상공회의소(2021), 플라스틱 폐기물에 대한 인식조사 및 정책과제 건의, 대한상공회의소.

160) 플레이크는 분리 배출된 플라스틱을 잘게 파쇄한 것을 의미하며, 펠릿은 플레이크를 작은 알갱이로 만든 것으로 소재·제형이 균일하여서 상대적으로 고품질의 재활용 제품을 생산할 때 사용함

161) 참고로 EU는 이 중 열적 재활용을 재활용이 아닌 에너지회수로 구분하고 있음. 열적 재활용은 플라스틱을 대체 연료로 사용하므로 에너지 사용 시 탄소배출 저감 효과는 있지만 자원순환으로 보기 어렵다는 것임

162) 플라스틱코리아, "폐플라스틱 재활용산업 현황과 시사점(3) (2024. 7. 19.)", https://www.plastickorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=24095, accessed: 2024. 7. 30.)

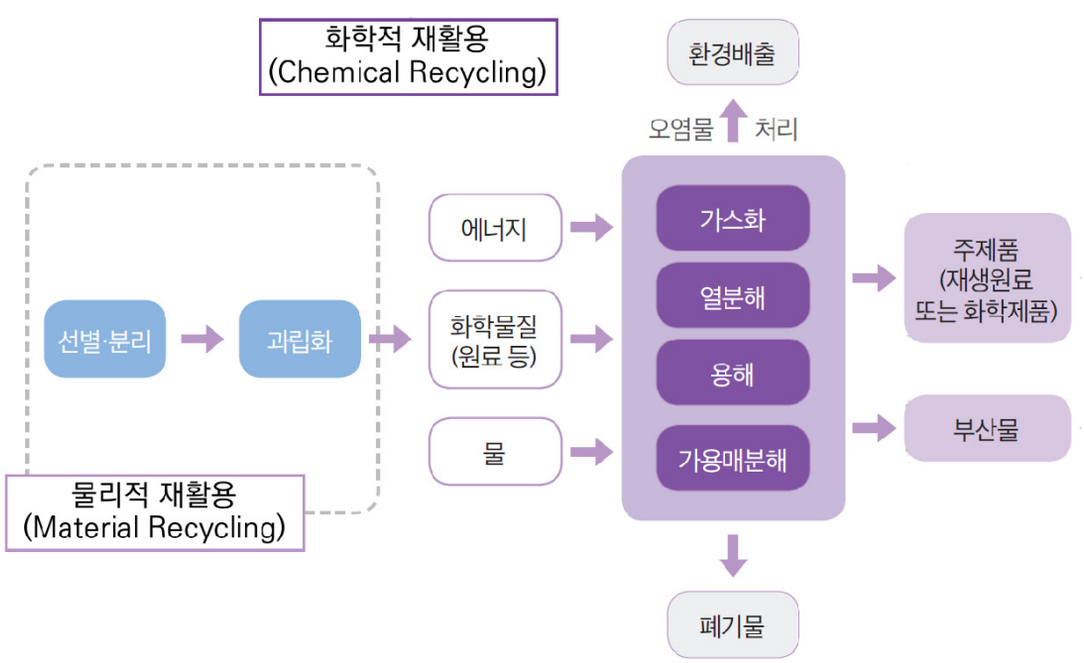
주요국 및 우리나라는 플라스틱 포장재 등을 생산할 때 재생원료를 30% 이상 사용하도록 하는 등 자원순환 목표를 제시했는데, 이 목표를 달성하기 위해서는 화학적 재활용 방식이 필수적이라고 평가되고 있다. 물리적 재활용 방식으로 처리하기 어려운 폐플라스틱으로도 재생 플라스틱을 생산해야 하며, 재생 플라스틱 품질을 높여야 하는데, 화학적 재활용은 물리적 재활용의 한계점을 보완할 수 있기 때문이다.[163] 화학적 재활용 방식은 열분해(Pyrolysis), 해중합(Depolymerization) 기술이 대표적이다.

〈표 4-1〉 플라스틱 재활용 기술 구분

플라스틱 재활용 기술 구분		장점	단점
물리적 (Material) 재활용	오염이 덜 된 폐플라스틱을 선별하고 파쇄해 펠릿으로 만들어 다시 플라스틱으로 재활용하는 방식	• 공정이 단순함 • 소요 비용이 낮음 • CO_2 배출량이 상대적으로 적음	• 오염이 심한 플라스틱은 재활용할 수 없으며 색이 비슷한 플라스틱끼리 분류해야 함 • 재활용을 반복할수록 품질 저하 • 단일 재질에만 적용 가능
화학적 (Chemical) 재활용	열·촉매·용매 등을 이용한 화학 공정을 통해 폐플라스틱을 원료 상태로 되돌리는 방식	• 오염도, 플라스틱의 색상과 상관없이 폐플라스틱 대부분을 재활용할 수 있음 • 이론상 재활용 횟수에 제약이 없으며 원료와 유사한 수준의 재생 플라스틱을 생산할 수 있음	• PET, PA, PU 재질만 플라스틱으로 재생할 수 있음 (다른 재질의 플라스틱은 열분해, 가스화 등을 통해 불순물을 태우고 석유 대체연료 형태의 유분만 남김) • 공정 자체가 탄소 집약적이라 리스크가 있음 (CBAM 탄소 배출량 보고의무 대상에 플라스틱 업종도 포함될 가능성 존재) • 아직 경제성이 부족함
열적(Thermal) 재활용	폐플라스틱을 연소하여 열에너지를 회수하는 방법	• 폐플라스틱을 효과적으로 처리할 수 있음	• 다량의 CO_2 및 대기오염물질을 방출함

자료: 이연진·여준석(2023), 폐플라스틱 화학적 재활용 기술, KISTEP 브리프 100, 한국과학기술기획평가원

[그림 4-1] 물리적·화학적 재활용 방식을 통한 재생 플라스틱 생산 과정



자료: 김은아 외(2023), 플라스틱 순환경제 시나리오와 미래전략, 국가미래전략 Insight 65호, 국회미래연구원.

163) 머니투데이, "단순히 부수고 녹이는게 아니다…플라스틱 역재생, 다시 '신의 선물'로(2023. 7. 22.)", https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2023072120304189673, accessed: 2024. 5. 2.

화학적 재활용 방식 중 열분해 기술(Pyrolysis)은 현재 화학적 재활용에서 가장 많이 사용되는 방식으로 산소가 없는 반응기 안에 폐플라스틱을 넣고 밖에서 열을 가하여 기초 원료인 오일, 나프타, 탄화수소 등으로 분해하는 기술이다. 다양한 성분이 섞여 있는 플라스틱에서도 재생 플라스틱 원료를 추출할 수 있다는 점이 장점이다.

해중합(Depolymerisation) 기술은 고분자 물질 형성 과정을 역행하여 재생 플라스틱 원료를 만드는 방식이다. 다만 해중합 기술로는 동일한 성분의 폐플라스틱만 재활용할 수 있어 재활용 가능 제품이 제한된다는 한계가 있다.

그 외 화학적 재활용 방식으로 정제(Purification) 기술이 있다. 폐플라스틱을 용매(solvent)에 용해하여 오염물·첨가 물질 등으로부터 폴리머를 분리하는 기술이다. 복합 재질의 플라스틱을 단일 재질 플라스틱으로 분리할 수 있고, 오염물질을 제거할 수 있어 신품 플라스틱에 준하는 재생 플라스틱을 생산할 수 있다는 장점이 있다. 다만 용매를 처리해야 하며 관련 기술 등도 개선이 필요하다고 평가된다.

〈표 4-2〉 플라스틱 화학적 재활용 기술별 비교

기술 구분	열분해(Pyrolysis)	해중합(Depolymerisation)
재활용 가능 재질	PE, PP, PB, PS, PMMA	PET, PU, PA
최종 산출물	가스, 액상 오일, 왁스	단량체(monomer, 모노머)
장점	• 복합 재질 플라스틱에 적용 가능 • 공정이 단순해, 필요에 따라 제품 수율 조정 가능 • 소각 시보다 환경오염 적음	• 단량체·올리고머 등 고부가가치 제품생산 가능 • 기존 고분자 생산라인에 통합할 수 있어 비용 절감 가능
단점	• 에너지 요구량이 많음 • 생산된 오일 품질이 불균일하며 내부 화학반응이 복잡함 • PVC에 대한 내성이 낮아 염소 화합물이 형성될 수 있어 투입 전 사전 분류가 필요함	• 중금속 등 공정 오염물질에 민감

자료: 이연진·여준석(2023), "폐플라스틱 화학적 재활용 기술", KISTEP 브리프 100, 한국과학기술기획평가원

자동차 산업은 특히 화학적 재활용 기술로 생산한 재생 플라스틱 수요를 견인할 대표적 산업이라고 평가되고 있다. 그 이유로는 3가지를 들 수 있다.

첫째, 자동차 산업의 재생 플라스틱 수요량이 증가할 것으로 예상되나, 물리적 재활용 방식으로는 충족하기 어렵기 때문이다. 제3장에서 설명한 바와 같이 EU ELV 규정 개정안에 따라 EU 역내 판매 신차 생산 시 재생 플라스틱을 25% 이상 사용할 의무가 '30년 이후 도입될 예정이다. '23년 기준 EU 역내 자동차 생산 시 재생 플라스틱 사용량은 4~8% 수준이라는 점을 고려할 때, 자동차 제조사는 기존보다 수배의 재생 플라스틱을 필요로 할 것이다. 그러나 상술한 바와 같이 물리적 재활용 방식으로 재활용할 수 있는 플라스틱의 양은 제한적이다.

둘째, 사용후 자동차 재활용 목표를 달성하기 위해서는 파쇄잔재물(ASR)에서 폐플라스틱을 회수·재활용할 필요가 있기 때문이다. EU ELV 규정 개정안은 신차 생산 시 플라스틱 중 6.25% 이상을 사용후 자동차 유래 재생 플라스틱으로 사용하고, 사용후 자동차에서 발생한 플라스틱 중 30% 이상을 재활용하도록 하고 있다. EU ELV 규정 개정안이 제시한 플라스틱 재활용 목표는 현행 수준에 비해 상당히 높은 수준이므로 이를 달성하기 위해서는 기존에 탈거가 어렵거나 복합 재질로 되어 있어 파쇄잔재물 채로 처리되었던 플라스틱도 회수·재활용할 필요가 있다고 평가된다.

그러나 자동차에 사용되는 플라스틱 중 상당수, 특히 여러 잔재물이 섞여 있는 파쇄잔재물은 물리적 재활용 방식으로는 처리가 어렵다. 고로 기존에는 재활용이 어려웠던 폐플라스틱을 재활용할 필요가 있으며, 이를 위해서는 화학적 재활용 등 새로운 기술이 필요하다. EU 역내 자동차·플라스틱 업계 또한 EU ELV 규정 개정안 상 재생 플라스틱 사용 의무를 충족하기 위해서는 물리적 재활용 방식으로는 역부족이므로 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱도 실적으로 인정해야 한다고 주장한 바 있다.

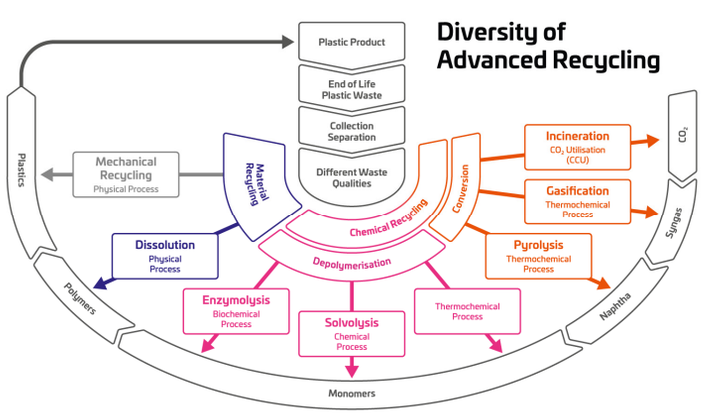
셋째, 자동차 산업에는 신품(virgin) 플라스틱과 동등한 수준의 안전성·내구성을 갖춘 고품질 재생 플라스틱이 주로 필요하나 물리적 재활용 방식으로 생산하는 재생 플라스틱의 품질에 한계가 있기 때문이다. 자동차는 고가의 제품으로 소비자 가시범위 내 자동차 내·외장재에는 높은 심미성 등이 요구된다. 이에 자동차 제조사는 화학적 재활용 방식으로 생산한 고품질의 재생 플라스틱을 활용하는 방안, 그리고 신품(virgin) 플라스틱보다 품질이 떨어지는 재생 플라스틱을 소비자 요구수준이나 민감도가 높지 않은 부분에 활용하는 방안 등을 추진하고 있다. 예를 들어 차량 바닥 쪽 언더커버와 같이 소비자에게 직접 보이지 않는 부품에 재생 플라스틱을 사용하는 방안을 적용하고 있다. 내장재 등에 재생 플라스틱과 신품 플라스틱을 혼합하여 적용하는 방안 등도 대안으로 거론되고 있다.[164)]

폐플라스틱을 화학 공정을 통해 분해하여 원료·고분자로 만드는 화학적 재활용 방식은 아직 개발 초기 단계로 경제성과 친환경성을 평가하고 입증할 필요가 있으며, 이를 위해서는 대규모 단위로 공정을 가동할 필요가 있다.[165)] 아래에서는 현재 개발 진행 중인 폐플라스틱 재활용 방식에 대해 살펴본다.

1.2. 향후 발전 방안

기존 물리적 재활용 방식을 보완하여 폐플라스틱 재활용 범위를 넓히고 재생 플라스틱의 품질을 높이기 위해 관련 기업 등은 고도 재활용 방식을 개발하고 있다. 다양한 품질의 사용후 폐플라스틱을 순환 이용할 필요가 있기 때문이다. 따라서 기업은 폐플라스틱의 재질, 오염도, 산업적 필요성, 친환경성 등을 고려하여 재활용하기 위해 여러 기술을 개발하고 설비투자를 늘리고 있다.

[그림 4-2] 플라스틱 고도 재활용 방식



주: 고도재활용 방식은 크게 물리적 재활용, 화학적 재활용으로 구분됨. 화학적 재활용은 해중합(Depolymerisation)과 전환(열분해(Pyrolysis), 가스화(Gasification) 등)으로 다시 나뉨. 본 절에서는 재생 플라스틱 원료를 생산할 수 있는 2가지 공정(해중합과 열분해 방식)만을 설명함

자료: nova-Institut GmbH(2024), RCI Position Paper on Chemical and Physical Recycling, nova-Institut.

164) Nikkei X Tech, “賛否両論、EUで新車に再生プラ使用を義務化する規則案(2023. 9. 8.)”, https://xtech.nikkei.com/atcl/nxt/column/18/02572/090600002/?P=2, accessed: 2024. 7. 26.)

165) 플라스틱코리아, “화학적 재활용-그 현황과 동향 및 과제(2022. 7. 8.)”, https://www.plastickorea.co.kr/news/articleView.html?idxno=22031, accessed: 2024. 8. 11.

고도 재활용 방식 중 물리적 재활용 방식으로는 용해(Dissolution), 화학적 재활용 방식으로는 효소분해(Enzymolysis)·용매 분해(Solvolysis) 등 해중합 기술(Depolymerisation)과 열분해(Pyrolysis) 등이 개발되고 있다. 화학적 재활용 기술은 아직 초기 단계로 경제성과 친환경성 등을 입증할 필요가 있다. 그러나 대규모 소재(폴리머 등) 생산 기업은 화학적 재활용 설비투자 계획을 세우고 있다. 이 중에서도 재생원료와 열분해유를 생산할 수 있는 열분해 기술이 추진 기업 수 및 설비 처리용량 등에서 앞선다.

〈표 4-3〉 플라스틱 고도 재활용 기술 구분

(단위: t/연, 개)

재활용 기술 구분		재활용 방식	처리용량	기업
물리적	용해 (Dissolution)	혼합 재질 폐플라스틱에서 타겟 폴리머를 용매에 용해하고, 그 뒤 항용매(anti-solvent)를 추가하여 타겟 폴리머를 침전	최대 8,000t/연	9개 기술 공급기업 • EU 4개, 북미 3개, 중국 1개, 그 외 지역 1개 기업 • 소규모 기업이 대다수이며 대규모 기업은 2개(대표: 중국 Shuye Environmental Technology)
화학적	해중합 – 효소분해 (Enzymolysis)	다양한 종류의 바이오 촉매를 활용하여 폴리머를 분해	–	현재 Lab 규모 • EU 소규모 기업 1개
	해중합 – 용매 분해 (Solvolysis)	폴리머(주로 PE)를, 용매를 활용하여 모노머·다이머·올리고머로 분해함. 이후 분해 결과물을 세척하여 새로운 폴리머로 합성함	550~ 8,750t/연	24개 기술 공급기업 • EU 14개, 북미 7개, 일본 2개, 중국 1개 • 대규모 기업은 7개(이탈리아 Arco, 프랑스 IFP Energies Nouvelles, 일본 DuPont Teijin Films, 미국 Eastman Chemical·Dow·International Business Machines Corporation 등), 중규모 기업은 5개, 소규모·스타트업 기업 12개
	열분해 (Pyrolysis)	혼합 플라스틱 폐기물과 바이오매스를 열과 산소가 없는 상태에 액체·고체·기체로 전환하거나 분해함. 이를 통해 대체 연료 또는 새 폴리머를 생산하기 위한 재생원료를 생산함	40,000t/연	80개 기술 공급기업 • EU 42개, 북미 21개, 그 외 지역 11개, 중국 4개, CIS 지역 1개, 일본 1개 • 대규모 기업 16개(네덜란드 Blue Alp, 핀란드 Neste·VTT, 이탈리아 Demont, 오스트리아 OMV, 미국 Chevron Phillips, 독일 INEOS Styrolution, 체코 Unipetrol 등), 중규모 기업 18개, 소규모·스타트업 기업 46개

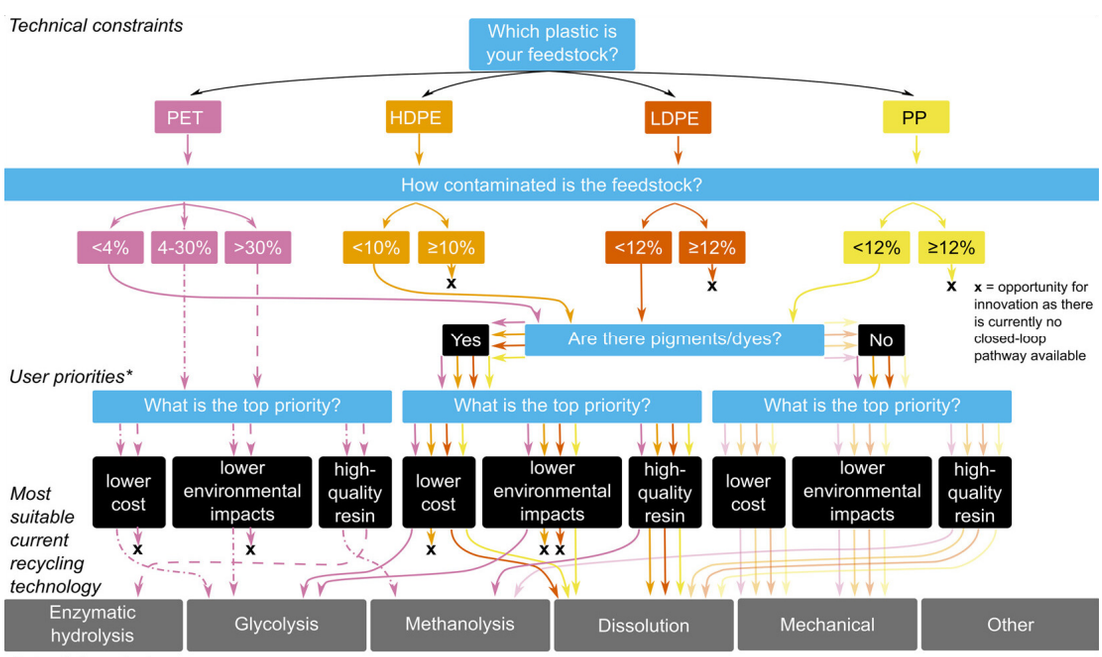
자료: Recycling Magazine, "Advanced Recycling on the rise(2024. 2. 23.)", https://www.recycling-magazine.com/2024/02/23/advanced-recycling-on-the-rise/, accessed: 2024. 8. 10.

그러나 화학적 재활용 방식, 특히 열분해 방식의 가능성을 과대평가해서는 안 된다는 주장도 함께 제기되고 있다. 화학적 재활용 기술은 아직 개발 초기 단계로 경제성과 공정의 탄소 중립성이 확실하게 증빙되지 않았다. 화학적 재활용 기술을 통해 기존 물리적 재활용 방식의 한계를 극복할 수 있다고 평가되는 것은 사실이나, 경제성과 탄소 중립성을 고려할 때 화학적 재활용 방식으로 모든 폐플라스틱을 처리하는 것은 적절하지 않다는 시각도 존재한다. 심지어 열분해 기술은 폐플라스틱의 자원순환을 오히려 방해할 수 있다는 주장도 제기되고 있다. 화학적 재활용 방식에만 집중한다면 세척·선별 등을 통해 물리적 재활용할 수 있는 폐플라스틱도 화학적 재활용 방식으로 처리될 수 있으며 이는 공정 전체의 탄소 배출량을 고려할 때 바람직하지 않을 수 있다는 것이다.

’24년 1월 미국 국립재생에너지연구소(NREL, National Renewable Energy Laboratory) 연구진은 미 연방정부 위탁 연구 사업보고서에서 화학적 재활용 방식 중 열분해 기술 등은 자원순환 효과가 높지 않아 재활용으로 보기 어렵다는 결론을 내렸다. Taylor Uekert et al.(2023)에 따르면 열분해 기술은 플라스틱에서 플라스틱을 생산하는 순환 구조보다 플라스틱-연료로 전환하는 단방향적 구조라는 것이다. 또한 화학적 재활용 공정은 고온이 발생하며, 불순물을 제거하고 재합성하는 등 추가 공정을 거쳐야 한다. 이 부분에서 대량의 화학물질과 탄소배출량을 발생하는데 이를 평가하는 방법론을 개발하고 환경 요소를 반영하면 화학적 재활용 방식의 실질적 경쟁력은 저하될 수 있다고 한다.[166)]

Taylor Uekert et al.(2023)는 따라서 폐플라스틱의 재질 및 오염 수준, 염색 여부, 최우선 목표(비용, 환경 영향, 재생원료의 품질) 등에 따라 물리적·화학적 재활용 방식을 선택해야 한다고 주장하였다. 플라스틱이 염색되지 않았으면 비용·환경·재생 플라스틱 품질 등 모든 측면을 고려해도 물리적 재활용이 합리적이라고 한다. 한편 자동차에 사용하는 플라스틱 대부분은 미관·디자인, 자동차 제조사의 브랜딩, 플라스틱 부품 내구성 개선, 고객 맞춤 서비스 등을 위해 염색된 경우가 대부분이다. 플라스틱이 염색되었으면 재질·재활용 시 우선 목표에 따라 물리적 재활용 방식(Dissolution)과 화학적 재활용 방식(Glycolysis, Methanolysis) 중 적합한 재활용 방식이 달라진다고 보았다.

[그림 4-3] 폐플라스틱 재질·특징 및 최우선 목표에 따른 적정 재활용 방식 트리



주: 동 선행연구는 자동차 유래 폐플라스틱의 재활용이 아니라 범용 플라스틱의 재활용 방식을 비교함. HDPE는 고밀도 폴리에틸렌(PE) 원료로 제작된 플라스틱(샴푸 병 등), LDPE는 저밀도 폴리에틸렌 원료로 제작된 플라스틱(비닐, 포장재 등)

자료: Taylor Uekert et al.(2023), Technical, Economic, and Environmental Comparison of Closed-Loop Recycling Technologies for Common Plastics, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 11 (3), pp. 965~978.

166) 특히 EU는 수입된 제품의 탄소 배출량을 기준으로 관세와 유사한 과징금을 부과하는 ‘탄소국경조정제도(CBAM)’를 도입할 예정인데, 향후 플라스틱 산업도 대상에 포함될 가능성이 높음. ’26년 1월부터 실제 과징금을 부과할 예정인데, 이를 고려하면 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱의 경제성이 크게 낮아질 수 있음

종합하자면 화학적 재활용 방식은 원료를 수급하기 쉽다는 강점이 있어 기업들이 기술개발·설비에 투자하고 있다. 또한 오염·염색·재질 복합성 등으로 재생원료를 생산하기 어려운 폐플라스틱도 화학적 재활용 방식을 통해 대체 연료 등을 만드는 원료로 사용할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 화학적 재활용 방식은 자원순환이라는 측면을 볼 때는 한계도 존재한다. 여러 추가 공정이 필요하며 그 과정에서 다량의 탄소가 배출되기 때문이다. 따라서 자원순환을 위한 화학적 재활용 공정의 가능성을 정확히 평가하기 위해서는 LCA 기준 탄소 배출량 평가방법론 정립 및 CO_2 저감 기술 개발이 필요하다고 평가된다.

또한 화학적 재활용 방식으로 폐플라스틱을 처리할 때도 수거·세척·선별 분야에 투자가 중요하다고 평가된다. 오염도가 높거나 재질별 분해가 어려운 복합 재질의 폐플라스틱을 공정에 투입하면 재생원료 등의 품질을 높이기 위해 추가 공정에 더 많은 에너지를 투입해야 하기 때문이다.

중장기적으로는 해체·재활용이 어려운 플라스틱 제품 생산을 억제하고 폐플라스틱 수거·세척·선별 기술 및 설비에 대한 투자가 필요하다고 평가된다.[167]

2. 사용후 배터리 회수·재활용 기술

2.1. 현행 관련 기술 수준

우리나라 배터리 제조 및 사용후 배터리 재사용·재활용 기술 수준은 선두그룹에 속한다고 볼 수 있다. '24년 2월 한국과학기술기획평가원은 이차전지 등 12대 국가전략기술 분야를 대상으로 '22년 기술 수준 평가보고서를 발간하였다.[168][169]

주요국의 이차전지 재사용·재활용 기술 수준 등 세부 기술에 대한 평가 결과를 보면 우리나라는 배터리 및 소재 분야에서 일본과 함께 세계 최고의 기술력을 보유한 것으로 나타났으며, 재활용·재사용 분야에서는 중국에 이어 2위 수준으로 평가되었다. 그러나 사용후 배터리 재사용·재활용 기술은 아직 개발 단계로 기술 자체의 개선, 상용화 추진, 원료 확보 등 해결해야 할 과제도 다수 존재한다. 본 절에서는 사용후 배터리 재사용·재활용 기업이 현재 주로 활용하고 있는 기술 및 개발 중인 기술에 대해 개관한다.

〈표 4-4〉 이차전지 분야 주요국 기술평가

(단위: %, 년)

구분	한국		중국		일본		EU		미국	
	배터리 및 소재	재사용·재활용	배터리 및 소재	재사용·재활용	배터리 및 소재	재사용·재활용	전지 및 소재	재사용·재활용	전지 및 소재	재사용·재활용
기술 수준(%)	100	95	90	100	100	82	80	80	82	80
기술격차(년)	0	1	1	0	0	1.8	5	3	2	2.3
수준 구분	최고	선도	추격	최고	최고	추격	추격	추격	추격	추격

자료: 한국과학기술기획평가원(2024), 2022 기술 수준 평가, 과학기술정보통신부

167) 뉴스트리, "[플라스틱 지구] 곧 닥치는 탄소장벽...'화학적 재활용' 능사인가?(2023. 10. 16.)", https://www.newstree.kr/newsView/ntr202310130015, accessed: 2024. 8. 10.

168) 전기차 배터리뿐만 아니라 모든 이차전지를 대상으로 함

169) 해당 보고서는 델파이 방식(Delphi Method)으로 기술 수준을 평가함. 델파이 방식은 전문가 5~20명의 경험적 지식을 청취하고 피드백을 받는 절차를 구조적으로 반복하여 얻은 합의로 최종 예측치를 도출함

2.1.1. 재사용

우리나라 기업은 그간 사용후 배터리 재사용보다는 재활용 기술개발에 관심을 가져왔으나 최근 재제조·재사용 기술개발에도 노력하고 있다. 우리나라 기업들이 재사용 기술개발에 관심을 두게 된 것은 사용후 배터리의 가치를 최대화할 필요성이 높아진 점, 그리고 최근 전기차 배터리로 LFP 배터리가 대두하는 점 때문이라고 할 수 있다.

사용후 배터리는 성능·상태를 진단하고 재사용에 적합하다고 판단하면 일반적으로 세척, 외관 검사, 정밀 검사, 분해, 등급 분류 및 재조립 등의 과정을 거쳐 재사용한다.

[그림 4-4] 사용후 배터리 재사용 공정도

자료: 제주연구원(2018), 2017년 제주 월간 전기차 리포트

배터리는 셀-모듈-팩 단위로 구성되며 사용후 배터리는 단위별로 재사용할 수 있다. 일반적으로 전기차 배터리의 최종 조립품인 배터리 팩 단위로 재사용하면 간단한 해체, 조립 공정만 거치면 된다는 점이 장점이다. 그러나 차량마다 배터리 팩 형태가 달라서 재사용 제품을 생산할 수 있는 범위가 한정적이며, 불량 모듈 또는 셀이 포함되면 성능이 저하되는 등의 한계가 있다. 한편 셀 단위로 재사용하면 불량 셀을 제거해 성능을 확보할 수 있으며 다양한 형태의 재사용 제품을 제조할 수 있다는 점이 장점이다. 그러나 셀 단위로 재사용하기 위해서는 해체 비용 및 난이도가 높아진다는 문제가 존재한다. 따라서 현재로서는 중간 단계인 모듈 단위에서의 재사용이 효율적이라고 여겨지고 있다.

〈표 4-5〉 배터리 구성단위별 사용후 배터리 재사용 장단점

구분	팩	모듈	셀
해체 난이도	낮음	중간	높음
장점	• 해체 비용 저렴 • 해체 후 단순 조립해 ESS 생산 가능 • 소형 ESS로 활용도 상승 예상	• 해체 비용 저렴 • 재활용 용도별 제한적 재구성 가능 • 일정 수준의 단위 체적당 에너지 밀도 확보	• 불량 셀에 대한 대처 가능 • 단위 체적당 에너지 밀도 높음 • 다양한 형태의 ESS 구성 용이
단점	• 특정 모듈 및 셀 불량 시 성능 저하 • 단위 면적당 에너지 밀도 저하	• 모듈 내 일부 셀 불량 시 성능 저하	• 모듈 해체 시간 및 비용 증가 • 모듈 해체 시 화재 위험 증가 • Test 소요 시간 및 비용 증가

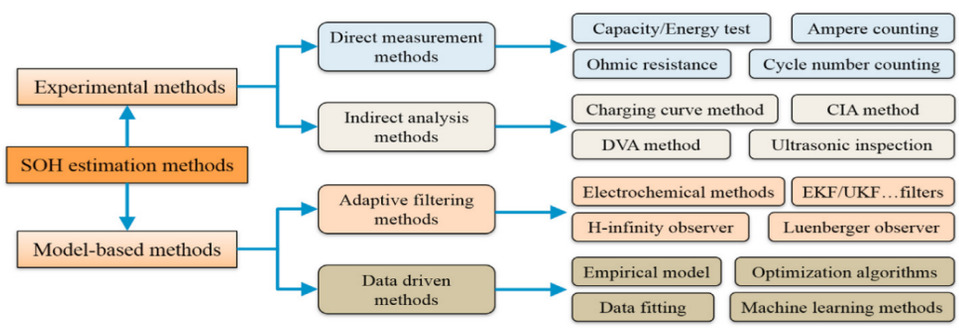
자료: 에너지경제연구원(2018), 전기차 사용후 배터리 거래 시장 구축을 위한 정책 연구

2.1.1.1. 배터리 진단

배터리 진단은 배터리 재사용 분야에서 가장 기술개발이 활발하게 이뤄지고 있는 분야 중 하나이다. 사용후 배터리 상태를 정확히 진단해야 작업의 안전성을 확보할 수 있을뿐더러 적합한 용도별로 배터리를 분류할 수 있다. 따라서 배터리 진단은 배터리 재사용뿐만 아니라 배터리 자원순환 전반에 있어 매우 중요한 과정이라 할 수 있다.

상술하였듯이 사용후 배터리는 통상 SoH를 기준으로 재사용·재활용으로 구분하기에, 배터리 진단에서는 그간 SoH 추정 및 측정에 관한 기술이 많이 개발되었다. SoH 추정 방식에는 여러 종류가 있는데, Hong, J., Wang, Z., et al.(2021)의 분류에 따르면 크게 실측 데이터 기반의 실험적 방식과 전기 모델 또는 빅데이터를 기반으로 한 모델 활용 방식 등 두 가지로 분류할 수 있다. 이후 실험적 방식은 완전 충방전을 통한 측정과 같은 직접 측정 방식과 간접 분석 방식으로 세분할 수 있으며, 모델 활용 방식은 머신러닝을 활용한 데이터 기반 방식과 적응형 필터 방식으로 세분할 수 있다.

[그림 4-5] 배터리 SoH 추정 기법 분류



자료: Hong, J., Wang, Z., et al.(2021), "Online accurate state of health estimation for battery systems on real world electric vehicles with variable driving conditions considered", Journal of Cleaner Production

배터리 상태를 진단할 때는 정확성과 신속성이 모두 중요하나, 이 두 가지는 상충 관계이다. 지금까지는 정확성에 초점을 둔 완전 방전 방식 등이 주로 개발되었다. 배터리를 충전했다가 방전하는데 최대 3일의 시간이 소요되는 것이 단점이다. 그러나 사용후 배터리가 대량 발생하기 시작하면 배터리 진단 속도를 개선할 필요성이 높아질 것으로 판단된다. 반면 소수의 평가 지표를 활용하는 진단 기법의 경우 빠른 진단이 가능하나 정확성이 떨어질 수 있다는 한계가 존재한다.

〈표 4-6〉 배터리 상태 진단 검사법 비교

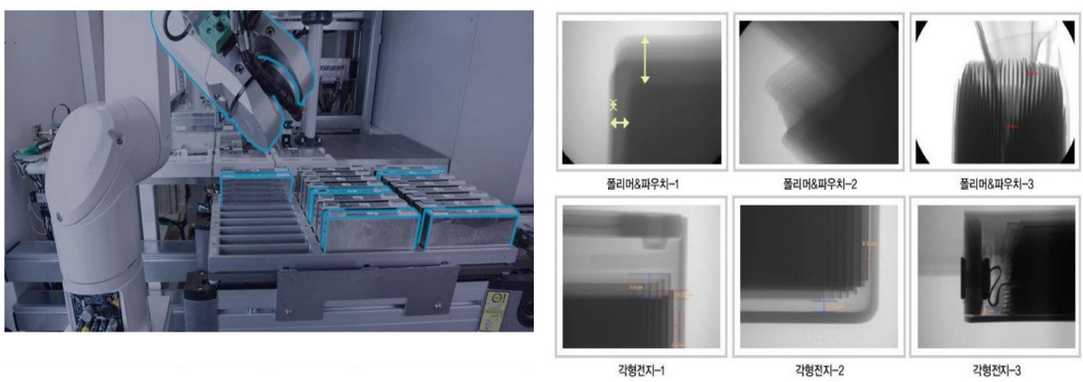
(단위: %)

구분	검사방법	비용	시간	정확도(%)
직류출력	• 열평형 후 부하 펄스 프로파일을 인가하여 전압, 전류를 측정 • BMS로부터 배터리 충전상태(SoC) 값 판독	약간 높음	10~20분	~90
완전 방전	• 상온(25°C)에서 공급자의 [Ah] 단위의 정격 C/3 용량에 준하는 정전류 방전율로 배터리팩의 용량 측정	매우 높음	2~3일	〉99
부분 방전	• 상온(25°C)에서 공급자의 [Ah] 단위의 정격 C/3 용량에 준하는 정전류 방전율로 배터리팩의 용량 측정(충전시간 8시간 미만)	매우 높음	1일 이내	〉95
교류 임피던스	• 열평형 후 교류 임피던스를 측정하여 직렬 및 병렬 임피던스, 병렬 커패시턴스 측정 • BMS로부터 배터리 충전상태(SoC) 값 판독	낮음	10분 이내	~90

자료: 이베스트투자증권 및 민테크 자료 재구성

그 외에도 사용후 배터리를 비전기화학적으로 진단하는 기술도 개발되고 있다. 초음파·CT·X-ray 등 다른 산업에서 활용되어 온 기술을 활용하는 것이다. 해당 기술들은 직관적으로 내부 손상 여부를 판단할 수 있으며, 비파괴적이기에 안전하고 분석 시간도 짧다는 장점이 있다. 그러나 초기 장비 설치비용이 높고, 무엇보다도 사용후 배터리 성능진단 능력에 한계가 있다는 단점이 있다.

[그림 4-6] CT 활용 배터리 진단 예시

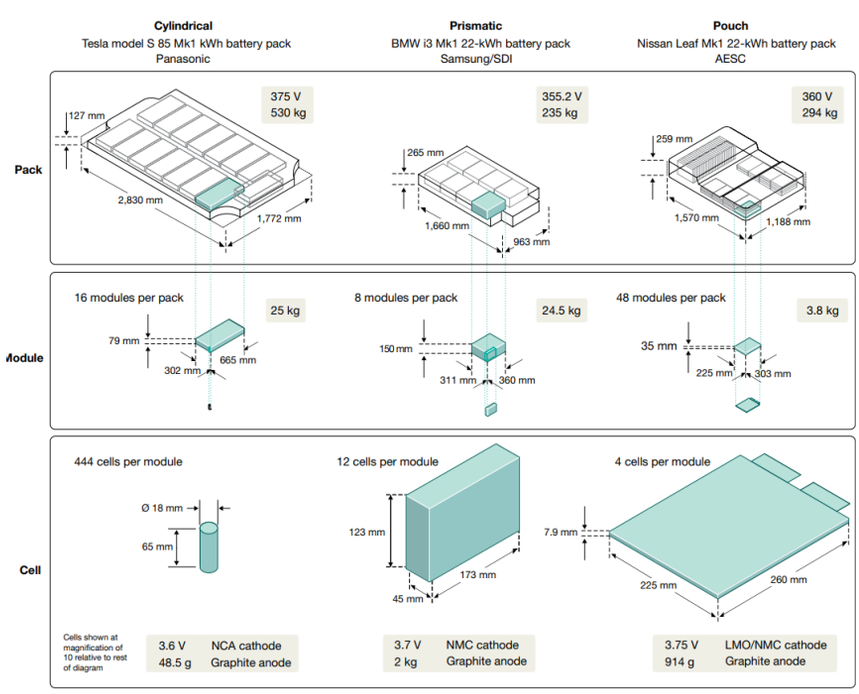


자료: 민테크(2023), 전기차 사용후 배터리 3세대 진단 기술 동향

2.1.1.2. 배터리 해체

배터리 해체는 배터리 자원순환 과정 중 자동화가 어려운 대표적인 노동집약적 과정이다. 자동화가 어려운 이유는 차량별, 배터리별 화학물질 구성 비율이나 물리적 구조가 다르기 때문이다. 전기차는 차량마다 구조가 다르고 배터리 패키징도 파우치형, 각형, 원통형으로 다르다. 이 때문에 초기에 사용후 배터리를 분리 선별하여 재활용 용도를 판단하기 어려우며, 배터리 해체 기술 발전도 지연되고 있다.

[그림 4-7] 배터리 패키징 방식별 구조 차이



자료: Harper, G., Sommerville, R., et al.(2019), “Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles”, Nature

그간 배터리 탈거 및 해체 작업은 수작업으로 진행되면서 오랜 시간이 소요되어 효율성이 떨어질 뿐만 아니라 안전성 문제가 존재했다, 작업자의 경험 부족으로 탈거 및 해체 과정에서 배터리 셀이 손상되는 경우도 종종 발생했다. 더욱이 현재는 사용후 배터리 배출량이 적어 작업자가 현장에서 실제로 해체 경험을 쌓을 기회도 많지 않아 숙련도를 높이기도 어려운 상황이다.

효율성과 안전 문제를 해결하기 위해 로봇 등을 활용한 자동 해체 기술이 주목받고 있다. 그러나 마찬가지로 현재는 사용후 배터리 배출량이 많지 않고 공개된 배터리 관련 정보도 많지 않아 기술개발에 필요한 데이터가 부족한 상황이다.

앞으로 우리나라에서 사용후 배터리 재사용·재활용을 활성화하기 위해서는 사용후 배터리의 열화도, 화학물질 구성 비율, 물리적 구조 등을 확인할 수 있는 시스템을 구축하고 자동차·배터리 제조사 및 재활용업자 등이 데이터를 연계·활용할 수 있도록 할 필요가 있을 것이다.

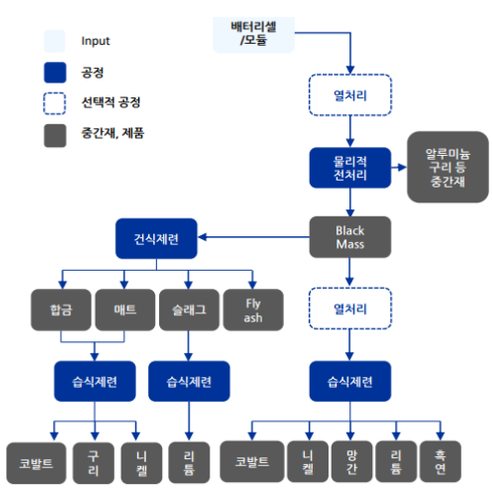
2.1.2. 재활용

사용후 배터리 재활용은 재제조·재사용이 어려울 정도로 성능이 저하된 배터리에서 니켈·코발트·망간 등 희소 금속과 알루미늄·구리·플라스틱 등 원재료를 다시 활용할 수 있도록 회수하는 기술이다. 현재 우리나라에서는 SoH가 60% 이하로 저하된 사용후 배터리를 재활용 용도로 처리하고 있다.

사용후 배터리 재활용은 배터리 입고 후 방전·파쇄 등의 과정을 거쳐 블랙매스를 만드는 전처리 공정과 블랙매스에서 금속을 추출하는 후처리 공정으로 구분된다. 이 중 기술적 난이도가 상대적으로 높은 것은 후처리 공정으로, 주요 후처리 공정에는 고온을 활용한 건식공정과 유기 용매를 활용한 습식공정 등이 있다.

배터리 재활용의 경제성과 효율성은 원료 회수율에 좌우된다. 일반적으로 업계에서는 원료를 50% 이상 회수할 수 있어야 경제성을 확보한다고 보고 있다.[170] 배터리별 종류별로 희소 금속 함유량이 다르며 기업의 재활용 공정에 따라서도 원료 회수율에 차이가 크기 때문이다. 다만 일반적으로 습식 제련 공정이 건식 제련 공정에 비해 리튬 등 희소 금속을 상대적으로 많이 회수할 수 있다고 평가되고 있다. 최근에는 원료 회수율을 높이기 위해 직접 재활용(Direct Recycling) 기술 등도 개발되기 시작하였으나 아직 상용화 사례는 부족하다.

[그림 4-8] 사용후 배터리 재활용 공정도



자료: 박종선(2022), 폐배터리 산업 본격 성장을 앞두고 이륙 준비 중, 유진투자증권.

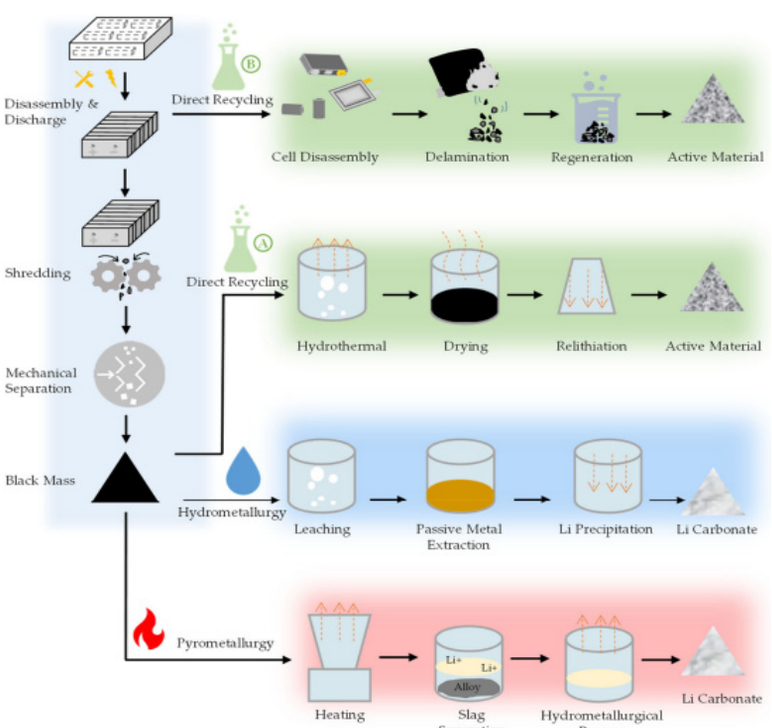
170) DealSite, “한국 폐배터리 원재료 회수율이 턱없이 낮은 까닭(2022. 10. 7.)”, https://dealsite.co.kr/articles/92793, accessed: 2024. 6. 3.

〈표 4-7〉 사용후 배터리 재활용 후처리 공정 비교

구분	건식	습식	직접 재활용
개요	• 사용후 배터리를 고온에서 용융시켜 유가금속 추출	• 블랙 파우더를 산으로 녹여 화학반응에 의해 유가금속 추출	• 양극재 등 특정 물질만 직접 회수해 재사용
장점	• 자유로운 원료 배합 • 분류 불필요 • 상업적 검증 완료 • 대량 처리 가능	• 저온/저에너지 사용 • 고순도 추출 가능 • 리튬 및 망간 회수 가능 • 상대적으로 저렴한 투자비	• 최소한의 공정으로 원료 회수 • 양극 구조 유지 • LFP 배터리에 적용 가능 • 저온/저에너지 사용
단점	• 코발트, 니켈 외 금속 회수 어려움 • 높은 투자비 • 고온 발생	• 전처리 과정 필요 • 폐수 정화 시설 필요	• 단일 양극재에 적합 • 상업화 사례 부족
활용 기업	• Umicore(벨기에), Glencore (캐나다), Valdi(프랑스), Inmetco(미국)	• Brunp(중국), Huayou Cobalt (중국), Li-Cycle(캐나다, 미국), 성일하이텍(한국)	• Onto Technology(미국), Princeton NuEnergy(미국), 에이비알(한국)

자료: SNE Research(2024), 성일하이텍(2024) 등 참고하여 저자 정리

[그림 4-9] 사용후 배터리 재활용을 위한 전처리, 후처리 공정

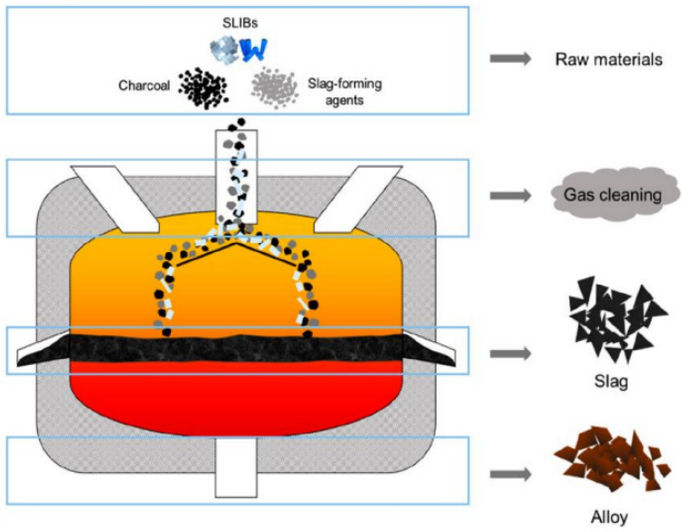


자료: Wu, S., Kaden, N., Dröder, K(2023), "A Systematic Review on Lithium-Ion Battery Disassembly Processes for Efficient Recycling", Batteries

2.1.2.1. 건식공정

건식공정은 고온에서 금속을 환원시켜 추출하는 방식이다. 1차로 150~500°C에서 가열해 유기 용매 등을 제거한 후 2차로 약 1,000°C로 가열, 환원제를 활용하여 금속을 추출한다. 용융로에서 녹은 원료 물질은 밀도 차이로 인해 상부 슬래그와 하부 합금 층으로 분리되는데, 니켈·코발트의 녹는점이 각각 다른 점을 활용하여 합금 층에서 유가 금속을 회수할 수 있다. 다만 리튬과 망간의 경우 환원되지 않고 상부 슬래그에 잔류하게 되어 회수가 어려운데, 추가 습식공정을 통해 일부를 회수할 수 있다고 한다.

[그림 4-10] 배터리 재활용 건식공정 과정



자료: Biswal, B., Zhang, B., et al.(2024), "Recycling of spent lithium-ion batteries for a sustainable future: recent advancements", Royal Society of Chemistry.

건식공정은 과정이 비교적 단순해 난도가 낮다는 장점이 있으나, 고온의 용융로가 필요하기에 에너지 비용과 시설 비용이 상당히 요구된다는 단점이 있다. 또한 리튬 회수가 비교적 어렵다는 점도 단점으로 평가된다.

2.1.2.2. 습식공정

습식공정은 전처리 공정에서 나온 블랙매스를 화학적으로 처리하여 금속을 추출하는 방식으로, 기본적으로 블랙매스를 산 용액에 침출시키는 과정과 이후 유가 금속을 회수하는 과정으로 구성된다. 침출 공정으로는 선택적 침출 공정이 활용되고 있는데, 이는 물질별로 용해도가 다른 점을 활용하여 특정 금속을 선택적으로 침출시키는 방식으로 금속의 회수율을 높일 수 있다는 장점이 있다. 회수 단계에서의 주요 공정으로는 용매 추출 방식이 있는데, 이는 특정 금속과 높은 선택적 화학반응 특성을 갖는 용매를 활용하여 금속을 추출하는 방식이다.

침출 및 회수 과정 모두 용액의 농도 및 온도, pH 등의 세부 조건들을 세밀하게 관리하는 것이 핵심으로, 이를 통해 회수 금속의 순도가 결정된다고 한다. 이처럼 습식공정은 건식공정과 비교했을 때 비교적 높은 순도의 금속 추출이 가능하며 고온의 용융 과정이 필요하지 않아 관련 에너지 및 시설 투자비가 덜 요구된다는 장점이 있다. 그러나 침출 과정에서 산을 활용하기에 폐수가 발생한다는 단점이 있다.

[그림 4-11] 배터리 재활용 습식공정을 통한 물질 추출 과정

자료: IBK 투자증권(2023), ESG 순환경제, 배터리 리사이클링

한편 최근에는 건식과 습식공정을 같이 활용하는 사례도 확인되고 있는데, 전처리 공정에서 배터리를 건조 분쇄하여 후처리 단계에서 건식 및 습식공정을 차례대로 적용함으로써 공정별 장점을 최대한 활용할 수 있다고 한다. 다만 현재는 습식공정만을 활용하는 기업이 96% 이상으로 대다수이다.[171)]

2.2 향후 발전 방안

최근 자원으로서 사용후 배터리의 중요성이 대두하면서 배터리 재사용·재활용 분야에서 다양한 기술이 개발되고 있다. 그러나 관련 산업을 활성화하기 위해서는 공정의 친환경성, 경제성, 안정성 등과 관련하여 더욱 많은 기술개발이 필요한 상황이다.

사용후 배터리 재사용 분야에서는 배터리 상태 진단·해체 과정에서 기술의 신속성과 정확성 등의 개선이 관건으로 평가된다. 앞서 설명한 바와 같이 사용후 배터리는 수거 후 진단 및 해체 과정을 거쳐 재사용·재활용 등으로 분류하여 관련 기업에 공급된다. 사업성을 위해서는 특히 진단·해체 기술의 신속성이 중요하다. 또한 정밀 진단 및 해체 기술의 개발도 필요하다. 사용후 배터리 상태를 정확히 진단해야 각 배터리를 용도별, 효율적으로 분류할 수 있으며 재활용 과정의 안전성도 담보할 수 있다. 또한 고도화된 정밀 해체 기술을 도입하여 배터리 해체 과정에서 발생하는 손실을 최소화하여야 재사용·재활용 물질의 양도 최대한 늘릴 수 있고 폐기물도 줄일 수 있다.

사용후 배터리 재활용 분야에서는 경제성과 친환경성 개선이 관건으로 평가된다. 사용후 배터리 후처리 공정은 습식공정과 건식공정으로 구분할 수 있다. 앞서 설명한 바와 같이 현재는 많은 기업들이 사용후 배터리 후처리 시 습식공정을 활용하고 있는데, 습식공정의 경우 침출 과정에서 황산과 염산 등의 유해화학물질을 사용하기에 폐수가 발생하게 된다. 따라서 폐수 처리 시설을 추가로 구축할 필요가 있다. 따라서 폐수를 얼마나 경제적, 친환경적으로 처리할 것인지가 중요한 이슈라고 할 수 있다. 건식공정의 경우 습식공정에 비해 원료 배합이 자유롭고 대규모 재활용이 비교적 쉽다는 장점이 있으나 리튬 등 일부 금속의 회수가 어렵다는 단점이 있다. 고온으로 처리하는 공정에서 탄소 배출량을 절감할 필요성도 존재한다.

사업성을 위해 재활용 기술을 고도화시켜 희소 금속의 회수율과 순도를 개선하는 것 또한 당면 과제 중 하나다. 현재 글로벌 사용후 배터리 발생량은 많지 않으며, 앞으로도 주요국은 사용후 배터리 원료를 확보하기 위해 경쟁을 벌일 것으로 예상된다. 따라서 다수의 사용후 배터리 재활용 기업이 원료 확보 문제를 겪을 전망이다. 따라서 재활용 기술을 고도화하여 희소 금속 회수율과 순도를 개선하는 것 또한 사업성을 위해 당면 과제 중 하나다.

한편 우리나라 중소벤처기업부는 '2024년 중소기업 전략기술 로드맵'에서 사용후 배터리 재사용·재활용에 필요한 핵심기술로 상태 진단 기술, 관련 장비 개발을 각각 선정하였으며 배터리 상태를 정확하고 빠르게 진단하는 기술개발이 필요하다고 평가하였다. 또 전구체 제조 및 고순도화 공정을 핵심기술로 선정하였는데 이 기술은 재활용 공정 중 하나인 직접 재활용 기술개발과 연결된다.

일본 도레이 경영연구소는 사용후 배터리 회수·진단 기술 외에도 재활용 비용 저감 기술, 친환경성 제고 기술개발이 필요하다고 평가하였다. 또한 배터리 재사용·재활용을 활성화하기 위해서는 배터리 제조 과정에서 해체·재활용을 고려한 설계가 필요하다고 언급하였다.

171) 성일하이텍(2024), 2024 SNE Battery Day 발표자료

〈표 4-8〉 '24년 중소벤처기업부 사용후 배터리 재사용·재활용 연구과제 핵심기술 리스트

구분	핵심기술	개요	세부 내용
사용후 배터리 재사용	사용후 배터리 현황 진단 장비 제조 기술	• 사용후 배터리의 잔존용량, 안전성 등 상세 분석을 거쳐 잔존가치 산정. 이후 재사용 여부 진단 기술 및 관련 평가 장비 개발	• 성능진단용 임피던스 측정장치 개발 • 상기 장치를 활용해 배터리 상태와 재사용·재활용 적합 여부를 단시간에 판단할 수 있는 기술 및 장치 개발
	배터리 팩 분리 및 회수 기술	• 재사용 용도 사용후 배터리의 탈거·해체 작업에 대한 최적화 공정 및 설비 기술	• 셀 단위 해체 시 발생하는 물리적 충격과 그에 따른 특성 변화를 최소화하고 신품(Fresh) 셀과 동일한 형태로 가공해 재활용 가능한 기술개발 • 충격 여부와 특성 변화를 감지하는 파괴도 측정 기술 필요, 해체 정밀성 판단 기술개발 추진
	재생 배터리 운영관리 시스템 구축 기술	• 용도별로 최적화된 BMS 설계·제조와 충·방전 최적 운영 기술	• 사용후 배터리 재활용에 따른 용도별 최적화된 설계, 진단, 충·방전 관련 인터페이스 모듈 개발
사용후 배터리 재활용	사용후 배터리 수집 및 해체 기술	• 사용후 배터리 수집 체계 구축 및 안전 기반 보관/운송 기술개발 • 해체 기술, 2차 폐기물 최소화 분리 선별 기술	• 수집 체계를 위한 배터리 관리 시스템 • 안전 기반 보관/운송을 위한 실시간 모니터링 • 해체 자동화 시스템 및 분리 고도화
	사용후 배터리 상태 진단 및 모니터링 기술	• 사용후 배터리 잔존가치를 신속·정밀하게 진단하는 기술 • 안전성 모니터링 및 방전 기술	• 완전 충·방전 대비 SoH 측정값 3% 이내 오차 범위의 신속 진단 기술 • 방전 시 배터리 팩 상태를 실시간 모니터링하는 기술
	사용후 배터리 재사용 기술	• SoH가 높은 사용후 배터리의 재사용을 위한 재제조, 재사용 기술	• 모듈별 해체 및 재조립 기술 • 재사용을 위한 BMS 설계 기술 • 재사용 안전 및 품질 인증을 위한 시험검사 기술
	사용후 배터리 회수 자원 전구체 제조 및 고순도화 공정 기술	• 회수한 금속의 전구체 제조 기술 • 회수한 금속의 고순도화 공정 기술	• 전구체 원료화 • 고순도화 정제 기술 • 직접적 사용을 위한 분리선별 고부가화 기술

자료: 중소벤처기업부(2024a), 중소기업 전략 기술 로드맵 2024~2026 전략품목 환경분석-사용후 배터리 재사용 시스템, 중소벤처기업부 ; 중소벤처기업부(2024b), 중소기업 전략 기술 로드맵 2024~2026 전략품목 환경분석-폐배터리 재활용 시스템, 중소벤처기업부.

〈표 4-9〉 일본 도레이 경영연구소 선정 배터리 재사용·재활용 분야 과제

과제	내용
재사용 가능한 배터리 설계	안전하게 분해하고 셀을 교체하여 재사용할 수 있도록 설계 및 모듈화 필요
재사용에 적합한 배터리 보급	저렴하고 수명이 긴 LFP 배터리가 주목받고 있으나 재활용 측면에서는 경제성 낮음
사용후 배터리 회수	중고 전기차 수출로 배터리가 해외로 유출되고 있어 사용후 배터리 회수 강화 필요
사용후 배터리 잔존 가치 진단	배터리 잔존가치 판단을 위한 배터리 탈거, 충방전, 측정에 오랜 시간(약 1일)이 소요됨. 배터리 재사용의 신뢰성과 경제성을 위해 진단기술 비용 절감, 신속화, 효율 개선 등 필요
재활용 비용 절감	정제 및 중간처리(해체·로스팅·분쇄·선별 등) 공정이 배터리 재활용의 총 비용 중 대부분을 차지하며, 고순도로 금속을 회수할 경우 재활용 비용이 금속 가격을 초과할 수 있음
新 재활용 기술개발	경제성 향상, 탄소 배출량 저감을 위해 저비용·저온처리 재활용 기법 확립 필요
LCA(전과정평가)	배터리 재사용·재활용은 배터리 제조 과정의 탄소 배출량은 저감할 수 있으나, 재활용에 대한 LCA 연구나 배출량 데이터 확보는 미흡한 실정
공급망 연계	배터리, 자동차, 화학등 다양한 업계와 재활용 기업 간 협력 필수

자료: 株式会社東レ経営研究所(2023), 特集 脱炭素化のカギを握る蓄電池産業の役割と今後の注目点② サーキュラーエコノミーの先行事例としても注目される蓄電池のリユース・リサイクル

이에 따라 최근에는 사용후 배터리 재사용·재활용 공정의 친환경성과 경제성, 안전성 등을 개선하는 기술이 개발되고 있다. 재사용 분야에서는 로봇과 데이터 분석 등 기술을 접목하여 배터리 진단·해체 과정에서 정확성과 신속성을 개선하는 연구가 주로 진행되고 있다. 한편 재활용 분야에서는 공정의 친환경성을 높이고 금속 추출 효율을 개선하여 경제성을 높이기 위한 직접 재활용·리튬 선 침출·친환경 침출 등의 연구가 진행되고 있다. 세부 기술 동향에 대한 설명은 [부록]에서 확인할 수 있다.

PART 5

결론과 시사점

1 자동차 산업 내 플라스틱 순환이용 촉진

2 사용후 배터리 국내 순환이용 촉진

3 산업 간, 기업 간 협력체계 강화

PART 5

결론과 시사점

앞서 살펴본 바와 같이 최근 자동차 자원순환이 환경적, 경제적 측면에서 중요한 과제로 대두하면서 주요국은 자동차 자원순환 정책을 강화하고 있다. 그러나 원활한 자동차 자원순환 환경 구축에는 아직 관련 법제 및 관리 기반이 미비한 측면이 있다. 이에 주요국은 시급성이 가장 높은 사용후 배터리를 중심으로 세부 방안을 마련하고 있다. 우리나라 또한 '24.7월 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안'을 발표하는 등 관련 기술개발 및 기반 구축을 추진할 예정이다. 아래에서는 지금까지 살펴본 내용을 정리하고 자동차 자원순환 현황과 문제를 개선하기 위한 시사점을 제시하고자 한다.

1. 자동차 산업 내 플라스틱 순환이용 촉진

제2장에서 살펴본 바와 같이 자동차 경량화를 위해 플라스틱, 특히 복합 플라스틱 사용이 증가할 전망이나 플라스틱은 물질 특징상 정책적 개입이 없이는 회수·재활용이 이루어지기 어렵다. 현재 우리나라를 비롯한 주요국은 생산자 책임재활용제도(EPR) 등을 통해 플라스틱 생산자에 회수·재활용 의무를 부과하고 있다.

특히 사용후 자동차(폐자동차; End of Life Vehicle; ELV)에서 배출되는 폐플라스틱은 여타 폐플라스틱에 비해 회수·재활용이 어렵다고 평가된다. 자동차는 구조가 복잡하고 여러 소재를 함께 사용하기 때문에 그 안에 탑재된 플라스틱을 탈거·회수하기 어려우며 자동차가 생산된 후 폐기되는데 수년 이상의 시간이 소요되기 때문이다.

이에 EU 등은 관련 법제를 개정하여 자동차 생산, 폐기 단계에 플라스틱 재활용을 의무화할 예정이다. '00년에 EU가 ELV 규칙을 제정한 이래, 해당 법제는 사실상 글로벌 자동차 자원순환 규제 기준으로 작용하고 있다. 그러나 EU는 현행 법제는 플라스틱 재활용 등에 한계가 있다고 보고 '23년 7월 ELV 규정 개정안 초안을 발표했다. EU ELV 규정 개정안은 글로벌 자동차 자원순환 규제 방향성을 크게 좌우할 것이라 예상된다. 그런데 EU ELV 규정 개정안은 생산 단계에서 신차에 재생 플라스틱 사용을 의무화하고, 자동차 폐기 단계에서 플라스틱 재활용을 의무화하는 내용을 담고 있다. 세부 내용은 논의 과정에서 조정될 수 있으나, 자동차 생산 및 폐기 단계에서 플라스틱 재활용을 의무화한다는 큰 방향성은 확정적이라고 평가된다.

이와 같은 현황을 고려할 때. 자동차 산업 내 플라스틱 자원순환을 촉진하기 위해서는 물리적·화학적 재활용 기술 개발지원, 플라스틱 선별·수거·세척 지원, 플라스틱·재생 플라스틱 통계 체제 구축, 비유가성 물질의 재활용을 촉진하기 위한 중장기 방안 등이 필요하다고 판단된다. 구체 방향성과 이유는 다음과 같다.

첫째, 물리적 재활용 방식과 함께 화학적 재활용 방식을 함께 개발할 필요가 있다. 폐자동차 유래 플라스틱 재활용률을 높이고 소비자 수요에 대응하기 위해서이다. 폐자동차 유래 플라스틱은 화학적 재활용 방식으로 처리할 필요가 있다. 현재 플라스틱 재활용 방식 중 물리적 재활용이 경제성이 높고 탄소배출량은 낮은 것으로 평가된다. 다만 물리적 재활용 방식으로 재활용할 수 있는 플라스틱의 범위·질이 한정적으로 폐자동차 유래 폐플라스틱을 재활용하는데 한계가 있다. 특히 폐자동차 재활용률을 높이기 위해서는 파쇄잔재물(ASR)에서 폐플라스틱을 회수·재활용할 필요가 있다고 평가되나, 물리적 재활용 방식으로는 처리가 어려워 화학적 재활용

방식이 필요하다. 또한 소비자 수요, 안전성 규제 등을 고려할 때 자동차 생산 시 신품(virgin) 플라스틱과 동등한 수준의 안전성·내구성을 갖춘 고품질 재생 플라스틱이 필요하다. 그러나 물리적 재활용 방식으로 생산된 재생 플라스틱의 품질은 신품 플라스틱보다 낮아지므로 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱이 필요하다.

다만 EU 환경규제 세부 내용을 고려할 때, 자동차 유래 폐플라스틱의 순환이용을 위해서는 물리적 재활용 방식과 화학적 재활용 방식을 함께 활용하는 것이 적절할 것으로 판단된다. 제4장에서 살펴본 바와 같이 화학적 재활용 방식은 물리적 재활용 방식에 비해 더 많은 양의 탄소를 배출한다. 향후 EU 탄소국경조정제도(CBAM) 대상에 플라스틱 산업도 포함될 것이 유력한데, 화학적 재활용 방식으로 생산된 재생 플라스틱 등에 대해서는 탄소 배출량에 대한 추가 비용이 가산될 수 있다. 또한 '23년 7월 제시된 EU ELV 규정 개정안 초안은 물리적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱만을 실적으로 인정한다. EU 역내 자동차·플라스틱 업계는 재생 플라스틱 사용 의무 규제로 인해 부담이 크다고 주장하고 있다. 따라서 물리적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱 뿐만 아니라 화학적 재활용 방식으로 생산한 재생 플라스틱도 실적으로 인정해야 한다고 주장하였다. EU ELV 규정 최종안의 향방에 따라 자동차 산업 내 화학적 재활용 방식의 필요성과 중요성이 결정될 전망이나, 현실적으로 물리적 재활용 방식과 화학적 재활용 방식을 함께 활용해야 할 것으로 평가된다.

둘째, 플라스틱 선별·수거·세척 분야에 대한 지원이 필요하다. 현행 물리적 재활용 방식으로 재생 플라스틱 생산 등 재활용할 수 있는 플라스틱은 단일 재질의 오염·염색이 없는 고품질 플라스틱으로 한정되기 때문이다. 또한 화학적 재활용 방식으로 재활용하더라도 수거·선별이 제대로 되지 않아 플라스틱 내 이물질 혼입 정도가 높은 경우 경제성이 저하될 수 있다.[172]

우리나라는 생산자책임재활용제도(EPR)를 통해 생활계 플라스틱을 분리수거하고, 재활용 실적에 따라 플라스틱 원료재생업과 선별업, 플라스틱 재활용업자 등에 일부 금액을 지원하고 있다. 그러나 대기업 위주로 재활용 산업생태계가 구성된 EU와 달리, 우리나라는 플라스틱 선별·수거 산업생태계가 주로 영세 중소기업 위주로 구성되어 있어 기술개발·시설에 투자하기 어려운 상황이다.[173] 이 때문에 플라스틱 수거·선별 수준이 낮고 고품질 플라스틱 원료 확보가 어려워 규모의 경제를 달성하기 어려우며, 재활용 기술개발 및 실제 재활용률은 EU 등에 비해 낮은 상황이다. 따라서 중소기업의 플라스틱 원료재생업, 선별업 분야 기술개발·설비 구축에 대한 지원과 함께 충분한 원료를 수급할 수 있도록 체계를 정비하여 관련 산업생태계 지속 가능성을 제고할 필요가 있다. 고품질 플라스틱은 물리적 재활용 방식으로 처리하고, 중품질 플라스틱은 화학적 재활용 방식으로 처리하도록 하는 등 플라스틱 품질을 판단하고 그에 따라 재활용 방식을 결정하는 등폐플라스틱 선별 품질을 기준으로 플라스틱 재활용 인프라를 구축하는 방안 등을 검토할 수 있다.

셋째, 우리나라의 플라스틱과 재생 플라스틱, 그 원료에 대한 통계체계가 미비한데 이를 구축할 필요가 있다. 플라스틱 자원 흐름을 파악하기 위한 통계는 필수적으로 구축해야 하는 상황이다. 우리나라는 UN 플라스틱 협약에 참여하고 있는데, '24년 말 동 협약이 제정되면 각 정부는 플라스틱 제품 종류·수량을 모니터링하는 체계를 의무적으로 구축해야 하기 때문이다.[174] 특히 사용후 자동차(폐자동차) 유래 폐플라스틱 재활용이 의무화될 예정이므로 폐자동차 유래 폐플라스틱에 대한 세부 통계를 구축할 필요가 있다.

넷째, 중장기적으로 플라스틱 등 비유가성 물질의 재활용을 촉진하는 방안을 모색할 필요가 있다. 앞서 제2장에서 우리나라는 폐자동차 재활용률 목표를 95%로 설정하고 있으나, 현재 우리나라는 이를 달성하지 못하고 있는 것으로 추정된다. 자동차 생산 시 플라스틱 사용량이 증가하고 있는 만큼, 폐자동차와 그 파쇄잔재물(ASR) 내

172) 김소희(2023), 토론문, 국회 폐플라스틱 원료부족 해결방안 정책토론회 발표자료(2023. 12. 1.), 이주환·구자근 의원실.

173) 참고로 플라스틱 물리적 재활용 산업은 우리나라 대-중소기업 상생협약에 따라 중소기업이 담당하기로 합의된 영역임. 우리나라 플라스틱 원료선별업, 재생업자 대부분은 영세한 중소기업으로 대규모 투자를 하기 어려워 지원이 필요하다고 평가됨

174) 국제신문, "[해양수산칼럼] 유엔 플라스틱 협약 대응전략 재점검해야(2023. 12. 24.)", https://www.kookje.co.kr/news2011/asp/newsbody.asp?code=1700&key=20231225.22017007948, accessed: 2024. 7. 26.

플라스틱을 회수·재활용하지 않고서는 폐자동차 재활용률 목표는 달성하기 어렵다고 평가된다. 그런데 플라스틱 등은 재활용 비용에 비해 그 산출물을 활용하여 얻을 수 있는 수익이 낮다. 자동차 업계의 자발적 협약에 따라 일부 자동차 유래 폐플라스틱을 회수·재활용하고 있었으나 그 실적은 한정적이다.

'21년 산업통상자원부는 폐자동차 재활용률 목표를 달성하기 위해 폐자동차 유래 비유가성 물질 재활용을 확대할 필요가 있다는 방향성을 제시한 바 있다.[175] 이에 우리나라는 '23년부터 자동차 유지보수용 부품 5가지를 EPR 제도 대상에 포함하기 시작하였다. 다만 앞으로 글로벌 자동차 자원순환 관련 법제가 더욱 강화될 것으로 예상되므로 자동차 자원순환을 촉진하기 위한 추가 조치에 대한 후속 연구가 필요할 수 있다. 본 보고서는 주로 사용후 자동차 및 그 폐자원의 흐름을 분석하고, 주요국의 관련 정책 및 기술 동향 분석에 주력하였다. 본 보고서에 기반하여 자동차 자원순환 관련 기업(자동차 제조·수입업자, 해체재활용업자, 파쇄재활용업자, 파쇄잔재물재활용업자, 폐가스류처리업자)에 구체적인 재활용 의무를 부과하는 방안 또는 EPR 제도 대상 자동차 부품의 범위를 확대하는 방안 등을 후속 연구에서 검토할 수 있을 것이다.

2. 사용후 배터리 국내 순환이용 촉진

사용후 배터리 산업 활성화는 전기차·배터리 산업경쟁력에 중요한 요인으로 평가된다. 배터리 회수 및 순환이용 과정에서 리튬·니켈·코발트 등 희소 금속의 채굴 등에서 발생하는 온실가스 배출량을 줄일 수 있고, 희소 금속 관련 글로벌 공급망 리스크도 완화할 수 있기 때문이다. 또한 전기차 사용수명 등을 고려할 때, '30년 이후 대량의 사용후 배터리가 국내외에서 배출될 것으로 예상되는데 이를 제대로 처리하지 않으면 폐기물이 급증하게 된다. 따라서 우리나라 전기차·배터리 산업경쟁력을 제고하기 위해 사용후 배터리 재제조·재사용·재활용 기반을 선제 구축하고 관련 산업을 활성화할 필요가 있다.

사용후 배터리 산업 활성화의 당면 과제 중 하나로는 사용후 배터리 회수 및 확보를 들 수 있다. 사용후 배터리 재제조·재사용·재활용 기술개발에는 원료인 사용후 배터리가 필요하지만, 현재 그 양이 부족하여 기술개발이 지연되고 있기 때문이다. 또한 현재는 사용후 배터리 처리 설비용량에 비해서도 사용후 배터리 공급량이 부족한 상황으로 사용후 배터리를 충분히 확보하여 경제성을 확보할 필요가 있다. 더욱이 주요국에서 신품 배터리 생산 시 재생원료 사용을 의무화하는 정책을 도입하고 있다는 점을 고려할 때, 사용후 배터리 회수 및 확보가 중요하다는 점을 알 수 있다.

사용후 배터리에 대한 주요국의 정책을 살펴보면 우리나라 사용후 배터리 산업 활성화를 위해 더욱 적극적인 움직임이 필요하다는 점을 알 수 있다. 앞서 보고서 제3장 제2절에서 살펴본 바와 같이, EU·중국 등 주요국은 사용후 배터리 및 그를 전처리한 블랙매스(Black Mass)를 확보하기 위해 법제개편을 추진하고 있다. EU는 사용후 배터리와 블랙매스를 유해폐기물로 지정하여 역외 반출을 방지하려 하고 있다. 중국은 반대로 현재 사용후 배터리와 블랙매스를 고체폐기물로 보고 수입을 금지하고 있으나, 원료를 확보하기 위해 수입을 허용하는 방안을 검토하고 있다. 주요국의 정책 동향을 고려할 때, 해외로부터의 사용후 배터리 또는 블랙매스 수입은 어려워질 것으로 예상된다. 따라서 향후 전기차·배터리 산업경쟁력을 강화하기 위해 국내에서 발생하는 사용후 배터리의 회수 및 순환이용을 촉진할 필요가 있다.

175) 산업통상자원부(2021), 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립

우리나라의 사용후 배터리 확보 정책 중 가장 대표적인 것은 전기차 구매보조금 회수 제도이다. 전기차 구매보조금은 해당 차량이 일정 기간 국내에서 운행될 것을 전제하고 지급한 것이므로 의무운행 기간을 채우지 않고 처분하는 경우 최종 소유주에게 보조금 일부를 반납하게 한 것이다.

최근 우리나라는 전기차 처분 사유가 수출말소인 경우, 강화된 의무운행 기간 요건을 적용하기 시작하였다. 의무운행 기간은 수출말소 외(국내 중고 전기차 거래, 폐차 등)의 경우 2년이나 수출말소의 경우에는 '24년 8월 현재 8년이다. 이를 통해 국내 사용후 배터리 회수·재활용이 일부 개선될 것으로 예상된다.[176] 다만 사용후 배터리 산업경쟁력을 강화하기 위해서는 동 제도의 적극적·효율적 집행과 함께 행정절차의 명확화, 국내 중고 전기차 거래 활성화 등이 함께 필요할 것으로 생각된다.[177] 또한 보다 넓은 시각에서는 전기차 배터리를 포함한 미래차 부품 재제조·재사용 활성화 등도 함께 필요하다고 할 수 있다.

이에 본 절에서는 우리나라 사용후 배터리 회수 및 순환이용을 촉진하기 위한 방안을 검토한다. 또한 우리나라 정부의 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축 방안' 상 기반이 구축되고 본 절에서 제시한 방안이 도입되면 달성할 수 있는, 사용후 배터리 자원흐름 개선 예상도를 제시한다.

2.1. 수출말소 시 전기차 보조금 회수 가이드라인 작성·배포

앞서 살펴본 바와 같이 현재 우리나라의 사용후 배터리 확보 정책 중 가장 대표적인 것은 의무운행 기간을 충족하지 않은 전기차 등에 대한 보조금 회수 제도이다. 「대기환경보전법 시행규칙」 별표21의2를 보면 수출말소 외(국내 중고 전기차 거래, 폐차 등)의 경우 의무운행 기간은 2년이다. 그러나 수출말소의 경우 전기차 의무운행 기간은 '22년 7월에 5년, '24년 5월에 8년으로 강화되었으며 특히 특히 2차 개정안은 소급효를 갖고 있다.

그런데 수출말소 전기차 보조금 반납 제도가 단기간에 재·개편되어 지방자치단체 담당자로서는 절차를 숙지하기 어려울 것으로 생각된다. 단기간에 해당 제도가 1, 2차 개정되며 의무운행 기간이 5년에서 8년으로 연장되었으나 새로 수출말소 전기차 보조금 환수 업무를 맡게 된 지방자치단체 담당자로서는 참고할 만한 선행 사례나 전산 자료가 부족하여 업무처리에 어려움을 겪을 수 있기 때문이다. 이로 인해 보조금 환수 누락이 발생할 가능성도 존재한다. 특히 우리나라는 중고차를 실제 수출하기 전에 확정적으로 수출말소를 할 수 있는 독특한 제도를 채택하고 있는데 이 때문에 혼란이 발생할 수 있다.[178][179]

지방자치단체 담당자의 행정부담을 낮추고 국고 환수 누락을 줄이기 위해, 전기차 보조금 회수 업무처리 가이드라인을 작성·배포하는 방안을 검토할 필요가 있다. 수출말소 신청 시점, 실제 수출 시행 시점별 지방자치단체 담당자와 중고차 매매·수출업자, 소비자별 전기차 보조금 반납 절차를 숙지할 필요가 있기 때문이다.

176) 매일경제, "[단독] "보조금 받고 전기차 샀으면 8년은 타라"…의무기간 늘린다(2023. 11. 8.)", https://www.mk.co.kr/news/economy/10869805, accessed: 2024. 9. 15.

177) 일본 정부 또한 자국 중고 전기차가 해외에 상당수 유출되는 것을 방지하기 위해 전기차 중고 시장을 육성할 계획이라고 함(연합뉴스, "日정부 중고전기차 시장 육성…중요 광물 국외 유출 방지 포석(2024. 8. 29.)", https://m.yna.co.kr/view/AKR20240829066100073, accessed: 2024. 9. 6.)

178) 일본, 미국, 중국은 중고차를 실제 수출한 후에 확정적으로 중고차 수출말소를 하도록 하나 우리나라는 중고차를 실제 수출(통관)하기 전에 확정적으로 수출말소 등록을 할 수 있음(신현도의 중고차 리서치, "중고차 수출말소 제도의 문제점 및 제안(2024. 8. 19.)", https://blog.naver.com/hdshin7/223552569140, accessed: 2024. 9. 6.) 이후 수출 여부 신고기한(기존 9개월, '24년부터 1년)에 수출하지 못한 경우, 해당 차량은 해체재활용업자를 통해 폐차하거나 신규등록(부활등록)을 해야 함

179) 실제로는 아직 수출되지 않은 차가 국내에서 사전에 말소등록이 되면 전기차 보조금 회수 절차 상 혼란이 가중될 수 있기 때문임

참고로 이충기·하일정 외(2024)에 따르면 지방자치단체에서 전기차 수출말소 보조금 환수 통보를 누락·지연한 결과 보조금 반납 부담을 중고차 수출업자 등이 대신 지는 경우가 존재한다고 한다. 최종 소유주의 보조금 반납 의무 이행 여부를 중고차 수출업자 또는 해체재활용업자가 전산으로 확인하기 어렵기 때문이다. 특히 중고 전기차 수출 경험이 적은 영세 중고차 수출업자의 경우 보조금 회수제도를 제대로 숙지하기에 어려움을 느낄 수 있다.

따라서 형평성 문제를 방지하기 위해서도 중고차 수출업·해체재활용업 관련 협회 등을 통한 홍보가 중요하다.[180] 중장기적으로는 전기차 보조금 회수 여부를 중고차 수출업자 또는 해체재활용업자가 전산으로 확인할 수 있는 체제를 마련하는 방안도 검토할 필요가 있을 것이다.[181]

2.2. 국내 중고 전기차 거래 활성화

앞서 살펴본 바와 같이 사용후 배터리 산업을 활성화하기 위해서는 규모의 경제 달성이 관건이라고 평가된다. '25년을 전후로 주요국의 사용후 배터리·블랙매스 관련 규제 개편 동향을 살펴볼 때 앞으로 해외에서 원료를 조달하기 어려워질 가능성이 있다. 따라서 전기차·배터리의 국내 순환이용을 촉진해야 하며, 이를 위해 국내 중고 전기차 거래를 활성화할 필요가 있다. 참고로 '24.8월 일본 정부 또한 자국 중고 전기차가 대량 수출되며 희소 금속 등이 유출되는 문제가 있으므로 자원을 확보하기 위해 자국 전기차 중고 거래를 활성화할 것이라고 발표한 바 있다.[182]

우리나라 중고차 시장은 주요국에 비해 활성화되지 않았다. 신차 판매대수 대비 중고차 판매대수 비중을 보면 미국, 독일이 200~240% 이상인데 우리나라는 120~140% 수준이라고 한다. 이는 여러 요소로 인해 우리나라 중고차 시장의 신뢰성이 낮다고 소비자가 인식하고 있기 때문이라고 평가된다.[183]

한편 중고 전기차 시장의 경우, 우리나라와 주요국 모두 중고 내연기관차 시장보다 성숙도가 낮다. 신현도 한국중고차유통연구소 소장의 분석에 따르면 우리나라 '24년 1~8월 전기차 신차 판매대수 대비 중고 전기차 판매대수 비중은 명목상 50% 수준이나, 중고차매매업자 간 거래 등을 제외한 실거래 기준으로는 약 24% 수준에 그친다고 한다.[184]

중고 전기차 거래 활성화가 지연되는 문제는 우리나라에만 국한된 것은 아니며 중국, 미국에서도 동일하게 나타나고 있다. 중국, 미국 현지 언론은 중고 전기차 거래가 활성화되지 않는 이유로 최근 전기차 제조사 간에 가격 인하 경쟁을 펼치면서 신차 가격이 하락한 점, 그리고 소비자가 중고 전기차 배터리 성능을 확신하기 어려운 점 등을 제시하고 있다.[185][186]

---

180) 제도 정착을 돕고 형평성 문제를 방지하기 위해 중고차 수출업의 제도화도 검토할 필요가 있음. 우리나라 중고차매매업자와 달리 중고차 수출업자는 자유업으로 등록할 수 있는데, 자유업은 사업 인·허가 등 별도 절차가 없고 주관 부처가 불분명하여 중고차 수출업자가 전기차 보조금 회수 관련 정보를 얻을 창구가 마땅치 않기 때문임. 관련 업계에서도 중고차 수출업을 산업으로서 육성·관리하고 실태를 분석하기 위해 한국표준산업분류(KSIC) 등을 신설하여 중고차 수출업을 제도화해야 한다는 주장을 제기함(한국경제, "중고차 수출 경쟁력 높이려면…"제도권 진입 먼저 해결해야"(2024. 7. 4.)", https://www.hankyung.com/article/202407042619Y, accessed: 2024. 9. 12.)

181) 특히 우리나라 해체재활용업자는 폐차 시 관련 정보를 국토교통부·환경부에 전산으로 제출하고 있는데 기존 체제를 보완·활용하면 보조금 회수 행정부담도 완화할 수 있을 것임. 관련 내용은 제3장 1.1.2. 우리나라-사용후 자동차를 참조

182) 일본 정부는 자국 중고 전기차가 해외에 80% 이상 수출되며 자원이 유출되는데, 이를 방지하기 위해 전기차 중고 시장을 육성할 계획이라고 함(연합뉴스, "日정부 중고전기차 시장 육성…중요 광물 국외 유출 방지 포석(2024. 8. 29.)", https://m.yna.co.kr/view/AKR20240829066100073, accessed: 2024. 9. 6.)

183) 한국경제, "한국만 못 크는 중고차 시장…美·獨은 신차의 2배(2020. 8. 30.)", https://www.hankyung.com/article/2020083026871, accessed: 2024. 9. 12. ; 연합뉴스, "소비자원 "중고차 시장의 가장 큰 문제는 허위·미끼 매물"(2022. 4. 14.)", https://www.yna.co.kr/view/AKR20220413135800003, accessed: 2024. 9. 12.

184) 신현도의 중고차 리서치, "최근의 중고 전기차 거래 동향 (의무운행 기간 과다 설정의 문제점)(2024. 9. 19.)", https://blog.naver.com/hdshin7/223587919170?trackingCode=rss, accessed: 2024. 9. 20.

다만 이후 우리나라를 비롯한 각국의 전기차 구매보조금이 축소될 것으로 예상되는데, 이에 따라 중고 전기차 거래가 점차 활성화될 전망이다. 이를 위해서는 중고 전기차의 성능·잔존수명(SoH) 등 배터리 상태를 확인할 수 있는 신뢰할 만한 진단 서비스 등이 필요할 것이다.[187] 또한 전기차 처분 시 배터리 가치 분을 매매 가격에 반영할 수 있는 체제 등이 마련되어야 할 것이다.[188]

2.3. 미래차 부품 재제조·재사용 활성화

지금까지 주로 사용후 배터리 재활용이 주목을 받아왔으나, 앞으로 사용후 배터리를 비롯한 미래차 부품 재제조·재사용 활성화를 함께 추진할 필요가 있다. 특히 구동 모터(e-drive motors), 전자부품 등 주요 부품의 재제조·재사용이 필요하다. 그 이유는 다음과 같이 정리할 수 있다.

첫째, 미래차 부품에 사용된 다량의 희소 금속을 회수·순환 이용하면 자원 고갈 문제, 글로벌 공급망 문제를 완화할 수 있기 때문이다. 특히 구동 모터는 네오디뮴·디스프로슘·프라세우디뮴·터븀·사마륨·붕소 등 희소 금속을 대량 사용하며, 자동차 1대에 사용하는 모터 수가 증가하고 있어 회수·재활용 필요성이 매우 높다.[189][190] 이에 EU ELV 규정 개정안은 사용후 자동차(ELV)에서 배터리, 구동 모터, 전기 및 전자부품(전기차 인버터·인쇄회로 기판·자동 변속기용 제어 모듈 및 밸브 시스템 등) 등 총 19종의 부품의 탈거를 의무화하는 규정을 두고 있다. 이 규정은 특히 구동 모터 희소 금속 재활용에 초점을 두고 있다고 평가된다.[191]

둘째, 미래차 부품 산업경쟁력을 높이기 위해서는 재활용과 함께 재제조·재사용이 필요하기 때문이다. 배터리·구동 모터 등은 고가의 희소 자원을 대량 사용하여 생산되는데, 이들 미래차 부품을 물질적 재활용하여 얻을 수 있는 가치는 신품 가격에 비해 높지 않다. 일례로 현대차그룹의 전기차 구동 배터리 가격은 1,800만 원 이상으로 추정된다.[192] 그러나 사용후 배터리를 물질적으로 재활용하여 얻을 수 있는 수익은 그 5분의 1 미만으로 추정된다.[193] 우리나라 정부도 사용후 배터리 산업을 활성화하기 위해 재제조·재사용이 가능한 사용후 배터리는 재제조·재사용한 뒤 재활용한다는 원칙을 제시한 바 있다.

185) 36kr, "为什么二手电动车没有"接盘侠"？(2024. 2. 22.)", https://36kr.com/p/2659445106688256, accessed: 2024. 9. 20. ; 新华报业网, "新车火爆、二手冷清，二手新能源车被"卷坏了"(2024. 4. 1.)", https://www.xhby.net/content/s660a8adce4b09dde337fee5e.html, accessed: 2024. 9. 20.

186) iSeeCars가 미국 중고차 220만 대 거래 데이터를 분석한 결과, 중고 전기차 거래가격은 평균 중고차 거래가격에 비해 '23년 25% 정도 높았으나 '24년에 8% 낮은 수준으로 급락했다고 함. 전체 중고차 거래가격이 3~7% 하락했는데 중고 전기차 가격은 30~39% 하락함(iSeeCars, "Prices of Used EVs Drop Below Used Gas Cars for the First Time(2024. 6. 10.)", https://www.iseecars.com/used-car-prices-study#v=202405, accessed: 2024. 9. 20.)

187) 산업인뉴스, "중고 전기車, '배터리 잔존 수명' 인증 받고 구입하세요~(2024. 5. 30.)", https://www.sanupin-news.kr/news/articleView.html?idxno=8435, accessed: 2024. 9. 12.

188) 한국경제, "요즘 중고 전기차 사러 갔더니…분위기까지 '확' 변했다(2024. 8. 11.)", https://www.hankyung.com/article/2024081161487, accessed: 2024. 9. 12. ; 중앙일보, ""열흘새 500만원 떨어졌다"…전기차 매물 쏟아지는 중고시장(2024. 8. 12.)", https://www.joongang.co.kr/article/25269992, accessed: 2024. 9. 12.

189) EU ELV 규정 개정안이 발효되면 자동차 제조사 등은 철강, 알루미늄 및 알루미늄 합금, 마그네슘 및 마그네슘 합금, 전기 구동 모터(e-drive motors) 영구자석에 포함된 네오디뮴·디스프로슘·프라세우디뮴·터븀·사마륨·붕소의 재활용 비율을 고지할 의무를 지게 될 것임. 상세 내용은 제3장 2.1.1. EU-사용후 자동차를 참조

190) 윤주호(2023), 전기차와 자동차부품 재활용, 한국자원순환협회 자문보고서

191) Fourin(2024), 世界自動車法定政策調査月報 2024年9月號

192) 소비자주권회의, "현대·기아차 전기차 배터리 가격 비율 실태조사(2023. 10. 11.)", http://cucs.or.kr/?p=14408, accessed: 2024. 8. 23.

193) SNE Research는 '23년 기준 50kWh 배터리 팩 재활용을 통해 얻을 수 있는 금속 가치를 NCA 배터리와 NCM 811 배터리 각각 1kWh당 71달러, 68달러 수준으로 추정함. 또한 배터리 재활용 공정비용을 1kWh당 18달러 수준으로 추정함(Korea industry Post, "LFP 금속 가치 $25/kWh 이하로 내려가면 재활용 불가능(2023. 7. 18.)", https://www.kipost.net/news/articleView.html?idxno=311192, accessed: 2024. 8. 23.) 희소 금속 가격이 '23년 말부터 하락한 점을 고려할 때, 배터리 재활용 공정의 수익성은 더욱 낮아졌다고 추정할 수 있음

셋째, 중고 전기차와 배터리의 국내 순환이용을 촉진하기 위해서는 자동차 순환이용 수익성을 높일 필요가 있기 때문이다. 이충기·하일정 외(2024)가 해체재활용업자 등에 실시한 설문조사 결과, 전기차 1대 폐차 시 얻을 수 있는 중고 부품 재제조·재사용 수익이 낮아 국내 순환이용이 어렵다고 한다. 이를 고려할 때, 미래차 부품 재제조·재사용을 활성화하기 위해 기술개발 등 지원이 필요하다.

〈표 5-1〉 전기차 1대 폐차 시 우리나라 해체재활용업자가 얻을 수 있는 수익

(단위: 만 원)

구분	1대당 수익	비고
고철화	5~10만 원	-
중고 부품 재제조·재사용	50만 원	-
중고 전기차 수리 후 수출	2,275만 원	마진율을 수출 금액 10%로 상정해도 기존 방식보다 4배 이상 수익 확보

자료: 이충기·하일정 외(2024), 미래폐자원 관리품목 다변화 및 확대 방안 마련, 한국환경공단 용역보고서 최종보고 발표자료, 환경전략컨설팅

〈표 5-2〉 한국자동차연구원의 자동차 부품 재제조·재사용 기술 연구 프로젝트 사례

한국자동차연구원은 자동차 부품 재제조·재사용을 촉진하기 위해 다양한 기술 연구 프로젝트를 수행해 왔다. '00년대 초반부터 폐자동차 해체시스템 구축, 부품 재제조 기술 및 평가시스템 구축, 파쇄잔재물(ASR) 최종 발생량 저감을 위한 재자원화 기술 등을 연구해 왔다. 이를 통해 해체재활용업자 등 폐자동차·폐부품 재제조·재사용·재활용 관련 기업에 필요한 기술을 제공하고 에너지·자원 효율성을 개선하는 등의 성과를 도출하였다.

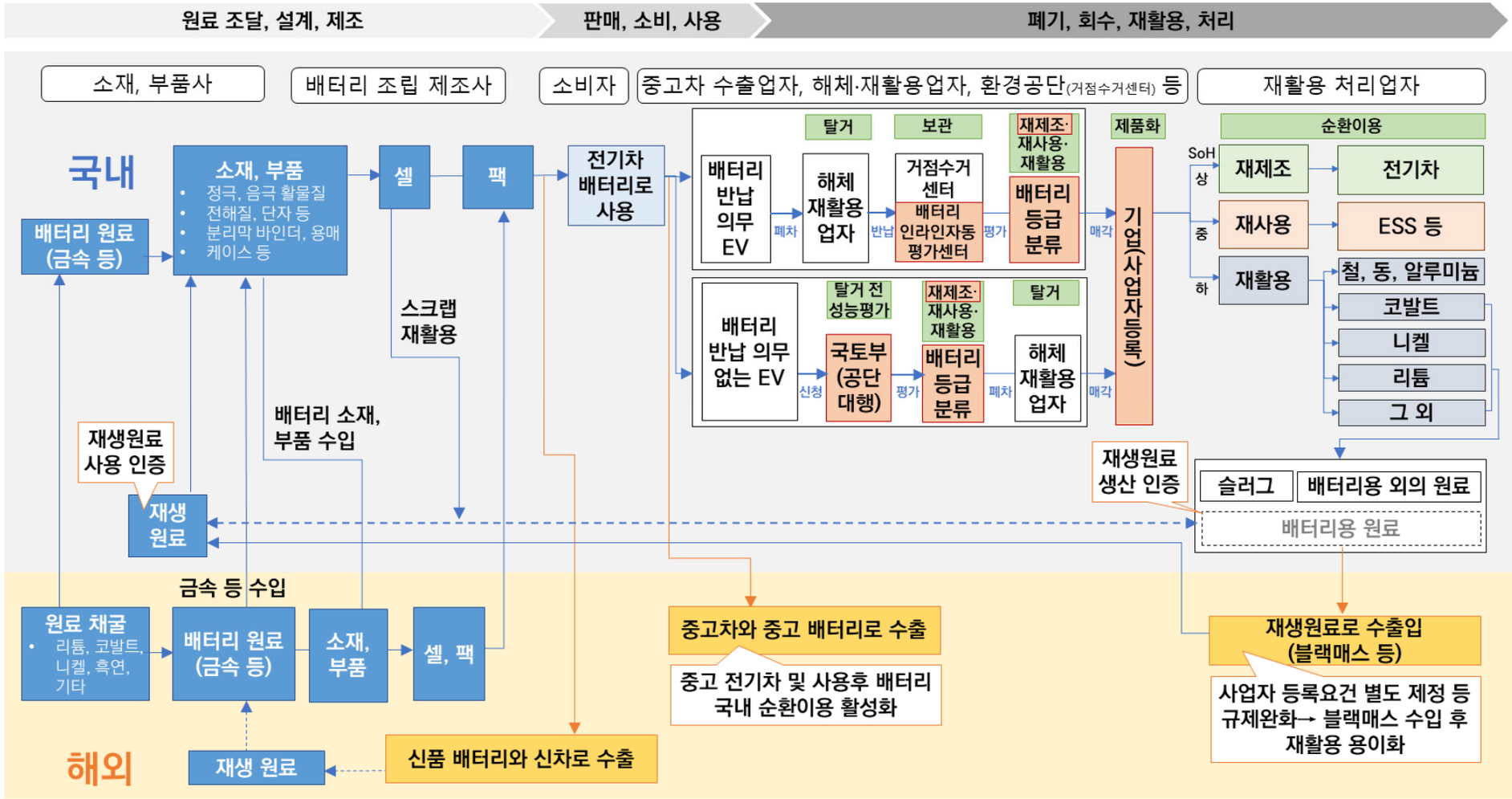
프로젝트 구분	성과·기대효과
친환경적인 자동차 처리시스템 구축 사업(2002-2005)	「EU ELV 지침(Directive 2000/53/EC)」을 만족하는 최적 해체시스템을 구축하여 폐자동차의 적정 처리 및 폐기물의 효율적 재활용 연구 기반 마련
자동차용 교류발전기와 시동전동기의 재제조 기술 및 평가시스템 구축(2005-2006)	교류발전기·시동전동기 등 폐부품 이용 재제조 산업을 육성, 폐자원 재활용을 통해 에너지·자원을 효율적으로 이용하여 에너지를 기존 대비 50% 이상 절감
자동차용 등속조인트 및 에어컨 컴프레서의 재제조 프로세스 및 품질평가시스템 구축(2006-2007)	등속조인트·에어컨 컴프레서 등 폐부품 재제조 산업을 육성, 폐자원 재활용을 통해 에너지·자원을 효율적으로 이용하여 에너지를 절감
EU 환경규제 대응을 위한 폐자동차 재자원화 기술(2005-2010)	파쇄잔재물(ASR) 최종 발생량 '06년 15%, '15년 5% 이하 목표를 달성하기 위한 폐자동차 재자원화 기술개발
전기차 배터리 팩 재제조 신뢰성 평가시스템 구축 지원(2024-2027)	사용후 배터리 재제조를 통해 기존 선형경제 필수과정(채굴, 매립 등)에서 발생하는 오염물질 배출량 최소화, 에너지 소모량·탄소 배출량 등 절감

'24년 현재 한국자동차연구원은 전기차 사용후 배터리 재제조 산업 활성화를 위해 신뢰성 평가시스템을 구축하는 프로젝트를 진행하고 있다. 전기차 배터리는 광물 채굴 단계, 사용후 매립 단계에서 다량의 오염물질과 탄소를 배출하는 점이 문제로 지적되고 있다. 사용후 배터리 재제조를 활성화하여 오염물질 배출량 최소화, 에너지 소모량 절감 등 효과를 기대할 수 있다.

앞으로 한국자동차연구원을 비롯한 전문 기술 연구기관과 자동차·부품 제조기업, 소재기업, 해체재활용업자가 협업하여 구동모터 등 미래차 부품 재제조·재사용을 위해 협업을 강화할 필요가 있을 것이다.

자료: 한국자동차연구원 화학소재기술부문 내부자료를 참조하여 저자 작성

[그림 5-1] 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름 개선도



주: 본 그림은 '사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축 방안'이 도입되고 본 보고서 본 절에서 제시한 3가지 방안을 도입하여 달성할 수 있을 것으로 기대되는 자원 흐름 개선도임
자료: 이서현(2024c), 사용후 배터리 재사용·재활용 정책동향, SNE Battery Day 발표자료, [그림 3-11] 전기차 사용후 배터리 자원순환 흐름도에 기반하여 저자 작성

3. 산업 간, 기업 간 협력체계 강화

앞에서 살펴본 바와 같이 자동차·부품 제조기업이 변화에 대응하기 위해서는 재활용 기업 등과의 산업간, 기업 간 협력체계를 강화할 필요가 있다. 앞서 제2장과 제3장에서 주요국이 자동차 산업을 대상으로 광범위하고 다양한 환경규제를 신설·강화하고 있다는 점을 살펴본 바 있다. 그런데 이들 규제는 자동차·부품 제조기업에 탈탄소화 등 목표를 자사뿐만 아니라 공급망 전체에서 달성할 것을 요구하고 있다. 따라서 앞으로 자동차·부품 제조기업은 공급망 내 기업과 탈탄소화 등 목표를 달성하는데 필요한 데이터 등을 연계하지 않고는 대응이 어려워질 것으로 평가된다. 본 절에서는 자동차·부품 제조기업과 소재기업, 해체재활용(폐차)업자 등 산업 간, 기업 간 협력체계 강화 방안을 검토한다.

3.1. 산업 간, 기업 간 데이터 연계 추진

자동차 자원순환을 효과적으로 달성하기 위해 우리나라 산업 간, 기업 간 데이터 연계를 추진할 필요가 있다. 데이터 연계를 추진해야 하는 이유로는 크게 2가지를 들 수 있다.

첫째, 데이터 연계를 통해 자원 활용 효율성을 높일 수 있다. 자동차 자원순환을 위해서는 사용후 자동차에서 플라스틱, 금속, 사용후 배터리 등 다양한 자원을 효율적으로 회수하는 것이 중요하다. 이를 위해 자동차·부품 제조사와 해체재활용업자, 재활용업자 등 간의 데이터 연계가 필요하다. 데이터 연계를 통해 자동차 자원순환의 흐름을 명확히 할 수 있고, 비효율성을 낮출 수 있기 때문이다.

둘째, 데이터 연계를 통해 EU 주도로 강화되고 있는 글로벌 자동차 자원순환 정책에 효율적으로 대응할 수 있다. EU의 ELV 규정 개정안이 도입되면 폐자동차 재활용 및 재생 플라스틱 사용이 의무화될 것이다. 또한 EU 배터리 규정이 시행되면 신품 배터리 생산 시 재생원료 사용 의무가 단계적으로 강화될 예정이다. 이들 규제에 대응하기 위해 각 기업은 재생원료 사용량, 자원순환 공정의 탄소배출량, 공급망 실사 정보 등 데이터를 관련 당국에 입증해야 한다. 이를 위해서는 공급망 내 협력기업과의 데이터 연계가 필수적이다.

EU는 데이터 연계 필요성을 인지하고 Catena-X라는 데이터 연계 플랫폼을 개발하여 자동차 자원순환을 촉진하고 있다.[194] Catena-X는 순환자원 생산·사용을 인증하고 순환자원을 효율적으로 관리할 수 있는 기능을 제공한다. EU 외 기업도 Catena-X 플랫폼을 이용하거나 별도 인증을 받아 EU 관련 당국이 요구하는 자동차 자원순환 등 정보를 제출해야 한다.

한편 일본은 자국 기업의 부담을 낮추고 자국 자동차 자원순환 등을 활성화하기 위해 독자 데이터 연계 플랫폼 Ouranos Ecosystem을 구축하고 있다. '25년을 전후하여 Catena-X와 데이터 상호 인증을 시작할 예정이라고 한다. 이는 자국 기업이 Catena-X를 이용하면서 느낄 수 있는 부담을 완화하고 자국 플랫폼을 통해 EU의 자동차 자원순환 규제 등에 효과적으로 대응할 수 있게 하기 위함이다.

우리나라 정부 또한 자동차 산업의 데이터 연계를 위해 플랫폼을 구축하고, Catena-X 등과 데이터 상호 인증을 계획하고 있다. '24.7월 산업통상자원부 발표에 따르면 민관 합동으로 '27년까지 산업 공급망 데이터 플랫폼을 구축할 예정이다. 초기에는 자동차, 배터리, 가전, 철강·알루미늄, 섬유 등 5대 업종의 탄소 데이터를 연계하는 플랫폼을 구축하고 이후 모든 업종과 모든 산업 데이터를 포괄하는 플랫폼으로 확대할 계획이다.[195]

194) 이서현(2023a), Catena-X가 함의하는 車 산업 데이터 공유 방향, 산업분석 Vol. 118, 한국자동차연구원 ; 이서현(2024b), 유럽·日 산업데이터 연계동향과 우리의 방향, 산업분석 Vol. 136, 한국자동차연구원

[그림 5-2] 우리나라 산업 공급망 데이터 플랫폼 구축 개념도

주: Catena-X와 같은 방식의 데이터 연계 플랫폼을 구축하고, 향후 결과 값을 상호인정하는 방식을 지향한다고 함
자료: 산업통상자원부(2024), 민-관 합동 '산업 공급망 탄소데이터 플랫폼' 구축 추진

이 과정에서 한국자동차연구원이 구축하고 있는 자동차·부품 데이터 연계기반을 활용할 수 있다. 한국자동차연구원은 현재 자동차 산업데이터 플랫폼 KaDAP(www.bigdata-car.kr)을 구축하여 우리나라 관련 기업의 데이터 확보, 데이터 분석·개발, 데이터·기술 판매를 지원하고 있다. 또한 '24년 내에 부품정보교환시스템 KADaP-X를 추가로 구축하여 기업 간 데이터 연계를 준비하고 있다. KADaP-X는 Catena-X와의 상호 인증도 준비하고 있다.

현재로서는 Catena-X를 비롯한 플랫폼 내 데이터 연계는 주로 자동차, 부품 제조사 간에 이루어지고 있으나 앞으로는 해체재활용업자, 재활용업자 등 모든 업종으로 확대할 필요가 있다. 이를 통해 자동차 자원순환 효율성을 높이고 글로벌 규제에 더 효과적으로 대응할 수 있을 것이다.

〈표 5-3〉 한국자동차연구원의 데이터 연계 플랫폼 KADaP, KADaP-X

자료: 한국자동차연구원 빅데이터·SW 기술부문 내부자료 ; 임헌정(2024), 자동차 데이터 포털 개발현황 및 주요기능, 모빌리티 인사이트, 202406 Vol. 31, 한국자동차연구원

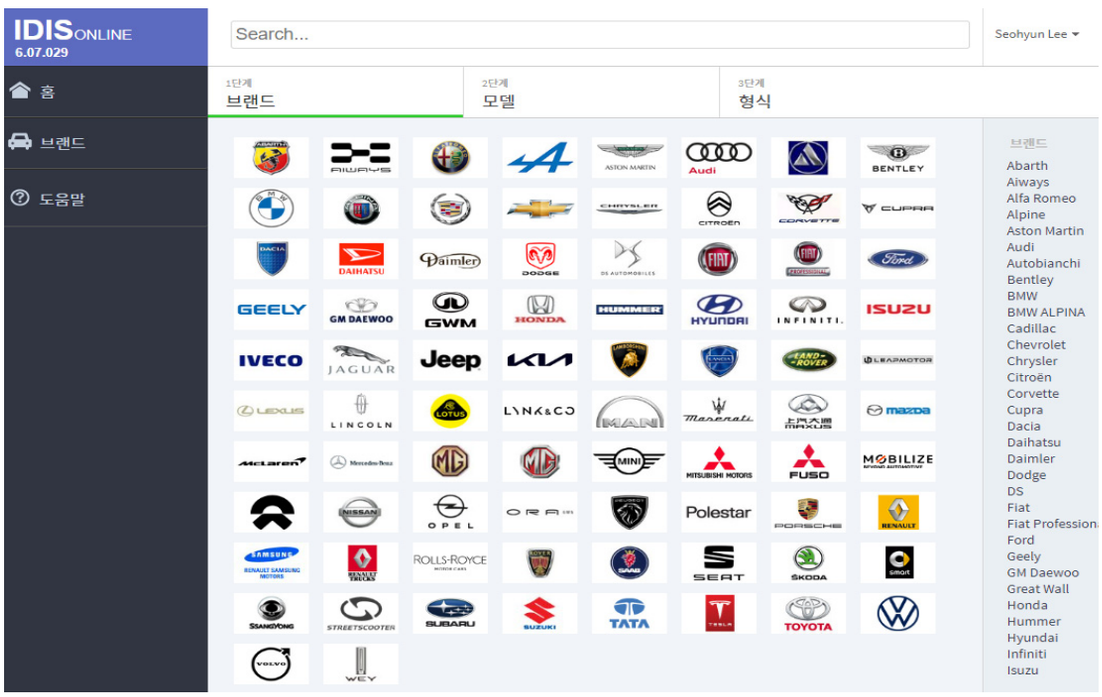
3.2. 자원순환 활성화를 위한 재활용정보 제공 범위 보장

자동차 제조·수입업자가 폐자동차 재활용업자에게 제공하는 폐자동차 재활용정보의 질과 범위를 담보하기 위해 관련 법제를 정비할 필요가 있다. 재활용정보란 자동차 부품 구성 재질이나 재활용방법을 의미한다. 구체적으로는 합성고분자화합물의 구성 재질, 대상 제품 내 제거되어야 할 유해물질의 포함 위치 및 제거 방법을 제공하도록 하고 있다.

195) 산업통상자원부(2024), 민-관 합동 '산업 공급망 탄소데이터 플랫폼' 구축 추진

해체재활용업자 등이 자동차에서 플라스틱, 사용후 배터리 등을 분리·수거하여 재활용하려면 차량별 구조 등 정보가 필요하다. 최근 전기차가 보급되고 있는데, 자동차 제조사별로 배터리 등 부품의 위치, 재질 등이 상이하다. 전장화·전동화가 진행되며 차량의 재질·구조가 기존의 내연기관차와 크게 달라지며 범퍼·앞유리 등에도 전자부품 등이 다량 사용되는데 이를 순환 이용하기 위해서는 상세한 재활용정보가 필요하다.

[그림 5-3] 국제해체정보시스템(IDIS) 개요



자료: 저자 작성

우리나라 「전기·전자제품 및 자동차의 자원순환에 관한 법률」에 따르면 해체재활용업자 등이 폐자동차 재활용정보를 요청하면 자동차 제조·수입업자는 제공해야 한다고 규정하고 있다.[196] 다만 국제해체정보시스템(IDIS : International Dismantling Information System, www.idis2.com)에 자동차 제조·수입업자가 가입하여 자동차 재활용정보를 제공한 경우 해체재활용업자 등에 정보를 제공한 것으로 간주한다.[197] '24.6월 말 현재 IDIS는 43개국에서 판매되는 91개 자동차 브랜드 3,124가지 모델의 해체 재활용정보를 제공하고 있다.[198][199]

196) 법률 문언은 [재활용사업자가 폐자동차의 재활용을 촉진하기 위해 구성재질이나 재활용방법 등에 관한 정보(재활용정보)를 요구하는 경우, 자동차 제조·수입업자는 그 재활용정보를 제공해야 한다. 단 환경부·산업통상자원부가 협의하여 지정·고시한 재활용정보제공통신망, IDIS에 가입하여 재활용정보를 제공하는 경우에는 재활용정보를 제공한 것으로 간주한다]임

197) 환경부, 자동차의 재활용정보제공통신망 행정규칙 (환경부고시 제2015-177호)

198) 43개국은 Spain, Sweden, United Kingdom, Bulgaria, Romania, Croatia, Serbia, Macedonia, Austria, Belgium, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, Greece, Hungary, Ireland, Italy, Korea, Latvia, Lithuania, Luxemburg, Malta, Netherlands, Norway, Poland, Portugal, Slovakia, Slovenia, Montenegro, Iceland, China, Turkey, Russia, Ukraine, India, Albania.

199) 91개 자동차 브랜드는 Abarth, Aiways, Alfa Romeo, Alpine, Aston Martin, Audi, Autobianchi, Bentley, BMW, BMW ALPINA, BMW Motorrad, Buick, Cadillac, Chevrolet, Chrysler, Citroën, Corvette, Cupra, Dacia, Daihatsu, Daimler, Dodge, DS, Ducati, FAW-Volkswagen, Fiat, Fiat Professional, Ford, Geely, GM Daewoo, Great Wall, Honda, Honda Motorcycle, Hummer, Hyundai, Infiniti, Isuzu, IVECO, Jaguar, Jeep, Kia, Lamborghini, Lancia, Land Rover, LDV, LEAP Motor, Lexus, Lincoln, Lotus, Lynk & Co, MAN, Maserati, Maxus, Mazda, McLaren, Mercedes-Benz, MG, MG, Mini, Mitsubishi, Mitsubishi FUSO Truck and Bus Corporation, Mobilize, NIO, Nissan, Opel, ORA, Peugeot, Polestar, Porsche, Renault, Renault Samsung Motors, Renault Trucks, Rolls Royce, Rover, Saab, Seat, Shanghai Volkswagen, Skoda, Smart, Ssangyong, Streetscooter,

그런데 자동차 제조·수입업자가 재활용정보를 제공하는 방법에 따라 정보의 질과 범위가 달라질 수 있다. 예를 들어, IDIS 시스템을 통해 제공되는 자동차 재활용정보는 다른 기관의 검토·관리를 거치지 않고 자동차 제조·수입업자가 자율적으로 제공하는 정보이다.[200] 따라서 IDIS에 등록된 재활용정보의 질과 범위는 자동차 제조사 별로, 차종별로 큰 차이가 발생할 수 있다. 실제로 IDIS에 업로드된 재활용정보를 비교한 결과 자동차 제조사별, 모델별로 제공하는 정보에 차이가 있다는 점을 확인할 수 있다.

따라서 정보 제공 방법과 무관하게 폐자동차 재활용에 필요한 최소한의 정보를 자동차 제조·수입업자가 제공하게 할 필요가 있다. 현행 법령에서는 재활용정보를 자동차 부품 구성재질이나 재활용 방법이라고 다소 애매하게 규정하고 있는데, 이를 보다 구체화하는 방안 등을 검토할 수 있다. 예를 들어 EU ELV 규정 개정안은 단일 재질 10kg 이상 플라스틱·금속 부품을 반드시 사용후 자동차에서 탈거하도록 요구하고 있다. EU ELV 규정 개정안 등을 참조하여, 일정한 부품을 해체재활용하기 위한 재활용정보 제공을 의무화하는 방안 등을 검토할 수 있을 것이다.

〈표 5-4〉 국제해체정보시스템(IDIS) 상 제조사별 제공 재활용정보 비교

구분	모델	제공하는 안전정보		제공하는 해체정보	
		공통	별도 제공	공통	별도 제공[2]
현대차[1]	IONIQ 5	공통정보 • 불꽃 발생장치 • 고전압 배터리	고전압 배터리 제거 방법	• 배터리 소재(Li, 기타)와 중량 • 공조(가스, 액상) 소재와 중량 • 제거해야 할 액상류 소재와 중량 • 타이어 소재와 중량	• 도어 및 유리 소재 • 외장 소재 • 계기판 소재 • 시트 소재 • 내장재 소재 • 엔진 컴파트먼트 소재 • 러기지트림 소재
Tesla	Model 3	공통정보 • 불꽃 발생장치 • 고전압 배터리	없음	상동	없음
NIO	ET7	공통정보 • 불꽃 발생장치 • 고전압 배터리 • 에어서스펜션 시스템	없음	• 배터리 소재(Li, 기타)와 중량 • 제거해야 할 액상류 소재와 중량 • 필수 해체 부품·히터 소재 및 중량 • 타이어 소재와 중량 • 기타 전처리 부품(에어 서스펜션, 공기 저장탱크) 소재와 중량	• 도어 및 유리 소재 • 외장 소재 • 계기판 소재 • 시트 소재 • 내장재 소재 • 엔진 컴파트먼트 소재 • 러기지트림 소재

주: 1) 현대차의 경우 미국 Tesla, 중국 NIO에 비해 내·외장 부품의 소재 등 더 많은 정보를 제공하고 있음.
2) 현대차와 NIO는 내·외장재 소재 정보를 제공하고 있음. 단 소재는 PP, ABS, PE 등으로만 표시되어 있음
자료: 국제해체정보시스템(IDIS, International Dismantling Information System, www.idis2.com) 상 모델별로 제공되는 재활용정보를 저자 조사, 정리

Subaru, Suzuki, TATA, Tesla, Toyota, Vauxhall, Volkswagen, Volvo, WEY, Zinoro

200) 원문 표현은 "The data in IDIS is compiled by the vehicle manufacturer and is not reviewed or controlled by any other institution."과 같음(IDIS, "FAQS". https://www.idis2.com/faqs.php, accessed: 2024. 6. 28.)

부록

사용후 배터리 재사용·재활용 최신 기술 동향

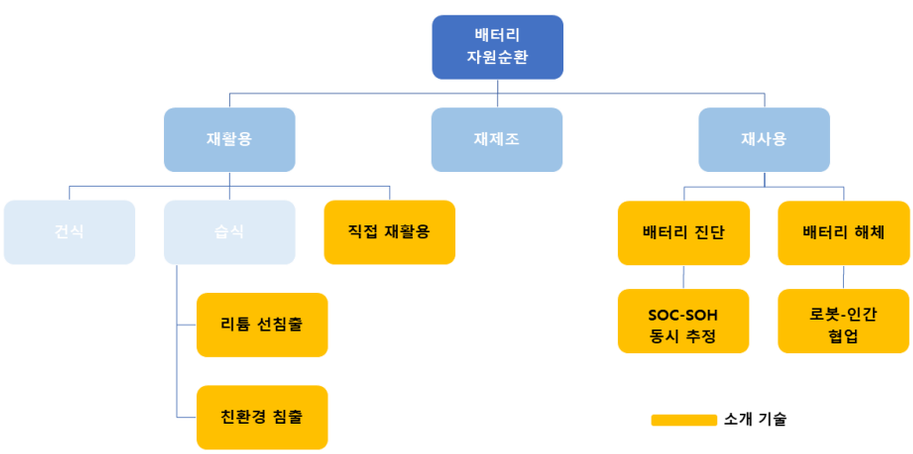
1 사용후 배터리 재사용

2 사용후 배터리 재활용

부록 사용후 배터리 재사용·재활용 최신 기술 동향

사용후 배터리 재사용·재활용의 환경성과 경제성 등을 개선 필요성이 높아지고 있다. 재사용 분야는 로봇과 AI 등 기술을 접목하여 정확성과 신속성을 개선하는 연구가 추진되고 있으며 재활용 분야는 희소 금속 추출량·순도·경제성 등을 개선하기 위한 직접 재활용 및 리튬 선침출 등 연구가 추진되고 있다. 앞서 제4장 제2절에서 기본적인 기술개발 방향에 대해 살펴보았는데, 본 부록에서는 문헌조사에 근거하여 최신 기술 및 관련 기업에 대한 상세 동향을 소개한다. 소개할 기술을 분야별로 정리하면 다음과 같다.

[그림 부록-1] 사용후 배터리 재사용·재활용 분야별 소개 기술 분류



자료: 저자 작성

1. 사용후 배터리 재사용

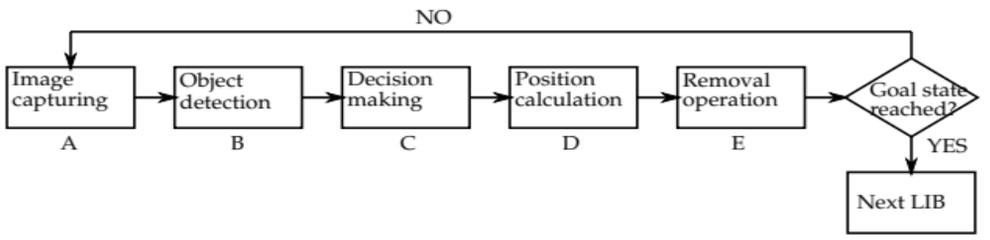
배터리 재사용 분야에서는 배터리 상태 진단 및 해체 과정에서 정확성과 속도 향상을 위한 기술 개발이 진행 중으로, 특히 로봇과 데이터 분석 등의 기술을 접목하려는 연구가 많이 확인되고 있다.

1.1. 배터리 해체

현재는 배터리 해체가 수작업으로 이루어지고 있는데, 회수 가능한 희소 금속 등 자원이 손실되고 자동화가 어렵다는 문제가 있다. 이를 개선하기 위해 로봇과 AI를 활용한 해체 기법 연구가 진행되고 있다.

Choux, M., Bigorra, E., Tyapin, I.(2021)는 로봇, AI를 활용한 배터리 해체기법을 도식화하였다. 로봇은 배터리를 다양한 각도에서 촬영한 후, 알고리즘을 활용하여 나사·배터리 모듈 등의 배터리 구성품을 식별한다. 이후 해당 구성품들의 정확한 위치를 산정하여 적절한 해체 작업을 도출한 후 해체 작업을 실시한다.

[그림 부록-2] 로봇을 활용한 배터리 해체 기본 과정



자료: Choux, M., Bigorra, E., Tyapin, I.(2021), "Task Planner for Robotic Disassembly of Electric Vehicle Battery Pack", Metals

로봇과 AI 기술을 접목한 배터리 해체 자동화 기술은 주로 자율주행 기술에 활용되는 것과 비슷한 기술이 사용되고 있다. 배터리를 식별하고 분류하는 전처리 단계, 배터리 상태와 환경에 최적화된 해체 과정을 도출하는 계획 및 의사결정 단계, 마지막으로 해체 작업을 실시하는 실행 단계 등 3단계로 구분할 수 있다. Meng, K., Xu, G., et al.(2022)에 따라 각 단계별로 주로 사용되는 기술을 살펴본다.

1단계인 전처리 단계에서는 CNN(Convolutional Neural Networks) 기반의 CV(Computer Vision)이 주목받고 있다. 이는 이미지나 영상 데이터 처리용 딥러닝 모델이며 자율주행 기술개발에도 활용되고 있는 기술이다. 해당 기술은 입력 정보로 이미지 데이터만을 활용하여 식별과 분류를 동시에 빠르게 진행할 수 있다는 장점이 있다. 다만 이미지 데이터의 질이 성능에 절대적인 영향을 끼치며, 충분한 양의 데이터를 확보해야만 한다는 점이 단점이다.

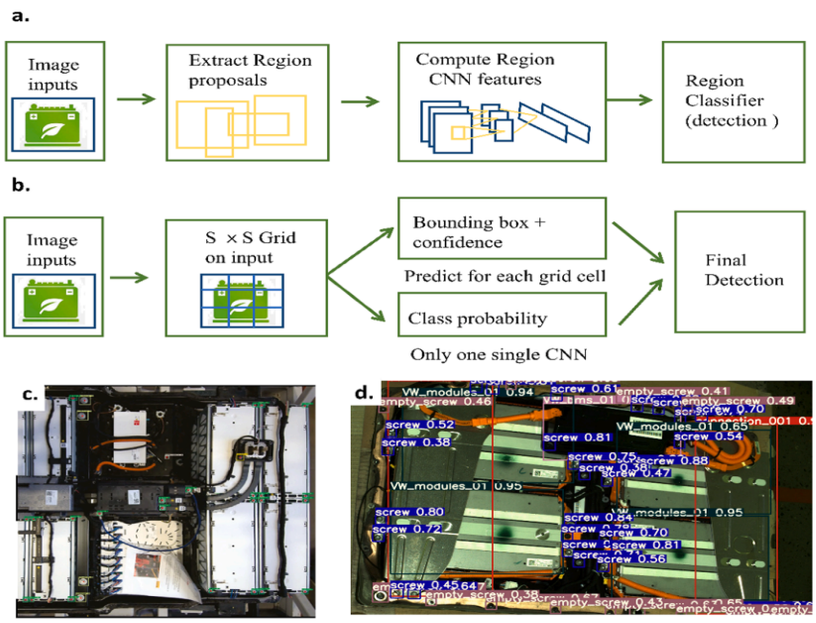
2단계인 계획 및 의사결정 단계에서 요구되는 로봇의 능력은 추론과 인지능력이다. 실제 작업 환경에서 배터리를 해체하려면 사용후 배터리의 다양한 형태와 복잡·다변한 주변 환경을 인지하고 이에 적합한 해체 과정을 도출해야 하기 때문이다. 솔루션으로 유전 알고리즘(Genetic Algorithm, GA)과 강화 학습(Reinforcement Learning, RL) 등이 제시되었는데, 전자는 최적화 문제를 해결 하기 위해 생물학적 진화과정을 모방하는 모델로, 복잡하고 계속해서 변화하는 문제 해결에 적합하나 도출된 해결법의 퀄리티를 보장하기 어렵다는 한계가 있다. 후자의 경우 반복적인 시행착오를 통한 학습과 유사한 방식으로 소프트웨어를 훈련시키는 머신러닝 기법이며 여러 단계를 거쳐야하는 배터리 해체와 같이 순차적인 판단이 요구되는 문제 해결에 적합하나, 반복 학습 과정에서 시간이 소요되는 만큼 대규모 문제에는 바람직하지 않다는 단점이 있다고 한다.

3단계인 해체 실행 단계에서는 목표물 감지와 해체 공정 최적화 등에 다양한 기술들이 접목되고 있다. 목표물 감지에는 R-CNN(Region-based Convolutional Neural Network)과 YOLO (You only Look Once) 등의 머신비전과 결합된 딥러닝 모델들이 있는데, 전자는 전체 이미지에서 일부 후보 영역을 선정한 후 해당 영역의 정보를 처리하여 매우 작은 부품까지도 감지할 수 있다는 장점이 있다. 후자의 경우 전체 이미지를 한 번에 처리하여 빠르게 탐지를 마칠 수 있다는 장점이 있다.

최근에는 인간의 실제 해체 작업 데이터를 활용한 학습 방식이 개발되고 있다. 인간 작업자의 해체 작업 시연 데이터를 보고, 이를 모방하여 해체 작업을 진행하는 방식이다. 실제 작업 데이터를 라벨링하는 과정 없이 바로 활용할 수 있으므로 효율적이다. 다만 고품질의 시연 데이터가 필요하며 시연 과정을 모방할 수는 있으나 이를 다른 상황에 확대 적용하기는 어렵다는 한계가 있다.

해체 공정 최적화에도 다양한 기술이 접목되고 있다. 예를 들어 머신러닝은 레이저 절단 시 열의 영향을 받는 구역을 예측하거나 최적화된 커팅 속도와 가스 압력 등을 판단하는데 활용할 수 있고, RL은 해체 공정 중 도구 및 방향 변경을 최소화함으로써 해체 소요 시간을 최적화하는데 활용될 수 있다.[201)]

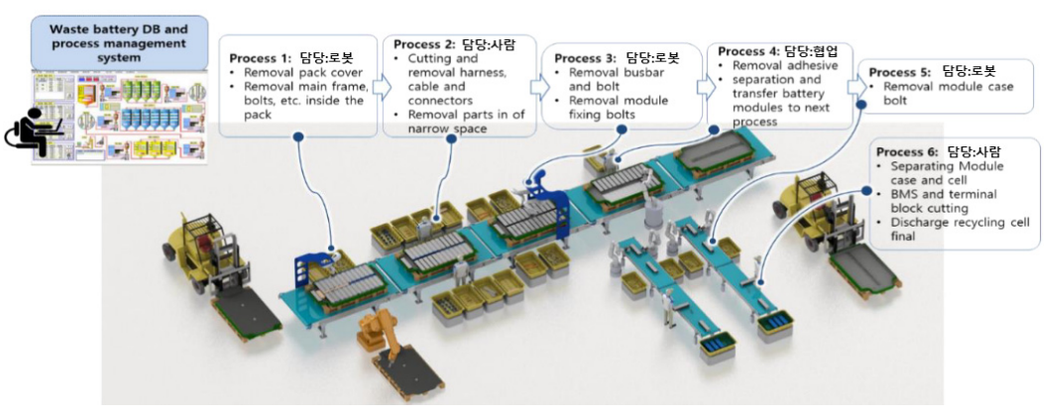
[그림 부록-3] R-CNN과 YOLO 모델의 개요(a,b) 및 나사 탐지 예시(c,d)



자료: Meng, K., Xu, G., et al.(2022), "Intelligent disassembly of electric-vehicle batteries: a forward- looking overview", Resources, Conservation & Recycling

다만 현재까지는 인간의 개입이 없는 완전한 자동 해체는 기술적으로나 경제적으로 어려운 상황으로, 대안으로 로봇과 인간 간 협업을 통한 해체가 주목받고 있다. 로봇은 특유의 반복수행 능력을 활용해 나사 풀기와 같은 비교적 단순하고 반복적인 작업을 수행하고, 인간은 접착제로 결합된 물질들을 분리하는 등과 같은 비교적 복잡한 작업을 담당하는 방식이다. Meng, K., Xu, G., et al.(2022)에 따르면 협업에서도 로봇에게 요구되는 중요한 능력 중 하나는 학습 능력인데, 인간 행동을 인지하고 예측할 수 있어야 협업하는 작업자와의 충돌 가능성을 최소화해 안전을 확보할 수 있고 사고 발생 없이 매끄럽게 해체 작업을 진행할 수 있기 때문이다. 인간 행동 예측에는 RNN(Recurrent Neural Network) 등이 활용 될 수 있는데, 이는 시간별로 인간의 행동 패턴을 캡쳐하여 이후의 궤적을 예측할 수 있다고 한다.

[그림 부록-4] 배터리 해체 로봇-인간 협업 공정 개념도



자료: 박정우, 박지현 외(2022)를 바탕으로 일부 내용 재구성

201) Allagui, A., Belhadj, I., et al.(2023), "Reinforcement learning for disassembly sequence planning optimization", Computers in Industry

국내에서는 한국로봇융합연구원이 관련 연구를 진행 중으로, '22년 산업부의 '다품종 EV 폐배터리팩의 재활용을 위한 인간-로봇 협업 해체작업 기술개발사업'의 주관기관으로 선정되어 '26년까지 사용후 배터리의 분해 및 해체 관련 자동화 공정과 로봇 지능 기술 개발을 추진한다.[202]

1.2. 배터리 진단

배터리 진단에서도 데이터 분석을 활용한 기법이 활발히 개발되고 있다. 데이터 분석을 활용하면 기존 물리적 진단 기법과 달리 배터리 내부의 복잡한 전기화학적 변화와 관련 활성물질의 변동을 고려하지 않아도 된다는 이점이 있다. 다만 정확한 측정이 아닌 추정이므로 정확성과 신뢰성을 제고할 필요가 있다.

Yao, L., Xu, S., et al.(2021)에 따르면 데이터 기반 진단 기법은 통계적 분류 방법, 신경망 방법, 벡터 머신 방법, 통계 데이터 방법 등의 4가지 카테고리로 분류할 수 있다.

통계적 분류 방법은 데이터 내 많은 노이즈 속에서 유효한 신호 및 파형을 추출하여 재생성하는 방법으로, 주요 기법으로는 칼만 필터(Kalman Filter, KF)와 파티클 필터(Particle Filter, PF) 기법 등이 있다. KF는 재귀적 연산을 통해 자동으로 최적값을 도출하는 방식으로 선형 데이터 처리에 가장 적합한 알고리즘이다. 다만 사용 중인 배터리의 경우 비선형적인 특성을 갖기에 실생활에서는 KF의 활용이 제한될 수 있는데, 이를 보완하기 위해 확장형 KF(EKF)나 UKF 등의 강화된 KF를 활용하는 방안이 제시되었다. PF의 경우 베이지안 추정 원칙과 몬테카를로 방법에 기반한 알고리즘으로, KF와 비교했을 때 비선형적인 환경에서의 모델링 능력이 우수하다. 다만 복잡한 환경에선 트레이닝용 샘플이 더욱 많이 요구되며, 많은 계산 또한 요구되기에 시간이 다소 소요될 수 있다는 점이 단점으로 꼽힌다.

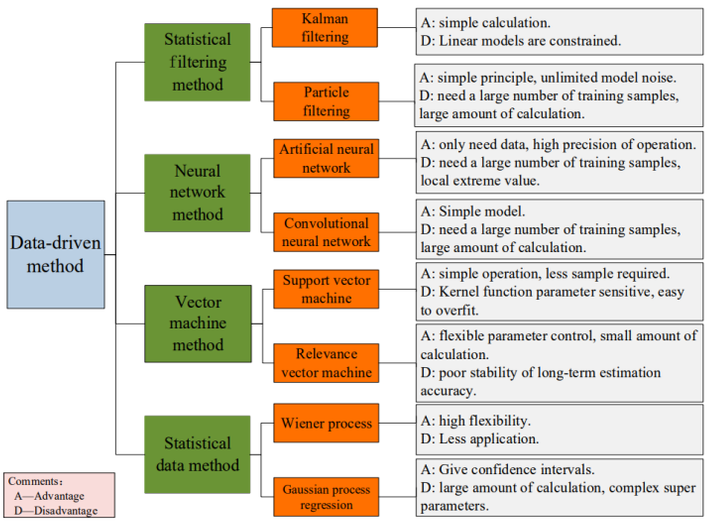
신경망 방법에는 인공 신경망(Artificial Neural Network, ANN)과 합성 신경망(Convolutional Neural Network, CNN), 역전파 신경망(BP) 등이 있다. 이 중 ANN은 비선형 데이터에 효과적인 예측법으로, Naha, A., Han, S., et al.(2020)은 전류·전압·배터리 온도 등 배터리의 일부 정보만을 활용하여 1% 오차 범위 내로 SoH 값을 추정하는데 성공했다고 한다. 다만 ANN 역시 KF와 마찬가지로 트레이닝 샘플 데이터가 많이 필요하다는 단점이 있다.

벡터 머신 방법에 해당되는 서포트 벡터 머신(Support Vector Machine, SVM)과 관련성 벡터 머신(Relevance Vector Machine, RVM) 또한 비선형 데이터 분석 기법으로, 상기 기법과 비교했을 때 데이터 샘플이 부족해도 비교적 정확한 예측이 가능하다는 장점이 있다. RVM은 희소 베이지안 이론 기반의 강화된 머신 러닝 기법으로, SVM의 단점으로 언급되는 과적합[203] 등의 문제를 관리할 수 있다는 장점이 있으나 데이터가 지나치게 희소할 경우 안정성이 떨어질 수 있다.

마지막으로는 통계 데이터 방법이 있다. 배터리의 노후화는 불규칙적으로 진행되는데, 데이터의 규칙성을 바탕으로 배터리의 다음 상태를 추정할 수 있으며 이를 위해 위너 과정(Wiener Process, WP)와 가우스 과정 회귀 모델(Gaussian Process Regression, GPR) 등을 활용할 수 있다. 이 중 GPR은 SVM 등과 비교했을 때 오류가 작고 정확도가 높으며 예측값뿐만 아니라 신뢰구간을 추정할 수 있다는 장점이 있는데, 다만 많은 계산이 요구되며 매개 변수가 비교적 복잡하다는 단점이 존재한다고 한다.

202) 로봇신문사(2022), "전기자동차 폐배터리 해체 로봇 기술 개발한다(2022. 5. 10.)", http://m.irobotnews. com/news/articleView.html?idxno=28450, assessed: 2024. 7. 29.
203) 모델이 특정 데이터셋에 과도하게 학습되어 발생하는 이슈로, 신규 데이터에 대한 효과적인 분류 또는 예측이 불가해짐

[그림 부록-5] 데이터 기반 배터리 진단 기법별 장단점 비교

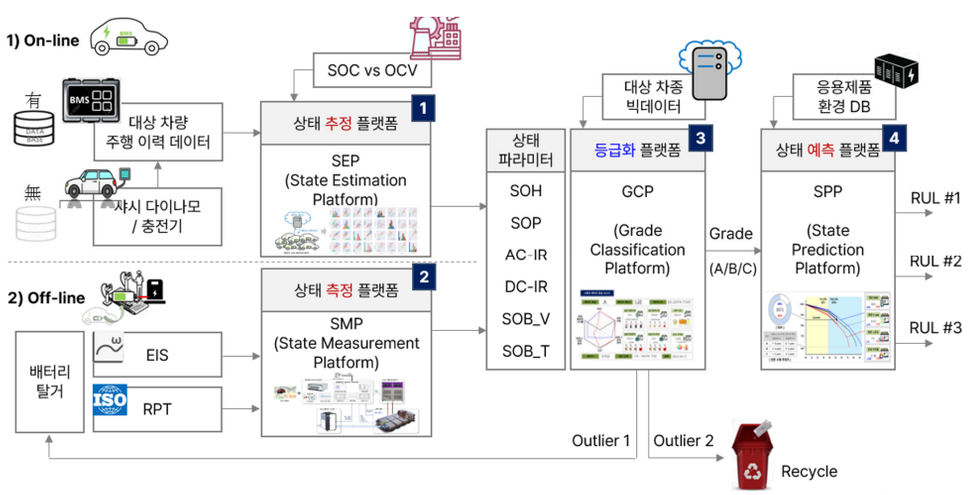


자료: Yao, L., Xu, S., et al.(2021), "A Review of Lithium-Ion Battery State of Health Estimation and Prediction Methods", World Electric Vehicle Journal

국내 기업 중에서는 최근 이브이링크와 민테크 등이 15분 이내 진단이 가능한 기술을 개발하고 있다. 이브이링크는 차량 OBD에 연결해 배터리의 BMS 정보를 스캔하여 잔존 성능을 진단할 수 있는 신속정밀진단기(CDS)를 개발하였다. 진단기 신뢰도는 완충완방형 대비 98% 이상이라고 홍보하고 있다.[204] 민테크의 경우 고전압 교류임피던스 측정기를 개발해 LG에너지솔루션, 현대차 등에 공급하고 있다.[205]

한편 한국자동차연구원은 '실차 데이터 활용 온보드 배터리 등급화 및 사용후 배터리 재사용 응용제품 검증기술 개발' 과제를 통해 배터리 상태 검진 솔루션과 배터리 재사용 제품에 대한 검증 기술 개발을 추진하고 있다. 배터리 탈착 여부 및 데이터 보유 여부에 따라 배터리 상태를 추정 및 측정하는 플랫폼, 등급분류를 위한 등급화 플랫폼, 상태 예측 플랫폼 등을 개발하고 있다.

[그림 부록-6] 한국자동차연구원이 추진 중인 배터리 재사용 검증기술



자료: 한국자동차연구원 전기동력기술부문 내부자료

204) 카테크, "전기차 배터리 신속 진단기 'CDS'는 전기 중고차거래 때 중요한 역할을 하게 될 것입니다(2024. 1. 8.)", https://www.cartech.co.kr/news/articleView.html?idxno=21793, accessed: 2024. 7. 12.

205) 디일렉, "현대차·LG엔솔 등 대기업이 찾는 '민테크' 경쟁력은? 배터리 숏주기 검사진단 기술!(2024. 5. 8.)", https://www.thelec.kr/news/articleView.html?idxno=27707, accessed: 2024. 7. 12.

현재 배터리 상태를 진단하는 주된 기준으로는 SoH가 사용되고 있으나, 최근 SoC(잔존용량)와 SoH(잔존수명)를 동시에 진단하는 기술이 개발되고 있다. SoH와 SoC간의 상관 관계를 고려하지 않은 독립적인 추정법으로는 정확한 배터리 상태를 진단하고 모니터링하기 어렵다는 지적이 제기되었기 때문이다. SoC-SoH 동시 추정 기술은 주로 데이터 분석에 기반하는데, 정확한 추정을 위해 GPR과 UKF 등 다양한 모델들을 같이 활용하는 방안이 제시되었다.

다만 현재까지 제시된 동시 추정 기법은 일반적으로 SoH 및 SoC를 개별 추정할 때보다 많은 계산이 필요하며, 정확한 추정을 위해 비교적 많은 종류와 양의 데이터가 필요하다는 점 등이 한계로 언급되고 있다.

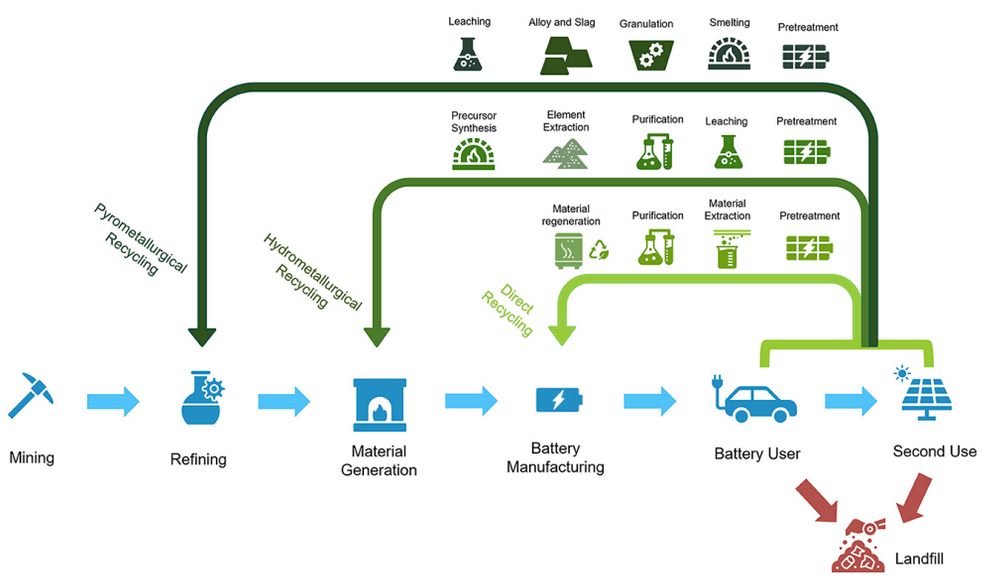
2. 사용후 배터리 재활용

배터리 재활용 분야에서는 재활용 공정의 환경성과 효율성 등을 개선하기 위해 직접 재활용, 리튬 선침출, 친환경 침출 등 기술이 개발되고 있다.

2.1. 직접 재활용

직접 재활용(Direct Recycling)은 배터리 양극에 코팅되어 있는 활물질을 물리적으로 뜯어내 재활용하는 방식이다. 배터리 분해 후 분쇄 과정을 거치는 건식, 습식공정 방식에 비해 직접 재활용 방식은 일부 공정을 생략할 수 있어 비용을 절감할 수 있다. 또한 공정에서 발생하는 탄소 배출량도 저감할 수 있다. 미국 에너지부(DoE) 산하 Argonne 연구소 소속 연구자 Gaines, L., Dai, Q., et al.(2021)에 따르면 직접 재활용은 에너지 및 물 사용량, 온실가스 및 황산화물(SOx) 배출량, 공정 소요 비용 등 여러 측면에서 건식·습식 공정 대비 유리하다. 특히 에너지 소비량과 온실가스 배출량은 기존 공정 대비 1/3 수준이며 황산화물 배출량은 배터리 신규 생산 대비 1/100의 수준으로 낮다고 한다.

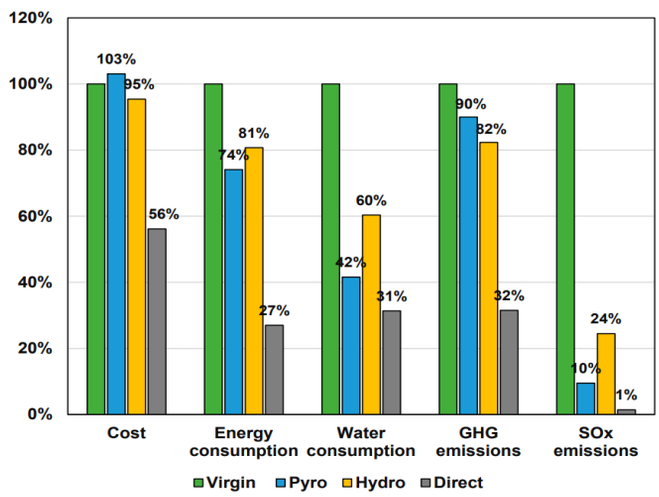
[그림 부록-7] 사용후 배터리 재활용 등 배터리 자원순환 과정



자료: Oscorp

[그림 부록-8] 배터리 재활용 공정별 비용, 환경 효과 비교

(단위: %)



주: NCM111 배터리 1kg 생산 또는 재활용 기준임. 왼쪽부터 순서대로 신품 생산, 건식공정에 따른 재활용, 습식공정에 따른 재활용 및 직접재활용 시 소요하는 비용, 에너지 소모량, 물 소모량, 온실가스 배출량, SOx 배출량임

자료: Gaines, L., Dai, Q., et al.(2021), "Direct Recycling R&D at the ReCell Center", Recycling

직접 재활용은 기본적으로 바인더 등의 물질의 기계적 제거와 양극활물질(CAM) 재생이라는 두 단계로 구성되는데, 후자의 경우 배터리 사용 과정에서 손실되었던 리튬을 CAM 구조에 보충하는 재결합 (Relithiation) 공정을 통해 양극재의 성능을 복원하는 핵심 과정이다.

〈표 부록-1〉 사용후 배터리 직접 재활용 방식 중 양극활물질 주요 재결합 공정

Process Type	Lithium Source	Conditions	Unique Features
Thermal	LiOH with knowledge of lithium vacancy concentration	Heating in 2 stages	—
Hydrothermal	LiOH/KOH solution	Low temperature hydrothermal reaction followed by high temperature anneal	—
Redox Mediator	Anode of electrochemical cell	Room temperature	Reaction facilitated by mediator
Ionothermal	Li salt in ionic liquid	Low temperature ionothermal reaction followed by high temperature anneal	Takes place in ionic liquid
Electrochemical	Anode of electrochemical cell	Room temperature	Roll-to-roll reactor under development

자료: Gaines, L., Dai, Q., et al.(2021), "Direct Recycling R&D at the ReCell Center", Recycling

다만 직접 재활용의 경우 양극재를 그대로 회수하여 사용할 수 있다는 점이 현재는 단점으로도 작용하고 있다. 배터리 기술이 빠르게 발전함에 따라 NCM622, NCM811등 다양한 원료 조합 비율을 가진 배터리들이 생산되고 있다. 그러나 직접 재활용으로 수년 전 생산된 NCM111 사용후 배터리에서 회수한 물질을 NCM9½½ 등의 최신 배터리에 그대로 활용하기 어렵기 때문에 한계가 있는 것이다.

이와 같은 한계를 극복하기 위해 업사이클링(Upcycling)이라는 기술이 주목받고 있다. 美 Argonne 연구소에 따르면 업사이클링은 양극재 구성을 화학적으로 변경하는 기술로 이를 통해 기존 NCM111 배터리를 NCM622 배터리로 업그레이드할 수 있다.[206]

206) Gaines, L., Dai, Q., et al.(2021), "Direct Recycling R&D at the ReCell Center", Recycling

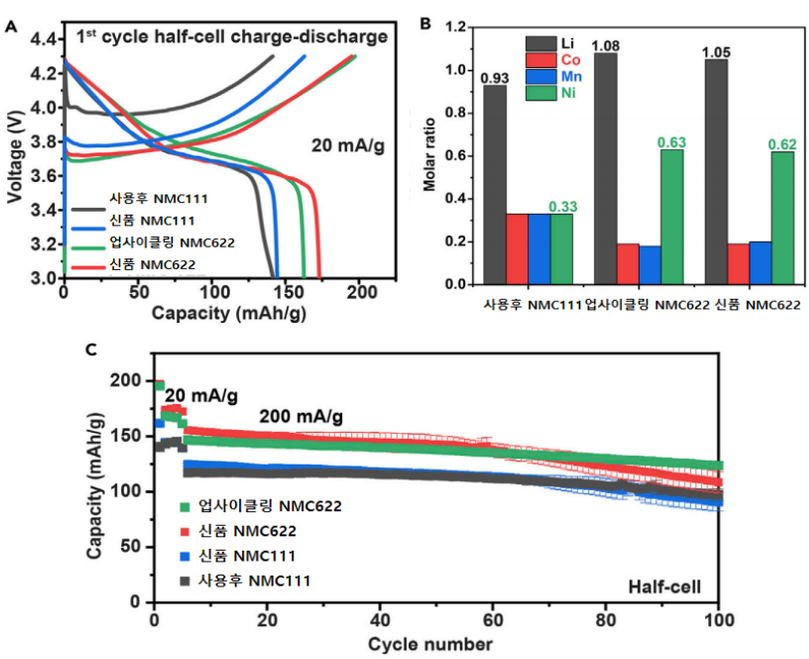
〈표 부록-2〉 배터리 상태별 양극재 구성

Sample	Composition
Pristine	$Li_{1.163}Ni_{0.393}Co_{0.390}Mn_{0.392}O_2$
Delithiated	$Li_{0.766}Ni_{0.391}Co_{0.390}Mn_{0.388}O_2$
Hydrothermal	$Li_{1.150}Ni_{0.381}Co_{0.390}Mn_{0.384}O_2$
Upcycled	$Li_{1.068}Ni_{0.598}Co_{0.261}Mn_{0.253}O_2$

주: 위부터 순서대로 신품 배터리, 탈리튬화(노후) 배터리, 수열 재결합 처리후 배터리, 업사이클링 후 배터리
자료: Davis, K., Demopoulos, G.(2024), "Effective upcycling of NMC 111 TO NMC 622 cathodes by hydrothermal relithiation and Ni-enriching annealing", Next Energy

한편 Wang, T., Luo, H., et al.(2022)는 상호 삼원 용융염(Reciprocal Ternary Molten Salts, RTMS)를 활용하여 NCM111에서 NCM622로의 업사이클링을 성공했다고 한다. 업사이클링된 배터리는 NCM111보다 우수하고 신품 NCM622와 유사한 성능과 구조를 보였다.

[그림 부록-9] 배터리별 첫 사이클 충방전 커브(a), 금속 몰비(b) 및 사이클 성능(c)



자료: Wang, T., Luo, H., et al.(2022), "Flux upcycling of spent NMC 111 to nickel-rich NMC cathodes in reciprocal ternary molten salts", iScience

직접 재활용 관련 기술을 보유한 기업에는 미국의 Princeton NuEnergy와 Onto Technology이 있고, 주요 기업 중에서는 Huayou Cobalt가 연구 개발을 진행 중이다. 한편 완성차 제조사 중에서는 혼다가 해당 기술에 관심을 가진 것으로 알려졌는데, '22년 UC샌디에이고 연구팀이 혼다로부터 스크랩을 제공받아 직접 재활용 방식으로 NCM111과 NCM622를 재생하는 연구를 실시한 바 있다.[207)]

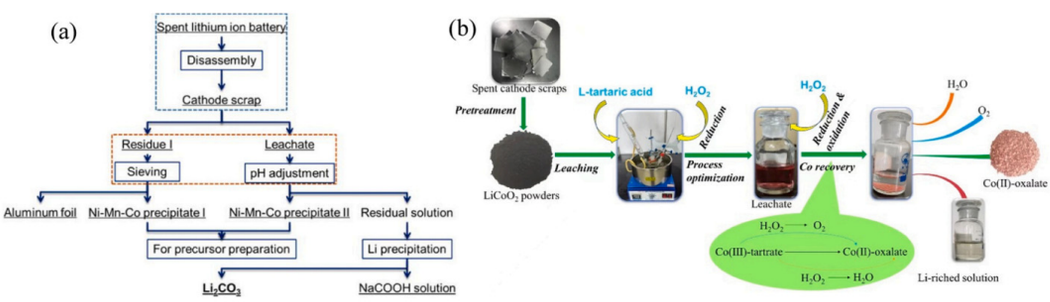
207) Gupta, V., Yu, X., et al.(2022), "Scalable Direct Recycling of Cathode Black Mass from Spent Lithium-Ion Batteries", Advanced Energy Materials

2.2. 리튬 선침출

리튬 회수에 중점을 두고 전처리 공정에서 산출된 블랙매스에서 다른 금속보다 리튬을 먼저 추출하는 기술도 개발되고 있다. 기존의 용매 추출 공정에서는 니켈·코발트·망간 등을 먼저 추출한 후 리튬을 마지막으로 회수해 리튬의 순도와 회수율이 비교적 낮았는데, 리튬 선침출 공정의 경우 리튬을 먼저 회수하기에 리튬의 회수율과 순도를 높일 수 있다. 리튬 선침출 기술을 활용하는 기업으로는 중국의 Huayou Cobalt와 우리나라 재영텍, 새빗켐 등이 있다.

리튬 선침출에는 주로 습식 공정이나 건식과 습식 공정을 결합한 공정이 활용되고 있다.[208] 습식 공정에서는 포름산·옥살산·타르타르산 등의 유기산을 침출제로 활용한 연구가 진행되었다. Cheng, Q., Marchetti, B., Chen, M.(2023)은 L-타르타르산과 과산화수소를 활용해 99.6%의 리튬을 회수했다.

[그림 부록-10] 포름산(a)과 L-타르타르산(b)을 활용한 리튬 선침출 기법 공정도



자료: Cheng, Q., Wang, Z., et al.(2024), "Recent advances in preferentially selective Li recovery from spent lithium-ion batteries: A review", Journal of Environmental Chemical Engineering

건식-습식 결합 공정에서는 환원제를 사용하여 양극 물질을 고온에서 가열해 리튬을 수용성 화합물로 전환시킨후 침출하는 방식이 활용되고 있는데, 특히 탄소를 환원제로 활용하는 연구가 활발히 진행되어 왔다. 탄소원으로는 다양한 물질들이 활용 가능한데 Zheng, Y., Shao, P., Yang, L.(2023)은 폐음극재(흑연)을 활용하여 90%의 리튬을 회수하였다고 한다.

〈표 부록-3〉 탄소원별 가열 및 침출 과정과 리튬 회수율

Spent cathode materials	Carbon source	Main process	Roasting temperature	Li recovery efficiency	Products
NCM	Spent anode graphite	Roasting in an Ar atmosphere, water leaching	700 °C	90%	Li_2CO_3, Ni, Co, MnO
Mixture of NCM and LCO	Lignite	Roasting in an Ar atmosphere, water leaching, acid leaching, and solvent extraction	650 °C	84.7%	Li_2CO_3 $MnSO_4$, $NiSO_4$, $CoSO_4$
$LiTMO_X$ (TM = Ni, Co, Mn) powders	Wood chips	Biomass pyrolysis in an Ar atmosphere, water leaching	500 °C	99.99%	Li_2CO_3 MnO, NiO, CoO
Mixture of NCM and LCO	Bamboo meal waste	Reducing roasting, acid pickling process, water leaching, and low concentration acid leaching	650 °C	99%	Li_2CO_3, Ni, Co, MnO
Spent NCM-523	Bean dregs	Biomass reduction roasting, carbonated water leaching	700 °C	93.8%	Li_2CO_3, Ni, Co, MnO
$LiNi_{0.5}Co_{0.2}Mn_{0.3}O_2$ and $Li_{0.99}Ni_{0.798}Co_{0.2}O_2$	Crushed powder of electrolytic waste cathodes (with 90.7% carbon)	Roasting in a N_2 atmosphere, water leaching	650 °C	98.2%	Li_2CO_3, Ni, Co, MnO
$Li(Ni_xMn_yCo_{1-x-y})O_2$	graphite	Roasting in an Ar atmosphere, water leaching, CO_2 gas reaction, acid leaching	1000 °C	93%	Li_2CO_3, Ni, Co, MnO

자료: Cheng, Q., Wang, Z., et al.(2024), "Recent advances in preferentially selective Li recovery from spent lithium-ion batteries: A review", Journal of Environmental Chemical Engineering

208) Cheng, Q., Wang, Z., et al.(2024), "Recent advances in preferentially selective Li recovery from spent lithium-ion batteries: A review", Journal of Environmental Chemical Engineering

2.3. 친환경 침출

습식공정에서는 블랙매스를 녹일 때 침출제로 주로 황산을 이용하는데, 이는 대표적인 유독물질로 DES(Deep Eutectic Solvent; 공융용매) 등의 친환경 침출제로 대체하려는 연구도 진행되고 있다.

DES는 특정 혼합 물질들이 수소결합에 의해 상온에서 비교적 쉽게 공융되는 성질을 이용하여 제조되는 용매로, 예를 들어 녹는점이 각각 302°C와 133°C인 염화 콜린(Chcl)과 요소(urea)를 1:2 몰비로 섞은 혼합물은 녹는점이 12°C로 낮아져 상온에서 액화해 DES를 형성한다.[209)]

〈표 부록-4〉 공융용매(DES)의 종류 및 활용처

Type	Description	General formula	Example	Application
Type I	A combination of metal and organic salts	$Cat^+ X^- z MCl_x$	$ZnCl_2 + ChCl$	Metal electrodeposition
Type II	A hydrate of metal salt and organic salt	$Cat^+ X^- z MCl_x yH_2O$	$CoCl_2 \cdot 6H_2O + ChCl$	Large scale industrial process
Type III	A mixture of hydrogen bond donor and organic salt	$Cat^+ X^- z RZ$	$ChCl + Urea$	Metal recovery, extraction, biocatalytic activity
Type IV	A mixture of metal salts in addition with hydrogen donor compound	$MClx + RZ = MCl_{x-1}{}^+RZ + MCl_{x+1}{}^-$	MCl_x + Urea/Ethylene Glycol/Acetamide	Precursor for LnDES, materials for superconductors, lasers, magnets, and electronics

자료: Padwal, C., Pham, H., et al.(2021), "Deep Eutectic Solvents: Green Approach for Cathode Recycling of Li-Ion Batteries", Advanced Energy & Sustainability Research

여러 DES 중에서 금속 산화물 용해에는 주로 타입 Ⅲ DES가 사용된다. 산도 및 환원성적인 측면에서 유리하기 때문이다. 그중에서도 염화콜린(Chcl) 기반 DES가 가장 많이 사용된다고 한다.

DES는 공정 친환경성 측면에서 장점이 있다. 황산을 활용한 기존의 무기산 침출 방식의 경우 공정을 1회 진행할 때마다 산성 폐수가 발생하나, DES는 재사용할 수 있기 때문이다.[210)] 또한 침출 공정에 과산화수소 등 환원제를 투입할 필요가 없다는 점 또한 장점이라고 할 수 있다. 다만 DES 등 친환경 침출제는 일반적으로 황산보다 가격이 비싸 상용화가 지연되고 있다고 한다.

〈표 부록-5〉 기존 습식공정과 DES 활용 공정 특성 비교

Factors	Hydrometallurgical process	DESs-based process
Chemicals	High concentration	Low concentration
Temperature	High	Intermediate
Reaction time	Intermediate	Short
Relative energy consumption	High	Moderate
Chemical cost	Intermediate	Low
Primary waste products	Liquid and solids	Liquid
Limitation	Corrosive acids	Viscosity
Recyclability	Non-recyclable	Partially or sometimes fully recyclable
Toxicity	High	Non-toxic (low)

자료: Padwal, C., Pham, H., et al.(2021), "Deep Eutectic Solvents: Green Approach for Cathode Recycling of Li-Ion Batteries", Advanced Energy & Sustainability Research

209) 이용선(2013), 새로운 친환경 용매: 낮은 전이온도 혼합물, 한국과학기술정보연구원
210) 김리나 외(2023), 공융용매를 활용한 폐 NdFeB자석으로부터 희토류 침출 거동, 한국자원공학회

참고문헌

〈국문 발간물〉

관계 부처 합동(2022), 전주기 탈플라스틱 대책

관계 부처 합동(2023), 이차전지 전주기 산업경쟁력 강화 방안

관계 부처 합동(2024), 사용후 배터리 산업 육성을 위한 법·제도·인프라 구축방안

국가기술표준원(2024), 안전성검사기관 지정현황('24.6월 기준), 국가기술표준원.

국가기술표준원(2024), 재사용전지의 안전성 검사제도 가이드북 Q&A, 국가기술표준원.

국회입법조사처(2023), 2023 국정감사 이슈 분석 IX: 과학기술정보방송통신위원회 환경노동위원회, 국회입법조사처.

김리나 외(2023), 공융용매를 활용한 폐 NdFeB자석으로부터 희토류 침출 거동, 한국자원공학회

김소희(2023), 토론문, 국회 폐플라스틱 원료부족 해결방안 정책토론회 발표자료(2023. 12. 1.), 이주환·구자근 의원실.

김은아 외(2023), 플라스틱 순환경제 시나리오와 미래전략, 국가미래전략 Insight 65호, 국회미래연구원.

김호은(2024), 환경부 자원순환정책과 발표자료, 제23차 환경정책심포지엄: UN 플라스틱 국제협약 마지막 단계에서 우리의 대응 전략과 역할은?(2024. 6. 26.) 발표자료, 한국환경한림원.

남준희(2018), 굿바이! 카, 2018, 한티재.

남준희(2023), Review of Korean National System, fifth FORS international conference 발표자료, Polish Vehicle Recycling Association.

대한상공회의소(2021), 플라스틱 폐기물에 대한 인식조사 및 정책과제 건의, 대한상공회의소.

민달기(2023), 폐플라스틱 원료공급 현황과 재활용 시장의 균형 발전을 위한 경제성 확보, 국회 폐플라스틱 원료부족 해결방안 정책토론회 발표자료(2023. 12. 1.), 이주환·구자근 의원실.

민테크(2023), 전기차 사용후 배터리 3세대 진단 기술 동향

박정우·박지현 외(2022), EV 폐배터리팩 재활용을 위한 인간-로봇 협업 해체 공정 개념 설계, 한국 정밀공학회 2022년도 추계학술대회논문집(2022.10), Vol.2022, No.1[2022], 한국정밀공학회

박종선(2022), 폐배터리 산업 본격성장을 앞두고 이륙 준비 중, 유진투자증권.

박희주(2020), EU의 신순환경제실행계획의 주요 내용과 시사점, 한국소비자원.

배터리 얼라이언스(2023), 사용후 배터리 통합관리체계 업계(안), 배터리산업협회

산업통상자원부(2021), 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립

산업통상자원부(2024a). K-자동차, 지난해 사상 최초로 709억 달러 수출대기록

산업통상자원부(2024b), 민-관 합동 '산업 공급망 탄소데이터 플랫폼' 구축 추진

산업통상자원부·환경부(2021), 탄소중립을 위한 한국형(K)-순환경제 이행계획 수립

성일하이텍(2022), LIB 재활용 기술 및 동향, 2022 한국세라믹학회 춘계학술대회.

성일하이텍(2023), 2022년 사업보고서

성일하이텍(2024), 2024 SNE Battery Day, 발표자료집(2024. 7. 24.), SNE Research

신현도(2024), 2024년 인천항 중고자동차 수출 세미나 발표자료, 2024.2.

에너지경제연구원(2018), 전기차 사용후 배터리 거래시장 구축을 위한 정책 연구

여준석·이승필(2022), 미래폐기물 자원순환 생태계 활성화를 위한 정부지원 방안: 전기차 사용후 배터리를 중심으로, 한국과학기술기획평가원.

윤주호(2023), 전기차와 자동차부품 재활용, 한국자원순환협회 자문보고서

이민영 외(2016), 폐자동차 적정 처리·재활용 비용 산정 등에 관한 연구, 환경부 용역과제 보고서.

이베스트투자증권(2022), 미·중용 배터리 메탈 슬러그

이베스트투자증권(2023), 배터리 애프터 마켓

이서현(2023a), Catena-X가 함의하는 車 산업 데이터 공유 방향, 산업분석 Vol. 118, 한국자동차연구원.
이서현(2023b), 배터리 교환식 전기차의 가능성과 필요성, 산업분석 Vol. 121, 한국자동차연구원.
이서현(2024a), 배터리 재사용·재활용 산업 활성화 방향, 산업분석 Vol. 131, 한국자동차연구원.
이서현(2024b), 유럽·日 산업데이터 연계동향과 우리의 방향, 산업분석 Vol. 136, 한국자동차연구원.
이서현(2024c), 사용후 배터리 재사용·재활용 정책동향, SNE Battery Day 발표자료
이소라 외(2019), 순환경제로의 전환을 위한 플라스틱 관리전략 연구, 한국환경정책·평가연구원.
이연진·여준석(2023), 폐플라스틱 화학적 재활용 기술, KISTEP 브리프 100, 한국과학기술기획평가원.
이용선(2013), 새로운 친환경 용매: 낮은 전이온도 혼합물, 한국과학기술정보연구원.
이충기·하일정 외(2024), 미래폐자원 관리품목 다변화 및 확대 방안 마련, 한국환경공단 용역보고서 최종보고 발표자료, 환경전략컨설팅.
이희선 외(2015), 폐자동차의 자원순환 고도화 방안을 위한 폐자원 및 잔재물 흐름분석, 한국환경정책평가연구원.
임헌정(2024), 자동차 데이터 포털 개발현황 및 주요기능, 모빌리티 인사이트, 202406 Vol.31, 한국자동차연구원.
장용철(2023), 한국 플라스틱의 물질흐름분석과 순환경제 구축 전략, 한국폐기물자원순환학회 심포지움 (2023.05), Vol. 2023 No.1, 한국폐기물자원순환학회, pp. 5~20.
전호석 외(2014), 독일의 폐차(ELVs) 및 파쇄잔재물(ASR) 처리현황, 한국폐기물자원순환학회 추계학술연구발표회, 2014(0), pp. 160~160.
제주연구원(2018), 2017년 제주 월간 전기차 리포트(통합본)
조지혜·주현수·이소라·김유선(2017), 이차전지의 폐자원흐름 분석 및 자원순환성 제고방안, 한국환경정책·평가연구원.
중소벤처기업부(2024a), 중소기업 전략 기술 로드맵 2024~2026 전략품목 환경분석-사용후 배터리 재사용 시스템, 중소벤처기업부.
중소벤처기업부(2024b), 중소기업 전략 기술 로드맵 2024~2026 전략품목 환경분석-폐배터리 재활용 시스템), 중소벤처기업부.
중소벤처기업부(2024c), 중소기업 전략기술로드맵 2024~2026-탄소중립 이행: 자원재활용, 중소벤처기업부.
한국과학기술기획평가원(2024), 2022 기술수준평가, 과학기술정보통신부.
한국자동차연구원(2023), 제2장 자동차 산업, 2023 한-인도네시아 산업혁신 연구협력사업 국제 공동연구: Making Indonesia 4.0 산업정책 5대 전략산업 및 제4차 산업혁명 혁신 정책Ⅲ, 경제인문사회연구회.
한국전기차산업협회(2023), 전기차 사용후 배터리 산업 발전 방안 세미나 발표자료
한국환경관리공단(2023), 2023년도 EPR 의무생산자 교육자료, 한국환경관리공단.
한국환경한림원·한국환경연구원(2024), 제23차 환경정책심포지엄_UN플라스틱 국제협약: 마지막 단계에서 우리의 대응 전략과 역할은?, 발표자료집(2024. 6. 26.), 한국환경한림원
한정석(2022), 폐플라스틱의 화학적 재활용, '22. 화학특허판례연구회 4분기 기술동향 연구, 특허청 고분자섬유심사과.
홍수열(2024), 플라스틱 국제협약 전망 및 과제, 제23차 환경정책심포지엄: UN 플라스틱 국제협약 마지막 단계에서 우리의 대응 전략과 역할은?(2024. 6. 26.) 토론자료, 한국환경한림원.
환경노동위원회(2024), 예비심사검토보고서
환경부(2018), 전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구
환경부(2022), 2016~2020년 자동차 온실가스 관리제도 이행실적 공개
환경부·한국환경관리공단·한국자동차해체재활용협회(2022), 전기자동차 배터리 해체·보관·운반 매뉴얼, 환경부.
황준석(2024), EU 에코디자인 규정 발효에 따른 시사점 및 대응 방안, Trade Focus, 2024년 28호, 한국무역협회 국제무역통상연구원.
IBK투자증권(2023), ESG 순환경제, 배터리 리사이클링
KDB 산업은행 미래전략연구소(2024), EU 공급망 실사지침의 주요 내용과 파급효과, 산은조사월보 2024년 5월, 이슈분석 제822호, KDB 산업은행.
KOTRA(2023), 알기 쉬운 EU 통상 정책 시리즈: EU 배터리 규정, KOTRA 자료 23-047, KOTRA.

PwC(2022), 순환경제로의 전환과 대응전략: 플라스틱과 배터리(이차전지)를 중심으로
SK증권(2022), 배터리 리사이클링
SNE Research(2024), 2024 SNE Battery Day, 발표자료집(2024. 7. 24.), SNE Research

〈영문 발간물〉

Allagui, A., Belhadj, I., et al.(2023), "Reinforcement learning for disassembly sequence planning optimization", Computers in Industry
American Chemistry Council(2023), Chemistry and Automobiles Lighting the Way to the Future of Motor Vehicles
Biswal, B., Zhang, B., et al.(2024), "Recycling of spent lithium-ion batteries for a sustainable future: recent advancements", Royal Society of Chemistry.
Cheng, Q., Wang, Z., et al.(2024), "Recent advances in preferentially selective Li recovery from spent lithium-ion batteries: A review", Journal of Environmental Chemical Engineering
Choux, M., Bigorra, E., Tyapin, I.(2021), "Task Planner for Robotic Disassembly of Electric Vehicle Battery Pack", Metals
Dale Hall and Nic Lutsey(2018), Effects of battery manufacturing on electric vehicle life-cycle greenhouse gas emissions, ICCT.
Davis, K., Demopoulos, G.(2024), "Effective upcycling of NMC 111 TO NMC 622 cathodes by hydrothermal relithiation and Ni-enriching annealing", Next Energy
DoE(2022), Bipartisan Infrastructure Law(BIL) Electric Drive Vehicle Battery Recycling and Second Life Applications
EuCia(2023), NEW ELV DIRECTIVE: CONSIDERATIONS FROM THE COMPOSITES VALUE CHAIN PERSPECTIVE, Position Paper, The European Voice of Composites
European Commission(2023a), Impact Assessment Report Accompanying the document Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, European Commission.
European Commission(2023b), Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council: on circularity requirements for vehicle design and on management of end-of-life vehicles, amending Regulations (EU) 2018/858 and 2019/1020 and repealing Directives 2000/53/EC and 2005/64/EC, European Commission.
Evdokia Moïsé·Stela Rubínová(2023), Trade policies to promote the circular economy: A case study of lithium-ion batteries, OECD.
Gaines, L., Dai, Q., et al.(2021), "Direct Recycling R&D at the ReCell Center", Recycling 6, no. 2: 31
Graner, M., Heieck, F., et al.(2023), "Requirements for a process to remanufacture ev battery packs down to cell level and necessary design modifications, Advances in Automotive Production Technology-Towards Software-Defined Manufacuring and Resilient Supply Chains, Conference Paper, SCAP 2022
Harper, G., Sommerville, R., et al.(2019), "Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles", Nature
Hong, J., Wang, Z., et al.(2021), "Online accurate state of health estimation for battery systems on real world electric vehicles with variable driving conditions considered", Journal of Cleaner Production
Marta Iglesias-Embil et al(2020), Raw material use in a battery electric car? a thermodynamic rarity. assessment, Resources, Conservation and Recycling, Volume 158, 2020.

Maury, T., Tazi, N., et al.(2023), “Towards recycled plastic content targets in new passenger cars and light commercial vehicles Technical proposals and analysis of impacts in the context of the review of the ELV Directive”, JRC Science for Policy Report, European Commission.
Meng, K., Xu, G., et al.(2022), “Intelligent disassembly of electric-vehicle batteries: a forward-looking overview”, Resources, Conservation & Recycling
nova-Institut GmbH(2024), RCI Position Paper on Chemical and Physical Recycling, nova-Institut.
OECD(2022), Global Plastics Outlook, OECD.
Padwal, C., Pham, H., et al.(2021), “Deep Eutectic Solvents: Green Approach for Cathode Recycling of Li-Ion Batteries”, Advanced Energy & Sustainability Research
Taylor Uekert et al.(2023), Technical, Economic, and Environmental Comparison of Closed-Loop Recycling Technologies for Common Plastics, ACS Sustainable Chemistry & Engineering, 11 (3), pp. 965~978.
UNEP(2021), USED VEHICLES AND THE ENVIRONMENT – Progress and updates 2021, UNEP.
Wang, T., Luo, H., et al.(2022), “Flux upcycling of spent NMC 111 to nickel-rich NMC cathodes in reciprocal ternary molten salts”, iScience
Wang, Z., Zhao, X., et al.(2023), “A review on rapid state of health estimation of lithium-ion batteries in electric vehicles”, Sustainable Energy Technologies and Assessments
Wu, S., Kaden, N., Dröder, K(2023), “A Systematic Review on Lithium-Ion Battery Disassembly Processes for Efficient Recycling”, Batteries
Zhang, Q., Zhang, X., et al.(2021), “Recyclable waste image recognition based on deep learning”, Resources, Conservation & Recycling
Zhu, J., Matthews, I., et al.(2021), “End-of-life or second-life options for retired electric vehicle batteries”, Ceel Reports Physica Science

〈그외 언어 발간물〉

阿部新(2011), “拡大生産者責任と廃棄物処理行動：自動車リサイクルを事例とした制度比較”,『研究論叢. 人文科学・社会科学』, Vol.61, pp. 1~14.
阿部新(2024a), 欧州使用済自動車規則案の経済学的な視点：行方不明車問題を中心に, 速報自動車リサイクル, Vol.155, SEIBIKAI, 2024.5.
阿部新(2024b), 欧州使用済自動車規則案の経済学的な視点：目標値の設定を中心に, 速報自動車リサイクル, Vol.157, SEIBIKAI, 2024.6.
株式会社東レ経営研究所(2023), 特集 脱炭素化のカギを握る蓄電池産業の役割と今後の注目点② サーキュラーエコノミーの先行事例としても注目される蓄電池のリユース・リサイクル
劉玉萍, 外川健一(2023), 中国における廃車回収・解体産業の動向と課題－ 2017 年度から2021 年度までの『中国汽車市場年鑑』を分析して－, 速報自動車リサイクル, Vol.104, SEIBIKAI, 2023.1.
Fourin(2024), 世界自動車法定政策調査月報 2024年9月號

〈국문 인터넷 자료〉

EcoAS, https://www.ecoas.or.kr/
KED Global, https://www.kedglobal.com/
KIA 우리사주조합, http://www.kiawoori.org/
Korea industry Post, https://www.kipost.net/
KOTRA, https://dream.kotra.or.kr/

SK에코플랜트, https://news.skecoplant.com/
국제신문, https://www.kookje.co.kr/
규제정보포털, https://www.better.go.kr/
그린포스트코리아, https://www.greenpostkorea.co.kr/
기아, https://worldwide.kia.com/
뉴스1, https://www.news1.kr/
뉴스트리, https://www.newstree.kr/
뉴스펭귄, https://www.newspenguin.com/
뉴스핌, https://www.newspim.com/
뉴시스, https://www.newsis.com/
대한민국 정책브리핑, https://www.korea.kr/
동아일보, https://www.donga.com/
디일렉, https://www.thelec.kr/
딜사이트, https://dealsite.co.kr/
로봇신문사, http://irobotnews.com/
머니투데이, https://news.mt.co.kr/
비즈한국, https:// www.bizhankook.com/
서울경제, https://www.sedaily.com/
산업인뉴스, https://www.sanupin-news.kr/
소비자주권회의, http://cucs.or.kr/
시사저널e, https://www.sisajournal-e.com/
신현도의 중고차 리서치, https://blog.naver.com/hdshin7/
연합뉴스, https://www.yna.co.kr/
연합매일신문, http://www.ymnews.co.kr/
오토헤럴드, https://www.autoherald.co.kr/
중앙일보, https://www.joongang.co.kr/
카테크, https://www.cartech.co.kr/
파이낸셜 뉴스, https://www.fnnews.com/
플라스틱코리아, https://www.plastickorea.co.kr/
한겨레, https://www.hani.co.kr/
한국경제, https://www.hankyung.com/
한국무역협회, https://www.kita.net/
한국순환자원유통지원센터, http://www.kora.or.kr/
한국일보, https://www.hankookilbo.com/
한국자동차자원순환공제조합, https://k-autorc.or.kr/
한국지질자원연구원, https://www.kigam.re.kr/
한국포장재활용사업공제조합, https://kprc21482.cafe24.com/
한국환경공단, https://www.keco.or.kr/
현대자동차, https://www.hyundai.com/
현대트랜시스, https://blog.hyundai-transys.com/
환경경영신문, http://ionestop.kr/
환경일보, https://www.hkbs.co.kr/

〈영문 인터넷 자료〉

Capital One, https://www.capitalone.com/
European Commission, https://ec.europa.eu/commission/
iSeeCars, https://www.iseecars.com/
Marklines, https://www.marklines.com/
Oscorp, https://www.oscorpenergy.com.au/
Rapid Direct, https://www.rapiddirect.com/
Recycling International, https://recyclinginternational.com/
Recycling Magazine, https://www.recycling-magazine.com/
S&P Global, https://www.spglobal.com/
The Driven, https://thedriven.io/
United Nations, https://www.un.org/

〈그외 언어 인터넷 자료〉

21世纪经济报道, https://www.21jingji.com/
36kr, https://36kr.com/
CATARC, https://catarc.net.cn/
China Plastic Recycling Association, http://www.replastics.org/
JETRO, https://www.jetro.go.jp/
Nikkei X Tech, https://xtech.nikkei.com/
盖世汽车, https://auto.gasgoo.com/
国情网, http://guoqing.china.com.cn/
大书豪信息网, https://www.dashuhao.com/
山东省二手车流通协会, http://www.succa.cn/
三和鍍金, https://sanwamekki.com/
新华网, https://app.xinhuanet.com/
新华每日电讯, http://www.news.cn/
新华报业网, https://www.xhby.net/
中国经济网, http://auto.ce.cn/
中国汽车报网, http://www.cnautonews.com/
中国汽车报网,http://www.cnautonews. com/
中国循环经济协会, https://www.chinacace.org/
中国政府, https://www.gov.cn/
澎湃, https://www.thepaper.cn/
投中网, https://www.chinaventure.com.cn/
海关律师网, https://www.customslawyer.cn/

〈통계자료〉

국토교통부(자동차운영보험과), 2023, 1인당 자동차 등록대수(시도/시/군/구) 통계
국토교통부(자동차운영보험과), 2024, 자동차등록현황보고 - 자동차등록대수현황 통계
한국무역협회 K-Stat 무역통계
한국은행 2019년도 산업연관표 연장표
Eurostat
e-Stat
US Census

주의사항

1. 본 보고서는 한국자동차연구원의 공식적인 입장이 아닌 저자 개인의 견해를 반영하고 있습니다.

2. 해당 자료를 대외적으로 게재, 인용할 때에는 반드시 한국자동차연구원의 사전 허락을 받기 바라며, 무단 복제 또는 재배포를 금지합니다.

자동차 자원순환의 필요성과 시사점 : 플라스틱·배터리 재활용을 중심으로

인쇄일 2024년 10월
발행일 2024년 10월
발행자 나 승 식
발행처 한국자동차연구원
주 소 충남 천안시 동남구 풍세면 풍세로 303
전 화 041-559-5905
이메일 shlee3@katech.re.kr