

리튬이차전지 재활용 기술동향

글 _ 손정수
한국지질자원연구원

1. 서론

폐전지는 우리가 일상적으로 사용하는 핸드폰, 노트북, 카세트 완구, 비사용 전원 등 각종 전자기기의 전원으로 사용되는 일차전지, 이차전지가 수명이 다하여 발생하는 폐기물을 일컫는다. 전 세계적으로 일년에 사용되는 전지는 약 30만 톤으로 전지 1개를 평균 40 그램으로 계산하면 1년에 약 75억 개의 전지가 판매된다는 것으로 전 세계 인구가 1인당 1개 이상의 전지를 사용하고 있다는 것을 의미한다.¹⁾ 한번 사용하고 버려지는 일차전지는 전체 중량의 약 80%를 차지하고 있으며, 충전하여 200~400 회까지 재사용이 가능한 이차전지로 납축전지가 10%, 니켈-카드뮴전지, 리튬이온전지 등이 나머지 10%를 차지하고 있다.^{2,3)}

이와 같은 폐전지에는 유해금속인 납, 카드뮴, 수은 등이 포함되어 있고 또한 KOH, NH₄Cl, 리튬염, H₂SO₄ 및 유기용액 등이 전해액으로 사용되고 있어 환경에 미치는 영향을 무시할 수 없으며, 또한 은, 코발트, 니켈, 아연, 망간, 리튬 등의 유가금속이 포함되어 있으므로 환경을 보호하고 유한한 자원을 효율적으로 사용하기 위해서 폐전지의 재활용이 요구되고 있다.

최근 화석연료를 대신하여 자동차의 동력원으로 이차전지가 사용되면서 리튬이차전지의 사용량이 급증하고 있으며 이차전지 산업이 발달한 우리나라에서는 늘어나는 수요에 맞춰 전지 원료의 사용량도 급격히 증가하고 있다. 그러나 양극활물질로 사용되는 리튬, 코발트, 망간, 니켈 등은 전량 외국에서 수입하고 있는 전략금속으로 자원민족주의가 대두되고 있는 상황에서 안정적 원료 확보가 무엇보다도 시급히 해결해야 할 문제이다. 이에 대

한 해결책으로서 이차전지 제조공정에서 발생하는 스크랩의 재활용 및 폐리튬이온전지를 재활용하여 다시 이차전지 전극물질로 공급하는 방안이 제시되고 있다. 이에 본 논문에서는 이차전지 재활용에 대한 국내의 현황, 특허동향 및 국내의 재활용 기술현황 등을 분석하여 다가오는 전기자동차 시대에 대비한 효율적인 리튬이차전지 재활용 전략구축의 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 폐전지 재활용 현황

2.1. 국내 재활용 현황

우리나라는 2002년까지 “자원의 절약과 재활용촉진에 관한 법률” 제18조에 의거하여 예치금 및 부담금 제도를 적용하여 수은전지, 산화은전지, 니켈카드뮴전지 및 리튬일차전지에 예치금을 부과하였으며 2003년도부터는 폐기물예치금제도를 생산자책임재활용제도(EPR)로 전환하였다. 또한 리튬이온전지는 2005년도부터 폐휴대전화가 생산자책임재활용제도의 대상품목으로 포함되면서 이동전화단말기 전지류에 포함되었다. 한편 망간전지 및 알칼라인 전지는 96년 이후 수은이 사용되지 않으면서 폐기물 부담금 대상에서 제외되었지만 일반 쓰레기와 함께 배출되어 매립, 소각되는 경우 환경적 부담이 있으며 환경 선진국에서 모든 폐전지는 재활용을 의무화하는 추세에 맞춰 2008년도부터 EPR 품목에 포함되었다. 리튬이차전지의 경우 환경부에서 2011년도부터 EPR 대상 품목에 포함시키기 위한 작업이 진행 중에 있다.

폐전지 재활용에 대한 관심이 높아지면서 (사)한국전지재활용사업공제조합이 2003년 3월에 창립되어 2004년 한국전지재활용협회로 명칭이 변경되면서 지금까지

폐전지의 적정처리를 위한 활동을 이어오고 있다. 이동통신사에서 수거한 폐리튬이온전지는 폐휴대전화와 함께 재활용업체(한국컴퓨터리사이클링, 리사이텍 코리아 등)에 경매되어 처리되고 있으며 제조과정에서 발생하는 스크랩은 (주)코바, 성일하이텍, 한국TMC 등에서 재활용하고 있다.

2.2. 일본의 재활용 현황

일본의 폐전지 재활용 관련 법률은 미국의 경우와 유사하며 2000년 5월 “순환사회 형성추진 기본법”을 제정하였고 2001년 4월 소형 충전식 전지 리사이클 활동을 하는 단체로 JBRC가 출범하였다.

일본 환경법의 “자원유효이용 촉진법”에 의하면 리사이클 마크 표시가 되어 있는 전지가 재활용대상으로 소형 충전식 전지가 이에 포함되며 니켈-카드뮴, 니켈-수소, 리튬이온전지와 소형 납축전지로 미국과 동일하게 규정하고 있다. 일본의 경우 충전식 이차전지만을 대상으로 하고 있으나 함께 회수되는 일차전지 및 단추형 전지의 경우와 별도로 수거되는 일차전지를 이차전지와 분류한 후 동방아연이나 이또무가 광업소로 보내 처리하도록 하고 있으나 법률적으로 정해진 것은 없는 실정이다. 2009년도에 JBRC와 통신사에서 수거한 전지가 니켈-카드뮴 전지 984톤, 니켈수소전지 200톤, 리튬이온전지 356톤 등 총 1,547톤이었다.

2.3. 유럽의 재활용 현황

유럽연합의 전지에 관련된 법령은 Directive 91/157/EEC, Directive 98/101/EEC 등이 있으며 모든 전지를 유해하다고 보고 생산자가 수거, 처리하도록 하고 있다. 즉 전지를 생산하거나 판매하는 모든 사업자는 폐전지 법을 지켜야 할 의무가 있으며 소비자에게 폐전지가 적정 처리되지 않았을 때의 위험성을 알릴 책임도 있다. 후속 조치로 2008년 9월 25일부터 시행된 새로운 전지 법령이 공포되었는데 그 내용은 다음과 같다.

- Battery Directive 2006/66/EC의 개요 :

목적 : 폐전지 및 축전지로 인한 환경 영향을 최소화, 내수시장의 기능정립

적용대상 : 모든 전지 (이동용, 자동차용, 산업용으로 구분)

정책방향 :

- 1) 모든 전지에서 수은 사용 제한. 이동용 전지 내 카드뮴 사용 제한
- 2) 폐전지의 수거 및 재활용을 제고

생산자책임제도 :

- 1) 생산자란 전지 생산자 및 전지를 사용하는 제품, 자동차 생산자를 포함
- 2) 책임은 등록을 해야하며 수거,처리 재활용 및 최종사용자에게 정보제공 등의 책임이 있으며 또한 수거, 운반, 재활용비용을 부담하고 가전제품 등에 부과되는 책임제도와 중복되지 않도록 조정하며 전지 재활용 홍보비용 등을 부담한다.

본 법규를 유럽연합 회원국들은 2008년 9월 26일까지 자국의 법령으로 시행하고 전지 생산자들 역시 Directive 91/157/EEC를 그 기간까지 적용받으며 그 이후에는 새로운 법령에 의해 적용을 받게 된다.

유럽에는 유럽 전지재활용 협회(EBRA:Europe Battery Recycling Association)와 유럽 휴대용 전지협회(EPBA: Europe Portable Battery Association)가 폐전지 재활용을 선도하고 있으며 최근 그리스, 아일랜드와 멕시코가 EBRA에 가입하였다. EBRA에서 처리한 전지는 비회원사의 양을 포함하여 2009년도에 총 4만톤을 처리하였으며 이 중 망간전지류가 약 31,000톤이었으며 리튬이차전지는 1,890톤, 니켈-카드뮴 전지는 소비자용 3천톤, 산업용 2,500톤이었다.

2.4. 미국의 재활용 현황

수은함유 전지와 이차전지 처리에 관한 법령(Battery Act)이 1996년 5월 13일 시행되어 니켈-카드뮴 전지 등 이차전지의 표기, 수거, 재활용 및 운반에 대한 제반 내용을 명시하고 있다.

폐전지 수거 및 재활용을 위하여 전지 제조업체에서 설립한 비영리 단체인 Rechargeable Battery Recycling Corporation(RBRC)에서 폐전지의 수거, 재활용을 관장

하고 있다. 초기에는 니켈-카드뮴 전지만을 대상으로 하였으나 현재는 모든 2차전지를 대상으로 하고 있다.

미국에서는 연간 약 30억 개의 건전지가 라디오 전원, 장난감, 휴대폰, 시계, 노트북, 이동용 공구 등에 사용되고 있으며 9900만개의 납축전지가 사용되고 있다. 폐전지 재활용 법률이 1996년 통과되면서 건전지에 수은의 사용이 사라졌으며 30억 개의 폐전지 중에서 1/5인 6억 개가 이차전지이다. 평균 미국에서 일인당 일년에 8개의 건전지를 사용하고 버린다.

일반 건전지에 대한 법률적 근거는 없으며 망간전지와 알칼라인 전지를 재활용하는 회사가 미국 내에 존재한다. RBRC에서는 니켈-카드뮴, 니켈-수소, 리튬이온전지, 소형납축전지의 재활용을 하고 있으며 재활용 마크를 부착하도록 의무화 되어 있다.

3. 리튬이차전지 재활용 기술 현황

3.1. 국내 재활용 기술 현황

국내에서 리튬이온전지의 경우 한국지질자원연구원에서 재활용 공정을 연구개발하였으며 경남 함안의 (주)코바에서 연 500ton 규모의 재활용 설비를 시험, 운영 중에

있다.

Fig. 1에 페리튬이온전지의 재활용 공정도를 나타내었다. 페리튬이온전지의 재활용은 파쇄, 자력선별, 분급 등으로 전극활물질 만을 선택적으로 농축시킨 뒤 환원제로 과산화수소를 사용하는 황산침출법으로 코발트를 침출한다. 그런 뒤 침출용액으로부터 코발트를 회수하기 위하여 옥살산을 이용하여 코발트를 선택적으로 분리 회수하는 공정과 pH를 조절하여 불순물을 제거하고 난 용액으로부터 용매추출법을 통해 황산코발트를 제조하는 공정으로서 페리튬이온전지를 재활용 하고 있다.

또한 HEV용 이차전지 및 골프장용 전기자동차에 사용되는 리튬이차전지 재활용을 위하여 안정적 해체, 파쇄, 습식침출, 분리정제 등에 대한 연구가 진행 중에 있으며 특히 현재 개발하고 있는 공정의 경우 기존 금속 생산에서 벗어나 양극활물질로 재공급하기 위한 공정을 개발하고 있다. 특히 MNC계 양극활물질로 공급하는 경우 니켈, 코발트 및 망간의 분리정제 공정을 생략하고 세 금속을 수산화물로 공침시킨 후 탄산리튬과 반응하여 양극활물질로 제조하는 공정을 제시함으로써 국내에서 폐기물로부터 양극활물질 원료를 공급하는 기반을 마련하고자 한다.

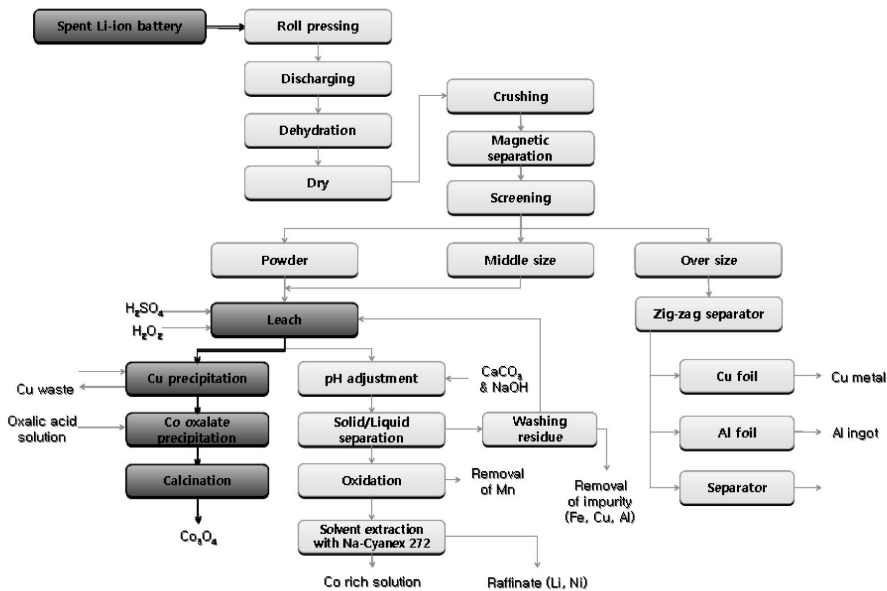


Fig. 1. 페리튬이온전지의 재활용 공정도

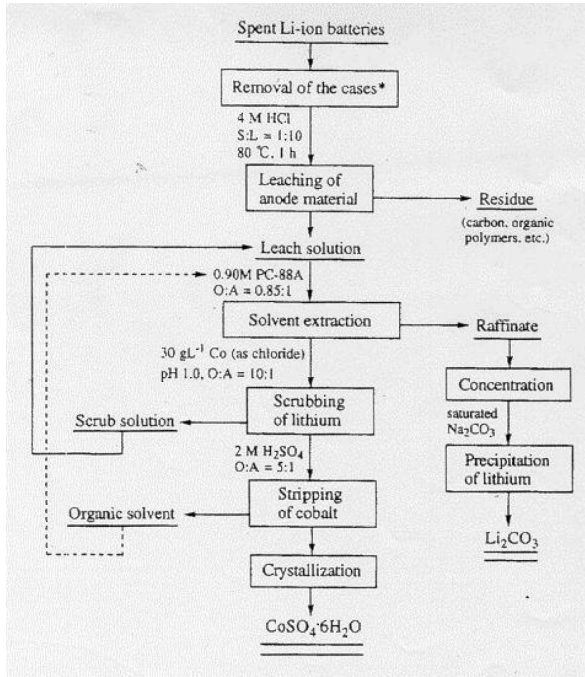


Fig. 2. 페리튬이온전지 습식처리공정도

3.2. 국외 재활용 기술 현황

일본 도시바에서는 페리튬이온전지를 시간당 10 kg 씩 처리할 수 있는 재활용공정의 파일롯 플랜트를 개발하였다. 폐전지를 해체하고 자력선별, 크기선별, 비중선별법으로 코발트 성분을 농축한 뒤 황산을 침출제로 습식침출하여 플라스틱, 케이스 등을 분리하고 침출용액으로부터 수산화코발트를 침전시킨다. 필터프레스로 침전물을 분리하고 입자직경을 조절하여 순도 99.8%의 구상코발트를 회수한다. 침출여액으로부터 리튬이온만을 이온교환막을 사용하여 정제한 뒤 탄산리튬으로 침전, 회수하면 99.9%의 탄산리튬을 회수할 수 있다.

또한 Fig. 2와 같이 전극 활물질만을 물리적으로 분리한 뒤 4몰 염산을 침출제로 사용하여 유기금속을 침출한 뒤 PC88A를 추출제로 용매추출하여 코발트만을 분리하고 분리된 코발트는 수용액상으로 농축하여 황산코발트로 결정화하여 회수하며 여액으로부터 리튬을 탄산리튬으로 회수하는 습식처리공정도 연구개발 되었다.⁴⁾

한편 페리튬전지로부터 고순도 리튬염을 회수하는 프로세스를 뉴질랜드의 퍼시픽리튬사에서 개발 중에 있다.

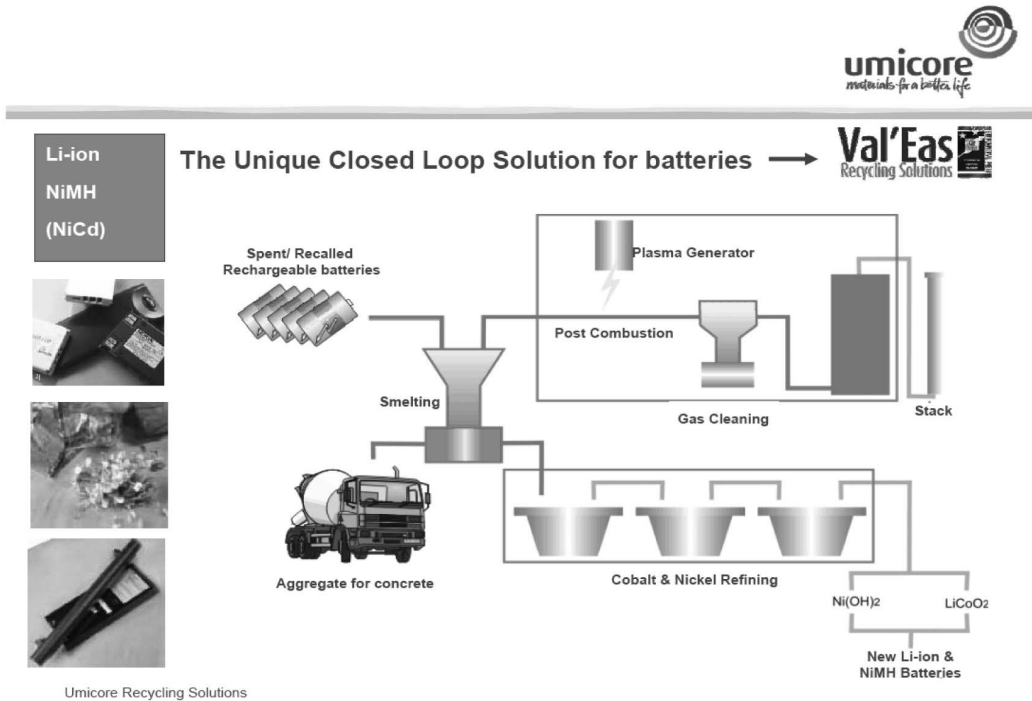
파쇄된 페리튬전지를 물에서 용해시키면 수용성의 리튬염과 구리, 알루미늄, 코발트 등의 불순물들이 수 ppm에서 수백 ppm까지 공존하며 이들은 이온교환 멤브레인을 통하여 분리되어 음극실로 수산화리튬만이 농축되며 정제된 리튬수산화물 수용액으로부터 고순도 탄산리튬을 침전물로 회수하는 프로세스로서 1kg의 리튬을 제조하는데 13 kWh의 에너지가 소모된다.

현재 상용화된 공정으로 가장 주목을 받고 있는 것은 벨기에 유미코어의 건식처리공정으로 현재 연간 4천톤의 페리튬이온전지를 재활용하여 이차전지 원료로 재공급하고 있다. Fig. 3과 같이 별도의 전처리 없이 전지 전체를 smelter에 투입함으로써 인건비를 절감하는 것이 특징이며 이때 발생하는 배가스는 플라즈마를 이용하여 완전 분해하여 다이옥신 등의 문제를 해결하였다.

또한 용융과정에서 발생하는 이산화탄소를 환원시켜 용융과정에서 발생하는 금속산화물의 환원제로 사용함으로써 이산화탄소 배출을 최소화하고 있다. Smelter에서 회수되는 슬래그는 건설용 재료로 활용하고 코발트, 니켈, 구리 등으로 구성된 합금상은 습식침출, 용매추출 등의 공정을 적용하여 코발트 산화물과 니켈화합물을 제조하여 이차전지 원료로 공급하는 공정으로 구성되어 있다. 본 공정의 경우 용융과정에서 리튬이 슬래그로 50%, 배기가스로 50%가 배출되어 리튬을 회수하지 못하는 것이 단점이며 또한 엄청난 양의 유기물 연소로 인한 배기가스 처리 역시 단점으로 지적되고 있다.

4. 리튬이차전지 재활용 특허 동향

페리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 관한 해외의 연도별 특허동향을 살펴보면, 일본이 각각 61%의 점유율로 가장 많은 특허를 보유하고 있으며, 일본은 1992년부터 급격한 상승세를 보이며 최근까지 활발한 특허활동을 보여주고 있다. 미국, 유럽과 국제는 다소 미미한 특허건수이나, 1980년 후반부터 꾸준히 나타나고 있음을 알 수 있다. 페리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 관한 해외의 주요출원인은 Matsushita, Toshiba, Sumitomo



Overview of the complete VAL'EAS® process

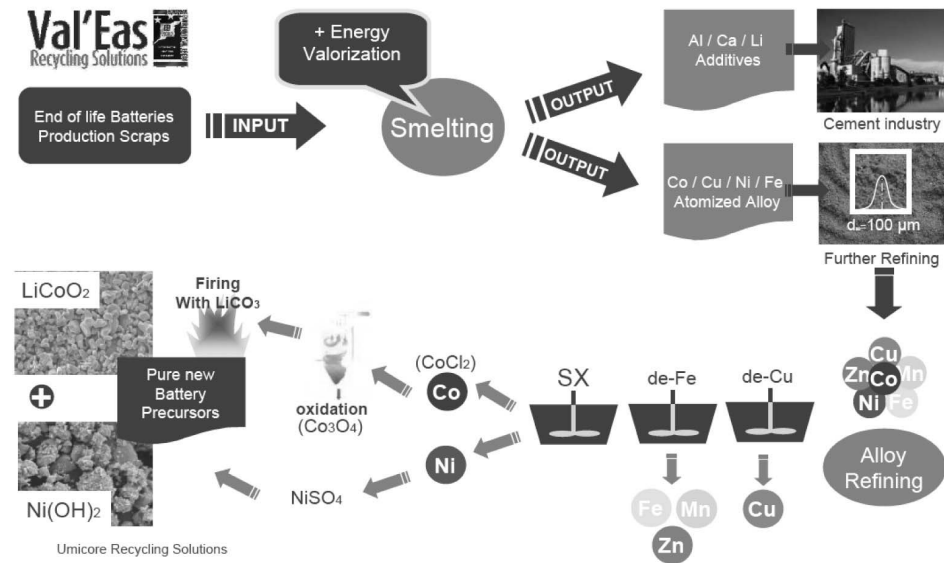


Fig. 3. 페리튬이온전지 건식처리공정도.

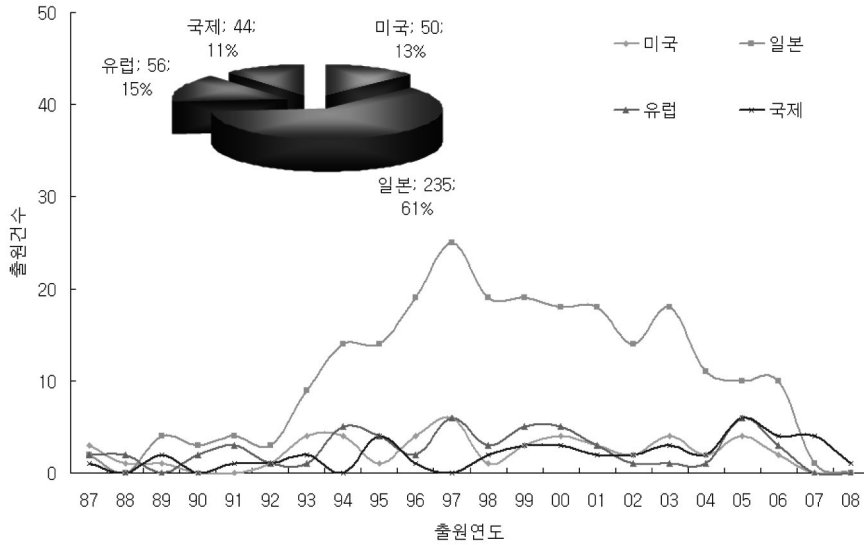


Fig. 4. 해외의 연도별 특허출원동향.

Metal Mining, Toyota, Hitachi, Mitsubishi, Sony, Aluminum Company Of America, Canon, Nippon Mining & Metals 순으로 나타나고 있으며, 주요출원인 대부분이 자국에 활발한 특허활동을 하고 있음을 알 수 있다.⁵⁾

한국의 연도별 출원동향을 살펴보면, 1997년부터 페리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 관한 특허가 나타나기 시작하였으며, 그 뒤로 특

허출원의 증가와 감소를 반복하고 있다. 페리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 관한 한국의 주요출원인은 한국지질자원연구원, 쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니, (주)리싸이텍코리아, (주)지케이엠, 고석노, 김기원, 주식회사 에코프로, 연세대학교 산학협력단 순으로 나타나고 있으며, 페리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 기

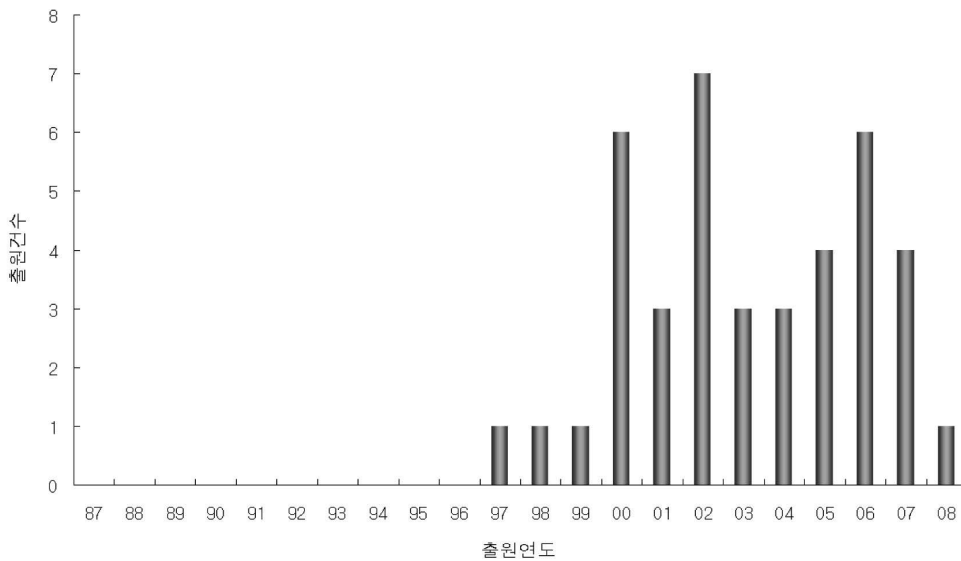


Fig. 5. 한국의 연도별 특허출원동향.

업뿐만 아니라 개인도 연구개발을 하고 있음을 나타내고 있다.

폐리튬전지로부터 유기금속회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술에 관한 해외업체들의 기술동향을 살펴보면, 미국의 Zhang은 최초로 폐리튬이온전지의 가장 간단하고 경제적인 처리방법을 개발하였으며, 이는 폐전지로부터 먼저 LiCoO_2 전극들을 분리하고 여기서 코발트를 회수하는 기술이다. Zhang은 LiCoO_2 를 알루미늄 기재에서 박리해내고 염산으로 용출시킨 후, 유기용제(PC-88A)를 이용해 코발트를 분리하고 리튬은 카보네이트로 침전시켰다.

Lee는 어떠한 전처리 공정없이 LiOH 수용액을 이용하여 200°C 에서 수열합성법으로 LiCoO_2 를 분리하여 새로운 양극활물질로 동시 재생하는 기술을 개발하였다.

일본의 경우는 폐리튬이온전지로부터 유기금속을 회수하는 기술을 중심으로 많은 연구가 진행되고 있으나 아직까지 실용화단계에는 미치지 못하고 있다. 대표적인 기술을 살펴보면, 일본화학공업(주)는 유기인산염 화합물을 추출제로 하여 코발트를 함유하는 추출액과 잔여물질을 분리한 후 추출액을 산 수용액으로 처리하여 리튬염 및 코발트염을 회수하는 방법을 시도하였고, 일본에너지(주)는 폐전지의 양극스크랩을 아세트산으로 용해하여 코발트 및 리튬아세테이트를 포함한 여액에서 LiOH 를 첨가하는 수산화반응을 이용 코발트 등의 유기금속을 수산화물 형태로 회수하는 방법을 고안하였다. 또한 일본자력선광(주)는 알칼리 금속을 함유하는 금속산화물로부터 Co, Ni 등 유기금속을 회수하기 위해 FeSi, Si, CaSi 및 SiC와 같은 환원제 및 첨가제를 용융상태로 가하여 유기금속을 환원시켜 침전물로 회수하는 공정을 특허 기술화했다.

이태리의 Contestabile는 폐전지를 100°C 의 NMP(N-methyl pyrrolidone)에서 1시간 동안 처리하여 LiCoO_2 를 효과적으로 분리해내고 기재인 알루미늄과 구리를 동시에 얻는 기술을 개발하였다.

중국의 Junmin Nan 등은 폐전지 스크랩을 알칼리 수용액으로 용해한 후 여액을 황산수용액을 이용해 침출시킨 후, 코발트가 옥살산(oxalate acid)과 반응하면 Co oxalate

로 침전하는 화학적 침전법을 이용하여 코발트 98%, 구리 97%를 회수하는데 성공하여 이 공정을 실용화를 위한 scale-up 작업이 진행 중에 있다.

1993년에는 리튬(Lithium) 2차전지를 파쇄, 분쇄물을 제1차 자기 분리에 의하여 자성체와 비자성체로 분별, 비자성체를 비산화성 분위기속 또는 환원 분위기속 $500\sim 1000^\circ\text{C}$ 로 구워 부풀림·환원, 소성물을 제2차 자기 분리에 의하여 자성체와 비자성체로 분별하는 공정을 통하여 리튬(Lithium) 2차전지로부터의 니켈(nickel) 및 코발트(cobalt)의 분별 회수 방법에 대한 기술이 나타났다.

1994년에는 사용한 리튬 2차전지를 구워 부풀림하고 분쇄한 후, 분쇄물을 체로 분류, 체 아래를 자석 선별한 것을 특징으로 하는 회수방법과 로내에 Ni-Cd 배터리 스크랩을 넣고, 산소 게터와 환원성 가스를 도입하고 약 $200\sim 300^\circ\text{C}$, 약 $500\sim 800^\circ\text{C}$, 다음에 900°C 이상에 승온하고 증발한 카드뮴을 로에 접촉한 콘덴서로 응축 고화시켜 카드뮴 및 니켈 금속을 회수한 방법에 대하여 나타나고 있다.

1995년에는 사용한 리튬 2차전지를 파쇄한 후, 파쇄물을 체로 분류하고, 체 아래를 테이블 선별기에 중력 선별하고 유기물을 테이블 정광에 회수하며, 테이블 미광을 자력선별하고 잔류한 소량의 유기물을 회수하는 방법에 대하여, 1996년에는 사용한 리튬 2차전지를 구워 부풀림하고, 분쇄하고, 분쇄물을 체로치고 나누어, 1차 유기금속 농축물을 얻고 1차 유기금속 농축물을 칼슘 화합물과 혼합하고 용융하고 생성된 슬래그를 제거하고, 메탈을 2차 유기금속 농축물로서 회수하는 방법에 대하여 나타났다.

1997년에는 분쇄물을 체로 칠때, 활물질 원료 또는 불활성화 한 전지 분쇄 후의 활물질의 최대 입자의 5배 이하의 성분으로 되도록 체로치고 나누는 기술과 폐리튬 2차전지의 분쇄물에 광산 수용액을 가한 후, 용출액과 잔사를 여과 분리, 분리한 용출액을 pH 조정하여 있어 인계 화합물의 금속 추출제를 함유한 유기용매로 접촉시키고 추출분리 처리하고, 추출액 유기 용매상에 광산을 접촉시켜 추출하는 기술이 나타났다.

1998년에는 물로 희석한 황산에 코발트 화합물을 침

지한 후, 환원제를 첨가한 방법 혹은 희석한 광산에 미리 환원제를 용해한 수용액에 코발트 화합물을 침지한 용해 방법과 전지 정극 폐재를 질산으로 용해하고, 질산 코발트, 질산 니켈 혹은 질산 망간 및 질산 리튬을 포함한 여과액에, 수산화 리튬을 가하고 수산화 반응을 행하고, 또한 이것을 여과하고 전지 정극 폐재로부터 코발트, 니켈 혹은 망간 및 리튬의 유기금속을 회수하는 방법이 나타났다.

1999년에는 산성용액을 획득하기 위해 무기물 산 안으로 음극 활성물질을 용해, 산성 용액에 알칼리성 소재를 추가, 건조된 solid를 생산하기 위해 결과생성 용액을 건조, 비수용액을 획득하기 위해 비수 용매 안으로 말린 솔리드를 용해하는 공정을 통해 유기금속을 회수하는 방법과 코발트 산 리튬 함유물에 유황을 첨가하고, 환원 분위기속 270~350°C로 1차 구워 부풀림을 행하고, 물세척 후, 산화 분위기속 750~900°C로 2차 배소를 행한 산화 코발트의 제조방법에 대해 나타났다.

2001년에는 LiCoO₂를 함유하는 유기성 폐슬러지를 고온에서 열분해하여 얻어진 LiCoO₂ 분체를 무기산 및 과산화수소가 용해되어 있는 수용액에 용해한 후, 옥살산을 첨가하여 코발트를 옥살산 코발트의 형태로 침전시켜 코발트를 회수하고, 그 여액에 탄산소다를 첨가하여 리튬을 회수하는 방법이 나타났다.

2002년에는 파쇄한 리튬 2차전지의 전극재를 용융 소금조에 넣고 질산 리튬 등의 용융 소금의 존재하에서 대기압의 산소 분위기하에서 약 300°C로 화학반응 시키고, 전극재에 포함되는 유기금속을 금속 산화물 혹은 금속 탄산화물로서 용융염 중에 침전시키고 후, 분리하고, 침전물 세퍼레이터로 여과하고 회수하는 방법이 나타났다.

2003년에는 불순물로서 알루미늄과 철 중 적어도 일종을 함유하는 코발트 함유 분말로부터 범용 약품 등을 사용하는 코발트를 회수하는 방법으로, 침출시의 코발트의 손실을 억제하고, pH 조정시의 코발트의 회수율과 불순물의 농도의 감소와의 밸런스가 우수한 코발트의 회수 방법과 리튬이온 전지의 구워 부풀림 후, 파쇄에 따라서 얻어지는 구워 부풀림 재의 산 용해 때에 있어서 산 사용량을 충분히 감소할 수 있는 코발트의 회수 방법이 나타

났다.

2004년에는 페리튬이온 이차전지를 무기산으로 침출시키기 전에 가성소다와 첨가제를 사용하여 알루미늄을 용해 분리시킴으로써 후속공정에서 알루미늄으로 인한 공정부하를 최소화하는 방법이 나타났다.

2005년에는 페리튬 이차전지를 구성하는 금속 케이스, 집전체, 전해액, 탄소성분, 코발트 화합물 등으로부터 고가의 코발트 파우더를 효율적으로 회수하는 장치 및 방법과 사용한 리튬이온 전지를 가열·소각 등의 건식 처리를 하지 않고, Li, Ni, Co 등의 유기금속을 효율적으로 분리회수하는 방법이 나타났다.

2006년에는 암모니아수를 용출액으로 사용하고 환원제인 히드라진하이드레이트를 소량 첨가하여 코발트를 용출시키는 리튬전지 양극활물질로부터 코발트의 분리 회수방법에 관해 나타났고, 2007년에는 양극과 음극 및 격리막으로 구성된 젤리롤과 스틸(steel) 재질의 캔을 분리하여 분리된 양극과 음극, 격리막을 각각 파쇄 한 후 리튬코발트옥사이드와 알루미늄으로 구성된 양극으로부터 코발트를 회수하고 음극으로부터 구리를 회수하며 격리막으로부터 재생플라스틱을 회수하는 기술이 나타났다.

5. 결론

폐전지는 2004년 유럽연합을 기점으로 모든 전지를 재활용하는 방향으로 나아가고 있으며 초기 재활용의 상용화를 빠르게 진행시키기 위해 대부분 금속제련 공정에 투입하거나 이와 유사한 공정으로 상용화되었다. 그러나 환경문제와 유기금속 회수를 동시에 해결하는 신공정 개발을 위해 연구가 계속되고 있으며 우리나라의 경우도 선진국 대비 70-90% 수준으로 신기술 개발에 노력하고 있다. 리튬이온전지의 경우 이동통신 단말기의 부품으로 EPR 품목에 포함되어 있으나 전자제품의 처리와는 성격이 다르므로 별도의 폐전지 처리 품목으로 구분되어야 한다.

현재 상용화되어 있는 건식처리공정은 배기가스에 대한 부담이 많고 리튬을 회수하지 못하는 단점이 있으므로 화재, 폭발문제를 해결한 물리적 처리공정과 습식처

리로 구성된 공정이 개발된다면 기존 건식공정과 경쟁이 가능할 것으로 생각된다. 특히 습식처리공정에서 각 금속을 분리, 정제하는 공정에서 벗어나 다시 이차전지 양극활물질 전구체로 연결하는 공정이 개발된다면 보다 경제성 있는 재활용 공정으로 인정받을 수 있을 것이다.

우리나라와 같이 이차전지 산업이 발달되어 있으면서도 양극 활물질 원료를 수입에 의존하고 있는 문제를 해결하기 위해서도 효율적인 리튬이차전지 재활용기술이 확립되어야 하겠다. 폐전지 재활용이 안정적으로 진행되기 위해서는 정부, 지방자치단체, 전지 생산업체, 재활용업체, 국민 모두의 협조가 필요하며 특히 전지 생산업체와 재활용업체가 참여하고 있는 전지재활용협회의 역할이 누구보다도 중요하다 하겠다. 또한 보다 환경친화적이고 효율이 높은 재활용 공정을 개발하기 위해서는 재활용업체가 중심이 되어 전지를 생산하는 기업과 협동하고 실제 공정개발에 참여하는 정부출연기관 및 대학 등과 적극적 교류가 필요하다.

참고문헌

1. J. P. Wiaux and J. P. Waefler, "Recycling Zinc Batteries : An Economical Challenge in Consumer Waste

Management", *J. Power Sources*, **57** 61-65 (1995).
 2. Hans A. Korfmacher, "Overview on the Legislation in Europe and its Implementation by Collection and Recycling Organizations", *International Congress for Battery Recycling*, July 3-5, 2002.
 3. T.White, "Status of Consumer Battery Recycling in Singapore". *ITE Letters on Batteries, New Technologies & Medicine*, **1** [4] 518-25 (2000).
 4. P. Zhang, et al., "Hydrometallurgical Process for Recovery of Metal Values from Spent Lithium-ion Secondary Batteries", *Hydrometallurgy*, **47** 259-71 (1998).
 5. 기술보증기금, "폐전지로부터 유가금속 회수 및 기능성소재 제조 실용화 기술개발 전문컨설팅 보고서", (2008).

손정수



- 1992년 서울대학교 자원공학과 공학박사
- 1994년 한국지질자원연구원 선임연구원
- 1998년 미국 South Dakota School of Mines & Tech. 한국과학재단 해외 Post-Doc.
- 2003년 한국지질자원연구원 광물자원연구본부 금속회수연구실 책임연구원