

리튬이온이차전지 기술 동향과 미래 전망

글 _ 정영민, 조원일
KIST 이차전지센터

1. 서론

이차전지는 말 그대로 한번 쓰고 버리는 일차전지와 달리 사용후에도 다시 충전 과정을 거쳐 수백회 이상 재사용이 가능한 전리를 말하며, 납축전지, 니켈-카드뮴전지, 니켈-금속수소 전지, 리튬이차전지, 레독스플로우전지, NaS 전지 등 많은 종류가 있다. 주로 대용량 전기의 저장에 이용되는 레독스플로우전지와, NaS 전지를 제외하고는 대부분이 전자기기에 사용되고 있으며, 납축전지, 니켈-카드뮴전지, 니켈-금속수소전지가 용량이 다소 큰 분야인 UPS, HEV(Hybrid Electric Vehicle), 전력저장 등에 이용되고 있다.

리튬 이차전지는 현재 상용화되어 있는 이차전지 가운데 가장 성능이 우수한 전지이며, 우수성 때문에 핸드폰,

노트북 PC, 전동공구 등 제한된 부피와 가벼운 무게에 대한 요구가 큰 제품, 즉 휴대용 제품에 주로 사용되고 있다. 그러나 CO₂ 배출에 대한 규제와 화석연료 고갈에 따른 우려가 높아짐에 따라서, 차량의 전기화에 대한 관심이 고조되고 있으며, 전기자동차용 에너지 원으로서 리튬이차전지가 강력한 대안으로 부각되고 있다.

친환경자동차는 화석연료대신 전기에너지 사용량을 늘리는 쪽으로 개발 중이며 1997년 Toyota에 의해 HEV 시장이 처음 열린 이후 PHEV(Plug-in Electric Vehicle)와 EV(Electric Vehicle)로 이동할 것으로 전망되며 HEV에서 PHEV와 EV로 이동하기 위해서는 주행거리, 충전 시간 등 기술적인 과제들의 해결에 이차전지의 성능 개선이 필수적이다.

본 고에서는 이러한 리튬 이차전지의 기술 및 시장동

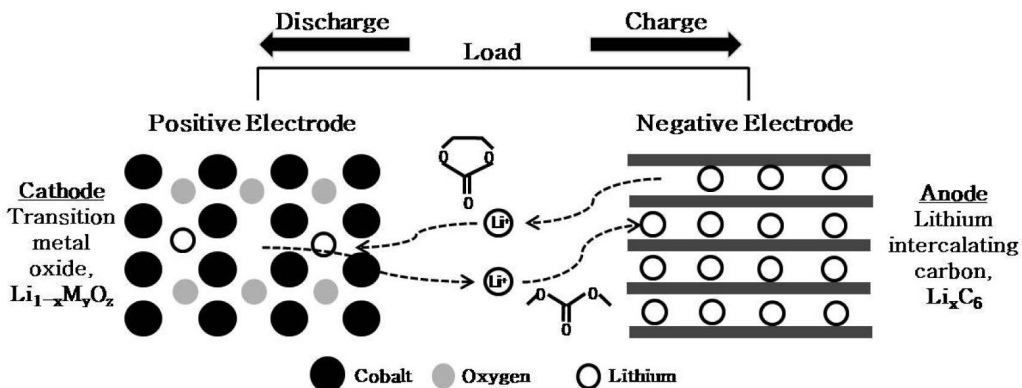


Fig. 1. 리튬이온이차전지 원리.

향을 살펴 봄으로서, 향후 개발되어야 할 전지의 특성과 실제로 언제쯤 우리가 전기자동차 시대를 향유할 수 있을지를 생각해 보았다.

2. 이차전지

2.1. 이차전지 개요 및 원리

기본적인 이차전지의 기본 원리는 전기 화학적 산화-환원 반응에 의해 발생하는 이온의 이동으로 전기를 발생시키고 그 반대 과정으로 충전되는 원리이다. 이온의 물질 상태가 양극과 음극에서 서로 달라 이때 발생하는 물질의 고유에너지 차이로 인한 전압차를 이용한다. 리튬이온전지의 경우 양극에 있던 리튬이온이 빠져 나와 전해질을 통해 음극의 가는 충전과 그 반대인 방전이 일어 난다(Fig.1).

이차전지의 종류와 특징을 Table 1에 나타냈다. 납 축전지는 1859년대 발명되어 군사용에서 무선 전화기용까지 다양하게 적용되어 왔으나 무겁고 에너지 저장 밀도가 낮다. 니켈카드뮴(Ni-Cd) 전지는 1899년 개발되어 철도 차량용, 비행기 엔진 시동용 등 고출력이 요구되는 용도에 사용 되었지만 낮은 에너지 저장 밀도, 카드뮴의 유해성 및 메모리 효과(방전이 충분하지 않은 상태에서 재 충전 시 전지의 실질 용량이 감소하는 현상) 등으로 사용이 감소 중에 있다. 니켈수소(Ni-MH) 전지는 1990년대 초 일본에서 상용화 되어 에너지 저장밀도 향상 및 중금속인 카드뮴을 제거한 전지로 현재 HEV에는 적용되었으나 메모리 효과 및 에너지 밀도가 낮은 단점이 있다.

리튬 이차전지는 전해질로 무엇을 사용하느냐에 따라서 액체상 전해질을 사용하는 리튬이온전지, 젤형 전해질을 사용하는 리튬이온폴리머전지, 고체고분자 전해질을 사용하는 리튬폴리머전지로 분류할 수 있다. 리튬이온전지는 기존 전지대비 에너지 밀도가 3배가 높고 가벼워 사용량이 급증하고 있으나 가격과 안정성 측면에서 다소 취약하다. 리튬이온폴리머 전지는 액상형 전해질 대신 고분자 재료를 사용하여 전지의 안정성을 높이고 전지의 모양을 자유롭게 할 수 있는 장점이 있으나 타 전지 대비 가격이 높은 단점이 있다^{1,2)}. 실제 의미의 리튬폴리머전지는 상온에서의 이온전도도가 충분히 확보되지 못해 상용화되지 않은 상태이다.

2.2. 이차전지시장 동향

소형 이차전지 시장은 2008년 기준 휴대폰용과 노트북용의 합계가 70%의 비중을 차지하며 전체 시장의 흐름을 주도 하였다. 향후 시장의 40%의 수준을 차지하고 있는 휴대폰 시장의 감소로 전체 전지시장의 성장률도 감소할 전망이다. 한편, 노트북시장은 넷북의 성장세로 매년 20%의 증가가 예상되지만 전체 이차전지 시장에서 차지하는 비중이 휴대폰용 시장규모의 절반 수준이고 점차적인 성장세의 감소할 것으로 전망된다. 이렇듯이 소형 이차전지 시장은 과거 대비 수요증가율은 감소할 것으로 전망되고 있지만 공급업체들의 증설로 인한 공급증가로 2010년 이후 공급 과잉에 이를 수도 있다³⁾.

친환경 자동차용 이차전지 시장은 확대 가능성이 있는데 2008년 기준 2008년 HEV의 세계 판매량은 약 50만

Table 1. 이차전지 분류 및 비교

	납 축전지	Ni-Cd 전지	Ni-MH 전지	Li-ion 전지
작용전압	1.9V	1.2V	1.2V	3.6V
양극	PBO ₂	NiOOH	NiOOH	LiMO ₂
음극	Pb	Cd	MH	C
전해액	H ₂ SO ₄	KOH	KOH	Li염 + 유기 용매
에너지 밀도	70Wh/L	90Wh/L	200Wh/L	300Wh/L <
충전 특성	급속충전 가능	초급속충전 가능	급속충전 가능	급속충전 가능
방전 특성	대전류 방전 가능	대전류 방전 가능	중 부하	중 부하
장점	넓은 작동 온도	급속방전	안전성	고용량
단점	무거움	환경오염	나쁜 고온특성	저안전성
가격	저가	증가	증가	고가
주요 용도	자동차/산업용	군용 Power tool	HEV, 무선전화기	휴대용 기기

대 수준이며 이는 2004년 대비 200% 증가한 수치이다. 친환경 자동차용으로 주목 받고 있는 전지는 리튬이차전지이데, 기존 니켈수소 전지를 PHEV, EV에 적용할 경우 전지 소요량이 약 5배로 증가 하여 비용상승 및 차량 무게 증가 등의 문제점이 발생하기 때문에 상대적으로 높은 에너지 밀도가 가능한 리튬이차전지의 적용이 필수적인 것으로 인식되고 있다. 리튬이차전지는 기존 HEV에 적용되는 니켈수소전지 대비 에너지 밀도가 우수하여 소형화가 가능하고 메모리 효과가 적어 수명이 길고 자가 방전율이 상대적으로 낮다는 장점을 보유하고 있다. 이와 더불어 신규 틈새(Niche)시장이 등장하고 있는데, UPS용, 로봇용, 소규모 솔라발전 저장용 등 새로운 시장이 점차 확대되고 있다.

3. 리튬이차전기 기술 동향과 시장현황

3.1. 리튬이차전기

리튬이차전지는 가역적으로 리튬이온의 삽입 및 탈리가 가능한 물질을 양극 및 음극으로 사용하고 상기 양극과 음극 사이에 유기 전해액 또는 고분자 전해액을 넣어 리튬이온의 원활한 이동을 가능하게 하며, 양극 및 음극에서 삽입/탈리 될 때 일어나는 전기화학적 산화, 환원 반응에 의하여 발생하는 전자가 전기에너지를 생성한다.

리튬이차전지에 있어서 전환점이 된 재료는 탄소이다. 리튬금속을 음극으로한 경우 덴드라이트에 의한 단락 때

문에 상용화에 실패 하였으며 리튬금속 대신 리튬의 전기화학적 삽입과 탈리가 가능한 카본의 음극 활물질 사용은 리튬이차전지의 새로운 혁명이었다. 리튬의 탈리/삽입이 가능한 음극 물질은 가역성이 높아야 하고, 반응이 일어나는 전압이 리튬금속의 산화, 환원 반응이 일어나는 전압에 근접할수록 에너지 밀도 면에서 유리하며, 전해질과의 반응성, 환경친화성, 경제성 등이 모두 고려되어야 한다. 탄소재료는 현재 이러한 조건에 가장 부합하는 물질이므로 리튬이온전지의 음극으로 널리 이용되고 있다

리튬이차전지의 양극 활물질로 수많은 삽입 가능한 화합물이 제안되었다. 그 예로, 무기질 전이금속 산화물과 황화물, 유기 분자, 그리고 고분자로 크게 나눌 수 있지만 산화물과 황화물 계통의 물질들에 대한 연구가 많이 이루어졌다. 이중 황화물 계통의 양극재료들은 대부분 Li^+ 을 가지고 있지 않기 때문에 항상 음극으로 리튬금속을 사용해야 하는 문제가 있다. 이를 해결하기 위하여 합성단계에서 리튬을 가지고 있는 산화물 계통에 많은 연구가 이루어졌는데, 이중 가장 대표적인 물질은 $LiCoO_2$, $LiNiO_2$, $LiNi_{1-x}Co_xO_2$, $LiMnO_2$, $LiMn_2O_4$, $LiCo_xNi_yMn_{1-x-y}O_2$ 등이 있다. 근래 수명 특성이 좋고 가격이 낮은 $LiFePO_4$ 소재를 사용하려는 시도가 늘어나고 있으며 $LiFePO_4$ 의 1차원적인 층방전 구조를 개선하여 용량을 늘리고 수명 특성을 유지하는 Li-rich계 ($Li_{2-x}MnO_3[Li_xNiCoMnO_2]$ 등)의 연구가 진행되고 있으며, 그외 고분자 재료 등을

Table2. 리튬이온차전기 대표적인 양극활물질 특성

결정구조	$LiCoO_2$	$LiNiCoO_2$	$LiNi_xCo_{x-1}O_2$	$LiMnO_4$
	층상전이금속화합물			스피넬
가격(\$/kg)	36	16	22	1.2
이론용량(mAh/g)	274	275	275	148
실제용량(mAh/g)	>135	>160	>185	>120
율특성(Rate capability)	좋음	보통	보통	나쁨
자기방전	5~12%/월	1~3%/월	1~3%/월	3%/월
전기전도도($\Omega^{-1}cm^{-1}$)	10^2	10^1	10^1	10^6
고온특성	좋음	좋음	좋음	나쁨
열적안정성	나쁨	아주 나쁨	나쁨	좋음
환경성	독성 Co	Ni 함유	Ni 다량 함유	무독성
장점	합성이 쉬움 수명특성이 우수	Co대비 가격 저렴 용량이 높음	Co대비 가격 저렴 전해질 산화 적음	재료가격이 저렴 안전성이 우수함
단점	재료 가격이 비쌌	열적안정성 미확보	합성이 어려움 열적안정성 떨어짐	용량이 적음 고온특성/ 장기보관성 떨어짐(Mn 용해)

이용한 양극 활물질의 연구가 진행되고 있다⁴⁾.

최근 전기자동차의 본격적인 도입을 위하여, 리튬이차 전지가 가장 활발하게 검토되고 있고, 또 실질적인 방안 이지만, 약 250 Wh/kg의 에너지를 갖고 있는 리튬이차 전지의 한계를 뛰어넘을 수 있는 새로운 이차전지의 개발을 위해 많은 노력이 이루어지고 있다.

3.2. 양극활물질 제조기술 동향과 시장 현황

양극활물질은 전자를 받아 양이온과 함께 자신은 환원 되는 물질을 말하며 리튬이온이차전지 전체 재료비의 40%를 차지하는 소재이다. 2008년 전체 시장 규모는 26,000톤에 1조 1천억 수준이며 향후 HEV, PHEV 적용 시 큰 폭의 수요 증가가 예상 된다.

현재 주로 사용되고 있는 양극활물질인 LiCoO₂의 주성분인 코발트(Co)는 근래에 국제적인 가격상승에 따라서 활물질 가격의 커다란 변동을 야기한 바 있기 때문에, 매장량이 비교적 풍부하고 가격이 낮은 니켈(Ni)과 망간(Mn)의 적용이 증가할 전망이다. LiNiO₂는 사용 가능한 용량이 상대적으로 높은 반면 작동전압이 LiCoO₂에 비해 다소 떨어지고 안정성에도 문제가 있다.

LiMn₂O₄은 고온에서 Mn이 용출되어 결정구조가 파괴 되는 특성이 있으나 과충전에 안전하고 가격을 크게 낮출 수 있어 개발 중에 있고 망간에 니켈과 코발트가 혼입된 형태로도 양극 활물질이 개발되고 있으며(Table 2⁴⁾), 근래에는 니켈, 코발트, 망간이 적당한 비율로 섞인 LiNiCoMnO₂의 사용이 매우 활발하여 이 소재의 생산량이 크게 늘고 있으며, 또한 전구체 생산도 함께 늘고 있다. 그 외 안정성이 뛰어나고 가격이 싸며 매장량이 풍부한 철(Fe)을 원료로 하는 LiFePO₄를 사용한 연구를 미국에서는 오바마 정부의 친환경 자동차 양성 계획 아래 개발 되고 있으며 LiFe_xNi_yMn_{1-x-y}O₂ 형태의 조합으로 더욱 안전하고 오래가고 가격도 저렴한 양극활물질 개발에 박차를 가하고 있다.

양극활물질 생산은 토다(5%), 니치아(22%) 등 일본계가 높은 점유율을 유지하고 있으며 한국의 엘엔에프(19%), 유미코아(11%), 에코프로, 대정이엠등 국내업체와 그 외 중국 업체가 추격하고 있는 양상이다. 향후 양

Table 3. 리튬이온이차전지 대표적인 음극활물질 특성

소재	용량(mAh/g)	에너지 밀도(mAh/cc)	안전성
인조흑연	360	1.99	Poor
천연흑연	365	2.02	Poor
저온탄소	235	1.07	Good
Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	160	0.53	Excellent
금속복합체	500	2.13	Poor

극 활물질의 시장의 방향은 코발트가 제외되거나 혹은 소량인 양극 활물질로 중대형 리튬이차전지의 사양에 걸맞는 소재의 생산여부에 따라서 결정될 것이다.

3.3. 음극활물질 제조 기술 동향과 시장 현황

음극활물질이란 산화시 전자를 방출하는 소재로 리튬이온전지 재료의 10% 정도를 차지하며, 초기 리튬금속 전지에서는 리튬을 직접 활용하였지만 위험성 등의 문제로 다른 물질로 대체되었다. 리튬 금속을 대체할 음극재료가 갖추어야 할 요건으로는 첫째, 금속 리튬의 전극전위에 근접한 전위를 가져야 하고, 둘째, 부피당 무게당 에너지 밀도가 높아야 하며, 셋째, 뛰어난 충방전 안전성을 보여야 하고, 넷째, 고속 충방전에 견딜 수 있어야 하며, 다섯째, 안정성을 보장해야 한다.

이러한 조건에 가장 잘 부합되는 재료가 탄소질 재료 흑연계이다. 탄소질 재료는 난흑연화성 탄소질 재료와 흑연화성 탄소질 재료로 구분할 수 있으며 난흑연화성 탄소질 재료는 수지나 피치로부터 얻어지는 것이 대부분이고, 흑연화성 탄소질 재료는 천연흑연과 인조흑연이 있는데, 저온 소성품에서 고온 소성품까지 탄화, 흑연화 특성에 따라 탄소질 및 흑연질로 구분될 수 있다. 소프트 카본으로는 고밀도 탄소소재로 사용되는 g-MCMB (graphitized mesocarbon microbase)나 MPCF (mesophase pitch based carbon fibers)의 흑연화품과 천연흑연이 주로 사용된다(Table 3).

또 다른 시도로는 Si, Sn, Ge, Al, Sb 등과 같은 물질들에 대한 연구가 진행되었다. 이들은 리튬과 합금을 형성함으로써 용량을 발현하게 되는데, 이러한 합금계 물질들은 이론용량이 기존의 흑연재료에 비해 월등히 커 차세대 대체 음극 물질로서 큰 주목을 받고 있다 (Li_{4.4}Si: 4200 mAh/g, Li_{4.4}Ge: 1600 mAh/g, Li_{4.4}Sn: 990 mAh/g,

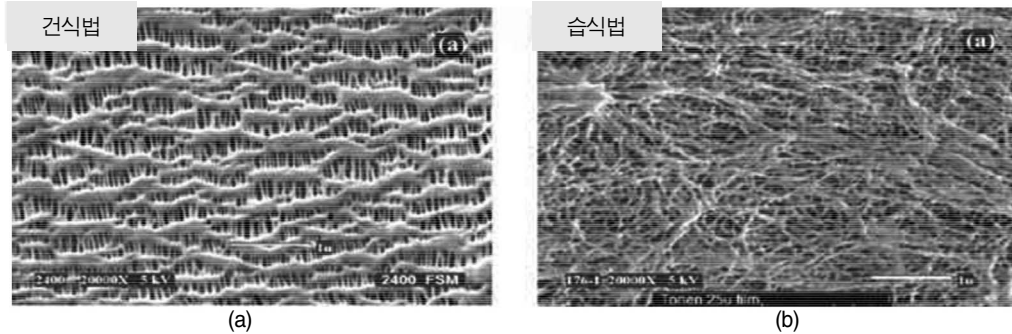


Fig. 2. 분리막 제조 공정 별 구조 건식법(a), 습식법(b).

Li₃Sb: 660 mA/g)^{5,6)}. 이 밖에도 합금물질이 흑연과 대비되는 장점으로 PC를 기반으로 하는 전해질을 사용할 수 있다는 점, 반응전압이 높기 때문에 안정성이 더 높다는 점을 꼽을 수 있다. 그러나 리튬 합금재료는 리튬이 삽입/탈리 되는 동안 심한 부피 변화를 겪는다는 근본적인 문제를 안고 있다. 충방전 중의 큰 부피 변화로 인해 전극 물질이 분쇄되는 현상이 일어나기 때문에 큰 비가역 용량과 좋지 않은 사이클 특성을 나타내게 된다⁷⁾.

국내에서 자급화가 낮은 이유는 흑연의 주산지가 중국으로 이를 수입해 제조할 경우 중국 제품과 가격 경쟁이 어렵고, 일본의 인공 흑연을 바탕으로 한 제품은 제조 기술이 부족한 상황이다. 시장 규모와 수익성이 타 소재 대비 높지 않고 일본과 중국 업체들이 과점상태를 유지하여 신규 진입에 대한 시도가 높지 않은 편이다. 현재 음극활물질은 일본의 히타치화학이 34% 점유율을 기록하며 1위를 유지하고 있고 중국 제품도 낮은 가격을 바탕으로 점유율을 높이고 있는 상황이다.

3.4. 분리막 제조 기술 동향과 시장 현황

분리막이란 양극과 음극 사이에 존재하는 다공성 막으로 두 전극간 전기적 단락을 방지하고 이온전달의 통로를 제공하는 소재로, 현재 가장 많이 쓰이고 있는 분리막의 형태는 폴리올레핀(polyolefin) 계열의 분리막으로 재료는 폴리에틸렌(polyethylene:PE)과 폴리프로필렌(polypropylene:PP)이며, 전체 재료비중 14%를 차지한다.

제조 방법에 따라 건식법과 습식법으로 분류되며 건식법(Fig.2.(a))은 PP/PE/PP 삼중층이고 실린더 형의 기공

(pore) 구조라고 볼 수 있으며, 비교적 저가이며 고효율용 셀가드사 제품이 있다. 습식법은 PE 단일층이고 망목상 기공 구조이며 국내 전지 업체에서 사용되는 아사히-하이포어와 도넨사 제품이다. 폴리올레핀계열 분리막의 단점은 열 변형이 심해 고온에서 안정성이 취약하다는 것이고, 기계적 강도가 약해 내부 단락 위험이 존재한다는 것이다. 이는 전지 폭발에 있어서 직접적인 원인이 될 수 있어 이를 보완하기 위한 노력으로 연구된 것이 세라믹 분리막이다.

세라믹 분리막은 폴리올레핀계 분리막의 열적 기계적 특성을 보완하고자 개발된 고안정성 분리막으로 기계적 강도와 내열성 향상을 위해 필름이나 부직포 위에 세라믹 코팅을 하거나 폴리올레핀과 세라믹을 하이브리드 형태로 하는 방법을 쓰고 있다. LG화학이 독자적인 세라믹 분리막을 적용하여, 중대형 전지의 안전성을 높였으며, GM과 현대자동차 등에 공급하는 전지에 적용하고 있는 것으로 알려졌다.

2008년 기준 아사히-하이포어가 30%를 셀가드가 26%를 도넨이 25%를 점유하고 있는 상황이고 국내기업으로는 SK에너지가 시장에 진입하여 6%를 점유하고 있으며, 향후 국내 이차전지 업체에 공급량이 늘어날 전망이다.

3.5. 전해질 제조 기술 동향과 시장 현황

전해질이란 양극과 음극의 이온이동을 가능하게 해주는 매개체로 높은 이온 전도도, 다른 전지재료와의 호환성이 요구되며 리튬이온과 반응하지 않는 특성이 필요하

다. 리튬이온이차전지의 충전 전압이 4.2 V로 높기 때문에 분해되는 특성을 갖는 수용액 전해액은 사용할 수 없어 유기 용매에 용해하여 적용한다.

액체 전해질은 리튬염을 유기용매에 용해시킨 것으로, 현재 시판되고 있는 리튬이온전지의 대부분은 유기 전해액을 사용하고 있다. 액체 전해질은 증기압이 높기 때문에 사용 온도가 제한되고, 가연성을 나타내는 것이 대부분이다. 고체 고분자 전해질은 분자 내에 극성기를 가진 고분자에 리튬염을 용해시켜 제조한 것으로, 아직까지는 상온에서 이온 전도도가 낮아 실제 전지에 적용된 예가 드물다. 겔 고분자 전해질은 고분자 매트릭스와 액체 전해질로 구성되어 있어, 그 물성은 액체 전해질과 고체 고분자 전해질의 중간적 성질을 띠며, 이를 적용한 리튬이온전지를 특별히 리튬 이온 폴리머 전지라 부르고 있다.

이온성 액체는 구조적 대칭성이 낮은 유기 양이온과 음이온으로 구성되며, 상온 이하의 융점을 갖는 용융염으로서, 리튬이차전지의 전해질로 적용할 경우에는 리튬염과 공용, 혼합하여 사용한다. 이들은 가연성 및 인화성이 매우 낮기 때문에 안전성이 우수한 전지를 설계할 수 있는 것으로 알려져 있다. 이온성 액체란 이온만으로 구성되는 액체 상태의 염을 의미하며, 특히 상온에서 액체 상태로 존재하는 염을 상온 이온성 액체라 한다.

전해질은 LiPF₆, LiPF₄, LiAsF₆, LiClO₄ 등의 리튬 복합염이 주로 사용되며 용매로 프로필렌 카보네이트, 에틸렌 카보네이트 등이 사용된다. 현재 국내에서는 파나

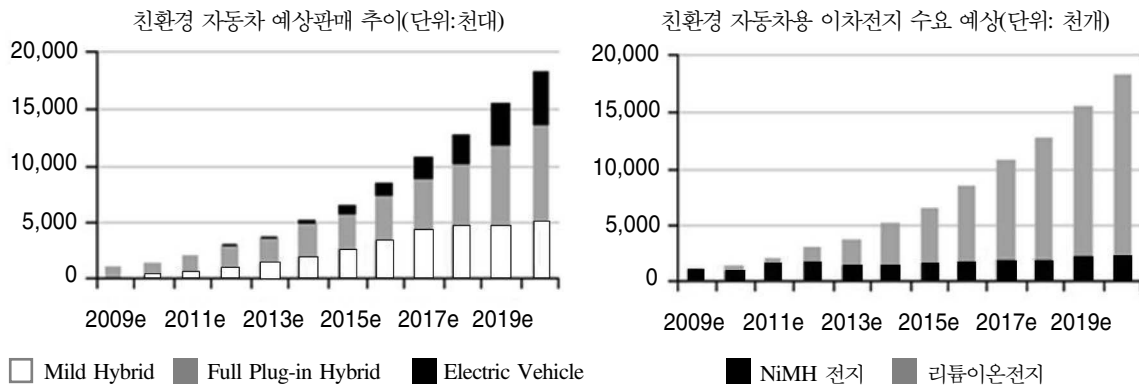
스이텍, 테크노세미켐, 에코프로 등에서 생산하고 있지만, 용매 원료의 직접적인 생산보다는 원료의 도입에 이은 정제공정과 혼합공정을 통한 생산이 주이다. 따라서 이차전지 소재 중 가장 진입 장벽이 낮은 기술로 마진도 높지 않아 지속적인 전지 제조업체에 공급하는 것이 관건이며 향후 셀 제조 업체에서도 생산이 가능할 것으로 보여 시장 매력도는 높지 않은 편이다.

3.6. 셀 제조 기술 동향과 시장 현황

앞에서 언급 하였듯이 현재는 휴대폰 노트북 등 소형 이차전지가 상당부분을 차지하고 있지만 향후 리튬이차전지 산업은 친환경 자동차 개발과 전력저장과 연관되어 발전할 가능성이 매우 크다. 리튬이차전지의 발전 방향을 친환경 자동차 개발과 전력저장 등 중대형 전지와 관련해서 살펴보면 다음과 같다. 리튬이차전지 산업은 크게 셀 제조업과 소재산업으로 분류할 수 있다. 셀 제조업은 이차전지를 생산하는 것이며, 소재산업은 리튬이차전지를 이루는 양극활물질, 음극활물질, 분리막, 전해질을 생산하는 것이다.

셀 제조업은 친환경 자동차 산업에 있어서 이차전지의 중요성이 매우 높아 자동차 업계와 전지 업체간 협력이 매우 중요하다. 예를 들어 차량 초기 개발 단계부터 전지 자동차 회사와 전지업체가 같이 테스트가 진행 되어야 개발에 효과적인데, 현재 판매중인 HEV 시장은 도요다, 닛산, 혼다 등 일본계가 시장의 90% 이상을 차지하고 있

Table 4. 친환경 자동차 예상판매 추이와 친환경 자동차용 이차전지 수요 예상



어 이 회사에 전지를 공급할 수 있는 회사만이 자동차용 전지를 판매할 수 있다.

현재 10여 개의 전지 회사가 공급을 추진 중이고 상당수가 파라소닉, 산요 등 일본계 이다. 도요다, 닛산 등 일본 자동차 회사는 독자적인 전지 기술 부족으로 합작회사 형식으로 지분 획득하고 전지를 공급 받으며, 자국 내 검증된 전지업체 확보가 어려운 GM, BMW, 폭스바겐 등은 타국의 전지업체와 협력관계를 추진 중이고 특히 미국 및 유럽 자동차 기업들은 주로 한국계 이차전지 업체들과 협력을 추진하고 있다.

국내에서는 LG화학, SB LiMotive, SK 에너지, EIG배터리, 코삼을 비롯하여 에너지인터내셔널, 에너지랜드 등 많은 리튬이차전지 제조업체가 자동차용 이차전지 셀 제조에 진출했으며, 최근에는 태양광 발전 저장용으로도 더욱 진출을 확대하고 있다. LG화학과 SB LiMotive는 노트북, 휴대폰 등 소형 이차전지 산업의 경험과 건설한 재무구조를 바탕으로, SK에너지는 국내 최초 이차전지용 분리막 개발에 성공하여 원료부터 전지 생산까지 수직계열화 기반을 마련 했다³⁾.

향후 친환경자동차용 이차전지 시장은 어떤 종류의 차종이 시장을 주도하느냐에 따라 결정될 전망이다. 단기적으로는 상용화가 완료된 HEV 시장이 확대되어 니켈 수소전지의 영향력이 지속될 전망이지만 장기적으로는 PHEV, EV 등의 시장확대로 리튬이차전지가 대체를 이룰 전망이다. 가솔린엔진을 주 동력원으로 사용하는 HEV의 이차전지의 용량은 1~2 kWh가 요구되나 전기를 주 동력원으로 사용하는 PHEV, EV 등은 5~20 kWh 이상의 용량이 필요로 한다.

도요타의 선점으로 시작된 전기자동차 시대가 미국의 PHEV 개발로 이어지고 있으나, 최근 순수 전기자동차의 도입이 급물살을 타고 있어, 오히려 EV시대가 생각보다 조기화 할 수 있다는 의견들이 있다. Table 4에서 보듯이 향후 PHEV, EV 시장이 확대될 경우 2015년 친환경자동차 시대가 본격적으로 시작되며, 리튬이온전지 시장 규모는 2020년 대중화 되어 45.8억달러 수준에 이를 전망이다³⁾.

4. 결론

지구온난화를 줄이고 화석연료의 고갈에 대응하기 위해서는 신재생에너지, 자동차의 전기화와 에너지사용 효율 향상이 필수적이다. 이에 따라서 녹색에너지인 태양광 발전 및 풍력발전 확대, 전기자동차개발 및 보급을 서둘러야 한다.

전 세계적으로 차세대 에너지원을 우선적으로 확보하기 위한 경쟁 상태에 돌입해 있고 그러한 에너지원으로 인해 국가간 분쟁도 일어나고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 에너지 저장 장치로 각광 받고 있는 리튬이차전지에 대한 개발이 활발히 이루어 지고 있는 실정이며 이를 어떻게 개발하느냐에 따라 국가의 경쟁력이 바뀔 수도 있는 현실이다. 향후 리튬이차전지가 전기자동차와 에너지 저장장치로서 각광을 받을 것이며, 이에 따라 전지를 구성하는 소재 확보가 또다른 문제점으로 대두될 것이다.

최근 일본이 중국어선의 불법 적인 조업에 대해 어선을 나포하고 일본 내에 감금하는 일이 벌어지자 중국은 일본에 대해 희토류 광물에 대한 일본 수출 금지로 맞대응 하자 일본이 포기하고 선원을 다시 풀어준 일이 있었다. 희토류 광물은 디스플레이산업에 사용되는 형광체의 원료이기도 하지만, Ni-MH 전지의 수소저장합금의 원료며, 또한 각종 전기 모터에 사용되는 자석의 원료이다.

리튬이차전지 산업의 발전과 더불어 그 원료가 되는 리튬, 니켈, 코발트 등에 대한 확보대책과 함께 소재분야에서의 획기적인 재료 개발이 필요할 때다.

참고문헌

1. T. Nagura and K. Tazawa, Prog. Batteries Sol. Cells, **9** 20-2 (1990).
2. T. Ohzuku, and A. Ueda, "Solid-State Redox Reactions of LiCoO₂ (R $\bar{3}$ m) for 4 Volt Secondary Lithium Cells(in English)", J. Electrochem. Soc., **141** 2972-77 (1994).
3. K. J. Cho, "The Present Condition of Li-ion Battery Industry in Green Car (in Korean)", pp. 59-82, Issue of Industry, KDB Research Institute, 2010.
4. Y. M. Chung, "Organic Nano-coating of the Electrode for Energy Device and Synthesis of High Dimension

- Nano-structure with Conducting Polymer (*in Korean*)", pp. 11-12, Ms Thesis, Ulsan University, Ulsan, 2010.
5. M. Winter, J. O. Besenhard, "Electrochemical Lithiation of Tin and Tin-based Intermetallics and Composites (*in English*)", *Electrochim. Acta.*, **45** 31-50 (1999).
6. R. A. Huggins, "Lithium Alloy Negative Electrodes (*in English*)", *J. Power Sources*, **13** 81-82 (1999).
7. M. Wachtler, M. winter, J. O. Besenhard, "Evaluation of Discharge and Cycling Properties of Skutterudite-type $\text{Co}_{1-2y}\text{Fe}_y\text{Ni}_y\text{Sb}_3$ Compounds in Lithium Cells (*in English*)", *J. Power Sources*, **94** 189 (2001).

●● 정영민



- 2008년 울산대학교 화학과 학사
- 2010년 울산대학교 화학과 석사
- 2010년 한국과학기술연구원 이차전지센터 연구원

●● 조원일



- 1981년 고려대학교 금속공학과 학사
- 1983년 고려대학교 금속공학과 석사
- 1992년 고려대학교 금속공학과 박사
- 1994년 Northwestern대학교 재료과 박사후 과정
- 1984/1992/1997 한국과학기술연구원 연구원/선임연구원/책임연구원
- 2006-2007년 전자부품연구원 전문위원/센터장
- 2009.11~현재 한국과학기술연구원 이차전지센터장