

리튬이온이차전지 소재의 산업동향 및 기술전망

정향철* · 김건홍 · 홍현선 · 김동완^a

고등기술연구원 플랜트엔지니어링센터, ^a아주대학교 재료공학과

Overview and Future Concerns for Lithium-Ion Batteries Materials

Hang-Chul Jung*, Geon-Hong Kim, Hyun Seon Hong and Dong-Wan Kim^a

Plant Engineering Center, Institute for Advanced Engineering (IAE), Yongin 449-863, Korea

^aDepartment of Materials Science & Engineering, Ajou University, Suwon 443-749, Korea

1. 서 론

이차전지는 일차전지와 달리 충전과 방전이 가능하기 때문에 환경 친화성 및 경제성(고용량 및 장수명)의 관점에서 경쟁력을 바탕으로 새로운 응용분야로 사업 영역이 확대되고 있는 추세이다. 이차전지의 개발 및 발달로 인해 휴대전화, 노트북 PC, PMP (portable multimedia player) 등 휴대용 기기의 확대가 활발해 지는 계기가 됐으며, 최첨단 산업인 하이브리드 전기자동차(HEV), 모바일 IT, 지능형 로봇 산업, 친환경 에너지 산업 등의 발전에 따라 이들 산업의 핵심부품인 이차전지 산업의 기술적 산업적 발전이 절실히 요구되고 있다[1, 4].

리튬이온전지는 기존의 니켈을 기반으로 하는 전지(니켈 카드뮴 전지, 니켈 수소 전지)에 비해 용량, 중량 및 자가 방전과 메모리 효과 등에 있어서 탁월한 장점을 갖추고 있어 이차 전지 시장의 전반을 지배하고 있다. 또한 이러한 장점으로 인해 빠르게 수요와 응용분야가 증가하고 있으며, 고용량과 경량화 요구가 강한 노트북, 휴대폰 등에 주로 적용되고 있다.

현재 리튬이차전지의 최대 수요처는 노트북 PC, 휴대전화 및 휴대용 전자기기이며, 특히 간헐적이고 반복적인 충전에도 성능감소 없이 사용이 가능하므로 모바일 IT나 미래형 자동차 분야의 용도에 가장 최적의 특성을 구현할 수 있다[2].

리튬이차전지를 구성하는 핵심소재는 양극소재, 음극소재, 전해질, 분리막 등을 들 수 있는데, 양극소재

로는 리튬코발트산화물 또는 리튬망간산화물 등을 주로 사용하며 음극소재로는 금속/산화물계 소재 또는 탄소소재가 적용되고 있다. 층상구조의 리튬이차전지에 주로 사용하는 양극 및 음극소재는 사이클 안정성, 고밀도화, 열적 안정성, 전극 가공성, 고에너지밀도, 반응성 등의 장점을 갖는 소재를 채택하여 적용하고 있으며, 전지 가격의 저가화 및 안정성을 향상시키는 방향으로 연구개발이 진행되고 있다[3].

최근 리튬이차전지의 기술개발은 점차 소재 쪽으로 이동되고 있으며, 새로운 고용량 신소재 및 설계 기술 개발 등의 부품소재 기술이 산업 경쟁력의 핵심요소로 부상하여 경제성장을 주도할 것으로 전망되고 있다. 양극소재인 리튬코발트산화물의 경우는 전지의 부품소재 부분 중 가장 많은 가격적 비중을 차지하고 있음에도 불구하고, 한국은 양극소재의 대부분을 수입에 의존하고 있는 실정이다.

이에 본고에서는 최근 각광을 받고 있는 리튬이차전지의 최근 산업동향과 함께 이차전지용 소재 중 전극재료인 양극과 음극을 중심으로 소재의 기술개발 현황 및 향후 전망에 대하여 소개하고자 한다.

2. 리튬이온이차전지 개요

전지(battery)는 크게 물리적 전지와 화학적 전지로 구분되며, 화학전지는 다시 일차전지(primary battery)와 이차전지(secondary battery, rechargeable battery), 연료전지(fuel cell) 등으로 구분된다. 화학전지는 전

*Corresponding Author : [Tel : +82-31-330-7465; E-mail : hcjung@iae.re.kr]

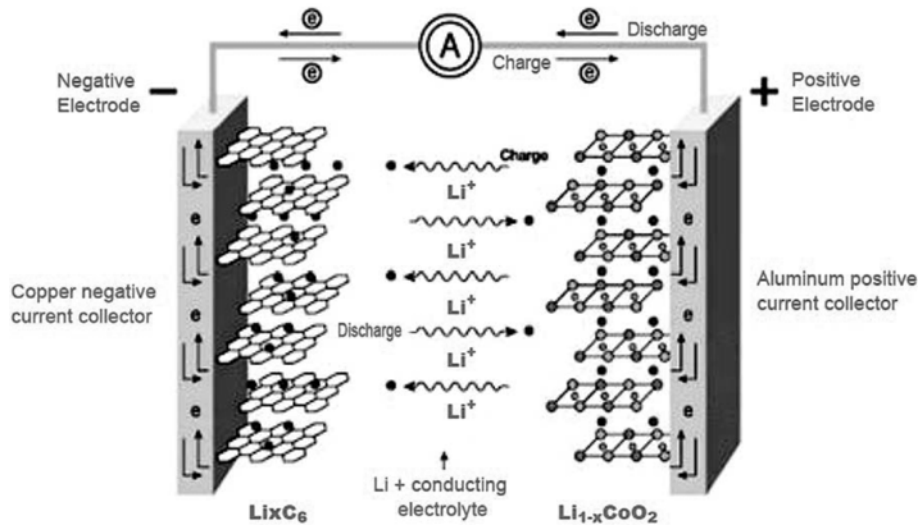


Fig. 1. Operating principle of the Li-ion battery.

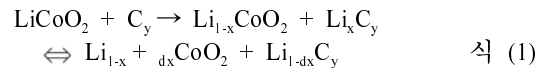
지 내 화학물질의 화학에너지를 전기화학적 반응에 의해 전기에너지로 변환하는 장치이다. 일차전지는 한번 사용하고 버리는 알카라인 전지, 수은전지 등 기존 전지를, 이차전지는 충전과 방전을 반복할 수 있는 전지를 말한다.

이차전지는 전극소재의 종류에 따라 리튬이차전지, 납전지(Lead-acid), 니켈 카드뮴전지(Ni-Cd), 니켈 수소 전지(Ni-MH) 등이 있으며, 이 중 리튬이차전지는 부피당 낮은 중량, 높은 에너지밀도, 안전성 등으로 인해 이차전지시장의 핵심시장 역할을 담당하고 있다[1].

리튬 이차전지는 양극, 음극, 전해질, 분리막 등으로 구성되어 있으며, 이차전지의 작동 원리를 도식화하면 그림 1과 같이 나타낼 수 있다. 양극과 음극 사이에 미세한 공극을 가진 polyethylene 분리막이 위치하고 있으며, 양극과 음극을 사이로 전해질을 통해 리튬이온이 이동하는 전기적 흐름에 의해 전기를 발생하는 구조를 취한다[5, 12].

리튬이차전지의 충전과 방전 과정에서 발생하는 반응식은 식 (1)과 같다. 리튬이차전지 안에서 리튬이온의 물질 상태가 양극과 음극에서 서로 다른데, 이로 인한 물질의 고유에너지 상태가 발생하게 되고 이로 인한 전압차로 전자는 도선을 통해, 전자를 잃은 리튬이온은 전해물질을 통해 음극에서 양극으로 이동하게 되는데 이러한 과정을 방전이라고 한다. 반면 충전기 등에 의해 전자는 도선을 통해, 전자를 잃은 리튬이온은 전해물질을 통해 양극에서 음극으로 재

이동하여 음극활물질의 층구조 사이에 저장되는 과정을 거치는데 이를 충전이라고 한다. 이러한 리튬이온의 이동은 전해물질을 통해 양극과 음극의 접촉을 막는 다공막인 분리막을 통과하게 된다[3].



리튬이온 전지는 형상에 따라 원통형(Cylindrical type)과 각형(Prismatic type)으로 나뉜다. 원통형 전지의 경우 노트북, 캠코더 등 지속적으로 전력이 소모되어 고용량이 요구되는 전자기에 적용되고 있다. 또한 각형 전지는 휴대폰, PDA 등에 주로 적용되고 있으며, 최근에는 휴대용 전자기기 이외 Ni-MH 전지가 주로 적용되고 있는 하이브리드 자동차로 영역을 확대하고 있다[1].

이차전지의 제조 공정은 먼저 양극과 음극 원료 분말을 도전재료(conductor)와 바인더 등과 함께 혼합해 양극과 음극 조성물을 제조한다. 그리고 미세한 공극을 가진 분리막과 함께 감아 용기(can)에 삽입하여 진공상태에서 건조한다. 일반적으로 이차전지의 제조과정 중 가장 주의해야 할 요인은 조성물과 수분과의 차단이다. 공기 중의 수분과 반응해 원치 않는 화학반응을 일으킬 수 있어 안정된 품질 유지를 위해서는 공기 중의 수분 통제가 필수적이다.

화학 전기적으로 특성이 우수한 리튬이온이차전지는 기존에 사용되던 니켈 카드뮴 전지나, 니켈 수소

전지에 비해 용량, 중량 및 에너지 밀도 등의 여러 특성에 있어서 탁월한 조건을 갖추고 있다[3].

리튬이온 이차전지의 전압은 기존의 다른 이차전지 전압에 비하여 높고, 초기개방전압은 4.2V, 평균 작동전압은 3.6~3.7V로서 전지 하나로 휴대전화를 작동시킬 수 있다. 기존의 니켈-기반(nickel-based)의 전지는 기전력이 1.2V이기 때문에 이 전지 세 개를 직렬 연결하여야 리튬이온이차전지 한 개의 작동전압을 얻을 수 있다. 리튬 금속은 여타 금속에 비해 가볍기 때문에 이들이 구성하는 리튬이차전지 자체도 매우 가벼워 동일 중량 기준 에너지 밀도가 크기 때문에 총 중량을 가볍게 하기를 바라는 전기자동차용 전원에 적합하다. 또한 기존의 이차전지와 달리 기억효과(memory effect)가 없어 완전히 방전되지 않은 상태에서 충전하더라도 기존 용량의 감소가 없다. 기억효과는 완전방전을 하지 않고 재충전을 할 경우 사용 용량이 감소하는 현상으로 기존의 전지를 한번 완전히 방전해야만 해결되기 때문에 니켈-기반 전지의 충전기에서는 충전 전에 전지가 완전히 방전되도록 강제 방전회로를 장착하고 있다.

이러한 리튬이차전지의 장점으로 인해 빠르게 전지의 수요가 증가하면서 고용량과 경량화의 요구가 강한 노트북, 휴대폰 등에 주로 적용되고 있는 한편 최근에는 휴대용 전자기기 이외에 전기자동차 등의 중대형화 시장으로 영역을 확대하고 있다.

3. 리튬이온이차전지 및 전극소재의 산업동향

리튬이온이차전지의 최대 수요처는 노트북 PC, 휴대전화 및 휴대용 전자기기 등이며, 특히 간헐적이고 반복적인 충전에도 성능 감소 없이 사용이 가능하므로 모바일 IT나 미래형 자동차 분야의 용도에 가장 최적의 특성을 구현하고 있는 전지로 각광을 받고 있다. 리튬이온이차전지는 용량 및 성능, 디자인 우수성 등의 측면에서 현재까지 상용화된 이차전지시스템 중 최고로 평가 받고 있으며, 기존의 니켈 카드뮴 전지나 니켈 수소 전지를 급속히 대체함에 따라 단일부품으로서 고속성장 산업으로 판단된다.

3.1. 리튬이온이차전지의 산업동향

최근 세계적인 경기 둔화에 따른 노트북 PC, 휴대

전화 등 IT기기의 수요 감소에도 불구하고, 노트북, 휴대전화 등의 모바일 IT 산업을 중심으로 이차전지 시장은 2008년 276.2억 달러 규모에서 연평균 6%의 완만한 성장세를 유지하여 2012년에는 352.3억 달러의 시장을 형성할 것으로 전망됨에 따라 이차전지의 성장세는 지속될 것으로 보인다[1].

리튬이차전지는 2008년 87.5억 달러로 전체 시장 규모의 31.7%를 점유, IT기기 수요의 회복과 융복합화, HEV 및 에너지 저장 등 새로운 응용분야로 확대되어 2012년에는 148.3억 달러의 시장 형성과 연평균 14%의 성장이 유지될 것으로 전망 하고 있으며, 전체 이차전지 시장 중 리튬이차전지가 차지하는 비중은 2008년의 76%에서 2018년에는 94%로 증가할 것으로 판단된다[4].

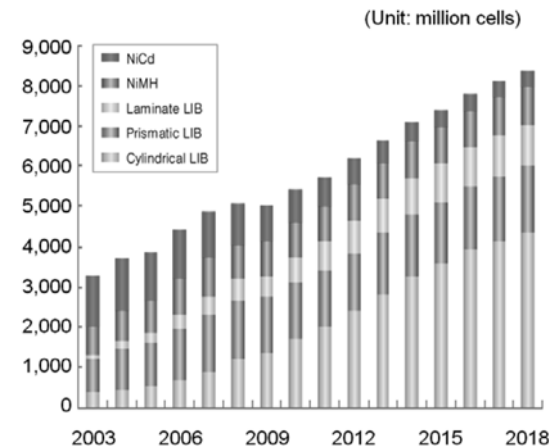


Fig. 2. Secondary battery market scale by type.

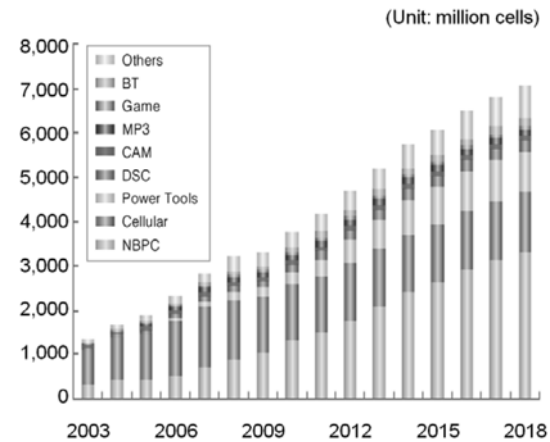


Fig. 3. Industrial trend of the small sized Li-ion battery.

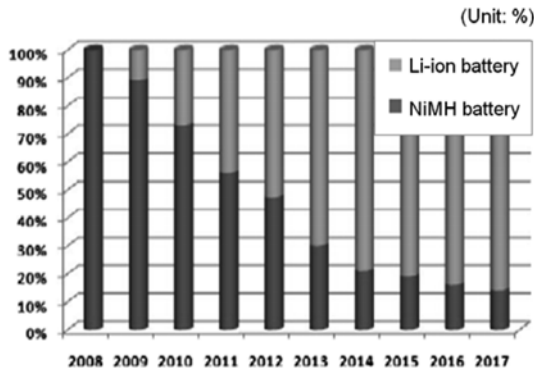


Fig. 4. Industrial trend of the large & medium sized Li-ion battery for vehicle.

2010년부터 IT용 모바일 기기 중 노트북 PC의 이차전지 수요는 연간 13.5억셀로서 휴대전화용 수요 12.5억셀 보다 많아 이차전지의 가장 큰 수요처로 자리 잡을 것으로 전망된다. 2009년까지는 휴대전화용 가장 큰 수요처였으나, 휴대전화 시장의 증가세가 둔화되는 반면, 넷북, mobile PC 등 노트북 PC 시장의 지속적인 증가세로 인해 노트북 PC용 이차전지의 비중이 빠르게 증가할 것으로 전망되기 때문이다. 또한 응용분야 시장의 성장 속도에 의해 이차전지 시장의 성장도 차별화 과정이 진행될 전망이다. 기존에는 노트북 PC용 이차전지 수요가 전체 수요의 약 24%(셀수량 기준)를 차지했으나, 향후 40% 수준까지 증가할 것으로 전망된다. 리튬이차전지의 세계 시장 규모는 2005년 1.230억 엔의 규모에서 2010년에는 연평균 약 37.4% 증가한 규모인 1.690억 엔에 이를 것으로 전망하고 있다. 또한 앞으로 연평균 약 14.0%씩 성장해 2009년 119억불에서 2015년에는 220억불 규모에 이를 것으로 전망 된다[6].

그림 4에는 중대형 전지 시장을 주도하는 전차용 동차용 이차전지의 시장동향을 나타냈다. 리튬이차전지의 지속적인 성능 향상(고에너지 및 고출력밀도)에 따라 주요시장인 모바일 IT 등의 소형 이차전지에서 하이브리드 전기자동차(Hybrid Electric Vehicle, HEV), 전기자동차(EV) 등의 중대형 전지시장도 리튬이차전지가 주도하게 될 것으로 예상된다.

리튬이온전지의 초기인 1991년에는 일본이 세계시장의 95%를 점유하였으나, 현재는 리튬이차전지 시장의 대부분은 한·일·중 3국의 메이저급 업체가 주도하고 있다. 후지키메라의 2009년 조사에 의하면

Table 1. Market share of the Li-ion battery (단위: %)

Ranking	Cop.(Nation)	2007년	2008년
1	Sanyo(Japan)	24.1	23.7
2	Sony(Japan)	15.3	15.2
3	SDI(Korea)	14.1	13.6
4	BYD(China)	10.1	10.2
5	Panasonic(Japan)	8.0	8.8
-	etc	28.4	28.5

2008년 이차전지의 시장은 일본 50%, 한국 24%, 중국 및 대만 등 기타 국가가 26%의 시장을 점유하고 있는 것으로 분석되고 있다[1, 4].

최근 리튬이차전지의 사업성에 관한 관심이 집중됨에 따라 전지제조 업체도 많은 변화가 예상되고 있다. 기존에 Ni-based 전지시장에 집중하고 있던 일본의 파라소닉 사는 기존의 NiCd 전지사업을 대폭 축소시키고 동시에 일본 산요사의 전지 사업부를 인수하였다. 세계 최대의 전지 업체로 리튬이온전지 시장에서 가장 높은 점유율을 나타내던 산요 사는 기술력과 생산능력은 최고이지만, 2005년부터 2007년까지 3년간 대규모적자를 지속됨에 따른 것으로 파악된다. 또한 최근 국내의 전지 제조사인 삼성 SDI와 LG 화학 등의 회사에서 생산라인을 지속적으로 증설하였으며, 해외 메이저 전지 제조업체들도 생산기술에 대한 투자를 증가하고 있기 때문에 2010년 이후에는 삼성 SDI는 산요를, LG 화학은 소니를 추월할 전망이다. 2011년 이후에는 시장 점유율에 많은 변화가 있을 것으로 판단된다.

고성장을 구가하는 리튬이차전지는 대기업의 투자 확대와 중소기업의 사업진출이 늘고 있는 상황으로 국내 대기업은 생산량 증대를 목표로 과감한 투자를 하고 있으며, 중소기업은 특수 분야의 전지개발 및 소재 기술개발을 주력으로 삼고 있다.

국내 리튬이차전지산업은 셀 제조업체인 삼성 SDI와 LG 화학이 시장 점유율 기준으로 세계 2위와 5위를 차지할 정도로 규모를 갖추고 있지만, 부품, 장비 등 밸류체인(value chain) 중간단계의 경쟁력은 매우 낮은 것으로 파악된다. 국내 리튬이차전지산업은 대기업을 중심으로 양산투자가 개시되면서 자동화 생산, 생산수율 등 품질과 생산성이 안정화되고 세계적 규모로 생산설비확대 중에 있으나, 핵심부품 소재의 대부분은 아직도 국외의 소재 회사에 의존하

고 있는 상황이다.

삼성 SDI의 2차 전지 매출액은 2007년 9,120억원 규모에서 2008년 1조 8,200억원으로 모바일 등의 IT 수요 증가 및 안정적인 품질, 생산능력 증가로 전년 대비 99% 성장을 이루고 있다. 또한 세계최초로 4.3V 고전압 충전이 가능한 2,800 mAh 고용량 이차 전지를 개발하여 양산화를 추진하고 있으며, 독일 보쉬(Bosch)사와의 합작 회사인 SB LiMotive를 설립해 하이브리드용 중대형 전지를 개발 및 생산하고 있다. LG 화학은 삼성 SDI에 비해 매출액 규모가 작지만 이차 전지 부문의 높은 성장세를 유지하고 있으며, 2007년 6,490억원 규모에서 2008년 8,105억원으로 전년대비 23.5%의 성장률을 보이고 있다. 또한 2008년 6월부터 1,500억원을 투자해 이차전지 생산 라인을 증설하여 공급능력 대폭 확대하고 있는 상황이다. 이와 함께 최근 출시되고 있는 GM 및 현대-기아자동차의 전기자동차에 리튬이온전지를 공급하고 있다.

현재 리튬이온차전지 기술은 일본이 최고 수준이며 한국은 생산기술에서 일본과 비슷한 수준이나, 부품소재 원천기술이 부족한 상황으로서 국내의 리튬이차전지산업의 안정적인 발전을 위해서는 높은 수익성이 확보되는 소재업체의 확대가 필요할 것으로 판단된다.

3.2. 이차전지용 전극소재의 산업동향

리튬이차전지 제품의 특징 중 하나는 적용되는 재료와 부품의 종류가 많지 않다는 점이다. 특히 부품 대비 높은 수익성을 보이는 소재의 경우 장기간의 노하우가 축적되어야 하고 이차전지 전체의 성능에 가장 큰 영향을 미친다. 그러므로 R&D에 많은 비용과 시간이 필요해 국내 업체의 진입이 제한적인 상황이다. 최근에는 IT산업용 기기 이외의 HEV용 시장 확대를 고려해 대기업 중심으로 소재사업을 준비하고 있어 국내 소재산업의 경쟁력도 확대될 것으로 전망된다.

리튬이차전지를 구성하는 대표 재료들의 BOM(자재 명세서, Bill of Materials)를 그림 5에 나타냈다. 전체 재료 중 양극과 음극소재가 차지하는 비중이 약 75%로서 매우 높은 의존도를 나타내고 있다. 하지만 이러한 주요 구성 재료들은 대부분 수입의존도가 매우 높은 상황에 있으며, 주로 일본의 소재업체로부터

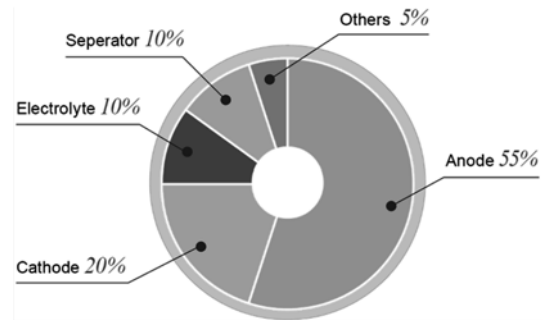


Fig. 5. BOM of the Li-ion battery.

수입하고 있기 때문에 소재의 공급 안정성이 불안한 실정이다[4].

리튬이차전지에 사용되는 전극소재의 시장점유율을 살펴보면 가장 높은 점유율을 나타내는 회사는 일본의 부품소재 회사로 파악되고 있으며, 양극소재는 니치아와 일본화학이, 음극소재는 히타치 화학이 있다. 양극소재를 생산하고 있는 국내업체로는 한국유미코아, 에코프로, 엘엔에프신소재, 대정화금 등이 있으며, 한국유미코아의 모기업인 벨기에의 유미코아는 코발트 소스 물질을 보유한 핵심 업체로서 일본화학도 유미코아 사로부터 코발트 소스를 공급받아 사용하고 있다. 음극소재를 생산하는 국내 업체로는 소디프신소재, 카보닉스(LS Mtron이 인수) 등이 있으며, 이 업체들은 대부분 중국 등에서 도입된 천연흑연의 재처리를 통해 전지에 적합한 소재로 가공하여 판매하고 있다. 또한 전해질 생산업체로는 테크노세미켐, 제일모직 등이 있다[7].

양극재료의 시장규모는 2007년 26,800톤으로 약 1조 1,000억원 규모에 달했으며, 2008년에는 전년 대비 19% 증가한 32,000톤으로 약 1조 9,000억원 규모에 이르렀다. 최근 이차전지 라인 증설과 HEV 등에 채용확대로 양극 재료 시장 규모는 더욱 빠르게 증가할 것으로 판단된다[1, 5].

기존의 LCO(LiCoO₂)의 특성 및 단가를 줄이기 위해 많은 노력이 진행됨에 따라 2007년 전세계 양극시장의 소재별 비중은 LCO계 79%, NMC계 10%를 차지하였다. 그러나 2008년에는 LCO계 67%, NMC계 16%로서 신소재의 시장 점유율이 빠르게 증가하고 있는 상황이다. NMC계 등의 새로운 양극 소재가 원가 경쟁력이 높고 물질 특성이 양호하다는 장점이 있기 때문에 국내의 이차전지 업체들

도 여러 가지의 신소재 채용이 빠르게 확대되고 있다. 이에 따라 NCM계를 중심으로 하는 신소재 공급업체의 점유율이 점차 증가할 것으로 보인다.

국내의 이차전지 제조업체들이 사용하는 소재에 있어서도 많은 변화가 있는데, 2007년 삼성 SDI 이차전지의 양극재료는 유미코아와 일본화학이 대부분을 공급했다. 그러나 최근 NCM계를 공급하는 국내 소재업체 및 기업 자체의 NCM계의 비중이 증가할 것으로 전망되며, 이러한 변화는 LG 화학에서도 유사할 것으로 예상된다. 또한 LCO계 양극소재의 점유율에 있어서 2007년에는 일본화학과 유미코아 중심이었으나, 점차 국산화가 이루어지고 있으며, 대기업 자체 내에서도 생산라인에서 공급되는 NCM계 양극소재를 직접 기술 개발하여 적용하는 것으로 분석 됐다[6].

4. 리튬이온이차전지 및 전극소재의 기술전망

이차전지는 대규모의 연구개발비가 소요되는 지식 기반형 장치산업으로 산업의 다양한 분야에 적용되고 있으며 타 산업분야로 확산성이 매우 높다. 또한 차세대 기술로 각광을 받고 있는 HEV, EV용 시장은 리튬이차전지 시장의 핵심시장으로 전망되고 있는 실정이다. 전 세계적으로 이차전지의 고에너지화,

고출력화, 고안전성화, 장수명화가 기술 발전 동향의 핵심이며, 이들의 기술개발 여하가 이차전지 및 관련 산업의 사활을 쥐고 있다.

4.1. 리튬이온이차전지 기술동향

리튬이차전지는 다양한 용도로 응용 가능성이 제시되고 모바일 기기 등의 진화에 따라 소비전력의 증가로 인해 차세대 초고용량 리튬이차전지의 개발을 촉진시키고 있다. 또한 환경규제 및 유가상승으로 인해 하이브리드 자동차에 대한 수요가 증가함에 따라 중대형 전지 기술개발에 대한 관심이 집중되면서 이차전지의 특성 향상에 대한 연구개발이 진행되고 있다.

이차전지의 성능을 좌우하는 특성은 여러 가지가 있으나, 이 중에서 전자기기의 경량화, 모바일 기기의 고기능, 고성능화 추세에 따른 고용량 리튬이온이차전지를 개발하기 위해서는 전지의 고용량화, 고출력화, 초소형화를 이루어야 한다. 고용량화는 전지의 용량과 에너지 밀도가 크다는 것을 의미하며, 이를 구현하기 위해서는 기본적으로 양극과 음극의 소재가 개선되어야 한다. 양극 및 음극 소재는 용량 (mAh/g)이 크거나, 양극과 음극의 짝을 구성했을 때 가용한 전압대가 높아서 에너지가 높아지는 방향으로 구현되어야 한다[1, 8].

이차전지 분야의 가장 많은 시장성을 가지고 있는

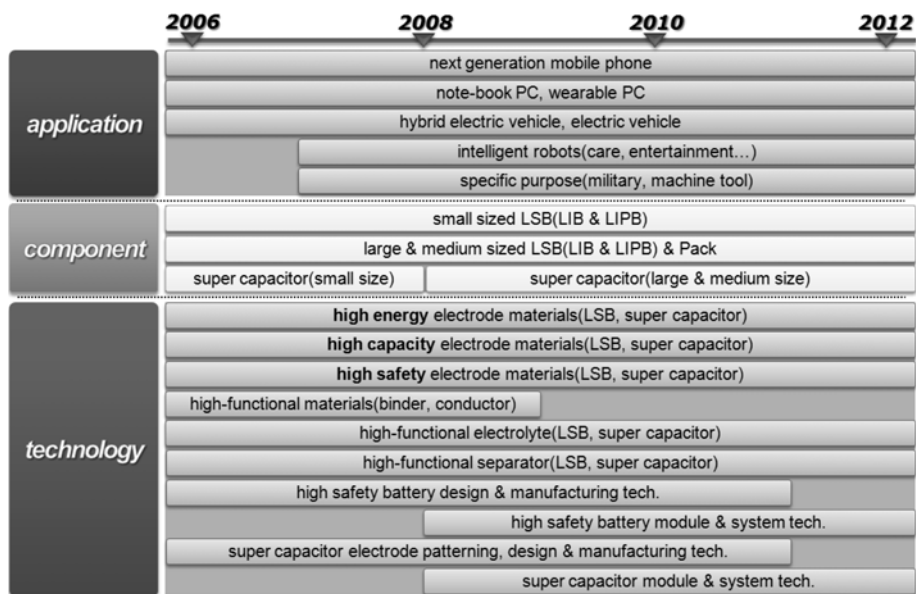


Fig. 6. Technical Road-map of the Li-ion battery.

전기자동차에 적용되기 위해서는 이차전지의 고출력화를 실현해야 한다. 이를 위해서는 용량뿐 아니라, 안전성이 확보될 수 있는 소재가 사용되어야 하며, 충전 및 방전 시 전지 성능의 열화가 없고 일정 수준 이상의 신뢰성이 확보될 수 있는 소재가 요구된다. 또한 소재뿐 아니라 전지 구성 부품, 그리고 전지 자체의 디자인 등을 통해 구현이 가능하다. 전지의 초소형화 기술은 전지의 응용분야 다양성을 높여주는 기술로서 많은 기술적 진척에 따라 모바일 기기 및 블루투스 등에 적용되고 있지만, 리튬이차전지 시장의 활성화 및 다양성 측면에서 봤을 때는 더욱 많은 연구개발이 필요할 것으로 판단된다. 최근에 진행되고 있는 대표적인 기술개발 방향이 박막형 리튬이온 이차전지와 내열성을 가진 코인형 초소형 리튬 이차전지이다.

최근 이차전지기술에 대한 기술로드맵(TRM, technical road-map)을 그림 6에 나타냈다[9]. 리튬이차전지의 전체적인 연구개발 동향은 고에너지밀도 전극 활물질 기술, 고출력밀도 전극 활물질 기술, 고안전성 전극 활물질 기술, 고기능성 전극 재료 기술, 고기능성 전해질 기술, 고기능성 분리막/고분자 전해질 기술, 고안전성 전지 설계 기술 등을 들 수 있는데, 주로 전극의 부품 소재 안정화 및 전지의 안정성 확보 기술에 집중되어 있는 경향을 나타낸다.

리튬이차전지는 IT 산업의 핵심부품으로 부각됨에 따라 관련 기업들의 참여가 늘면서 경쟁이 치열해지고 있으며, 일부 국가에서는 정부 차원의 전략적 육성계획을 발표한 상황이다. IT제품에 대한 수요의 폭발적인 증가가 예상되는 중국에서는 주로 메이저업체가 리튬이차전지 사업을 확대함으로써 일본, 한국 그리고 중국 등의 경쟁 구도가 형성되고 있다.

현재 국내의 리튬이온이차전지의 핵심부품소재는 대부분 일본 등의 선진사로부터의 수입되는 실정에서 정부는 핵심부품소재 중 수입이 불가피하고, 제조원가 비중이 높은 품목에 대하여 할당관세를 적용, 수입관세를 감면해 줌으로써 셀 제조의 가격 경쟁력 향상을 도모하고 있다.

리튬이차전지의 성능 향상, 응용분야 확대 및 상용화를 앞당기기 위해서는 전지 핵심 부품에 대한 성능 개선이 선행되어야 하지만, 리튬이온 전지에 들어가는 원천소재의 기술 개발에는 많은 시간과 노력이 필요하다. 하지만, 현재 신소재 기술개발에 따른 상용화는 상당히 더딘 상황으로, 하이브리드 및 전기자동차로 대

별되는 중대형 전지시장에서 성공하기 위해서는 기술적 개선이 있어야 할 것으로 보인다. 또한 수입 의존도가 높은 전지 소재 부분의 기술 독립이 없이는 향후 지속적인 경쟁력 확보를 장담하기 어려운 상황이며, 국가적 경쟁력 확보 차원에서 신소재 분야의 기술개발이 이차전지 시장을 주도할 것으로 판단된다.

4.2. 이차전지용 전극소재의 기술전망

리튬이온이차전지의 양극 소재는 전하를 저장했다가 전지를 다시 사용할 경우 안정적으로 전하를 방출하여 전기를 발생시키는 역할을 하기 때문에 이차전지의 성능을 결정하는 핵심 소재이다. 양극소재는 전체 이차전지 재료비의 40%(노트북용 원통형 전지 기준) 정도를 차지하므로 높은 소재 의존도를 나타내는 부품이다[4-5].

기본적으로 리튬이차전지가 필요로 하는 양극소재는 고용량, 고출력, 고수명 특성을 지님과 동시에 가격이 싸고 환경 친화적이며, 안정적인 특성을 지녀야 한다. 높은 방전 전압 측면에서는 양극과 음극 간 전위차가 클수록 전지가 고에너지 밀도를 나타내게 되는데 현재 사용되고 있는 대부분의 양극 활물질은 전해질의 안전성을 고려하여 4V 내외의 전압을 나타낸다. 고용량 특성 측면에서는 하나의 금속 당 하나의 리튬이 반응할 수 있는 구조를 지닌 활물질 개발이 궁극적인 목표이며, 에너지 중량밀도를 낮추기 위해 낮은 분자량의 금속을 지닌 활물질이 요구된다. 고출력 특성 측면에서는 결정 구조 내에서 높은 리튬 확산계수를 나타내며 전기전도특성이 우수한 활물질이 필요하다. 고수명 특성 측면에서는 전지 화학반응 중 안정적인 구조를 유지할 수 있어야 하며, 충방전 횟수가 증가하더라도 구조의 변화가 거의 발생하지 않는 활물질이 필요하다.

현재 상용화되어 있는 리튬이온이차전지는 LiCoO_2 를 양극소재로 사용하는 것이 70% 이상을 차지하고 있으며, 기존 LiCoO_2 의 고에너지밀도, 고출력밀도 및 고안정성의 구현을 위한 연구개발이 진행 중에 있다. 하지만, 코발트는 희소금속으로 고가이고, 생산국가도 편재되어 있어 공급이 불안정하다는 문제를 내포하고 있다.

최근 리튬이차전지용 양극소재에 대한 개발동향을 그림 7에 나타냈다. 그 동안 양극재료의 주를 이루던 LiCoO_2 (LCO계) 대신 몇 년 전부터 코발트 외에 니

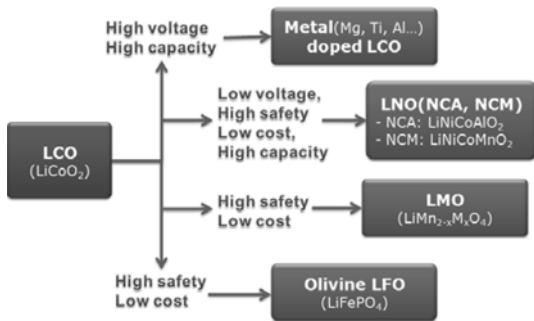


Fig. 7. Development trend of the anode materials.

켈과 망간 등을 합성한 Li[NiMnCo]O₂(NMC계), 니켈과 망간을 포함하는 Li[NiM]O₂(NM계), 망간 또는 니켈 중심의 LiMn₂O₄(망간계), LiNi₂O₂(니켈계) 등 다양한 재료 개발이 이루어지고 있다. 그 외에 철을 포함하는 LiFePO₄(Olivine계)가 새롭게 관심을 모으고 있다[4, 10].

양극소재의 종류에 따른 주요 특성을 그림 8에 비교하였다[4]. 기존의 LiCoO₂(LCO계)의 공급 불안정성 및 요구특성 측면 때문에 보다 풍부하고 값 싸며 성능이 향상된 재료로의 전환이 검토되고 있는 실정이다. LiNiO₂는 코발트를 니켈로 치환한 층상구조로

되어 있는 화합물로서 코발트보다 값이 싸다는 것만이 아니라, 방전용량(mAh/g)이 보다 크다는 장점이 있다. 하지만, LiNiO₂의 광범위한 상용화를 위해 사이클 특성 및 안전성 등을 개선해야 한다.

LiMn₂O₄는 스피넬 구조를 갖는 화합물로서 리튬/망간 원소비가 1/2로, 기존의 LiCoO₂나 LiNiO₂와 비교하여 리튬양이 적기 때문에 과충전되기 어려워서 안전성이 높고 단가가 낮다는 장점이 있다. 그러나 방전용량이 작고 사이클에 따른 열화가 빠르다는 단점이 지적되고 있다. 최근 소재 시장의 발전과 적용분야의 다양성에 따라 기술개발이 본격화되고 있는 양극소재로는 고가의 원료 대신 니켈과 망간을 동시에 적용한 Li[NiMnCo]O₂(NMC계)와 고출력용 전지에서는 코발트 대신에 철(Fe)을 사용한 LiFePO₄ 등이 있다. 이미 선진사에서는 전동공구용으로 LiFePO₄(Olivine계)를 시판하여 사용 중에 있다.

그림 9에는 리튬이차전지용 양극소재의 기술 로드맵에 대하여 나타냈다[4]. 리튬이차전지의 활용분야를 크게 소형과 중대형 시장으로 나누어서 분석해 보면, 소형전지의 경우 기존의 LCO 계가 주를 이룰 것으로 보이며, 점차 성능 및 가격 측면에서 우수한 특성을 나타내는 Li(NiMnCo)O₂가 일부 시장을 형

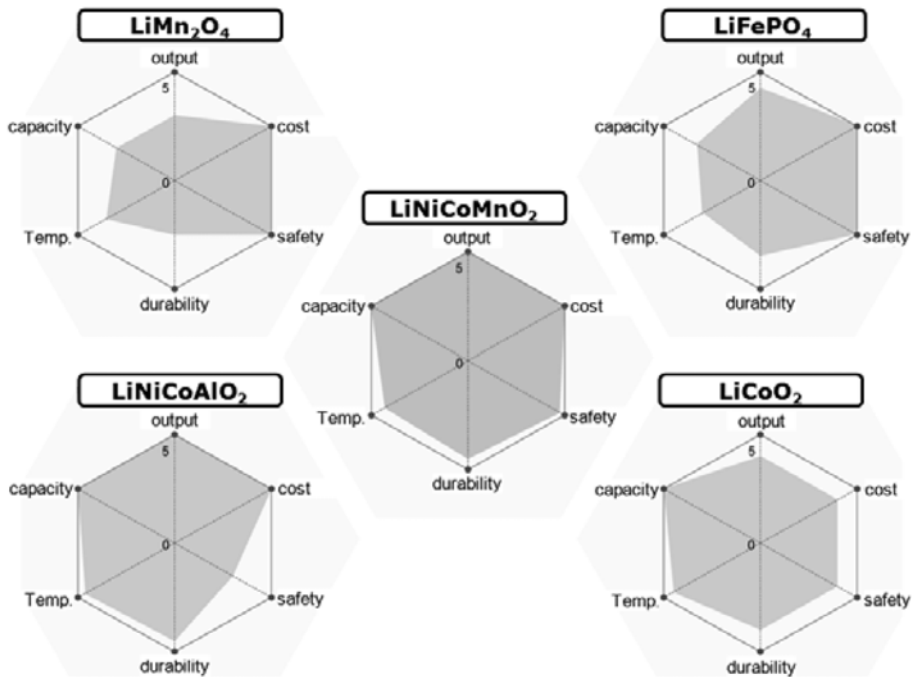


Fig. 8. Properties of the anode materials.

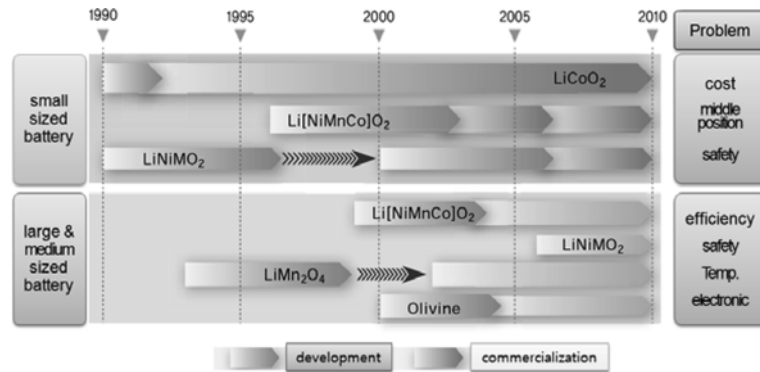


Fig. 9. Technical road-map of the anode materials.

성할 것으로 판단된다. 중대형 전지의 경우, Li(NiMnCo)O₂가 주를 이룰 것으로 판단되며, 저가형에 있어서는 경제성이 우수한 olivine계가 사용될 것으로 전망된다.

최근 소재에 대한 공정기술에 대한 기술개발이 많은 진척을 보이고 있으며, 특히 양극소재는 서로 다른 나노크기의 금속산화물 입자를 새롭게 합성하므로 공정기술에 따라 전지의 특성에 큰 영향을 미치기 때문에 생산 공정의 노하우(know-how)가 매우 중요하다. 특히 입자의 분산성 및 균일성 향상기술을 비롯하여 morphology 조절 및 생산관리 기술 등이 요구될 것으로 판단된다.

리튬이온차전지의 상용화는 음극소재의 선택이 좌우

했다고 해도 과언이 아니다. 일본의 소니사에서 사이클 수명과 안전성에서 문제가 되는 리튬음극을 탄소소재로 대체함으로써 현재의 리튬이온전지가 가능했던 것이다. 음극소재로 시도되어 온 소재는 탄소계, 금속계, 그리고 산화물계 등이 있지만 주로 생산에 적용되는 소재는 graphite, coke, meso carbon 등의 탄소질 물질이 주로 사용되고 있다. 음극소재의 요구 조건은 리튬 금속의 표준전극 전위에 근접한 전위를 가져야 하고, 부피 및 무게당 에너지 밀도가 높아야 하며, 뛰어난 사이클 안정성(높은 쿨롱 효율)을 보여야 한다. 또한 고속 충·방전(rate capability)에 견딜 수 있어야 하며, 안정성을 보장해야 한다[6, 11].

기존에 주로 사용되고 있는 탄소질 물질은 안정성

Table 2. Properties of the cathode materials

활물질	장점	단점	
흑연계	인조흑연	긴 수명 우수한 전압특성	고가 용량 제한 (320~340 mAh/g)
	천연흑연 금속-흑연 복합소재	고용량, 낮은 가격 우수한 전압특성 고용량 (>370 mAh/g)	낮은 수명 낮은 수명 부피 팽창
탄소계	하드카본	고용량 (>400 mAh/g) 낮은 전위	낮은 초기 효율 낮은 에너지밀도
	소프트카본	고용량 (>370 mAh/g)	낮은 초기 효율
산화물	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	긴 수명 (충방전시 상변화가 없음) SEI layer를 형성하지 않음	낮은 용량 (~175 mAh/g) 낮은 전기전도성 상대적으로 낮은 전압
금속계	금속	고용량 - Sn 959 mAh/g - Si 4010 mAh/g	높은 부피팽창(Sn 257%, Si 297%) 낮은 수명
	리튬	고용량 (3860 mAh/g)	낮은 안정성 충전시 리튬금속의 수지상 성장에 따른 안정성

과 가역성은 뛰어나지만, 용량 측면에서 한계가 존재 (~340 mAh/g) 한다. 현재 리튬이차전지는 지금보다 최소 두 배 이상의 용량을 가져야 하며, 이를 위해선 새로운 음극 활물질의 연구개발이 필요하다.

음극소재에 대한 기술개발 방향은 크게 두 가지로 구분될 수 있다. 하나는 기존의 소재를 대체하는 신소재의 기술개발 방향이며, 다른 하나는 기존 탄소소재의 특성을 향상시키는 분야로서 탄소소재의 표면처리, 나노화 그리고 분산기술 등이 이에 해당한다.

주로 진행되고 있는 음극소재의 종류 별 특징을 표 2에 나타내었다[2, 12]. 최근에는 신소재 분야에 대한 연구가 중점적으로 진행되고 있으며, 그 대표적인 것은 실리콘과 주석 등을 이용한 금속계 소재, 산화리튬을 생성시키는 산화물계 소재 그리고 흑연 및 탄소계 등의 복합소재계열을 채택하는 기술이 연구되고 있다. 또한 기존의 탄소계의 나노화 기술, 표면처리 기술 또는 다른 특성을 지닌 재료의 혼합 기술을 통해 고용량화에 대한 연구가 진행되고 있다.

주석계 음극소재는 이론용량이 790 mAh/g로서 흑연의 그것보다 2배 이상이지만, 충방전 시 부피 변화로 인한 가역성이 떨어진다는 단점이 있어서 추가적으로 주석산화물 및 합금에 대한 연구가 진행 중에 있다. 실리콘계 음극소재는 실리콘이 리튬금속과 거의 유사한 충방전 특성을 나타내기 때문에 많은 연구개발이 진행 중에 있는데, 금속 실리콘 자체는 전기전도도가 낮아 그대로 사용할 수 없기 때문에 실리콘-합금, 실리콘-탄소 복합체의 형태로 적용하는 연구가 중점적으로 수행되고 있다.

금속계 소재와 더불어 음극소재 분야에서 많은 연구개발이 이루어지고 있는 분야가 복합소재이다. 복합화 기술은 각 소재의 복합화를 통한 장점의 상승효과를 기대하는 것으로서 물성이 우수한 흑연재와 용량 측면에서 장점을 가지고 있는 금속과의 복합화 등이 연구되고 있다. 하지만, 각 소재의 특성을 유지하기 위한 흑연계와 금속계의 나노 소재화 및 분산 기술이 선행되어야 할 것으로 판단된다.

5. 이차전지용 전극소재의 수급 및 재활용 현황

5.1. 리튬

경금속 광물인 리튬은 지금까지 유리나 윤활유, 이

차전지 등에 주로 많이 쓰였으며 현재 노트북과 핸드폰 등이 나오면서 이차전지로의 수요가 꾸준히 늘어나고 있는 실정이다. 앞으로도 전기자동차 등이 상용화되면 그 수요는 예상 밖으로 크게 수요가 증가 될 것으로 보인다. 이렇게 되면 리튬이온전지의 핵심 원재료인 리튬 광물의 안정적 확보는 반드시 선행되어야 할 과제이고 자동차 산업과 노트북, 핸드폰, 카메라 등의 첨단 전자산업이 주력인 우리나라로서는 더욱 리튬의 안정적 확보가 필요한 실정이다.

리튬은 페그마타이트 광상에 수반되어 주로 산출되고 있으며 세계 매장량 대부분이 미국, 러시아, 호주, 칠레, 볼리비아 등에 편재되어 있다. 또한 리튬 매장량의 70%가 볼리비아, 칠레에 집중되어 있어서 향후 칠레를 비롯한 각국이 전략적으로 생산량을 조절할 경우 수급에 차질을 빚을 가능성이 높은 소재이다[13].

리튬은 연간 약 25만 톤의 광석이 생산되고 있으며 근래에 와서 리튬이온전지의 등장으로 금속수요의 증가와 동시에 이차전지의 원재료인 탄산리튬이 가장 많이 사용되고 있다. 그림 10은 리튬 수요 및 공급량의 전망을 나타냈으며, 리튬 수요의 급증으로 인한 수급 불균형 발생 가능성을 시사한다.

우리나라의 경우 전량 수입에 의존하고 있으며 주로 탄산리튬, 수산화리튬의 형태로 중국, 칠레 등지에서 연간 7백만 불 이상 수입해 사용하고 있다. 가격은 리튬 이차전지에 대한 수요 증가 영향으로 탄산리튬을 중심으로 상승하고 있으며 이런 가격의 상승과 수급 불안 가능성을 대비하기 위해서는 자원 확보 방안 및 리튬의 대체재 개발과 재활용 기술 개발이 절실히 요구되는 실정이다[14].

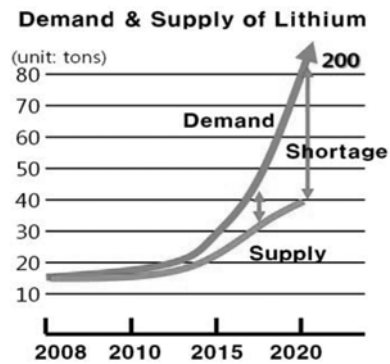


Fig. 10. Global lithium demand and supply prospects.

리튬자원 확보 방안의 일환으로 현재 일본을 비롯한 국내외에서는 바닷물에서 해양용존 리튬을 추출하는 연구가 진행 중에 있고, 도시 광산을 통한 페리튬이온 전지 재활용 기술 개발이 진행 중에 있다[15, 16]. 국내에서는 한국지질자원연구원이 페리튬이온전지에서 리튬 및 코발트 등의 유가 금속 재활용을 위한 처리 공정의 상용화 연구를 수행하였고, 페리튬이온전지로부터 양극 활물질을 선택적으로 분리 농축하기 위한 물리적 공정과 유가금속의 회수율을 극대화 시킬 수 있는 화학적 처리공정을 개발 중에 있다. 현재 개발된 기술들은 연구실 규모의 실증만 거친 상태이므로 이를 상업화하기 위해서는 추가적인 연구개발이 요구되며, 재활용 공정에 있어 아직까지 복잡한 다단계

공정, 고가 처리비 등의 문제가 있기 때문에 저렴하게 리튬을 용해하여 리튬화합물로 회수하는 공정 기술 개발이 필요하다.

5.2. 코발트

코발트는 Ni-based superalloy, Fe-based superalloy 와 더불어 고온에서 사용되는 대표적인 내열합금 원소로써, 항공/우주산업 및 국방소재 등에서 이용되며, 세계적으로 전략물자에 속해 있다. 근래에 들어서 코발트 관련 산업은 이차전지, 영구자석, 고속도강, 초내열강, 촉매 등으로 응용분야가 넓어지고 있어 현대 사회에서 피할 수 없는 소재 중 하나로 자리 잡고 있다. 그림 11은 코발트 소재의 응용분야 및 응용분

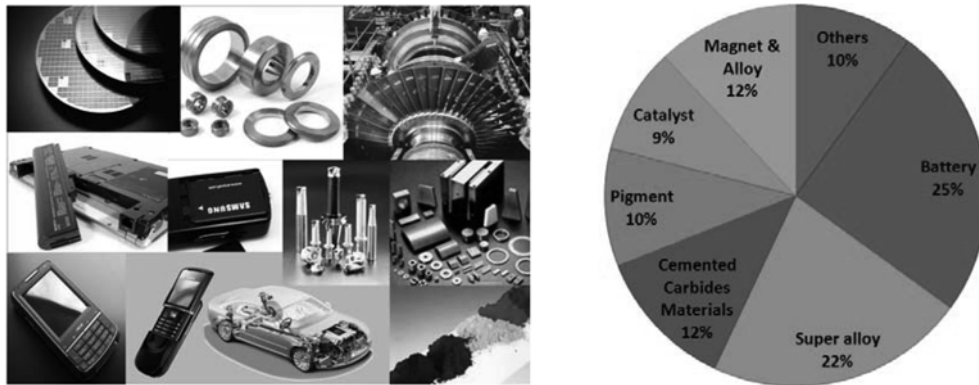


Fig. 11. Application and consumption of cobalt.

Table 3. Cobalt production and reserves

주요 보유국	코발트자원생산량		주요 보유국	코발트보유량	
	2007	2008		현 가용자원	잠재자원
미국	-	-	미국	33,000	860,000
오스트레일리아	5,900	6,300	오스트리아	1,500,000	1,800,000
브라질	1,400	1,200	브라질	29,000	40,000
캐나다	8,300	8,300	캐나다	120,000	350,000
중국	2,000	2,000	중국	72,000	470,000
콩고	25,000	32,000	콩고	3,400,000	4,700,000
쿠바	3,800	3,900	쿠바	1,000,000	1,800,000
모로코	1,500	1,600	모로코	20,000	NA
뉴 칼레도니아	1,600	1,000	뉴 칼레도니아	230,000	860,000
러시아	6,300	5,800	러시아	250,000	350,000
잠비아	7,600	7,800	잠비아	270,000	680,000
기타	1,900	1,900	기타	180,000	1,100,000
세계	65,500	71,800	세계	7,100,000	13,000,000

이별 소비 현황을 보여준다[17].

코발트는 지각 내 함유량이 0.002%로 비교적 풍부하고 고르게 존재하지만, 함량이 낮아 대부분 구리, 니켈 등의 채굴 부산물로 산출되며 황화물, 비화물, 산화물 형태로 존재한다. 코발트 자원의 주요 매장국은 콩고, 잠비아, 러시아, 캐나다, 호주 등이며, 이중 콩고, 잠비아, 캐나다의 매장량이 세계 매장량의 절반 이상에 이른다. 이는 코발트가 국가별로 편재되어 있음을 알 수 있으며, 또한 편재성이 높아 생산국의 정책 변화나 자연재해 등에 의한 공급 장애의 위험이 높은 실정이다. 그리고 코발트는 동 또는 니켈 생산 공정 중 부산물로서 생산되기 때문에 동 또는 니켈의 가격상황에 의해 생산량이 좌우되므로 불안정한 공급체제를 가지고 있다[18, 19].

세계코발트 생산량은 1999년도에 금속 량 환산으로 3만 톤을 돌파하였고 2008년에 7만 1천 톤을 생산하는 급격한 증가세를 보이고 있다. 표 3은 세계 주요국 코발트 자원생산량 및 보유량을 보여준다. 코발트의 급격한 생산량 증가는 최근 배터리 및 내열합금의 급속한 수요 증가로 인한 것이며, 이처럼 수요가 많은 코발트는 전략적 희유금속으로 비축확대 및 자립을 위한 수요국가 간의 경쟁이 치열한 원료이다. 촉매, 전지원료, 초경합금 등 현재 첨단산업에 핵심적으로 사용되는 코발트 금속 및 화합물 기초소

재는 대부분 외국에서 수입하고 있어 우리나라 기간 산업 뿐 아니라 부품·고재 산업의 활성화에도 저해 요인이 되고 있으므로 국가적 차원에서 공급불안을 해소하기 위해서는 소재 국산화, 대체소재 개발 및 자원 재활용 기술개발이 절실히 요구 되는 실정이다[18].

코발트는 고가이기 때문에 외국에서는 재활용이 활발하게 이루어지고 있으나 우리나라의 경우 재활용 기술이 취약하여 일부 스크랩 또는 폐기물로부터 코발트를 재활용하는 실정이다. 코발트의 재활용은 공구강 제조 시 스크랩, 촉매 및 리튬이온전지의 제조 공정 중에 발생하는 폐기물에서 부분적으로 이루어지고 있으며, 폐기되는 제품으로부터 코발트를 회수하는 재활용은 미진한 상태이고 한국지질자원연구원 등 연구소를 중심으로 상용화 기술개발을 수행 중에 있다[20-22]. 외국의 경우 이차전지에서의 코발트 재활용은 벨기에의 유미코아 사, 일본의 TMC 사 등을 중심으로 상용화가 이루어져 있으며, 그림 12는 유미코아사의 페리튬이온전지 재활용 공정을 보여준다[23].

5.3. 망간 및 니켈

망간은 대부분 철강용으로 약 96% 정도 사용되고 있으며, 그 외 나머지 부분은 전지 및 알루미늄용으로 사용되고 있다. 망간은 산소와 유험과의 높은 친

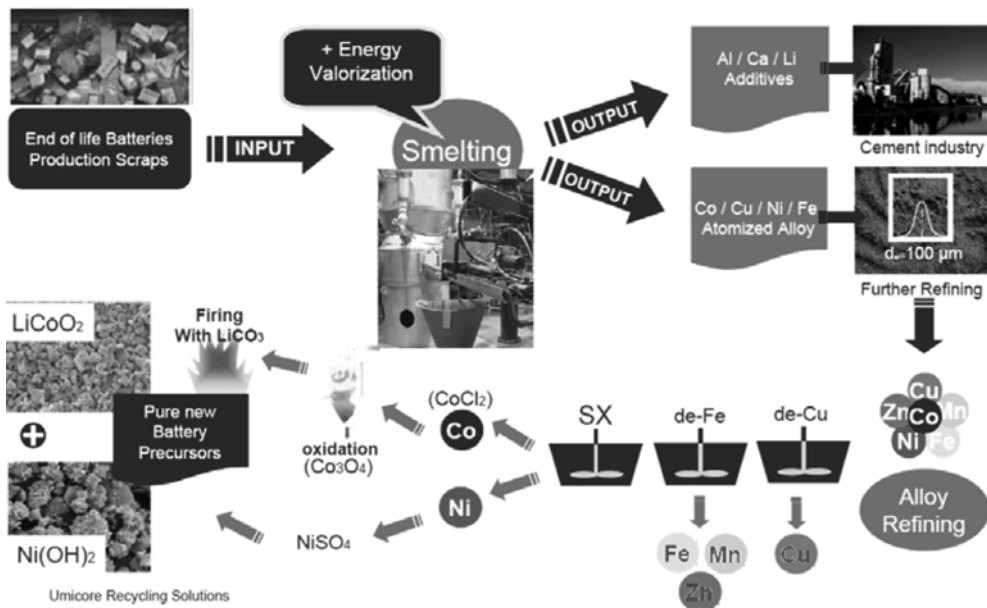


Fig. 12. Recycling process of Umicore Cop. (Belgium).

회력으로 인한 탈산탈황제로서의 기능과 인성 및 강도를 크게 증가시키는 원소이다. 기타 이산화망간은 건전지, 페라이트자석, 페인트, 비료 등에 일부 사용되고 있으며, 망간의 탈산-탈황기능에 대해서는 Si, Al, Ti 등이 일부 대체 가능하나 강재 인성에 미치는 영향 및 경제성 측면에서는 망간을 대체할만한 재료는 아직 없다.

망간 광석의 주요 생산국은 남아프리카, 오스트레일리아, 브라질 및 가봉에 집중되어 있으며 5개국에 72% 이상 비교적 높은 편재성을 보여준다. 망간은 과점 원소로서 가격 변동 폭이 크며, 다른 이차전지 소재와 마찬가지로 수급불안이 우려된다. 망간의 재자원화 기술은 철강과 알루미늄용으로 사용되는 경우 철강 및 알루미늄 스크랩에서 특수강 성분 형태로 재활용이 부분적으로 이루어지고 있으며, 건전지, 페라이트자석 등에 사용되는 이산화망간의 재활용은 아직 미진한 상태이다[24].

니켈은 고경도 초탄성, 형상 기억 등의 특징과 함께 STS와 같은 내식 내열 등의 특수강의 기본원료

이며, 온도호흡 저항 변화, 강자성 등의 성질을 응용한 전자재료로도 사용된다. 또한 최근 이차전지 등에서는 기능과 가격 등의 문제는 있으나, 코발트, 망간 등의 대체제로 사용된다.

니켈의 주요 생산국은 러시아, 캐나다, 호주, 인도네시아, 뉴칼레도니아 등이며, 5개국에 약 67% 이상 높은 편재성을 나타내고 있는 원소로서 독점성으로 인한 시장 가격의 유동성이 큰 원소로 알려져 있다. 현재 국내에서는 니켈을 거의 수입에 의존하고 있으며, (주)코리아니켈만이 원소재로 가공 및 생산하고 있다. 니켈 원소재는 대부분 스테인레스강 원료로 사용하고 있고, 이차전지 시장의 수요 증가로 코발트 대체제로의 수요 증가가 예상된다[25].

니켈의 재자원화는 유지 산업과 석유화학 산업에서 발생하는 니켈 폐 촉매와 니켈-카드뮴 전지의 재활용이 부분적으로 이루어지고 있고, 반도체 제조공정으로 발생하는 스크랩 및 도금폐액, 산세폐액 등의 폐액으로부터 니켈을 얻는 재활용도 부분적으로 이루어지고 있으나, 니켈을 회수하는 재활용은 아직 기술개발이 미

Table 4. Situation of metal material using lithium ion secondary battery

	리튬	코발트	니켈	망간	희토류(REO)
채광량(톤)	27,400	72,000	1,610,000	14,000	30,000
매장량(톤)	11,000,000	13,000,000	150,000,000	5,200,000	6,000,000
2차전지소비(톤)	3,500	25,000	30,000	1,000(1차전지)	10,000
가격(톤)	~8,000\$	~30,000\$	~11,000\$	~3,500\$	~8,000\$

Table 5. Measures for stable supply of rare metals

구분	희소금속 안정공급을 위한 조치 사항
탐광 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 자원 외교의 적극적인 전개 • 희소 금속 광산 개발 • 베이스(Base)금속을 산출한 광산의 개발 • 해외 자원 개발 및 국제적 협력
도시광산 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 제품별 베이스 메탈, 귀금속, 희소금속에 대한 자원순환 정보 DB 구축 • 시장현황에 따른 도시 광석 추출을 위한 주요 제품군 선정 • 분리·해체기술, 농축기술, 고순도 추출·정련기술개발 • 희소금속 회수·대체 기술개발을 위한 로드맵을 수립 및 통합관리
폐기물 발생 억제 및 재활용	<ul style="list-style-type: none"> • 사용 완료 제품 등으로부터의 비철금속 자원 재활용 촉진 • 물질흐름 조사 및 그에 따른 공정 폐기물 발생 억제·재활용 추진 • 공정 폐기물 및 사용 종료제품에 대한 파악 및 재활용 기술 개발 • 종료제품에 대한 분리·해체기술, 농축기술, 고순도 추출·정련기술개발
대체 재료 개발	<ul style="list-style-type: none"> • 희소금속의 사용 절약 기술 개발 • 희소금속의 기능을 대체하는 새로운 재료 개발 • 특수강철 용도 등 수요가 높은 희소금속의 우선적 대체기술 개발 • 풍부한 원소로의 대체, 기능 고효율화, 실용재료 설계기술 확보

진한 상태이고 분리정제기술도 취약하여 고부가가치 제품은 제조하지 못하고 있는 실정이다[20].

5.4. 리튬이온이차전지용 금속소재의 안정적 확보 방안

이차전지에 사용되는 금속소재는 리튬, 코발트, 니켈, 망간 등이고, 대부분 희소금속에 속해 있다. 이차전지용 소재로 사용되는 주요 금속 원료의 현황은 표 4와 같다. 리튬이온이차전지의 금속원료 중 가장 고가이며 현재 전지산업 소비비율이 가장 높은 원료는 코발트이며, 이런 고가인 희소금속들의 안정적 확보 방안에 대한 관심을 기울려야 할 것이다[26].

코발트와 같은 희소금속은 자원매장량이 상대적으로 적고 수급이 원활하지 않을 우려가 있으며 자원의 편재에 의한 공급 리스크가 높다는 특수성을 갖기 때문에 전 세계적으로 원료의 안정적인 확보를 위해 힘쓰고 있다. 주요 금속의 안정적인 확보를 위한 방안으로는 탐광의 개발, 도시 광산의 활성화, 폐기물의 발생억제 및 재활용 기술, 대체소재의 개발 등이 있으며, 그에 따른 대책은 표 5와 같다.

6. 맺음말

이차전지는 다양한 산업 분야에 적용되고 있으며, 타 산업분야로의 확산이 큰 분야로서 향후 중대형 리튬이온이차전지를 중심으로 성장할 것으로 예상된다. 지금 전 세계는 환경적인 관심이 고조됨에 따라 에너지 저장 소자에 대한 많은 연구개발이 진행 중이며, 친환경차 열풍이 불고 있기 때문에 리튬이차전지 업체의 2차 성장이 예상된다.

친환경차의 대체는 전기 자동차(EV)이며, 전기 자동차 기술의 핵심은 저가이면서 성능이 우수하고 안전성이 확보된 전지 기술이다. 전기자동차는 하이브리드 자동차(HEV)의 보급이 확대되고 있으며 2세대 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV)가 출시 예정이다.

리튬이온전지의 고출력 및 긴 수명 등의 장점은 HEV에 사용되고 있는 NiMH를 대체할 것으로 보이며, PHEV가 출시될 경우 리튬이온 전지 시장은 급속도로 커질 전망이다. 리튬이차전지는 향후 10년 동안 연 평균 14~15% 정도로 성장할 것으로 보이며, 일본과 한국의 주요 대기업을 중심으로 시장이 형성될 것으로 전망하고 있다.

전기 자동차의 상용화를 위해서는 전지의 가격, 성능, 안전성 및 수명 등의 특성을 향상해야 하며, 리튬이온 전지의 핵심 부품에 대한 성능 개선이 선행되어야 한다. 리튬이차전지의 성능 및 상업성 향상을 위해 양극소재는 기존의 LCO 계에서 LMC계(Li[NiMnCo]O₂)나 olivine계(LiFePO₄) 등으로 시장이 형성될 것으로 예상되며, 음극소재의 경우 기존의 탄소계열과 금속 및 산화물 형태의 소재가 적용될 것으로 판단된다.

우리나라의 리튬이온이차전지 생산기술 수준은 최고 수준인 일본과 비슷하나, 부품소재 기술은 매우 취약한 수준으로 조사된다. 전지제조 부문에서는 국내 대기업을 대규모 설비 투자로 규모의 경제를 이루어 세계 최고 수준의 원가 경쟁력을 갖추고 있지만, 소재 부분의 국내 기술력이 떨어져 전지 제작에 들어가는 핵심 소재는 전적으로 일본 업체에 의존하고 있는 상황이다. 또한 세계적으로 리튬이차전지의 특성 향상을 위한 연구개발은 기술적 진전이 점차 소재 쪽으로 이동되고 있기 때문에 리튬이온전지에 적용되는 전극소재 개발을 위해서는 많은 시간과 노력이 필요할 것으로 판단된다.

일본 기업의 의존도가 높은 전지소재 부분의 기술 독립이 없이는 향후 지속적인 경쟁력 확보를 장담하기 어렵다. 그러므로 리튬이온 전지 시장에서 우리나라 기업의 지배력 확대를 위해서는 핵심 부품의 국산화 및 국내 리튬이온이차전지 소재 전문기업의 전략적 육성이 무엇보다도 중요할 것으로 판단된다. 또한 소재 시장의 활성화 및 고가 금속의 공급 안정화를 위해 탐광 개발, 도시 광산의 활성화, 폐기물의 발생억제 및 재활용 기술 등에 대한 노력이 필요하다. 특히 소재의 비중이 높은 리튬이차전지 부품소재의 자원 확보를 위해 이차전지의 수거 및 재활용 기술에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 판단된다.

리튬이차전지산업은 대규모의 연구개발비가 소요되는 지식기반형 장치산업으로 대기업은 적극적인 설비투자로 인해 시장을 장악하고 성장하고 있는 반면, 부품업체는 부품소재 원천 기술의 부족 및 경쟁심화로 인해 경쟁력이 취약하다. 그러므로 리튬이차전지 산업과 소재산업 양극화 해소를 위해 전지를 제조하는 대기업과 부품소재 중소기업의 정보기술 교류 및 공동 R&D를 확대하고 상생협력을 도모해야 할 것으로 보인다.

감사의 글

본 논문은 지식경제부 소재원천기술개발사업의 지원으로 수행된 연구입니다.

참고문헌

- [1] Institute for Information Technology Advancement, "secondary battery market trend", IT Monitoring Report (2009).
- [2] R&DBIZ, "R&D trend of next generation battery", KETI (2009).
- [3] MCT net, "High performance Li ion secondary battery using hybrid electric vehicles", KISTI (2007).
- [4] C. H. Min and B. N. Kim: "Secondary battery industry", Eugene Investment & Securities (2009).
- [5] R&DBIZ, "Li ion secondary battery market trend", KETI (2008).
- [6] J. H. Kang: "Industrial trends & prospects of Li ion secondary battery", KEXIM bank, 2009-14 (2009).
- [7] Y. S. Lee and J. H. Jang: "Secondary battery", Samsung Securities (2009).
- [8] C. H. Park: "Market analysis & technical development road map", KETI (2008).
- [9] B. Y. Cho: "Secondary battery TRM", KETI (2008).
- [10] B. Y. Cho: "Next-generation growth engine secondary battery", NICE, **22**(4) (2004).
- [11] C. H. Park: Trends in Metals & Materials Engineering, **16**(5) (2003).
- [12] H. K. Oh: "Trend analysis for Li ion secondary battery", KISTI (2005).
- [13] William Tahil: "The Trouble with Lithium", Meridian International Research (2006).
- [14] William Tahil: "How Much Lithium does a Lilon EV battery really need?", Meridian International Research (2010).
- [15] K. S. Jung: "Extraction technology of dissolved marine resources", KIGAM (2010).
- [16] Resource Recycling R&D Center, Recycling white paper, Cheong Moon Gak (2009).
- [17] J.-B. Kim: Trends Met. & Mater. Engineering, **21** (2008) 34.
- [18] S. M. Shin, S.-K. Kim, D.-H. Yang and J.-S. Sohn: Trends Met. & Mater. Engineering, **21** (2008) 26.
- [19] Cobalt facts, Cobalt Supply & Demand 2009, Cobalt Development Institute (2010).
- [20] H. S. Hong, S. Lee, G. H. Kim, T.-S. Kim, H.-Y. Kang and S.-J. Hong: J. Korean Powder Metall. Inst., **16** (2009) 379 (*Korean*).
- [21] KIGAM, "Recovery of Precious Metals from waste battery and materialization technology development", Minister of Education, Science and Technology & Ministry of Environment (2003).
- [22] J.-S. Sohn, S.-M. Shin, K.-S. Kang and M.-J. Choi: J. of Korean Inst. of Resource Recycling, **16** (2007) 50
- [23] C. Hageluken: "Metals Recovery from e-scrap in a global environment" Umicore Cop. (2007).
- [24] C. S. Choi: "Weekly market trends of rare metals", Public Procurement Service (2009).
- [25] K.-H. Park and C.-W. Nam: Trends Met. & Mater. Engineering, **21** (2008) 5.
- [26] S. G. Kim: "Industry analysis of secondary battery", Kiwoom Securities (2009).