

배터리용 양극, 음극 촉매분야 최신 연구동향

미래를 여는 KIST
Korea Institute of Science and Technology

한국과학기술연구원 유성중

현재의 산업기술의 발전과 더불어 경제 성장과 생활수준의 향상에 따른 에너지 수요는 기하급수적으로 증가하는 구조임에도 불구하고 대부분의 국가들은 화석에너지에 의존하고 있어서 자원의 편중성, 부존자원의 고갈, 다양한 환경오염이라는 문제점을 가지고 있다. 최근 이에 대한 해결방안으로 새로운 개념의 에너지를 개발하여 화석 에너지가 지닌 문제를 해결할 신에너지 기술들이 부각되고 있다. 이와 관련한 새로운 대안으로 차세대 전지 산업의 수요가 지속적으로 증가하고 있다.

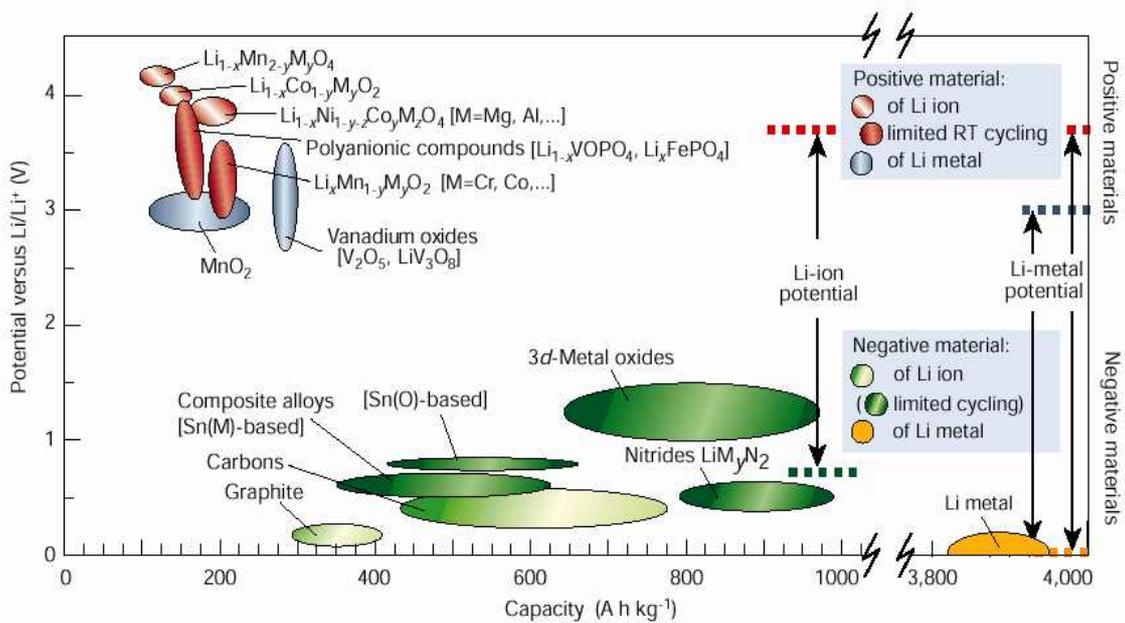


Figure 1. 차세대 이차전지 핵심소재 전망 모식도

차세대 전지에 있어서 고성능 이차전지 및 연료전지에 대한 연구들이 활발히 진행되고 있으며 이에 대하여 과감한 연구 개발 투자라는 전략적 측면에서 중요한 의미를 지니고 있다고 할 수 있겠다. 이차전지는 1999년 상용화로 이미 초기 경쟁력을 확보했으며, 현재 일본과 시장 확보를 놓고 치열하게 주도권 경쟁을 벌이고 있는 분야이다.

이차전지 중에서 각광을 받고 있는 리튬 이온 이차전지는 전 세계적으로 모바일 및 휴대용 IT기기의 수요 급증과 더불어 차세대 전원 및 에너지원으로 위치를 확고히 하게 되었으며 이는 미래형 IT산업의 핵심 에너지원으로서도 관심을 모으고 있다. 그러나 이러한 산업적 요구에 부합하는 고성능의 이차전지 및 연료전지 개발은 기술적 측면에서 있어서

많은 문제점을 안고 있어서 집중적인 연구개발을 통한 핵심기술을 획득이 필요 하겠다.

이차전지는 현재까지 상용화되어 산업 분야 및 일상생활 등의 여러 분야에 사용되고 있으나 새로운 기술 기반의 충족하는 고안정성, 장수명 이차전지의 필요성이 대두 되고 있다. 최근에 이차전지의 고안정성 및 장수명 전지개발을 위하여 금속산화물계 전극 소재에 대한 전기화학적 반응 기구에 대한 연구가 가장 큰 핵심 issue가 되고 있다. 현재까지 이차 전지 전극재료로 기존에 사용하고 있는 흑연은 낮은 용량의 한계를 가지고 있어서 흑연을 대체할 많은 연구들이 되고 있으며 고용량의 주석(Sn), 실리콘(Si) 계열의 물질들이 많은 관심을 가지고 연구가 되었다.

그러나 이러한 전극재료들은 부피팽창 및 분쇄로 인한 전지의 성능감소를 가져 오는 등의 여러 가지 개선해야 할 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 극복하고 고안정성, 장 수명의 이차전지 개발을 위한 여러 가지 방법들이 모색되고 있으나 아직까지 극복해야 할 많은 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 극복하기 위하여 이차전지에 사용되고 있는 금속 산화물계에 대한 연구와 각 물질의 미세구조 및 제조된 전극의 계면 특성을 확인하고, 또한 이차전지의 충방전 시 일어나는 전기화학적 반응 메커니즘에 대한 분석과 해석을 통하여 금속 산화물이 이차전지 내에서 어떠한 전기화학적 반응을 가지는지 확인하는 것이 최근 연구동향이다.

리튬이차전지는 응용 분야에 따라 연구 분야가 나뉘지만 기본적으로 낮은 가격으로 고용량·고출력 특성을 보이면서 안전성이 뛰어난 리튬이차전지 개발을 위해 노력하고 있다. 고용량 리튬이차전지 개발은 업계에서 경쟁적으로 이루어지고 있는 분야로 설계 최적화 및 활물질 개발 등을 통해 전지의 용량을 증가시키고 있다. 작년까지만 해도 휴대폰이나 노트북 등에 사용되어 왔던 리튬이차전지는 주로 2200mAh급이나 2400mAh급이 대부분이었으나, 최근 휴대폰과 노트북의 고급화 추세로 전력소모가 증가함에 따라 2600mAh급 제품 비중이 크게 증가하고 있다. LG화학와 삼성SDI는 2800mAh급 원통형(18650 type) 리튬이온 이차전지를 양산한다고 발표하였으며, 삼성SDI는 올해 초 3000mAh급 전지를 개발하여 연 내에 양산에 들어간다고 보고하고 있다.



Figure 2. 삼성SDI의 2800mAh급 원통형 리튬이차전지-referece: 경제투데이, 2008. 04. 29

하이브리드 자동차용 중대형 리튬이차전지는 휴대 기기용 리튬이차전지와 달리 고출

력, 고에너지밀도의 특성과 저온에서도 모터를 구동할 수 있는 저온 시동성, 자동차의 수명과 맞먹는 고수명 특성이 요구된다. 리튬이차전지는 현재 하이브리드 자동차용 전지로 사용되고 있는 니켈-수소전지에 비해 정격전압이 3배 이상 높아 전지 셀을 1/3수준으로 제작 가능하며, 고율 충·방전 특성이 뛰어나 출발 및 제동 시 우수한 특성을 보인다. 그러나 자동차 운행 시 발생하는 고온 환경에서의 수명 및 안전성 측면에서 아직 해결해야 할 문제점이 남아있어 아직 상용화되지 못하고 있다.

Table 1. HEV용 전지의 개발 목표-reference:차세대전지 성장동력사업단 2004. 9

	USABC		LIBES
	Mid-term	Long-term	
Specific energy(Wh/kg)	>100	200	150
Energy density(Wh/L)	230	300	300
Specific power(W/kg)	>150	400	400
Power density(W/L)	300	600	-
Cycle number(80%DOD)	>600	>1000	1000
Temperature range(oC)	-30~65	-40~85	-
Charging rate(h)	<6	3~6	-
Cost(US\$/kWh)	<150	<100	-

리튬이차전지의 양극 활물질은 양산 이후 출공 리튬코발트산화물이 사용되어 왔으나, 최근 중대형 전지의 필요성 등으로 그 수요가 증가하면서 가격이 급격히 상승함에 따라 다른 전이원소로 치환된 2성분계 혹은 3성분계 산화물로 전환되는 중이다. 가격이 비싼 리튬코발트산화물을 대체하기 위해 리튬니켈산화물, 리튬망간산화물, 리튬철산화물 등이 연구되었으나, 안전성 및 수명 특성 저하, 전해액으로의 용출 등이 더욱 부각되어 상대적으로 활물질의 양이 적은 휴대기기용 소형 리튬이차전지에서는 양극 활물질을 완전 대체하는 대신 리튬코발트산화물에 니켈이나 망간을 치환하는 형태로 연구가 전환되었다. 특히, 코발트, 니켈, 망간의 비율을 1:1:1로 한 3성분계 산화물의 경우 그 특성이 기존의 리튬코발트산화물과 유사하거나 오히려 우수하다는 연구결과가 보고되고 있으나 대량 양산을 위해서는 아직 해결해야 할 문제점이 많이 남아있다. 하이브리드 자동차용 리튬이차전지는 가격 경쟁력이 무엇보다 중요하며, 안전성이 우선 되므로 값이 싸고, 격자구조가 안정한 망간계 산화물이 연구의 중심에 있다. 리튬망간산화물의 경우 고온에서 망간이 전해액에 녹아내리는 문제를 해결하기 위해 전해액 내 염 (salt)을 바꾸거나 소량의 전이원소를 치환하는 방법 등이 연구되고 있다. 최근에는 새로운 구조를 지닌 LiFePO_4 에 대한 연구가 새로이 이루어지고 있는데 가격이 싸고, 구조가 안정하여 열적 안정성이 뛰어나고, 수명특성이 우수하다는 장점을 지니고

있지만, 제조가 어렵고, 전도성이 떨어지는 단점이 있어 학교를 중심으로 연구가 진행 중에 있다.

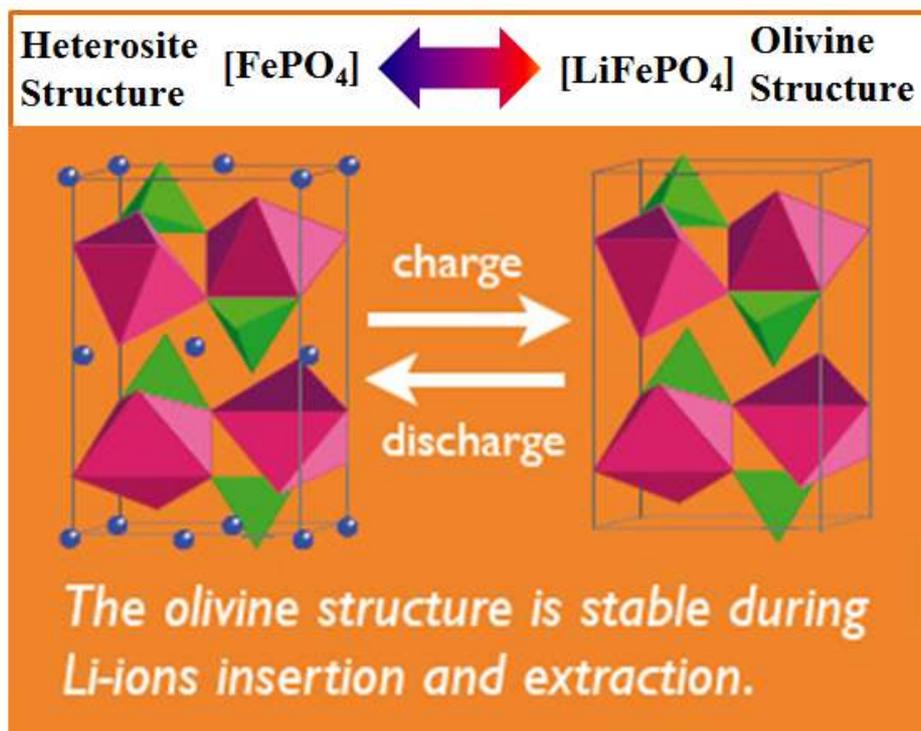


Figure 3. LiFePO_4 구조-reference: www.phostechlithium.com

리튬이차전지의 음극 활물질은 흑연이 지속적으로 사용되어 왔으며, 용량 증가를 위해 다른 탄소계 물질이나 리튬금속화합물 등이 연구되어 왔으나 아직까지는 흑연을 대체할 물질이 상용화되고 있지는 않다. 최근 고용량 리튬이차전지 개발을 위해 활발한 연구가 진행 중인 리튬금속화합물은 용량은 매우 크지만 초기 비가역용량이 존재하고 부피 변화가 심하게 발생되며, 수명 특성이 크게 떨어지는 등 아직 해결해야 할 문제가 많이 남아있다. 하이브리드 자동차용 고출력 전지를 개발하기 위해 부피 변화가 작고, 흑연에 비해 충전 전압이 높은 하드카본 등이 연구되고 있으나, 비가역용량이 존재하여 전지 효율이 떨어지고 물질 밀도가 커 큰 부피를 차지한다는 단점이 존재하고 있다. 그 외에도 탄소나노튜브를 이용한 전극 개발 등이 이루어지고 있으나, 아직 기초적인 연구에 불과 할 뿐 가시적인 성과를 내기까지는 오랜 시간이 걸릴 것으로 예상된다. 전해액은 전극 활물질에 비해 리튬이차전지 성능과 관련하여 덜 중요시 여겨져 왔으나, 최근에는 전해액 개발을 통해 수명, 고율방전 특성과 특히 안전성 등 전지의 성능을 크게 향상시키고자 한다. 높은 전기전도도를 지니고, 전극 활물질에 대한 안정성이 뛰어난 전해액을 개발하기 위한 신규 용매와 염(salt)개발 및 고체고분자 전해질 개발이 주를 이루고 있다. 최근에는 하이브리드 자동차의 개발 및 근래에 발생한 폭발 사고 등으로 인해 리튬이차전지의 안전성 문제가 크게 대두되면서 비수계 전해액 개발이 주를 이루고 있으며, 특히 난연성 전해액 개발을 위한 선행 연구가 많이 이루어지고 있는 실정이다. 분리막 개발은 얇고, 높은 기계적 물성을 지니고 동시에 우수한 열적

안정성을 지니는 것이며, 특히 분리막은 다른 소재에 비해 저가격화가 시급히 이루어져야 할 부분이다. 지금까지의 분리막은 전지의 응용분야에 관계없이 일반적으로 사용되어 왔으나, 향후에는 분리막이 전지 응용 분야에 적합한 특성을 지닐 수 있도록 연구가 이루어져야 한다.

이차전지 세계적인 동향은 다음과 같다. 일본은 LIBES (Lithium Battery Energy Storage Technology)를 개설하여 New Sunshine Project를 HEV (Hybrid Electric Vehicle) 및 고에너지 밀도와 분산형 전원으로 쓰일 수 있는 장수명 리튬이온 이차전지를 개발하고 있다. 이에, 산요, 마쓰시타등 업체가 주관하여 이차전지뿐 아니라 10 여개의 산학연이 참여하는 컨소시엄을 갖추어 교류를 시도하고 있다. 중국의 경우는 적극적인 수준의 정부 지원책을 시행하고 있으며, 산업육성을 위하여 양산수준의 장비에 대한 지원과 세제, 표준화에 지원을 강화하고 있으며, 중국 내 업체의 생산품에 대해서는 해외업체라 할지라도 중국산을 사용하도록 권장하고 있다. 대만은 전자소재 전반에 대하여 “한국 타도”를 목표로 정부가 대폭적으로 지원, ERSO/ITRI를 중심으로 각 기업의 연구원들이 참여하는 범정부적인 공동연구개발사업을 진행 중이다. 대만의 경우 이차전지 업체가 이-원 모리 에너지가 있으나 세계 시장에서 차지하는 비중은 낮다. USABC (United State Advanced Battery Consortium)에 자동차 3사인 GM, Ford, Chrysler 중심으로 산학연 참여의 연구가 진행되면서 2.7억 달러 규모의 EV용 Ni-MH, 리튬이온 이차전지, PLION™등에 대한 연구에 매진하였으나, 최근에 자동차 3사는 리튬이온 이차전지를 사용한 EV에 대해서는 포기한다는 기사가 흘러나오고 있다. Argonne National Lab.에서는 HEV용 리튬이온 이차전지에 대한 연구를 위해 에너지성 등에서 대형 펀드를 제공하여 기반 및 장비구축이 되어 있으며 그 기반을 토대로 연구하도록 하고 있다.