

## 전기자동차 배터리 역물류 프로세스 연구

서동민 · 김용수<sup>†</sup> · 김현수

경기대학교 산업경영공학과

### Reverse Logistics Process for Electric Vehicle Batteries

Dong Min Seo · Yong Soo Kim<sup>†</sup> · Hyunsoo Kim

Department of Industrial and Management Engineering

To address global climate change, various governments are investing in electric vehicle research and, especially in Korea, the application of electric vehicles to public transportation. The lithium batteries used in electric vehicles typically have an expected life cycle of 2~5 years. If electric vehicles become commonly used, they will generate many discarded batteries that could be harmful to the environment. Additionally, lithium batteries are potentially explosive and should be handled appropriately. Thus, reverse logistics issues are involved in handling expired batteries efficiently and safely. Reverse logistics includes the collection, recycling, remanufacturing, and discarding of waste. This study developed a reverse logistics process for electric vehicle batteries after analyzing the as-is process for lead and lithium batteries. It also developed possible disposal regulations for electric vehicle batteries based on current laws regarding conventional batteries.

**Keywords** : Reverse Logistics, Electric Vehicle, Battery

#### 1. 서론

온실가스 배출 방지를 위해 각국 정부 및 자동차 기업들은 전기자동차 연구에 적극적으로 투자하고 있으며 미국, 일본, 중국 및 유럽에서는 전기자동차를 구매할 경우 보조금 및 세금 감면 등의 혜택을 제공하고 있다(<표 1> 참조). 또한 각국 정부 및 자동차 기업들의 적극적인 투자로 <그림 1>에서와 같이 2009년에는 80만대가 보급되었으며, 2010년에 110만대, 2020년에는 1,660만대가 보급될 것으로 예측하고 있다. 우리나라도 국가 R&D사업의 일환으로 다양한 방식의 전기자동차 연구를 진행 중이며, 플러그인 이외에도 배터리 교환식 전기자동차 연구사업도 병행하고 있다. 또한, 이산화탄소 절감효과가 큰 대중교통(버스)의 적용방안도 함께 연구 중이며, 본

연구에서는 대중교통(버스)을 대상으로 하는 배터리 교환식 전기자동차 배터리 역물류 프로세스를 설계하였다.

국내에서는 전기자동차의 분류를 최고속도 60km, 주행거리 100km를 기준으로 저속전기차(Neighborhood Electric Vehicle)와 속도 및 주행거리 제한이 없는 일반전기자동차(Electric Vehicle)로 구분한다. 저속전기자동차는 부족한 모터의 파워와 배터리의 용량을 경량화 및 소형화를 통해 소모전력을 절약하는 차량을 의미한다.

우리나라에서 전기자동차를 대중교통에 적용한 첫 번째 분야는 시내버스이다. 시범사업으로 서울시의 남산순환노선 버스에서 한국 화이바사가 생산한 전기버스를 2010년 10월부터 서울시와 환경부의 지원으로 현재 4대를 운행 중이며 향후 5대의 차량을 추가로 투입할 예정이다[14].

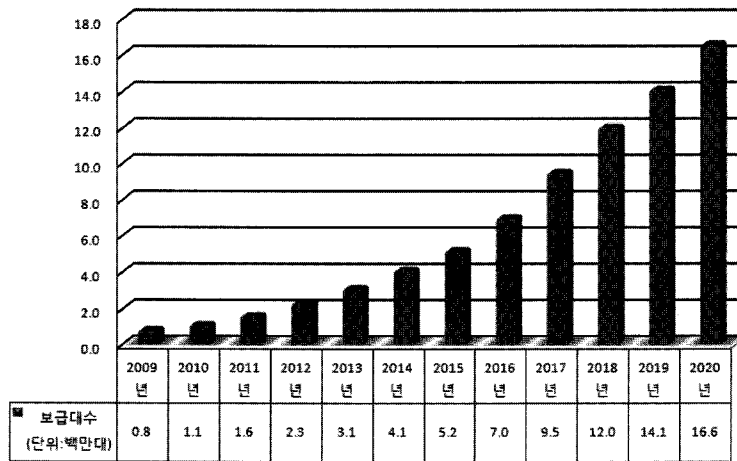
논문접수일 : 2011년 07월 01일    논문수정일 : 2011년 07월 26일    게재확정일 : 2011년 08월 22일

<sup>†</sup> 교신저자 kimys@kgu.ac.kr

※ 본 논문은 국토해양부 및 한국건설교통기술평가원의 교통체계효율화 사업(과제번호 : 10PTSI-B056303-01)에 의해 수행되었음.

<표 1> 주요국 전기자동차 개발 지원정책[9]

구분	주요 정책 내용
미국	◦ 배터리 제조 및 전기차 보급 촉진을 위해 48개 프로젝트에 24억 달러를 지원
독일	◦ 2020년까지 전기차 100만대 보급 목표, 1대당 5,000유로 구매 보조, 구매 후 5년간 주행세 면제
프랑스	◦ 2020년까지 200만대의 전기차 보급 목표, 총액 25억 유로 구매 보조(1대당 5,000유로)
영국	◦ 초저탄소자동차 구매 보조금 1대당 2,000~5,000 파운드 지원, 전기차 주행세 최대 20% 감세 ◦ CO <sub>2</sub> 배출량 100g/km는 주행세 면제
중국	◦ 자동차산업진흥계획에 근거 2012년까지 3년간 전기, 플러그인 하이브리드 자동차와 부품 개발에 200억 위안 지원, 13개 도시에서 구매보조금 지급
일본	◦ 2010년 구매 보조금 90억엔 지원, 2020년 전기차 50만대 판매



<그림 1> 전기자동차 시장 전망[1]

전기자동차의 동력원이 되는 리튬배터리는 주로 휴대폰 및 노트북 등에 사용되고 있으며, 사용환경에 영향을 받으나 일반적으로 배터리의 수명은 주 5회 정도 충전하는 사용환경을 가정했을 때, 2~5년 후 폐리튬배터리로 배출되고 있다. 전기자동차 배터리 제조사에서는 전기자동차 배터리의 수명을 8~10년으로 예측하고 있으나, 반복적인 충전과 방전으로 인해 제조사에서 예측하고 있는 수명(8~10년)보다 짧은 수명을 가질 것으로 예상된다[12]. 짧은 수명주기를 가질 것으로 예상되는 만큼 전기자동차용 배터리를 관리하는 것은 전기자동차 활성화에 중요한 사안이므로 전기자동차 활성화를 위해 배터리 폐기를 원활하게 할 수 있는 역물류 프로세스의 철저한 대비가 요구된다.

전기자동차 배터리 물류프로세스는 <그림 2>에서와 같이 순물류(Forward Logistics)와 역물류(Reverse Logistics)로 구분한다. 순물류는 전기자동차 배터리가 생산된 후 전기자동차에 장착되어 사용하는 과정상의 이동 및 보관을 의미하며, 역물류는 전기자동차 배터리가 동력원으로 사용될 수 없는 시점부터 재제조(Remufacturing), 재활용(Recycling) 및 폐기(Waste)를 위한 이동 및

보관을 의미한다. 본 연구에서 재제조란, 성능이 저하되어 사용하지 못하는 팩단위 배터리를 모듈단위 배터리로 분해한 다음, 사용이 가능한 모듈을 수집 및 조립함으로써, 재사용이 가능한 팩단위 배터리로 재생산하는 공정을 의미한다. 한편, 재활용은 재제조가 불가능하다고 결정된 배터리를 재활용이 가능한 원자재 형태로 분해하는 과정을 의미한다. 또한 폐기는 사고로 인해 재활용 및 재사용이 불가능한 폐배터리와 재활용 과정에서 발생하는 활용할 수 없는 자재의 운반, 보관 및 최종처리를 의미한다(<그림 2> 참조).

### 1.2 연구목적

전기자동차 배터리는 전기자동차 가격의 40% 이상을 차지하는 고가의 제품이며, 수명이 종료된 후에도 리튬, 코발트 및 폴리머 등을 추출할 수 있으므로 높은 수준의 경제적 가치를 가지고 있다. 그러나, 리튬배터리는 발열사고가 발생할 경우 폭발할 위험을 지니고 있으며, 자동차의 동력으로 사용하므로 교통사고 위험에 노출되어 있다.



물류를 확장한 형태로 소비자가 상품을 받은 시점 이후에 발생하는 여러 물류 활동을 포괄하는 개념이며, 주로 재사용이나 원자재의 재활용, 반품, 폐기 등을 목적으로 하는 물류활동의 수행을 역물류라고 정의했다[8]. 전홍배, 김재곤[15]는 역물류를 제품이 사용 수명이나 가치를 다해서 소비자로부터 버림받게 되는 시점부터 다시 제품의 생산자나 end-of-life 관련 종사자에게로 수집된 후, 적절한 재처리를 통해 재사용, 재생산 및 폐기처분되는 시점까지의 계획 및 통제에 관한 모든 프로세스라고 정의하였다[15]. 임성길, 최수일[13]은 회수물류 시스템이란 다양한 순물류 활동을 통해 발생하는 폐기물의 양을 최소화 할 수 있는 방안을 실시하여, 소비자가 사용하지 않는 제품, 사용 중 고장 또는 구형으로 더 이상 사용하지 않는 제품으로 인해 발생하는 제품 및 포장재를 역물류 활동을 통해 회수하여 분류하는 과정이라고 정의하였다[13].

김현수, 한대회, 최용정, 정해준, 이성현[4]은 역물류 프로세스를 수거(Collection), 재생(Recovery), 재분배(Re-Distribution) 등 3가지 활동으로 구분하였으며, 재제조와 재활용은 '재생'의 하부개념으로 포함된다고 정의하였으며[4], 폐가전제품의 역물류 프로세스를 분석하여 자원순환 과정의 운영 효율성을 얻기 위한 RFID 통합관리 시스템을 설계하였다[3]. 정중석[16]은 회수물류의 중요성과 기타 물류영역을 분석하여 최근 물류환경의 변화추세와 회수물류성과의 결정 요인 등에 관한 연구를 하였다[16].

또한 각국 정부의 친환경정책으로 인한 자원재활용 법안 및 규제가 강화되면서 이에 대응하기 위한 역물류 프로세스의 연구 및 사업도 활발하게 진행하고 있다.

국외 사업화 사례로 미국의 Re-Cellular사는 운송업자를 이용하여 회수한 폐휴대폰을 품질에 따라 분류한 후 재활용업자에게 판매하였으며, 네덜란드에서는 연간 1억 3,000만 kg에 달하는 폐가전제품을 효과적인 폐기 및 재활용을 위하여 국가가 폐가전제품 회수 프로세스를 권장하고 있다. 일본의 요코하마금속은 폐휴대폰에서 금을 추출하는 사업을 진행하였으며, 이후 자회사를 설립하여 폐 IT기기에서 귀금속을 회수 및 제련하는 체제를 구축하였다. 국내에서는 인선이엔티, 고려아연, 애강리메텍 등이 폐기물에서 자원을 추출하는 사업을 진행하고 있다.

본 연구에서 정의한 역물류 프로세스는 사용자에게 효용이 다한 제품을 수집·분류하여 재제조, 재활용 및 폐기하도록 하는 수집, 분류, 이동 및 보관에 관한 모든 과정이며, 전기자동차 활성화를 위한 인프라 구축단계부터 역물류 프로세스를 적용한다면 효율적인 폐배터리 자원 관리를 기대할 수 있을 것이다.

## 2.2 국내외 전기자동차 지원 정책

전기자동차는 이산화탄소 저감효과가 하이브리드 차량에 비해 뛰어나 각 국가들은 전기자동차 연구 및 지원에 다양한 정책을 내놓고 있다.

중국은 2015년까지 하이브리드 자동차 및 전기자동차 50만대 보급을 목표로 하여 2020년까지 600억 위안을 투자할 계획이다. 미국은 GM, 포드, 크라이슬러 등 3개 업체에 1,500억 달러를 지원하여 전기자동차 연구에 적극적 투자하고 있으며, 캘리포니아 주는 베티플레이스(Better Place)사와 함께 샌프란시스코 만 지역에 전기자동차 인프라 구축을 위한 사업을 발표하였다[6]. 일본은 자동차 육성 6대 전략을 마련하여 전기자동차 보급률을 2020년까지 15~20%, 2030년까지 20~30%를 목표로 하고 있으며, 전기자동차의 핵심요소인 배터리를 중점적으로 연구·개발하고 있다. 독일은 'ectomobility' 계획에 따라 정부차원에서 5억 유로를 투자할 계획이며 자동차 업계에서는 매년 200억 유로를 투자할 계획이다. 또한 2012년 까지 6개 지역에 지능형 전력망과 인프라 시설을 구축할 계획이다. 또한 EU는 전기자동차 연구프로젝트(E3Car : Energy Efficient Electrical Car)를 착수하여 전기자동차 성능 향상 및 배터리 부피의 축소에 관한 연구를 수행하고 있다.

국내에서도 2009년 10월에 발표한 '전기자동차 활성화 방안'에 따라 저속전기자동차(NEV)의 일반도로 주행허용과 2020년까지 국내 소형자동차의 10%를 전기자동차로 대체한다는 정책을 발표하였다. 또한 지식경제부는 전기자동차활성화를 위해 전기자동차 연구·개발(R&D)를 세금공제 대상으로 인정하여 20~25%의 세금공제 혜택을 주는 방안을 협의 중이다[2].

## 2.3 국내외 전기자동차 개발 및 활용현황

국내 전기자동차는 개발 초기 CT&T, 에이디텍스 등이 개발한 저속전기자동차 'e-Zone', '오로라' 등이 판매되었으며, 일반전기자동차는 레오모터스가 개발한 '모닝'과 2010년 11월부터 양산된 현대자동차의 '블루온' 등이 있다.

일본은 2009년부터 미쓰비시 자동차의 'i-MiEV', 닛산자동차의 'LEAF'를 양산하여 판매하고 있으며, 우리나라와 일본 모두 현재는 해치백 스타일의 소형자동차를 생산하고 있다. 미국은 GM에서 개발한 시보래 '볼트'를 2010년부터 양산했으며, 유럽의 르노와 BMW는 각각 르노-삼성의 'SM3'를 기반으로 한 'Fluence Z.E'와 'Mini-E'를 생산하고 있다. 중국은 BYD를 중심으로 2009년 상하이 모터쇼에서 전기자동차 'E6'를 발표했다(<표 2> 참조).

<표 2> 양산형 일반전기자동차

	Blue On	LEAF	i-MIEV	시보레 볼트	Mini-E
이미지					
제조사	현대	닛산	미쓰비시	GM	BMW
최고속도	200 km/h	140 km/h	130 km/h	160 km/h	150 km/h
주행거리	160km	160km	120km	정보 없음	240km
배터리	리튬 전지	리튬-이온	리튬-이온	리튬 전지	리튬-이온

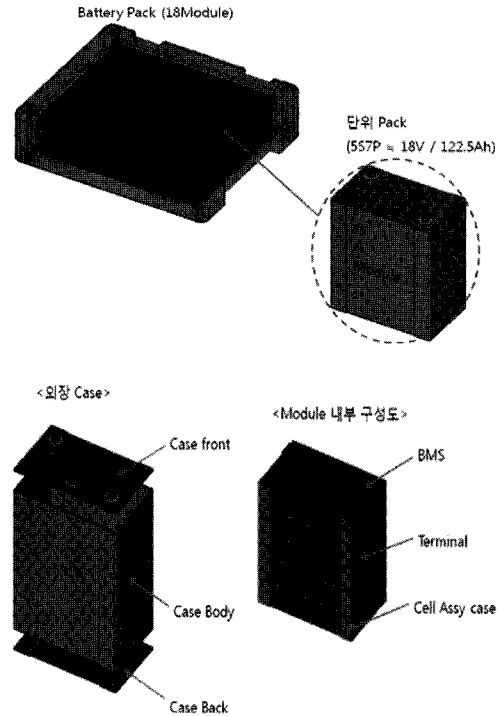
대중교통에 전기자동차를 가장 적극적으로 도입한 국가는 한국, 일본 및 중국 등이 있다. 일본은 도쿄 치요다 구에서 전기자동차를 적용한 ‘제로택시’ 사업과 도쿄 록폰기 일대에서 배터플레이스 제팬(Batter Place Japan)과 함께 배터리 교체형 전기자동차를 적용하여 전기택시를 시범운영하고 있다. 중국도 선전 시와 북경에서 전기자동차로 택시를 운영하고 있다. 국내에서는 2010년 10월부터 운영 중인 남산순환버스 노선 외에도 2011년 11월 여의도-대방역 구간에 전기버스와 함께 전기택시의 시범운영계획을 밝혔다. 그 외에 프랑스는 카췌어링 사업인 오토리브(Autolib)에 전기자동차를 활용하고 있다.

### 2.4 국내외 전기자동차 배터리 동향

전기자동차가 확산되면서 전기자동차용 배터리의 연구 및 투자도 활발하게 진행되고 있다. 국내에서는 LG 화학, SB리모티브(SB-Limotiv) 및 SK에너지 등의 기업이 전기자동차 배터리를 생산하고 있다. LG화학은 GM 및 현대자동차에 배터리를 공급하고 있으며, SB리모티브는 BMW에 배터리를 공급하고 있다. 또한 SK에너지는 독일 다임러 사에 배터리를 공급하고 있다.

일본은 산요전기, 파나소닉, 히타치 등의 업체가 전기자동차용 배터리를 생산하고 있다. 파나소닉은 도요타, 스바루 자동차에 배터리를 공급하고 있으며, 히타치는 이스즈 자동차, NEC전자는 르노-닛산에 배터리를 공급하고 있다. 본 연구에서 대상으로 하는 배터리는 대형차량(버스)에 탑재되는 대용량 배터리로서 18개의 모듈이 하나의 팩단위로 조립된 것이다. 또한, 각 모듈 단위는 병렬로 연결된 5개의 유닛셀 단위 배터리로 구성되며, 각 유닛셀 단위 배터리는 직렬로 연결된 7개의 개별 셀로 구성된다. 전기버스에 탑재될 배터리

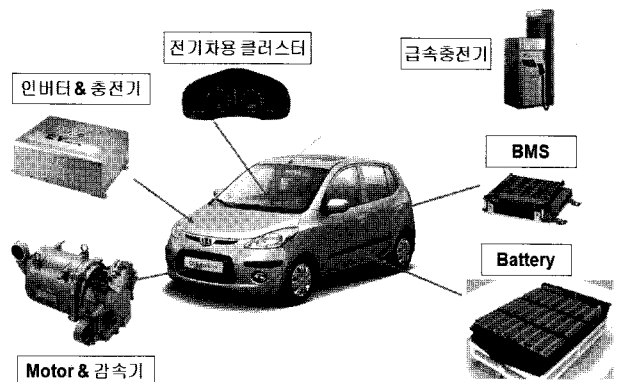
는 중량 450kg, 전압 400V, 길이 1,677mm, 너비 1,416mm, 깊이 450mm의 대형배터리가 사용된다(<그림 3> 참조).



<그림 3> 전기자동차 배터리(팩단위 구조)

### 3. 기존 폐배터리 역물류 프로세스

본 연구에서는 폐배터리의 발생, 보관, 운반, 처리 규정이 명확하게 규정되어 있는 일반 자동차용 폐납축 배터리 역물류 프로세스와 부피 및 무게는 작고 가벼우나, 동일 성분을 사용하는 휴대기기의 폐리튬배터리의 역물류 프로세스를 분석하여 전기자동차 배터리 역물류 프로세스를 개발하고자 한다.



<그림 4> 전기자동차 핵심구조[10]

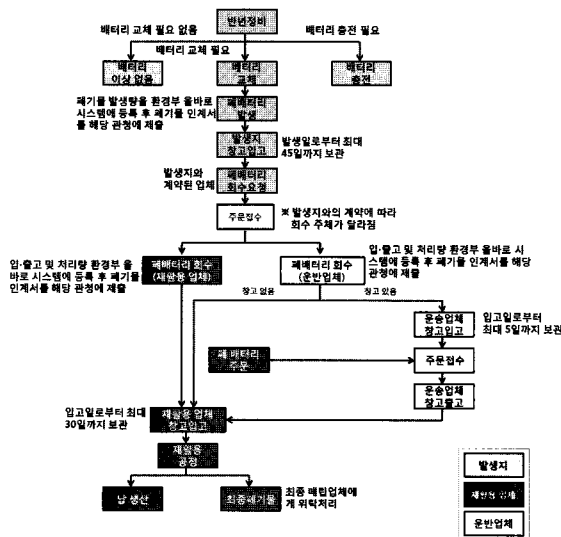
### 3.1 자동차용 폐납축배터리 역물류 프로세스

납축배터리는 주로 일반자동차에 사용되며, 황산을 전해질로 사용하는 만큼 지정폐기물로 관리하고 있다. 한편 전기자동차용 배터리의 주성분인 리튬은 폭발성을 지니고 있으므로, 지정폐기물 관리할 필요가 있다.

본 연구에서는 일반자동차의 폐납축배터리 역물류 프로세스를 연구하여 향후 전기자동차 배터리의 역물류 프로세스를 설계하고자 한다.

일반 대형차량에 사용되는 납축배터리의 수명은 일반적으로 2년 정도이며, 반년정비시 정비기사의 판단에 따라 교체한다. 납축배터리는 ‘폐기물 관리법’에 의해 발생지점, 이동 및 보관에 관한 규정을 갖추고 있다. 발생지에서는 폐납축배터리를 발생일로부터 45일까지 보관할 수 있으며, 보관장소에는 해당 구청이 발급한 허가증을 부착해야 한다. 운반업체는 허가된 차량을 사용하여 운반해야 하며, 창고를 갖추고 있는 업체의 경우 최대 5일까지 폐납축배터리를 보관할 수 있다. 또한 재활용 업체는 폐납축배터리를 발생지로부터 직접 회수하거나 운반업체로부터 공급받으며, 최대 30일까지 폐납축배터리를 보관할 수 있다. 폐납축배터리의 역물류 프로세스는 아래의 <그림 5>와 같다.

폐납축배터리의 발생, 운반 및 재활용 과정에서 발생하는 정보(발생량, 입·출고량, 처리량 등)는 환경부의 ‘올바로 시스템’에 입력해야 하며, 정보입력 후 폐기물 인계서 등의 증빙서류를 각 해당구청과 해당 환경청에 제출해야 한다. 또한 향후 폐납축배터리 역물류 프로세스의 정보관리 시스템을 분석하여 전기자동차용 폐배터리의 역물류 프로세스의 정보관리 시스템을 구축해야 한다.



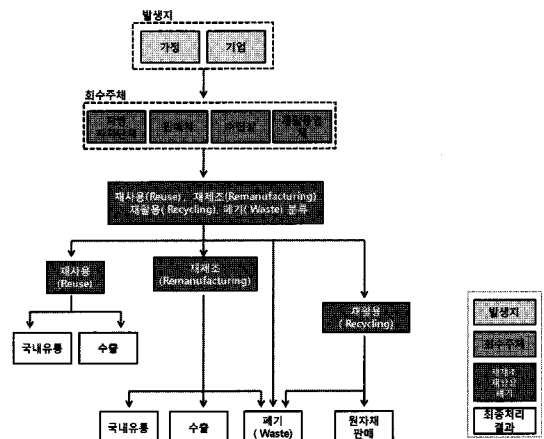
<그림 5> 폐납축배터리 역물류 프로세스

### 3.2 휴대기기용 페리튬배터리 역물류 프로세스

리튬배터리는 주로 휴대폰 및 노트북 등 휴대기기에 사용된다. 리튬배터리의 폐기는 휴대기기를 교체 또는 배터리의 성능이 저하되는 시점(사용시작으로부터 2~5년)에 발생된다. 일반적인 리튬배터리의 교체 및 폐기는 성능저하에 따라 결정되나, 이는 배터리의 성능이 사용 시점으로부터 2~5년 발생하는 심각한 성능열화 때문이다.

본 연구에서는 전기자동차용 배터리와 동일한 물질을 사용한 페리튬배터리 역물류 프로세스를 연구하여 향후 전기자동차 배터리 역물류 프로세스를 설계하고자 한다.

또한 휴대폰 배터리의 용량은 5.5wh급 배터리를 사용하며, 노트북은 57wh급 리튬배터리를 사용하나, 현재 전기자동차용 배터리는 16kwh급 이상의 배터리를 사용하고 있으므로 기존 리튬배터리 역물류 프로세스 적용을 위한 추가 연구가 필요하다. 페리튬배터리 역물류 프로세스는 아래의 <그림 6>과 같다.



<그림 6> 페리튬배터리 역물류 프로세스

페리튬배터리의 역물류 프로세스의 회수주체는 지자체, 판매처, 수집상, 재활용업체 등으로 구분되며, 회수 이후 제품의 품질에 따라 재사용, 재제조, 재활용, 폐기로 구분된다. 재사용 및 재제조된 배터리는 국내유통 또는 해외로 수출되며, 재제조 과정에서 발생하는 일부 물질은 폐기된다. 또한 재활용으로 구분된 제품은 원자재로 분해 후 판매된다.

페리튬배터리는 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’과 ‘전기·가전제품 및 자동차 자원 순환에 관한 법률’에 의해 처리 및 재활용, 재사용에 대한 규제를 적용받으나, 폐납축배터리와 달리 보관, 운반에 관한 별도의 규정은 미비한 상태이다. 또한, 소형 리튬배터

리는 폭발의 위험이 낮고 무게가 가벼우므로 일반배터리와 동일하게 취급되고 있으나, 본 연구의 대상인 대형 리튬배터리는 폭발성이 크고 재활용의 가치가 높으므로 기존과는 다른 역물류 프로세스가 설계되어야 한다.

### 3.3 폐납축배터리 및 페리튬배터리 관리 법안 및 규정

자동차용 납축배터리에서 전해질로 사용하고 있는 황산은 지정폐기물이므로 폐납축배터리의 발생, 보관, 운반, 처리(재활용 및 폐기)에 관련하여 ‘폐기물관리법’의 규제를 받는다. 또한, 페리튬배터리는 ‘자원의 절약과 재활용 촉진에 관한 법률’에서 재활용 및 재사용에 관한 규정을 적용받고 있으며, 상세 내용은 아래 <표 3>과 같다.

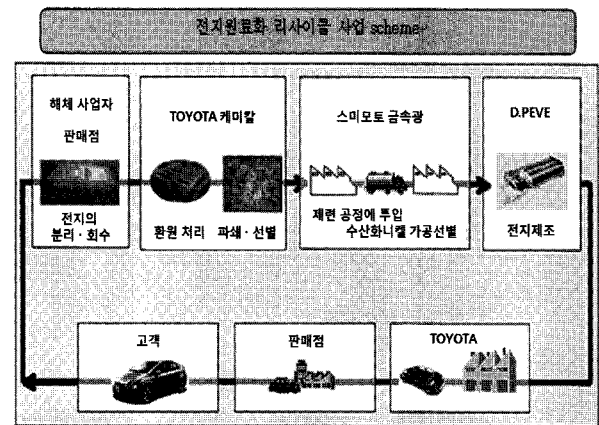
<표 3> 국내 납축배터리와 리튬이온전지 관련 법률

처리	<ul style="list-style-type: none"> <li>보관이 시작된 날부터 45일까지 보관 가능</li> <li>· 1일 처리능력의 10일분 이상 30일분 이하의 폐기물을 보관할 수 있는 보관장고</li> <li>· 시멘트로 고형화하는 경우에는 시멘트의 양이 1세제곱미터 당 150킬로그램 이상이어야 함</li> <li>· 액체상태의 것은 다음의 어느 하나에 해당하는 방법으로 처리하여야 함.                     <ul style="list-style-type: none"> <li>(가) 중화·산화·환원의 반응을 이용하여 응집·침전·여과·탈수</li> <li>(나) 증발·농축</li> <li>(다) 분리·증류·추출·여과의 정제 처리</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>이동전화 단말기 등의 전지는 전지의 화학반응을 위하여 사용된 금속물질을 회수하고 안전하게 처리해야 함</li> <li>· 해체·압축·파쇄·절단 등의 중간처리과정을 거쳐 재사용가능 부품을 재사용하거나 소재별로 분리하여 재활용</li> </ul>
재사용 및 재활용 기준	<현재 규정 없음>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 70% 이상 이어야함</li> </ul>

구분	납축배터리	리튬전지
폐기물 배출자의 의무	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 사업장폐기물의 종류와 발생량 등을 환경부령으로 정하는 바에 따라 신고해야 함</li> <li>· 지정폐기물을 배출하는 다음 각 호의 서류를 환경부장관에게 제출해야 함                     <ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐기물처리계획서</li> <li>· 폐기물분석결과서</li> <li>· 수탁처리자의 수탁확인서</li> </ul> </li> </ul>	<현재 규정 없음>
수집·운반	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수집·운반의 차체는 노란색, 적재함의 양쪽 옆면에 회사명 전화번호 표기</li> <li>· 액체상태의 지정폐기물을 수집·운반하는 경우에는 홀리나올 우려가 없는 전용의 설비를 사용하고 혼합이나 유동으로 생기는 위험이 없도록 해야 함</li> <li>· 설비 기준                     <ol style="list-style-type: none"> <li>1) 장비                         <ul style="list-style-type: none"> <li>· 액체상태 폐기물의 경우 : 탱크로리 또는 카고트럭 2대 이상(적재능력합계 9톤 이상)</li> <li>· 고체상태 폐기물의 경우 : 암롤트럭, 컨테이너트럭 또는 덤프트럭 3대 이상(적재능력합계 13.5톤 이상)</li> </ul> </li> <li>2) 시설                         <ul style="list-style-type: none"> <li>· 주차장 : 모든 장비를 주차할 수 있는 규모</li> <li>· 세차시설 : 20세제곱미터 이상(차량이 10대 이상인 경우 30세제곱미터 이상)</li> </ul> </li> <li>3) 기술능력                         <ul style="list-style-type: none"> <li>· 폐기물처리산업기사·대기환경산업기사·수질환경산업기사 또는 공업화학산업기사 중 1명 이상</li> </ul> </li> <li>4) 연락장소 또는 사무실</li> </ol> </li> </ul>	<현재 규정 없음>
보관	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 부식·파손되지 않는 보관용기 사용</li> <li>· 시멘트·아스팔트 등의 재료로 바닥을 포장, 지붕과 벽면을 갖춘 보관장고에 보관</li> <li>· 보관장고에 표지판 설치</li> </ul>	<현재 규정 없음>

### 4. 전기자동차용 리튬배터리 역물류 프로세스

현재 전기자동차(EV) 및 저속전기자동차(NEV)의 배터리 재제조 및 재활용을 위한 벤치마킹 모델로서 일본의 도요타 자동차의 하이브리드 자동차 ‘프리우스’의 배터리 회수 및 재활용 모델을 분석하였다. 하이브리드 자동차의 배터리 역시 대형 리튬배터리로서, 본 연구에서 대상으로 하는 배터리와 유사한 속성을 지닌다.



<그림 7> 도요타 하이브리드 자동차의 배터리 재활용 처리 흐름

도요타의 경우, 자사의 차량만을 대상으로 리튬배터리를 회수 및 폐기처리하고 있으며, 전량 별도의 시설에서 분해하고 있다. 도요타는 폐배터리로부터 리튬 등의 원자재를 추출하는 프로세스만을 지니고 있다. 즉, 배터리 생산에 원자재로 사용하는 재활용 모델만을 운영하고 있으며, 재제조 및 별도의 폐기 프로세스

를 포함하지는 않는다. 이는 도요타뿐만 아니라 타 하이브리드 자동차 기업에서도 재제조 및 폐기 프로세스를 포함하지 않는다(<그림 7> 참조).

따라서, 본 연구에서는 하이브리드 자동차 배터리 역물류 프로세스에서 다루고 있지 않는 재제조 프로세스 및 폐기 프로세스를 포함한 전기자동차 배터리 역물류 프로세스를 설계하고자 한다.

또한 본 연구의 전기자동차용 배터리는 18개의 모듈단위 배터리로 조립된 팩단위 배터리이며, 전기자동차 배터리 역물류 프로세스의 발생지 및 집하장에서는 팩단위 배터리만을 관리한다. 재제조 시설에서는 팩단위 배터리를 분해하여 모듈단위 배터리로 관리하며, 재활용 시설에서는 팩단위와 모듈단위 배터리를 모두 관리한다.

#### 4.1 폐배터리 역물류 관리법안 및 규정

전기자동차 배터리 역물류 프로세스와 기존 일반자동차용 납축배터리 및 휴대기기용 리튬배터리와는 개체 관리, 온도관리 및 라벨링 등의 규정에서 차이가 있으며, 차이점은 아래와 같다.

첫째, 기존 납축배터리는 환경부 올바로 시스템에 발생, 보관 및 처리량을 리터( $l$ ) 단위로 입력하여 개체별 추적이 불가능하였으나, 본 연구에서 제안한 ‘전기자동차 배터리 역물류 프로세스 관리 규정’에서는 높은 경제적 가치를 가지고 있는 폐배터리의 관리를 위해 각 배터리별 코드를 부여하여 관리할 것을 제안하고 있다.

둘째, 기존 소형용량의 리튬배터리와 달리 대형 리튬배터리는 여러 개의 모듈단위 배터리로 구성되므로, 재제조 및 재활용을 위해 팩단위 배터리에서 모듈 및 셀 단위로 분해되었을 때 기존 팩단위 배터리보다 높은 수준의 온도관리가 필요하다. 그 이유는 리튬 배터리가 고온에 노출되었을 경우, 폭발성이 있으며, 저온에서는 성능을 충분히 발휘하지 못하기 때문이다.

셋째, 전기자동차 배터리 파손 시 전해액인 리튬은 수분과 접촉할 경우 폭발할 수 있다. 휴대기기에 사용되는 소형리튬 배터리에서도 발화 및 폭발사고가 발생한 사례가 있다. 따라서 전기자동차 배터리 역물류 프로세스에 관한 관리 규정을 다음과 같이 제안한다(<표 4>참조).

첫째, 배터리 코드(Battery Code)관리규정이다. 폐납축배터리는 지정폐기물로 관리되며 ‘올바로 시스템’에 배출량을 리터( $l$ )로 등록하므로 각 개체별 추적이 어렵다. 폐 리튬배터리는 리튬, 코발트 및 폴리머 등을 추출할 수 있는 고가의 제품이므로 자원의 재활용이

<표 4> 전기자동차 배터리 역물류 프로세스 관리 규정

구분	내용
배터리 코드	<ul style="list-style-type: none"> <li>RFID 또는 2차원 바코드를 사용함.</li> <li>생산 시 부여하여 재활용이 불가능한 폐기 단계에서 코드를 삭제함.</li> <li>소유권 이전 및 배터리 보관, 운송, 처리 모든 과정에서 배터리 코드를 ‘전기자동차 배터리 관리시스템’에 등록함.</li> </ul>
정보 입력	<ul style="list-style-type: none"> <li>폐배터리의 발생, 보관, 운반, 처리 전 과정에서 배터리 코드, 배터리 중량, 발생일, 입고일, 출고일, 처리일, 보관장소, 운반차량, 운반업체, 처리업체를 전기자동차 배터리 관리시스템에 등록함.</li> </ul>
온도 관리	<ul style="list-style-type: none"> <li>팩단위 배터리는 지정된 창고 및 차량은 -20도 이상의 온도를 유지해야함.</li> <li>모듈단위 이하의 배터리는 -15도에서 45도 사이의 온도를 유지해야함.</li> </ul>
운반/보관	<ul style="list-style-type: none"> <li>폐배터리의 보관, 운반 시 등록된 창고 및 차량만을 이용함.</li> </ul>
라벨링	<ul style="list-style-type: none"> <li>전해액이 누출된 배터리는 ‘파손’ 및 ‘수분접촉 금지’ 라벨을 추가해야 함.</li> <li>모듈단위로 분해된 배터리는 별도의 라벨을 부착함.</li> </ul>

요구되며, 수분과 접촉할 경우 폭발위험이 존재한다. 즉, 폭발성이 크고 경제적 가치가 높은 희귀금속(리튬, 폴리머 등)의 효율적 관리를 위해 각 개체별 코드화를 추진하여야 한다.

둘째, 폐배터리의 유통이력 정보입력에 관한 규정이다. 폐배터리의 발생, 보관, 운반 및 처리의 모든 과정에서 본 연구의 제 4.2절에서 제안하는 ‘전기자동차 배터리 관리시스템’에 배터리 코드, 발생지, 발생일, 차량 코드, 입고일, 출고일, 처리일, 배터리중량(kg) 등을 등록하도록 하는 규정이 요구된다.

셋째, 폐배터리 관리 온도에 관한 규정이다. 일반적으로 배터리는 저온에서 성능이 저하되며 전기자동차 배터리 제조사에서는 -20도 이상에서 전기자동차용 배터리를 보관하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 제조사의 기준에 따라 배터리 보관 시 -20도 이상의 온도에서 보관될 수 있도록 관리규정을 제안하였다.

넷째, 운반 및 보관에 관한 규정이다. 앞서 기술한 바와 같이 폐배터리는 폭발성을 지니고 있으므로, 온도관리가 와 격리 보관이 가능한 허가된 장소에서 보관하도록 규정해야 한다. 또한, 폐배터리의 이동은 온도관리가 가능한 차량으로 운반하는 규정이 요구되며, 보관온도관리 범위에 대하여 추가적인 연구가 지속적으로 수행되어야 한다.

다섯째, 라벨링 관련 규정이다. 파손된 전기자동차용 배터리는 대용량이며 리튬은 수분과 접촉할 경우 폭발위험이 있으므로, 파손된 전기자동차 배터리는 파손 및 수분접촉 금지 라벨이 필요하며, 분해된 배터리

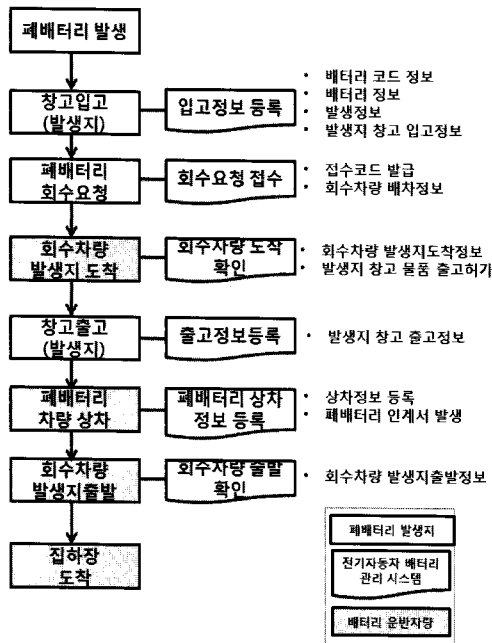


에 대한 별도의 라벨을 부착해야 한다.

이와 같은 규정이 전기자동차 활성화 이전에 마련된다면 전기자동차 배터리 수명관리를 통해 전기자동차 배터리 원자재 수입절감 효과와 함께 경상수지 개선효과를 기대할 수 있다.

### 4.2 폐배터리 역물류 프로세스

본 연구에서 설계한 전기자동차의 배터리 역물류 프로세스는 일반자동차에서 사용하는 폐납축배터리 역물류 프로세스의 구조 및 정보입력 시스템과 휴대기기에서 주로 사용되는 폐리튬배터리의 역물류 프로세스를 분석하여 설계하였다. 전기자동차 배터리 역물류 프로세스는 발생지, 집하장, 재제조 시설, 재활용 시설 및 폐기 시설로 구성되어 있으며, 폐배터리 역물류 프로세스에서 발생하는 정보는 '전기자동차 배터리 관리 시스템'(이하 관리시스템)에 의해 관리된다. 또한 폐배터리 운반 차량도 관리시스템에서 결정하며, 폐배터리의 발생지 프로세스는 <그림 8>과 같다.

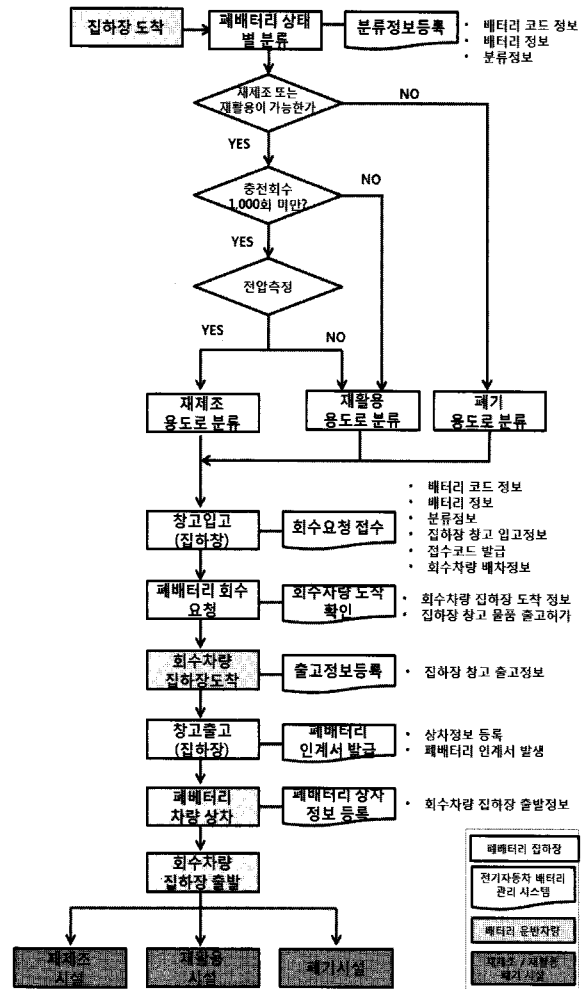


<그림 8> 폐배터리의 발생지 프로세스

팩단위 폐배터리가 발생할 시, 온도관리 기능을 보유한 발생지의 창고에 입고되어야 하며, 창고의 온도는 -20도 이상을 유지해야 한다.

폐배터리의 발생지 관리자는 창고입고가 완료된 후 관리시스템에 배터리 코드 정보, 배터리 정보(중량, 충전횟수, 제조일자, 생산정보), 발생정보(발생시간, 발생지 주소, 폐배터리 발생유형), 발생지 창고 입고정보

(입고시간, 입고수량)등의 정보를 입력하며, 입력을 완료한 후 관리시스템으로 폐배터리의 회수를 요청한다. 회수요청이 접수되면 관리시스템은 접수코드를 발급한 후, 회수차량을 배차한다. 폐배터리 회수에 사용되는 차량은 온도관리 장치가 설치된 차량만을 이용하며, 관리시스템에 등록된 차량만을 이용해야 한다.



<그림 9> 폐배터리의 집하장 프로세스

회수차량의 운전자는 폐배터리 발생지에 도착한 후 단말기를 이용하여 도착정보를 관리시스템에 등록한다. 관리시스템은 도착정보를 확인하여 회수차량 발생지 도착정보를 생성한다. 회수차량의 발생지 도착확인이 이루어진 후 발생지 창고에서는 폐배터리의 출고가 시작된다. 폐배터리의 출고가 완료되면 발생지의 관리자는 출고정보를 관리시스템에 등록하며, 출고된 폐배터리는 회수차량에 상차된다. 폐배터리의 상차가 완료되면 회수차량의 운전자는 상차된 물품을 확인한 후 상차정보를 관리시스템으로 등록하며 관리시스템은 폐배터리 인계서를 발급한다. 회수차량의 운전자는 출발

정보를 입력한 후 발생지를 출발하여 집하장으로 폐배터리를 운반한다. 이상의 프로세스를 마지막으로 폐배터리 발생지에서의 역물류 프로세스는 종료되며, 폐배터리는 집하장으로 운반된다. 폐배터리 집하장 프로세스는 <그림 9>와 같다.

기존 폐납축배터리의 역물류 프로세스는 폐납축배터리가 발생한 이후 재활용만을 고려하므로 별도의 보관창고에서 입고하는 것만을 규정하고 있다. 그러나 폐배터리는 재활용이외에도 재제조를 고려해야 하며 전기자동차 배터리는 배터리 상태(전압, 충전량)에 따라 재제조 또는 재활용 여부가 결정되므로 보관 및 이동시의 온도관리가 요구된다. 따라서 본 연구에서는 폐납축배터리에서 다루고 있지 않은 배터리 수명관리를 위한 보관 및 이동시의 온도관리 규정을 전기자동차 배터리 역물류 프로세스에서 제안하고 있다.

폐납축배터리의 경우 발생량 및 출고량을 리터( $\ell$ ) 단위로 입력하므로 배터리의 각 개체별 추적이 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 기존의 폐납축배터리에서 고려되어 있지 않은 개체별 관리를 위해 각 배터리에 게 관리코드를 부여하여 각 개체별 추적을 가능하도록 하였다.

집하장은 전국에서 발생한 폐배터리를 효과적으로 분배하기 위한 폐배터리 집결장소이다. 집하장에 도착한 폐배터리는 재제조 및 재활용 가능여부를 판단하게 되며 이 단계에서 최초로 분류되는 폐배터리는 사고로 인한 전해액 누출 또는 물성의 변화가 있는 배터리를 분류한다. 재제조 및 재활용이 가능하다고 판단된 팩단위 배터리는 라이프 사이클(충전 1,000회)을 기준으로 전압측정 단계 및 재활용 용도로 구분하게 된다. 충전 1,000회 이상을 기록한 팩단위 배터리는 재활용 용도로 구분되며, 충전 1,000회 미만으로 충전한 경우 전압측정 단계로 구분한다. 전압측정 단계에서는 재조사 기준(1.0V)에 따라 재제조 및 재활용 용도로 구분하게 된다. 폐배터리 분류 정보는 관리시스템에 입력된다. 상태에 따라 분류된 폐배터리는 각 분류별 창고에 입고되며 집하장 관리자는 관리시스템에 창고정보 및 입고일 등의 정보를 입력한다. 창고에 입고된 제품들은 최대 5일까지 보관할 수 있다. 이하의 프로세스에서는 발생지의 프로세스와 동일한 과정을 거치게 된다. 관리시스템으로 폐배터리 회수요청이 들어오면 관리시스템에서 지정한 차량에 의해 재제조, 재활용 및 폐기 공정으로 운반되며, 집하장의 프로세스는 각 회수차량이 폐배터리를 상차하여 집하장을 출발하는 것으로 집하장 프로세스는 종료된다.

본 연구에서 재제조 프로세스란, 팩단위 폐배터리를 모듈단위 배터리로 분해한 다음, 사용이 가능한 모듈

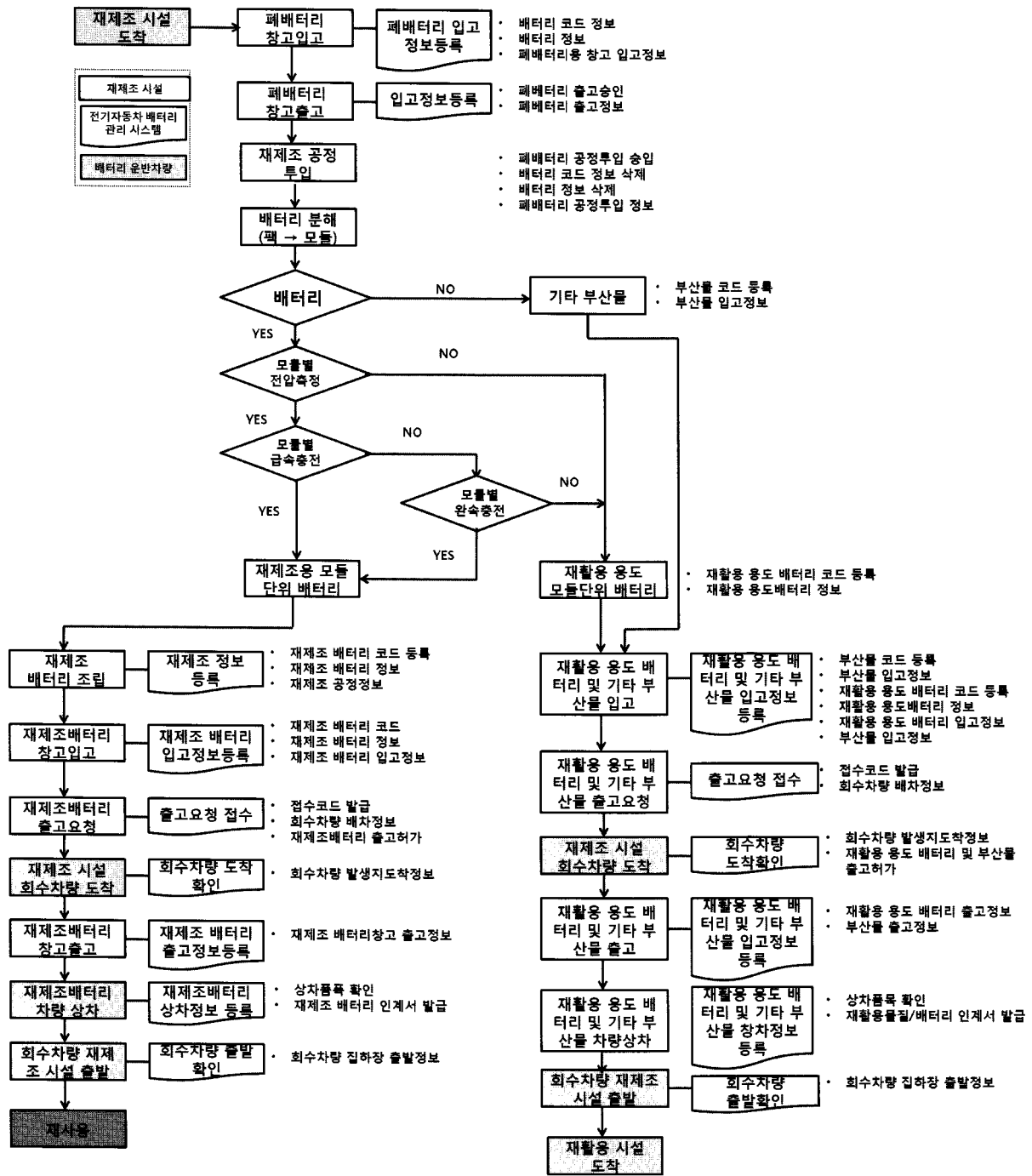
만을 수집 및 조립함으로써, 성능을 충분히 발휘하는 팩단위 배터리로 재생산하는 프로세스를 의미한다. 기존의 연구에서는 재제조 제품이란 수명이 다한 제품을 재제조 공정을 통해 신제품과 유사한 수준의 성능을 가질 수 있도록 제조립 및 재생산한 제품으로 정의하였으며[22], 재제조를 위한 공정 및 가이드라인의 체계화 연구에서는 재제조 공정을 해체, 세척, 검사 및 부품별 분류, 부품의 수리 및 교체, 제조립으로 분류하였다[5].

재제조 시설에 도착한 폐배터리는 재제조 공정에 투입 될 때까지 폐배터리 보관용 창고에 입고되며, 폐배터리 입고정보는 관리시스템으로 등록된다. 재제조 공정에 투입될 폐배터리는 관리시스템에 출고승인이 확인된 후 창고에서 출고되며 폐배터리 재제조 프로세스는 <그림 10>과 같다.

재제조 공정에 투입된 팩단위 배터리는 모듈단위 배터리와 기타부산물로 분해되며, 이후 모듈단위 배터리는 전압측정을 통해 제조사의 기준값(1.0V) 이상인 모듈단위 배터리는 급속충전 단계로 분류하고, 제조사 기준이하의 전압을 지닌 모듈단위 배터리는 재활용 용도로 구분된다. 급속충전단계로 구분된 배터리는 급속충전을 통해 제조사가 규정하고 있는 성능(신제품 배터리의 80%) 이상인 경우 재제조 용도로 분류하나, 제조사가 규정하고 있는 성능이하인 경우는 완속충전 단계로 구분한다. 완속충전 단계로 구분된 배터리는 완속충전을 통해 제조사가 규정하고 있는 성능이상인 경우 재제조 용도로 분류하며, 제조사가 규정하고 있는 성능이하인 경우에는 재활용 용도로 구분한다. 재제조 용도로 구분된 모듈단위 배터리는 유사한 성능의 모듈단위 배터리간의 결합을 통해 새로운 팩 단위 배터리가 된다.

재제조 공정을 거친 팩단위 배터리의 산출물은 재제조 배터리, 재활용 배터리(모듈단위) 및 기타 부산물로 구분된다. 재제조 배터리는 신규배터리와 구분하기 위해 관리시스템에 재제조 배터리 코드로 등록하며, 별도의 재제조 배터리 창고에 입고되며, 재활용 용도 배터리 및 기타부산물도 재활용 배터리 코드와 부산물 코드를 부여 받은 후 각 창고에 보관된다. 각 분류별로 창고에 입고된 후 재제조 시설의 프로세스는 발생지 및 집하장의 프로세스와 유사한 프로세스를 거치며, 재제조된 배터리의 사용 요청이 있을 시, 관리시스템에 등록된 차량으로 운반되어 재사용된다.

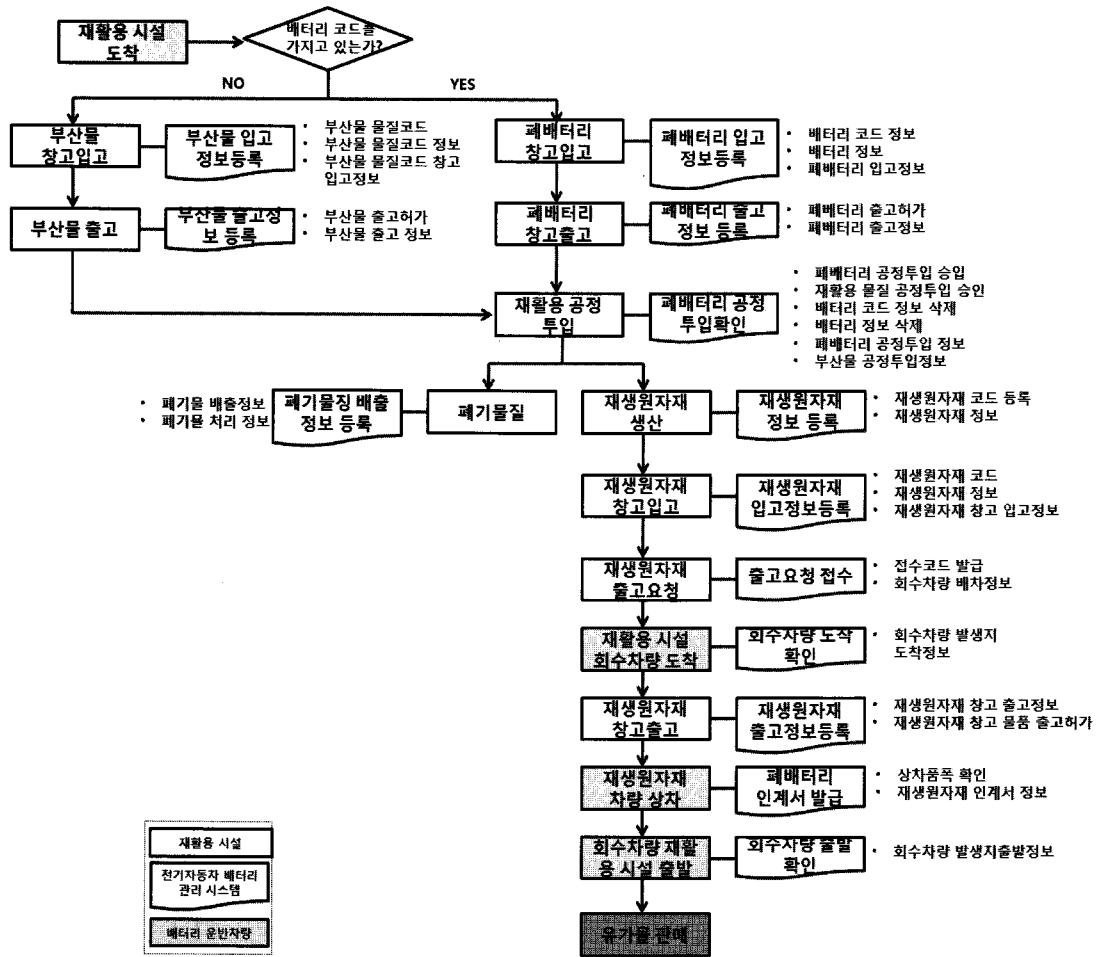
재제조 공정에서 발생한 재활용 배터리(모듈단위)와 기타 부산물은 효과적인 관리를 위해 재활용 배터리(모듈단위) 코드와 부산물 코드로 관리되며, 별도의 창고에 보관한다. 재활용 물질은 이후 재활용시설로 이동되어 재활용 공정에 투입된다.



<그림 10> 폐배터리의 재제조 프로세스

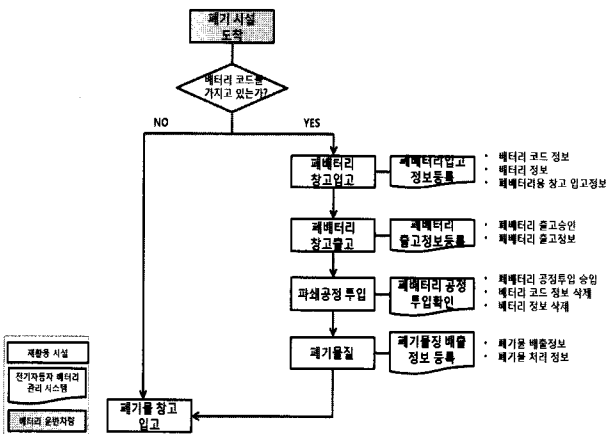
재활용 프로세스는 폐배터리에서 리튬, 폴리머 등 원자재의 추출을 목적으로 하는 프로세스이다. 재활용 공정에 도착한 폐배터리는 도착한 물질의 배터리의 코드 보유여부에 따라 분류된다(<그림 11> 참조). 배터리 코드를 보유했을 경우 폐배터리 창고에 입고되며 배터리 코드를 보유하고 있지 않을 경우는 부산물 창고에 입고된다. 재활용 공정에 투입된 폐배터리 및 부산물은 재사용이 가능한 원자재로 재생되며 일부 폐기물

질도 배출된다. 재활용공정으로 발생된 폐기물질은 배터리의 형태가 아니므로 발생량까지만 관리시스템에 입력하며 이후 별도의 폐기물 규정에 따라 처리된다. 추출한 재생 원자재는 전기자동차용 배터리 생산에 활용되며, 회귀자원관리 및 수입대체효과를 기대할 수 있으므로 관리시스템에서 재활용 공정으로 재생된 원자재를 관리한다. 폐배터리의 재활용 프로세스는 <그림 11>과 같다.



<그림 11> 폐배터리의 재활용 프로세스

폐기 프로세스는 폐배터리의 형태를 하고 있으나 심각한 손상 또는 물성의 변화로 재제조 및 재사용 불가능한 배터리를 처리 및 재제조, 재활용 공정에서 발생한 폐기물질을 처리하는 프로세스이며, 폐배터리의 폐기 프로세스는 <그림 12>와 같다.



<그림 12> 폐배터리의 폐기 프로세스

폐기공정에 도착한 폐배터리는 배터리 코드 보유여부에 따라 별도의 창고에 보관된다. 배터리 코드를 가지고 있을 경우 폐배터리 창고에 입고되며, 입고 후 폐기시설의 관리자는 배터리 코드정보, 배터리 정보 및 입고정보를 관리시스템에 입력한다. 배터리 코드를 가지고 있지 않을 경우 폐기물 창고로 입고된다.

이후 폐배터리는 파쇄공정을 투입되어 이를 통해 발생한 폐기물질의 발생량은 관리시스템에 등록된다. 발생된 폐기물질은 별도의 폐기물 처리규정에 의해 처리된다.

### 5. 결 론

전 세계적으로 전기자동차 시장이 성장함에 따라 충전 인프라 및 배터리 시장도 함께 성장하고 있으나 전기자동차가 활성화 될 경우 발생할 수 있는 폐배터리의 처리 회수와 관련된 연구와 투자는 미흡한 실정이다.

기존문헌에서 정의한 역물류는 사용자에게 효용이 다한 제품을 수집·분류하여 재제조, 재활용 및 폐기하는 프로세스이다. 그러나 기존의 연구에서는 전기자동차 배터리의 수집 및 폐기 프로세스에 대한 연구가 이루어지지 못하였다. 따라서 본 연구에서는 전기자동차 배터리 역물류 프로세스를 설계 하고 관련규정 제안을 위해 기존 일반 자동차 폐납축배터리 및 휴대기기에서 주로 사용하는 페리튬배터리의 역물류 프로세스와 관련 규정을 분석하였다. 본 연구에서 설계한 전기자동차 배터리 역물류 프로세스의 기대효과는 다음과 같다.

첫째, 전기자동차는 빠른 속도로 일반자동차의 성능에 근접할 것으로 예상되나, 전기자동차 가격의 40% 이상을 차지하는 배터리 가격으로 인해 전기자동차 활성화에 부정적인 영향을 끼치고 있다. 그러나 수명이 종료된 이후의 전기자동차용 배터리는 리튬, 코발트, 망간등을 추출할 수 있는 높은 경제적 가치를 가지고 있는 자원이므로, 본 연구에서 제안한 전기자동차 배터리 역물류 프로세스는 전기자동차 폐배터리의 재제조 및 재활용을 통해 전기자동차의 원가 절감에 기여할 것으로 기대 할 수 있다.

둘째, 전기자동차 배터리는 사용 및 보관 시 온도관리에 실패할 경우 수명이 단축될 수 있으므로 본 연구에서 제안한 온도관리 규정은 전기자동차 배터리의 수명단축을 예방하는 효과를 기대하고 있다.

셋째, 파손 등의 원인으로 전기자동차 배터리의 전해액 누출 및 팽단위 배터리 이하로 분해되어 이동할 때, 배터리의 라벨규정을 통해 전기자동차 배터리 운반 및 보관상에서 폭발사고 예방효과가 있을 것으로 기대 할 수 있다.

넷째, 대부분 수입에 의존하는 리튬, 코발트, 망간 등 고가의 희귀금속의 수입대체 효과를 기대할 수 있으며, 이로 인한 경상수지 개선효과도 기대할 수 있다.

다섯째, 전기자동차 활성화에 대비한 시스템을 구축함으로써 전기자동차 배터리 역물류 시스템시장의 선점 효과를 기대할 수 있다.

추후 연구과제로는 전기자동차 배터리 역물류 프로세스의 세부 데이터 정의 및 데이터베이스 구축을 통해 역물류 프로세스의 시스템 구현이 요구된다. 또한, 각 발생지, 집하장, 재제조, 재활용 및 폐기 공장 간의 경로구분 알고리즘과 세부 일정계획 등을 최적화 기법 및 시뮬레이션 등을 통해 구현할 필요가 있다.

## 참고문헌

- [1] 김경연; “전기자동차가 물고 올 변화의 물결”, LG경제연구원, 10, 2009.
- [2] 김경유; “주요국의 전기자동차 개발과 정책동향 및 시사점”, KIET 산업경제, 산업연구원, 2010.
- [3] 김현수, 한대회, 정해준, 이성현; “국내 폐가전제품의 회수 및 재활용을 위한 RFID 기반 통합관리 시스템 설계”, 산업경영시스템학회지, 32(2) : 120-131, 2008.
- [4] 김현수, 한대회, 최용정, 정해준, 이성현; “u-Green Logistics 연구동향 조사 및 RFID 기반 재활용 프로세스 설계”, 지식경제부, 26, 2008.
- [5] 김형주, 류시복; “재제조를 위한 공정 및 가이드라인의 체계화 : 자동차 교류발전기를 중심으로”, 한국 정밀공학회지, 23(7) : 93-100, 2006.
- [6] 데이코산업연구소; “국내외 전기자동차 충전인프라 개발동향 및 시장전망”, 데이코산업연구소, 102-103, 2010.
- [7] 류재환; “폐가전제품 회수 물류체계 효율화연구”, 석사학위논문, 아주대학교, 2007.
- [8] 서창적, 전희준; “회수물류 운영 요인의 우선순위 선정”, 물류학회지, 20(1) : 175-190, 2007.
- [9] 신정환; “전기자동차용 리튬이온전지 모바일용 전지와 판이한 게임 룰”, LG경제연구원, 29-30, 2010.
- [10] 안주희; “세계전기자동차 개발현황과 국내업체의 경쟁력 분석”, 산업은행 경제연구소, 2, 2009.
- [11] 이정세; “회수물류 관리를 위한 네트워크 구축방안에 관한 연구”, 물류학회지, 14(1) : 77-104, 2004.
- [12] 이투뉴스; “수명다한 전기차 배터리, 에너지저장 장치로 부활”, 2011.
- [13] 임성길, 최수일; “RFID를 활용한 페타이어 물류 시스템 구축모델에 관한 연구”, 물류학회지, 18(4) : 245-273, 2008.
- [14] 중앙일보, “전기로 달리는 남산 순환버스, 11월 정식 운행”, 2010.
- [15] 전홍배, 김재곤; “RFID 기술을 활용한 역물류 연구 동향 및 방향에 관한 연구”, *Entrue Journal of Information Technology*, 7(2) : 119-130, 2008.
- [16] 정중석; “회수물류성과의 결정요인에 관한 실증연구”, 박사학위논문, 인천대학교, 2010.
- [17] Dowlashahi, S.; “A strategic framework for the design and implementation of remanufacturing operations in reverse logistics”, *International Journal of Production Research*, 43(16) : 3455-3480, 2005.
- [18] Fleischmann, M., Krikke, H. R., Dekker, R., and Flapper, S. D. P.; “A characterisation of logistics networks for product recovery,” *Omega*, 28 : 653-666, 2000.
- [19] Mortiz, F., Jacqueline, M. B.-R., Rommert, D., Erwin, van der Laan., and Jo, A. E. E.; “Quantitative models

[1] 김경연; “전기자동차가 물고 올 변화의 물결”, LG경

- for reverse logistics-A review," *European Journal of Operational Research*, 103 : 1-17, 1997.
- [20] Muphy, P. R. and Richard, P. P.; "Management of Logistical Retromovements; An Empirical Analysis of Literature Suggestions," *Transportation Research Forum*, 29(1) : 177-178, 1989.
- [21] Ronald, S. T. L. and Dale, S. R.; "Difference between forward and reverse logistics in a retail environment," *Supply Chain Management : An International Journal*, 7(5) : 271-282, 2002.
- [22] Steinhilper, R.; "Remanufacturing(The Ultimate Form of Recycling)," *Ministry of Knowledge Economy*, Korea, 2005.
- [23] Stock, J.; "Development and Implementation of Reverse Logistics Programs," *Council of Logistics Management*, Oak Brook IL, 1998.
- [24] Zsdisun, G. and Siferd. S.; "Environmental Purchasing : A Framework for Theory Development," *European Journal of Purchasing and Supply Management*, 7(1) : 61-73, 2001.