

페리튬 2차전지의 Re-Use와 Re-Cycling 산업 및 기술현황

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
조윤상 연구위원(yscho1@kdb.co.kr)

- I. 전기자동차용 전지 개요
- II. 폐전지 국내·외 산업 현황
- III. 폐전지 Re-Use 및 Re-Cycling 기술 현황
- IV. 대응 방향

국내 전기자동차 보급은 2018년 누적 기준 약 5.7만대이며 정부는 「2030년 국가 로드맵」을 통해 2030년까지 300만대로 확대할 계획으로, 향후 전기자동차에서 발생하는 폐전지의 규모 역시 크게 증가할 것으로 예상된다. 현재 전기자동차의 폐전지에 대한 재활용 체계는 매우 미흡한 실정이다. 「대기환경보존법」으로 보조금을 지원받는 전기자동차의 폐차시 전지는 시·도지사에게 반납하도록 규정하고 있으나, 이후 운반 및 평가 등에 대한 구체적인 방법이 마련되지 않아 재활용 산업은 사실상 사각지대에 놓여 있다.

전기자동차 전지의 용량은 초기 대비 70% 이하로 감소하면 충·방전 시간, 주행거리 등의 문제로 교체가 필요하다. 자동차는 폐차 신고 의무화로 전지 이력추적이 가능하여 폐전지의 수거가 용이하고 잔존용량을 감안하면 ESS(에너지 저장장치 : Energy Storage System)로 재활용 가치가 높아, 전기자동차 생산업체들은 폐전지를 통해 ESS로 Re-Use하는 방안을 적극 검토하고 있다.

반면에 소형 IT기기에서 발생하는 폐전지는 전기자동차 대비 고가의 희유 금속(코발트) 함량이 높아 회수를 위한 Re-Cycling이 유리하다.

미국, 일본 및 EU 등도 국내와 마찬가지로 폐전지의 회수는 의무화하고 있으나 재활용을 위한 제도적 절차는 논의 중이다. 전기자동차, 소형 IT기기 등은 국내·외 기업들의 참여가 지속적으로 확대되는 분야인 만큼 폐전지의 Re-Use와 Re-Cycling과 관련한 친환경적 자원순환 및 신시장 창출을 위해서 성공적인 재활용 사업화 모델을 만들어야 한다. 이를 위하여 업계와 정부의 제도적 기반마련과 함께 금융부문은 폐전지 재활용 산업의 활성화를 위한 다양한 방식의 금융 방안 마련이 필요할 것으로 보인다.

* 본고의 내용은 집필자의 견해로 당행의 공식입장이 아님

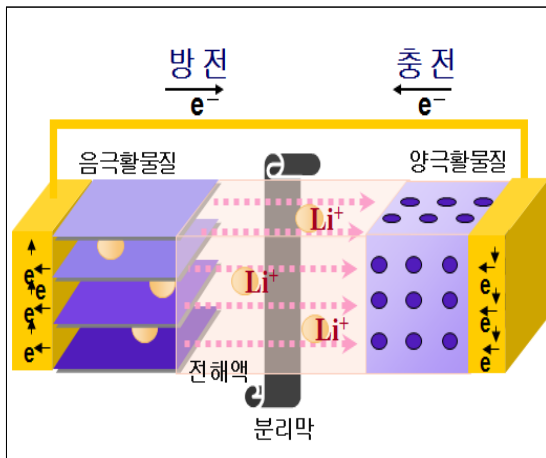
I. 전기자동차용 전지 개요

1. 리튬 2차전지의 원리와 구성

□ 전지의 구성과 작동원리

- 전기자동차에 사용되는 리튬 2차전지는 소형 IT기기에 사용되는 전지와 구성이 동일하며, 양극활물질(Cathode), 음극활물질(Anode), 분리막(Separator), 전해질(Electrolyte) 등으로 구성되어 있음
- 양극활물질은 리튬 이온의 공급원이며 충전시 산화반응이 일어나면서 리튬 이온을 방출하며, 방전시 환원반응이 일어나면서 리튬 이온을 흡수
- 음극활물질은 양극활물질과 반대로 충전시 리튬 이온과 전자(Electron)를 흡수하며, 방전시 리튬 이온과 전자를 방출
- 분리막은 전지의 양극활물질과 음극활물질을 분리하여 내부단락(닿는 것)을 방지함과 동시에, 충·방전이 일어날 수 있도록 리튬 이온을 통과시키는 기능을 하는 다공성 고분자 필름임
- 전해질은 양극활물질과 음극활물질에서 산화 또는 환원된 이온이 이동할 수 있는 통로를 제공

〈그림 1〉 리튬 2차전지 작동원리



〈표 1〉 리튬 2차전지 원가 구성

(단위 : %)

구 성	비 중
양극활물질	40
음극활물질	10
분 리 막	15
전 해 질	10
기타(조립 등)	25
합 계	100

□ 소형전지와 중·대형 전지 비교

- 리튬 2차전지는 응용분야에 따라 IT 기기 등에 사용되는 소형전지와 전기자동차 등에 사용되는 중·대형 전지로 구분되며, 각각 사용되는 양극활물질이 상이함
 - 소형 리튬 2차 전지의 양극활물질로는 우수한 방전 및 고용량 특성을 가진 LiCoO_2 (이하 LCO)가 사용됨
 - 중·대형 리튬 2차 전지용 양극활물질은 저렴한 가격과 고출력의 장점으로 $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Al}_y\text{Co}_z]\text{O}_2$ (이하 NCA) 및 $\text{Li}[\text{Ni}_x\text{Co}_y\text{Mn}_z]\text{O}_2$ (이하 NCM) 등이 사용됨

<표 2> 소형과 중·대형전지 양극활물질 비교

항 목	LCO	NCM	NCA
장 점	· 합성이 용이 · 충전이 유리	· 순간출력 우수 · 수명 우수	· 용량 우수 · 수명 우수
단 점	· Co 함량이 높아 가격경쟁력 열위	· 합성이 어려움	· 합성이 어려움
용 도	소형(스마트폰 등)	중·대형(전기자동차, ESS 등)	

- 소형 IT용 전지의 경우, 양극활물질인 LCO에 포함된 고가 소재인 코발트 (Co) 함량이 높아 폐전지로부터 Co, 니켈(Ni) 등 추출로 재활용되고 있으며, 중·대형 전지는 Co의 함량이 낮고, 전지의 레이저 용접으로 인한 해체의 어려움 등으로 잔존용량 및 안전성 등을 평가 후 ESS 등으로 활용되는 방안이 연구되고 있음
- NCM은 니켈(Ni)의 함량이 높을수록 용량이 증가하는 특징으로, 니켈 함량을 증가시키는 방향으로 개발이 가속화되고 있음
 - 니켈 함량에 따라 532(Ni 50%, Co 30%, Mn 20%), 622(Ni 60%, Co 20%, Mn 20%), 811(Ni 80%, Co 10%, Mn 10%)로 구분
 - 국내와 일본 업체들은 NCM 대용량화를 위해 NCM 811을 개발하는 등 High End 제품에 집중하고 있음
- NCA는 니켈(Ni)의 함량이 80% 이상으로 기술적 장벽이 높은 제품으로, 한국과 일본 업체들만이 개발하여 생산하고 있음

□ 전기자동차용 2차전지 구성

- 전기자동차용 전지는 소형 IT기기용 전지에 비해 150~8,000배에 달하는 전력량이 필요하기에 전지의 기본단위인 Cell을 일정한 개수로 묶은 Module과 각종 자동차에 맞는 설계 및 부품을 장착한 Pack으로 구성됨
 - 배터리 Pack은 적용되는 전기자동차의 모델에 따라 형태가 다양함

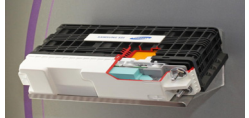
<표 3> 분야별 2차 전지 사용량 비교

항 목	스마트폰	전동공구	E-Bike	HEV	PHEV	BEV	E-Bus
제 품							
용 량	0.01kWh	0.1kWh	~1.0kWh	1.5kWh	12kWh	40kWh	80kWh
사용량 비율	1	10	100	150	1,200	4,000	8,000

자료 : SNE Research(2018), “리튬 이차전지 주요 소재 업체 심층 분석”

- 생산업체별 전기자동차 모델에 따라 다양한 형태로 배터리 Pack이 조립됨
 - 배터리 Cell과 Module 역시 전지 생산업체별로 형태 및 용량이 상이함

<표 4> 전기자동차용 2차전지 구성

구 분	정 의	형 태
배터리 Cell	- 전기에너지를 충방전할 수 있는 전지의 기본단위 - 양·음극 등을 알루미늄 Can 및 Pouch에 넣은 형태	
배터리 Module	- Cell을 외부충격과 열, 진동 등으로부터 보호하기 위해 일정한 개수로 묶어 프레임에 넣은 조립체	
배터리 Pack	- 전기자동차에 장착되는 최종 형태 - 냉각시스템, BMS(Battery Management System), 보호 회로 등을 장착함	

자료 : 삼성SDI 홈페이지

2. 재활용 방안의 종류와 정의

□ Re-Use의 정의

- 전기자동차에 사용되는 리튬 2차전지는 초기 용량대비 70% 이하로 감소하면 주행거리 감소, 충전 속도 저하 및 안전성 위험 증가 등 운행상 문제로 교체가 필요함
- Re-Use는 전기자동차에서 분리된 전지를 ESS(에너지 저장장치 : Energy Storage System) 등의 전원으로 재사용하는 것임
 - 효율이 다소 열위한 교체 전지도 잔존용량을 감안하면 지속적인 충·방전이 가능하기에 ESS로 재사용시 자원 선순환 생태계 구축이 가능

□ Re-Cycling의 정의

- Re-Cycling은 폐전지의 양극활물질로부터 고가의 희유금속¹⁾을 추출하는 것을 말하며, 대부분의 희유금속은 수입에 의존하고 있어, 전지 Re-Cycling으로 안정적인 재료 확보가 가능할 것으로 예상
- Co 함량이 높은 소형전지 또는 용량 저하가 심하거나 외부 충격 등으로 파손이 발생하여 ESS로 재사용이 불가한 전지 등의 경우, 전지내 함유된 고가의 금속을 회수하는 방안이 필요함

<표 5> 재활용 방안 구성

구 분	주요 설비 및 요건	전지 구분	비 고
Re-Use	- 폐전지 진단 및 분석 설비 - ESS 제작 및 운영 Know-How	중·대형 전지	사업화 사례 없음
Re-Cycling	- 폐전지 방전 시스템 - 구성물질 회수 공정 기술 확보	소형 전지	Umicore(벨), 성일하이텍(한) 등 사업화 활성화

1) 희유금속(Rare Metal)은 수요에 비해 매장량이 극히 부족하거나 추출이 어려운 금속, 또는 매장 및 생산이 일부 국가 편중되어 있어 원활하게 공급이 힘든 금속을 지칭하며, 리튬 2차전지 양극활물질 중 코발트(Co), 니켈(Ni), 망간(Mn) 등이 희유금속에 해당함

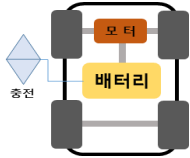
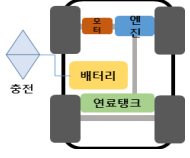
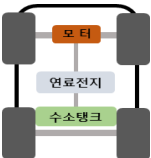
Ⅱ. 폐전지 국내·외 산업 현황

1. 국내 산업 현황

□ 전기자동차 종류와 정의

- 전기자동차는 크게 4가지로 구분되며, 이 중 수소연료전지 자동차를 제외한 3가지 타입의 전기자동차에 리튬 2차전지가 사용됨
 - 순수 전기자동차(BEV)와 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEV)는 가정용 콘센트 전원을 이용하게 충전할 수 있으며, 배터리 용량이 비교적 높음
 - 하이브리드 전기자동차(HEV)는 내연엔진을 주로 사용하고, 전지는 보조로 사용되어 용량이 작아 전기자동차 보급 및 폐전지 발생량 추정에는 제외하였음

<표 6> 전기자동차의 종류 및 구조

구 분	정 의	차종별 전지 구성도
순수 전기자동차 (BEV, Battery Electric Vehicle)	- 외부전원으로 충전할 수 있는 전지를 통한 전기에너지만을 동력원으로 사용하는 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 40kWh	
플러그인 하이브리드 전기자동차 (PHEV, Plug-In Hybrid Vehicle)	- 외부전원으로 충전할 수 있는 전지가 주동력원이며, 엔진은 보조적 역할을 하는 하이브리드 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 12kWh	
하이브리드 전기자동차 (HEV, Hybrid Electric Vehicle)	- 내연기관이 주동력원이며 보조적 역할을 하는 전기모터를 함께 사용하여 최적조건으로 운행하는 전기자동차 - 리튬 전지용량 ≒ 1.5kWh	
수소연료전지 자동차 (FCEV, Fuel Cell Electric Vehicle)	- 산소·수소의 전기화학적 반응으로 전기를 생산하여 구동하는 전기자동차	

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

□ 전기자동차 확대에 따른 폐전지 발생량 추정

- 국내의 전기자동차 판매량은 2018년 기준으로 57,289대 보급되었으며, 연평균 약 94%(2012~2018년)의 급격한 성장세를 기록하고 있음
- 정부는 「미래자동차산업 발전전략」 및 「2030년 국가 로드맵」을 통해 2030년에는 전기자동차 누적 보급대수 300만대 계획을 발표하였음

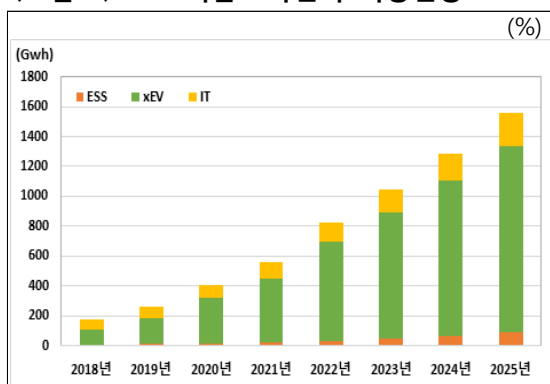
<표 7> 연도별 전기자동차(BEV, PHEV) 보급 현황

구 분	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	계
신규	753	780	1,075	2,907	5,914	13,826	31,696	57,289
누적 (증가율)	1,091 (-)	1,871 (71.4%)	2,946 (57.4%)	5,853 (98.6%)	11,767 (101.0%)	25,593 (117.4%)	57,289 (123.8%)	57,289

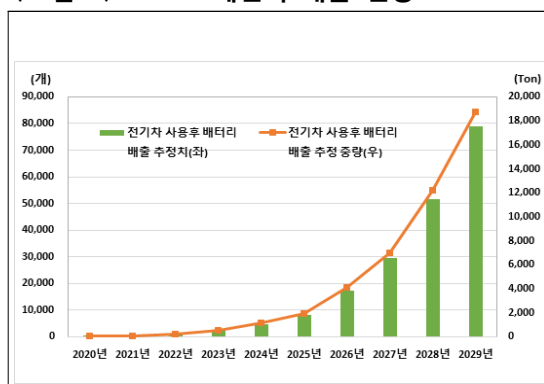
자료 : 환경부 보도자료(2018)

- 전기자동차 전지는 통상 5~10년 사용 후 폐기되며, 폐전지 시장은 2028년 이후 본격화될 것으로 전망
- 에너지경제연구원은 2029년 국내 기준 전기차 폐전지는 약 8만개가 배출될 것으로 추정

<그림 2> 리튬 2차전지 시장전망



<그림 3> 폐전지 배출 전망



자료 : SNE Research(2018), “글로벌 이차전지 시장 동향 및 산업 전망” 및 에너지경제연구원, 2018-16호 등

□ 폐전지 관리 및 법안 현황

- 폐전지의 Re-Use 및 Re-Cycling을 위한 법안은 소형 IT기기용 전지와 전기자동차용 전지간에 적용 범위 및 구속력 등에서 차이가 있음
 - 전기자동차 폐전지의 경우 Re-Use 등 재활용을 의무화할 수 있는 법안은 「수도권 대기 환경 개선에 관한 특별법」과 「대기환경 보존법」이 있으나, 소형 IT기기용 폐전지와 관련된 법안은 없음
- 「수도권 대기 환경 개선에 관한 특별법」과 「대기환경 보존법」의 주요 내용은 보조금 지급과 그에 따른 반납 의무 및 재활용과 관련된 사항임

<표 8> 전기자동차 폐전지 재활용 관련 주요 법안

구 분	수도권 대기 환경 개선에 관한 특별법	대기환경 보존법
법안 목적	대기오염이 심각한 수도권 지역의 대기환경 개선을 위하여 종합적인 시책을 추진하고, 대기오염원을 체계적으로 관리하여 지역민의 건강을 보호하고 쾌적한 생활환경을 조성	대기오염으로인한 국민건강이나 환경에 관한 위해를 예방하고 대기환경을 적정하고 지속가능하게 관리보전하여 쾌적한 환경에서 생활토록 보존
조항 별 중점 사항	제24조 전기자동차 구매시 보조금과 같은 재정적 지원에 관한 사항 규정 제26조 보조금을 지원받은 소유자가 지켜야 할 의무 운행기간 및 등록말소시 배터리 반납 등에 대한 규정	제58조 전기자동차 구매시 보조금과 지원에 관한 사항과 보조금을 지원받은 자동차의 소유주가 지켜야할 의무운행 기간 설정, 등록 말소시 배터리 반납 등에 규정
세부 내용	제24조 국가나 지자체는 전기자동차 구매자에게 재정적 지원을 할 수 있음 제26조 · 환경부 장관은 보조금 지급 차량의 의무운행기간을 설정할 수 있음 · 등록 말소 또는 폐차 시 배터리 등의 반납 의무 부과 · 자치단체장 등은 회수한 배터리를 재활용해야함(불가시 매각해야함)	제58조 환경부 보조금 지원 대상의 전기자동차인 경우 폐차 시에 배터리를 시도지사에 반납하도록 하고 있으며, 시도지사는 회수된 배터리의 성능을 검토하여 재활용하도록 하고 있음

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

- 그러나 전기자동차 폐전지의 수거 이후 재활용을 위한 평가 인증기관, 성능 기준 등에 대한 구체적인 실행방안이 없는 상태임

- 전기자동차 폐전지 재활용 처리 법안은 환경부 주도로 이루어지고 있으나, 재활용 실행방안과 밀접한 평가 인증기관 선정 및 성능 기준확립 등은 산업자원부 주도로 진행되고 있음

<표 9> 전기자동차 폐전지 소관 부처 현황

구 분	환경부	산업자원부
폐배터리 반납	○	-
폐배터리 재활용 및 폐기	○	-
폐배터리 성능 평가	-	준비 중
성능 인증기관 선정	-	준비 중
재생 배터리 규격	-	준비 중

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

- 2010년 초반부터 전기자동차가 본격 판매되기 시작하였으며, 현재까지 폐차 처리된 전기자동차의 리튬 2차전지는 112대로 대부분 자동차 생산업체와 폐기물처리 업체가 연계하여 수거 후 단순 보관하고 있음
- 이 과정에서 필요한 배터리 Pack 해체기술 등 가이드 라인은 자동차 생산업체가 제공하며, 수거 및 보관은 재활용 업체가 수행하고 있음
- 리튬 2차전지를 제외한 전지 6종(수은전지, 산화은전지, 니켈·카드뮴전지, 리튬 1차전지, 망간·알칼리전지, 니켈수소전지)은 「자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률」에 따라 생산자책임재활용(EPR: Extended Producer Responsibility)의 의무대상 품목으로 지정되어 있음
 - EPR은 제품 생산자나 포장재를 이용한 제품의 생산자에게 그 제품이나 포장재의 폐기물에 대하여 일정량의 재활용 의무를 부여하고 이를 이행하지 않을 경우, 재활용에 소요되는 비용 이상을 생산자에게 부담하는 제도임
- 소형 IT기기용 폐전지의 경우, 보조금 지급이 없기에 반납의무가 없으며 일부 폐전지만이 Re-Cycling을 통해 회유금속 회수로 활용되고 있음
 - EPR의 의무대상 품목으로 지정되어 있지 않아, 효율적인 Re-Cycling을 위하여는 추후 의무대상 품목으로의 지정이 필요할 것임

□ 폐전지 Re-Use 및 Re-Cycling 사례

- 현대차그룹은 한국수력원자력 및 OCI 등과 업무협약을 통해 전기자동차에서 발생한 폐전지를 활용한 ESS를 태양광 발전시스템에 접목하여 실증사업을 진행하고 있음

<표 10> 현대차그룹의 Re-Use 실증사업 추진현황

협약 기관	주요 내용
한국수력원자력	- 「전기차 폐배터리 재활용 에너지저장장치 사업 공동수행」 협약 체결 - 양 기관은 신재생에너지 사업과 연계하여 2021년말까지 총 10MWh 규모의 폐전지를 활용한 ESS 시범사업을 실시 - 2030년까지 수상 태양광과 도서지역 풍력사업 등 대규모 재생에너지 사업과 연계하여 3GWh급 세계 최대규모의 재활용 ESS 사업 추진 계획
OCI	- 현대차그룹에서 개발한 ESS를 텍사스(美)에 위치한 OCI 태양광발전소에 설치하여 공동 실증 분석 계획

- 또한 ESS 대규모 보급사업에 필요한 안정적인 생산 시스템을 확보하고자 ESS 부품 및 설계업체인 파워로직스와 공동으로 청주에 Pilot 생산라인을 구축하여 가동 중임
- 삼성SDI는 국내 Re-Cycling 업체인 성일하이텍과 업무협약을 통해 내부에서 발생하는 소형전지 불량품 등으로부터 희유금속을 추출하여 재사용하고 있음
- LG화학은 호주의 폐전지 재활용업체인 인바이로스트림과 협약을 통해 소형전지에 대한 Re-Cycling을 수행하고 있음
- SK이노베이션은 삼성SDI·LG화학과 달리 자체적으로 Re-Cycling을 수행하여 희유금속을 회수할 수 있는 기술을 개발하고 있으며, 전기자동차용 폐전지와 관련되어 렌탈(Rental)방식의 사업화도 검토 중임
 - 렌탈(Rental)방식은 기존의 자동차 회사 앞 전지 판매방식과 달리 일정 기간 전지를 대여하는 방식으로, 폐차 시 대여한 전지를 수거함
- 그러나 폐전지가 본격 배출되는 시점이 도래하지 않아, 전지 생산업체들은 구체적인 방안은 확정하지 않고 다양한 활용방안을 고민 중임

2. 해외 산업 현황

□ 폐전지 Re-Use 사례

- 주요 해외 전기자동차 생산업체들도 국내와 마찬가지로 폐전지를 기반으로 상업용 및 가정용 ESS 및 자체 구축 ESS 개발 등에 대한 사업성을 검토하고 있음
- Nissan(日)은 2014년부터 전기자동차 전지 반납을 조건으로 교체 서비스를 시행 중이며, 이를 기반으로 2016년부터 전력기업인 Eaton Energy(英)와 협력하여 가정용 ESS를 제작하고 있음
 - 가정용 태양광 발전과 연계한 ESS를 초기 사업대상으로 설정하고 진행 중
- BMW(獨)은 Bosch(獨) 및 스웨덴 발전기업 Vattenfall과 공동으로 ESS 생산 라인을 구축하고 자국내 전력망과 연계하여 시범운영 중임
 - BMW는 폐전지를 공급하고, Bosch는 전지 평가, Vattenfall은 ESS 설비운영 형태로 역할을 배분
- 상기 사례와 같이 세계 주요 전기자동차 생산업체들은 전력관련 사업자와 협업을 통해 ESS 분야로 확대를 추진하고 있으며, 동 시장은 현재 시범사업 수준으로 해외와 국내 모두 초기 단계임

<표 11> 세계 주요 전기자동차 생산업체의 Re-Use 시범 사례

기 업	주요 내용	사업 유형
Daimler(獨)	독일에 자사 전기자동차의 폐전지를 활용하여 대규모 ESS설치 (뤼넨, 하노버)	전력사업자와 협업
Renault(프)	대규모 ESS 설치 후 전기자동차 급속충전소와 결합 시스템 실증 사업 추진	"
Tesla(美)	자사 배터리 공장인 Giga-Factory내 재활용 시스템을 구축하여 가정용 ESS 출시	자 체
Toyota(日)	폐전지와 태양광과 연계한 ESS 검증 프로젝트 수행 - 세븐일레븐 매장에 설치하여 매장 운영에 공급 계획	"

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

□ 폐전지 Re-Cycling 사례

- 해외에서도 소형 IT기기용 폐전지는 국내와 유사하게 희유금속 회수 위주를 위한 Re-Cycling이 이루어지고 있음
- 세계적으로 소형 폐전지 재활용을 통한 희유금속 회수가 가능한 업체는 국내의 성일하이텍과 Umicore(벨기에), Brump(중국) 및 GEM(중국) 등 4개사임
 - Umicore는 리튬 2차전지용 양극활물질 시장 점유율 1위 업체이며, 폐전지 Re-Cycling 분야에서도 세계 최고의 기술력을 확보하고 있음

3. 한·중·일 법규 비교

□ 한·중·일 법률 현황

- 전기자동차 폐전지는 고가의 부품으로 재활용을 통한 자원 효율화가 가능하며, 등록 및 폐차신고가 의무화된 자동차와 연계되어 이력 추적이 가능하기에 수거가 용이한 장점도 있음
- 소형 IT기기용 폐전지는 크기가 작고 유통과정이 복잡하여 제품 수거가 어렵기에, 한·중·일의 2차전지 생산업체들이 불량품 위주로 자체 처리
- 한·중·일 및 EU 등은 전기자동차용 폐전지 회수의무는 부과하고 있으나, 재활용을 위한 평가 및 기준 등에 대하여 현재 법규화 진행 중임

<표 12> 한·중·일 법률 현황 비교

항 목	세부 내용	한 국	중 국	일 본
기 본	용어 정리 및 규정	△	◎	△
처리 주체	폐배터리 처리 의무자 지정	◎	◎	△
처리 방법	전기자동차 분리 당사자 지정	◎	◎	△
	폐배터리 운송자 및 방법 지정	◎	○	△
	분해 방법 및 분해 시설 규정	X	◎	△
	폐배터리 인증 규정	△	△	△
	폐배터리 분해 업체 규정	△	X	△
기 타	폐배터리 재사용 및 재활용시 보조금 지급	X	○	○

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

- 폐전지 Re-Use의 항목별 법률 진행은 중국이 가장 앞서있으며, 국내 법률 진행은 폐전지의 분해 방법 및 분해 시설 규정 등에서 국내·외 시범사례가 없고 폐전지 관련 자료부족 등으로 일정 기간이 소요될 것으로 보임

<표 13> 국내 Re-Use관련 법률 진행 전망

세부 내용	현 재	전 망
용어 정리 및 규정	2018.10월 환경부가 폐배터리 용어 관련 법률 수정	환경부와 산업자원부간 의견 차이로 일정 기간 소요될 것으로 예상
폐배터리 처리 의무자 지정	보조금 지급 차량에 한해 시·도 자치단체가 처리 의무	EPR*로 갈 가능성이 높음
전기자동차 분리 당사자 지정/ 폐배터리 운송자 및 방법 지정	[현재] 폐차장에서 교육 이수 후 시행 [법안 내용] 시·도지사는 배터리 관련 전문기관, 제조사, 한국자동차환경협회 등이 대행하도록 할 수 있음	기존 현황을 법안 제정
분해 방법 및 분해 시설 규정	법률 규정 없음	산업자원부에서 인증 관련 등급별 인증 준비 중 (2019년 완료예정이나, 지연 가능성 높음)
폐배터리 분해 업체 규정	시·도자치단체 위임 업체가 시행	시장 자율화 또는 OEM 협력업체 가능성이 높음
폐배터리 재사용 및 재활용시 보조금 지급	규정 없음	추가 논의 없음

자료 : SNE Research(2019), “전기차 폐배터리 Reuse 시장 전망”

* EPR : 생산자책임재활용(Extended Producer Responsibility)

- 중국이 국가 주도로 폐전지 처리 관련 법안 제정의 속도가 빠른 편이나, 한·중·일 모두 제도적 절차를 완성하지는 못한 상태임

<표 14> 한·중·일 법률 총괄 비교

현 황	한 국	중 국	일 본
재사용 관련 법안 현황	보조금 지급 차량의 회수절차에 대한 법안만 존재	폐배터리 회수, 사용 및 폐기에 대한 법안 존재	전기자동차 관련 규정이 없음
현재 법안 상황	현재 법안 제정에 대한 논의 진행 중	법안 제정 속도가 빠르며, 국가 주도로 폐배터리 처리방법을 논의 중	다양한 법안 검토 중

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

Ⅲ. 폐전지 Re-Use 및 Re-Cycling 기술 현황

1. Re-Use 기술 현황

□ Re-Use Process

- 전기자동차를 폐차하게 되면 차체로부터 전지를 분리하여 세척 및 외관 검사를 마친 후 잔존용량 및 안전성 등에 대한 분석을 실시함
 - 이후 배터리 Pack에서 Module로 분해하여 용량 및 보호회로 등에 대한 평가를 마친 후, 일정 평가등급 이상의 폐전지는 ESS 등으로 재사용됨

<그림 4>

전기자동차 폐전지 Re-Use 과정



자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

- Re-Use는 전기자동차의 폐전지 Pack 단위로 이루어질 수도 있지만, 그보다 하위단계인 배터리 Module로 분해하여 각각의 단위에 맞게 재사용이 가능함
 - 배터리 Pack 단위에서 재사용하는 경우, 공정 단축이 가능하나 자동차 모델, 크기 및 주행 특성 등에 따라 배터리 Pack의 형태가 달라 재활용되고자 하는 제품으로 적용이 제한적임

- 배터리 Cell 단위까지 분해 후 재조립하면 용도에 맞는 디자인으로 재구성할 수 있으나, 이 경우 안전을 위해 레이저 용접 등으로 차량과 결합된 배터리 Pack의 탈거와 해체비용이 크게 증가하기에 일반적으로 배터리 Pack 또는 Module 단위에서 재활용이 이루어짐

<표 15> 폐전지 분해 단계에 따른 장·단점

구 분	해체 시간 및 난이도	장 점	단 점
배터리 Pack	용이	· 해체 비용 저렴 · 해체 후 단순 조립으로 ESS 생산 가능	· 특정 모듈 및 Cell 불량시 성능 저하
배터리 Module	보통	· 해체 비용 저렴 · 재활용 용도에 따른 제한적 재구성 가능	· 모듈 내 일부 Cell 불량 시 성능 저하
배터리 Cell	어려움	· 불량 Cell에 대한 대처 가능 · 다양한 형태의 ESS 구성 용이	· 모듈 해체 시간 및 비용 증가 · 모듈 해체 시 화재위험 증가

자료 : 환경부(2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”

□ 폐전지 탈거 및 해체는 노동집약적 기술

- 전기자동차의 폐전지 탈거 및 해체 방법은 자동차 생산업체별, 차종별 구조가 상이해 각 자동차 생산업체별 탈거 및 해체 매뉴얼이 제공되고 있음
- 전기자동차의 배터리 Pack과 Module 등의 해체 시스템에는 Hoist, 컨베이어 벨트 등이 갖추어져야 하며, 해체 중 발생할 수 있는 유독가스에 대비한 공기정화 및 화재 발생에 대비한 소방설비 등이 확보되어야 함

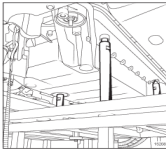
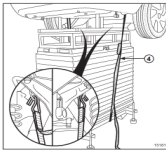
<표 16> 폐전지 해체 처리 시스템 구성

세부 시스템	주요 설비 내용
배터리 팩 해체 시스템	중량물(500kg) 이상 지탱 가능한 천정 Hoist 등
배터리 모듈 해체 시스템	컨베이어 벨트 폭 1M, 길이 7M 이상으로 설치 등
단자 분리 처리 시스템	배기시설을 확보하고 부산물의 수집이 용이하도록 설계
방전 후 보관시설	분리된 셀을 방전후 화재 방지시설을 갖춘 케이스에 적재 및 보관

자료 : 환경부(2016), “대용량 페리튬이차전지 재활용 상용화 기술개발에 관한 연구”

- 전기자동차의 생산업체, 차종 등에 따른 다양한 내부구조 및 디자인 등으로 배터리 Pack 역시 다양한 형태로 설계되어 탈거와 해체작업은 작업자의 수작업으로 진행될 수 밖에 없는 노동집약적인 기술로 자동화 및 기타 기술적 발전이 진행되기에 한계가 있음
- 따라서 배터리 Pack 또는 Module 해체 이후 용량과 안전성을 보증할 수 있는 평가 지표를 개발하여 국제표준으로 공인받는 것이 핵심사항임

<표 17> 현대 및 르노자동차 해체 매뉴얼 사례

구 분		
현대자동차	HYUNDAI IONIQ EV I. 시스템 off 작업을 시작하기 전에 다음의 비품 · 장비 준비 • 절연 공구 (EN60900 적합) / 전압 측정장비(EN61010 적합) / 절연 갑(EN60900 적합) 지동스위치를 조작하여 전원 OFF 작업을 시작하기 전에 반드시 차량의 전원 OFF 스마트키에 의해 자동으로 잠금될 수 있으므로 스마트키는 5m이상 이격  차량의 전원스위치 위치를 확인한다. 아이오닉의 전원스위치는 조향장치 오른쪽에 위치하고 있다.  전원스위치를 눌러 시스템을 OFF시킨다.  시스템이 OFF되었는지 디스플레이를 확인하고 만약의 사태에 대비하여 스마트키는 5미터 이상 이격시킨다.	IV. 후분부 아체부품 제거 아이오닉은 배터리를 하체부품으로 지지하고 있으므로 배터리 탈거 전 하체 부품을 탈거 작업 진행  차체를 지주식 리프트로 들어올려 하체부품을 확인하고 제거한다.  하체부품 제거는 전용공구를 이용하여 작업한다.  하체부품 제거 후
르노자동차	Discover the Difference  SM3 Z.E. 배터리 탈거 설명서	SM3 Z.E. 배터리 탈거 설명서  a. 특수 공구(Ms. 1976) 및 특수 공구(Ms. 1988)를 구동 배터리에 접속시킨다. p. 특수 공구(Ms. 1988)를 리프트 테이블과 잠근다.  q. 특수 공구(Ms. 1982) 및 벨트센서(4)를 사용하여 특수 공구(Ms. 1976) 및 특수 공구(Ms. 1988)를 차량에 묶어서 고정시킨다. r. 전기 구동 배터리 덮이 파손되지 않도록 한다.

자료 : 각사 홈페이지 참조 등

2. Re-Cycling 기술 현황

□ Re-Cycling Process

- Re-Cycling은 소형 IT기기용 폐전지의 양극활물질로부터 고가의 희유금속을 추출하는 것으로, 소형 리튬 2차전지인 LCO계를 중심으로 수행되고 있음
- 리튬 2차전지내 희유금속 회수공정은 ① 폐전지 폭발위험 제거 및 파쇄하는 전처리와 ② 화학용액을 활용하여 희유금속을 회수하는 후처리 공정으로 구분됨
- 기술적 난이도가 높은 단계는 후처리 공정으로 황산용액(H_2SO_4)의 농도조절과 전해정련을 통한 희유금속 회수가 핵심기술이며, 상기 공정을 수차례 반복적으로 수행하면서 99.9% 이상의 순도로 정제함

〈그림 5〉 Re-Cycling 공정도

구분	공정명	공정 세부내용	최종제품
전처리	폐전지 방전	폐 리튬 2차전지 방전을 통한 폭발위험 제거	투입원료 LCO계 : 40% NCM계 : 50% NCA계 : 10%
	↓		
	폐전지 파쇄	폐전지를 분쇄기에 장입하여 파쇄	
후처리	↓		CoSO ₄ 분말 MnSO ₄ 분말
	자성 및 비중선별	자석 및 무게로 외장캔, 분리막 및 음·양극 등 분류	
	↓		
	CoSO ₄ 및 MnSO ₄ 회수	황산(H_2SO_4)용액으로 황산코발트($CoSO_4$) 및 황산망간($MnSO_4$) 회수	
	↓		
후처리	Ni 회수	전해공정으로 니켈(Ni) 회수	Ni 금속
	↓		
후처리	Co, LiPO ₃ 회수	각 용액으로부터 고체 상태의 고순도 Co, Ni 회수	Co 금속, LiPO ₃ 분말

- 세계적으로 폐전지 재활용을 통한 희유금속 회수가 가능한 업체는 국내의 성일하이텍을 포함 Umicore(벨기에), Brump(중국) 및 GEM(중국) 포함 4개社임
 - 이외에도 GMtech(한국), FUYO(일본), 코스모(일본) 등 존재

<표 18> 세계 폐전지 Re-Cycling 주요 업체 비교

구 분	성일하이텍	Umicore	Brump	GEM
Capacity	1,000ton/yr	7,000ton/yr	3,000ton/yr	5,000ton/yr
생산제품	코발트, 니켈, 리튬, 망간	코발트, 니켈	코발트, 니켈, 리튬, 망간	코발트, 니켈, 리튬, 망간

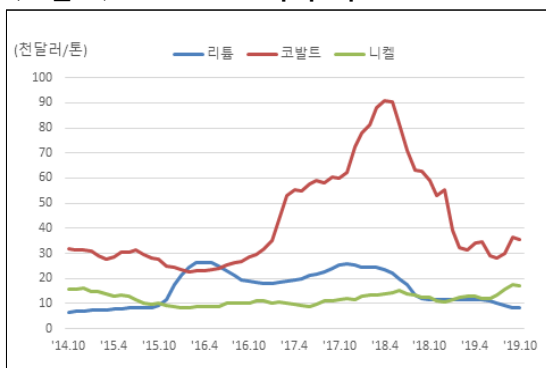
자료 : 성일하이텍 및 각사 홈페이지 참조하여 당행 재작성

- CoSO_4 , MnSO_4 , LiPO_3 등은 에코프로, 포스코 등의 2차전지 소재업체로 판매되어 재사용되며, Ni 금속은 비철회사 등으로 판매됨
 - 각사들은 추후 공정개발 및 투자를 통해 현재 생산제품 외에 추가로 구리(Cu) 및 탄산리튬(Li_2CO_3)을 추가로 생산할 계획임

□ 전기자동차 폐전지는 Re-Use, 소형 IT기기 폐전지는 Re-Cycling이 유리

- 수거가 어렵고 고가의 Co 함량이 높은 소형 IT기기에서 배출되는 폐전지는 Re-Cycling에 적합하며, 수거가 비교적 용이하고 자동차 운행 중 흔들림 방지를 위해 레이저 용접 등으로 강하게 결합되어 있는 전기자동차 폐전지는 배터리 Module 이상으로 분해도 대단히 어렵기에 Re-Use가 적합

<그림 6> 가격 비교



<표 19> Re-Use와 Re-Cycling 산업 비교

구 성	Re-Cycling	Re-Use
원재료	소형 배터리	전기자동차
원재료 확보	난 해	용 이
기술 진입장벽	높 음	낮 음
대량 생산	가 능	불가능
법률 제약	없 음	제정 중

IV. 대응 방향

1. 업계 및 정부의 대응 방향

(1) 업계의 대응 방향

□ 정보가 공유될 수 있는 환경 구축

- 배터리 Pack을 재목적화에 적합하게 배터리 Module과 Cell 단위로 분해하는 경우, 불량 선별이 용이하도록 배터리 Pack에 부착되어 있던 BMS(Battery Management System)²⁾의 정보를 자동차 생산업체와 재활용 업체간에 공유할 수 있는 환경 구축
 - 배터리 Pack 분해는 수작업이 필수적이며, 관리상태에 따라 폭발 등 안전 사고를 예방할 수 있음
 - 상위단위인 Pack에서 활용할수록 비용은 저렴하나 불량률이 높아지며, 분해 후 가장 하위단위인 Cell로 갈수록 비용이 높아지는 상충이 있음
 - 분해의 어려움으로 배터리 Cell 단위에서의 활용은 경제성이 낮아, 배터리 Pack이나 Module 단위에서 재활용됨

□ 전기자동차 폐전지 재활용 로드맵 연구 필요

- 전기자동차 관련 지역, 차종 등이 반영된 다양한 데이터베이스를 기반으로 폐전지 상태분석 및 ESS 재활용 로드맵에 대한 연구가 필요
 - 전기자동차의 보급 유형, 구매자 특성, 지역별 분포, 운행 현황 등의 분석을 통해 차종별 폐전지 배출 시뮬레이션 등을 통해 회수·운반업자에 대한 적정 규모 산출과 정확한 재활용 용량 추정 가능
 - 축적된 자료를 바탕으로 지역 및 용량 등 다양한 ESS 재활용 사업에 대해 효율적으로 대응할 수 있음

2) BMS(Battery Management System) : 배터리 관리시스템은 배터리를 실시간으로 모니터링하며 충방전 과정에서 과충전 및 과방전을 방지하고 전압을 균일하게 해줌으로써 배터리 효율증대와 수명저하를 방지하며 주요기능으로는 전압, 온도, 전류의 실시간 모니터링 및 각각의 셀의 성능을 균일하게 맞춰주는 밸런싱 기능이 있어 팩내 각각 셀의 기본적인 정보를 저장하고 있으며, 보통 자동차 생산업체에서 관리함

(2) 정부의 대응 방향

□ 실증사업을 위한 현장 확대 기반 마련

- 현재 폐전지에 대한 Re-Use 또는 Re-Cycling 및 매각 등의 처리방식을 판단하여 결정할 수 있는 인증기관 등 종합적인 시설이 없음
- 제주도에서 전기자동차의 폐전지 재사용센터 건립을 추진 중이며, 이를 통해 현행 관리체계의 미비점을 개선할 것으로 기대
 - 제주테크노파크, 제주대학교, 한국전지연구조합, 자동차부품연구원 등이 함께 2017년부터 2019년까지 폐전지 재사용 검증을 위하여 분석장치, 전지 검사 시스템 등 가자재 구축, ESS 시험평가 환경구축을 비롯하여 재사용 전지의 등급판정 기준을 위한 국내 표준확립, 국제표준 제안 등의 프로젝트 추진 중
- 각 시·도지자체에 제주시와 같은 사업모델을 확대하여 실증을 통한 미비점 등을 파악하여 개선안 도출하고, 전국적으로 확대되도록 지원이 필요

□ 생산자책임재활용제도(EPR: Extended Producer Responsibility)의 도입 확대

- 현재 폐전지를 의무적으로 회수할 수 있는 법안은 대기환경 보존법에 근거한 조항이며, 이는 보조금을 지급받은 전기자동차에서 발생하는 폐전지로 국한
- 전기자동차 폐전지 뿐만 아니라 소형전지의 친환경적 처리의 확대를 위해 생산자책임재활용제도가 리튬 2차전지에도 포함되어야 할 것으로 보이며, 이 경우 폐전지 재활용 방법과 책임주체에 대한 논의가 필요할 것임
 - 리튬 2차전지를 제외한 전지 6종(수은전지, 산화은전지, 니켈·카드뮴전지, 리튬 1차전지, 망간·알칼리전지, 니켈수소전지)은 생산자책임재활용 대상 품목임

□ 국내 ESS 화재 문제 해소를 위한 노력 촉진

- Re-Use를 위한 시장은 ESS이며, ESS 시장을 확대하기 위하여 화재사고 등의 문제를 조기에 파악하는 것이 필요

2. 금융부문의 대응 방향

□ Re-Use 실증사업 참여업체 위주의 초기 투자 중심으로 지원

- 현재 전기자동차의 폐전지 발생량이 미미하여 Re-Use 시장이 본격적으로 형성되지 않았고, 폐전지 처리에 관한 법률 미비 등으로 금융권이 참여하기에는 리스크가 높은 초기 분야임
- 향후 전국 시·도의 지자체를 중심으로 제주시와 같은 ESS 실증단지가 확대될 것으로 예상되며, 초기 참여업체들의 평가항목 및 의견 등이 폐전지 처리의 표준이 될 가능성이 높기에 투자 중심으로 자금 공급 추진
 - 폐전지의 본격 발생 및 사업화 시점 등을 감안하여 대출보다 투자 위주의 지원이 적합할 것임
 - 창업초기 업체를 대상으로 하는 당행의 Start-up 투자자금 활용 등이 적합

<표 20> Start-up 투자자금 조건

항 목	주요 내용
운용 목적	기술력 또는 아이디어·서비스가 우수한 창업초기(7년이내) 벤처·중소기업 조기 발굴
지원 분야	「혁신성장 공동기준」에 의한 혁신성장품목 관련 산업
관련 혁신성장품목	(D)환경·지속 가능/환경보호/전자폐기물업사이클링(D16001)

자료 : 당행(2019), “2019 여신상품 운용지침”

- Re-Cycling의 경우, 기술적 진입장벽도 높고 전지 생산업체들과 협력관계를 통해 상당부분 사업화가 진행되었기에 기존 사업체의 생산능력 확충을 위한 자금 공급 중심으로 지원이 우선

참고문헌

[국문자료]

- 국립환경과학원(2016), “페리튬이온전지 재활용 관리방안 연구”
- 에너지경제연구원(2018), “전기차사용후 배터리 거래시장 구축을 위한 정책연구”
- 이현규·김용기·하수진(2018), “리튬이차전지 소재 기술동향”, S&T Market Report, 제62호, 과학기술일자리진흥원
- 주대영(2018), “국내 이차전지산업 현황과 발전과제”, KIET산업경제, 2018년 3월호, 산업연구원
- 최영산·남정미·심의섭(2019), “방향과 속력의 천칭(天秤)”, 유안타증권
- 최정덕·하일곤(2017), “개발 경쟁 가속되는 차세대 2차전지”, LG경제연구원
- 환경부(2018), “전기자동차 폐배터리 해체 표준 매뉴얼”
- _____ (2018), “전기차 폐배터리 재활용 방법 및 기준 마련 연구”
- SNE Research(2018), “글로벌 이차전지 시장 동향 및 산업 전망”
- _____ (2019), “전기차 폐배터리 Re-Use 시장전망”

[영문자료]

- Shepard, Lisa, et al.(2017), “Market Data: EV Geographic Forecast, Battery and Plug-In Hybrid EV Sales and Populations”, *Navigant Research Report*, Vol. 29
- Wi, Sungun, et al.(2017), “Insights on the Delithiation/Lithiation Reactions of $\text{Li}_x\text{Mn}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{PO}_4$ Mesocrystals in Li^+ Batteries by in situ Techniques”, *Nano Energy*, Vol. 39
- Woo, Hyungsub, et al.(2018), “Complementary Surface Modification by Disordered Carbon and Reduced Graphene Oxide on SnO_2 Hollow Spheres as an Anode for Li-Ion Battery”, *Carbon*, Vol. 129