

# 리튬이온이차전지의 특성과 전망

글 \_ 김창삼  
한국과학기술연구원 이차전지센터

## 1. 서론

전지를 크게 분류하면 물리전지, 생물전지 그리고 화학전지로 분류할 수 있다. 물리전지는 물리적 에너지를 전기 에너지로 변환하는 변환장치로, 계산기, 손목시계, 소규모 발전용으로 사용되는 태양전지, 우주공간에서 관측기거나 의료용기기의 전원으로 개발되고 있는 원자력전지가 있다. 생물전지는 생체촉매, 미생물을 사용한 생화학적 변화를 이용하여 전기에너지를 만들어내는 장치로, 생물태양전지, 생물연료전지 등이 연구되고 있다. 화학전지는 내부에서 일어나는 화학반응으로 전기를 만들어 전기에너지를 사용하는 전지로, 1차전지, 이차전지, 연료전지의 3종류로 분류된다. 1차전지는 한번 사용하여 방전되면 다시 충전되지 않는 우리가 흔히 사용하는 건전지로, 망간전지, 알칼리전지 등이 이에 해당한다. 이차전지는 방전 후 재충전하여 반복하여 사용할 수 있는 전지로, 납축전지, Ni-Cd 전지, Ni-MH 전지, 리튬이온전지, Na-S 전지 등이 대표적이다. 연료전지는 수소와 산소를 반응시켜 물과 전기를 발생시키는 전지로, 화력발전과 비교하면 에너지효율이 높고 대기오염 물질을 배출하지 않으므로 친환경적인 발전방법이다.

Table 1은 대표적인 이차전지의 특성을 비교한 것이다. 여러 전지 중에서 여기서는 이차전지 중에서도 현재는 주로 소형인 휴대폰이나 노트북의 전원으로 사용되고 있으며, 앞으로 하이브리드전기자동차(HEV)나 전기자동차(EV) 그리고 대용량 에너지 저장용으로 수요가 더욱 늘어날 것으로 예상되는 리튬이온이차전지(LIB)에 대해서 간략하게 소개하고자 한다. 보다 자세한 사항은 8월에 출간

될 세라미스트 4호 이차전지 특집호에서 소개할 것이다.

## 2. 본론

### 2.1. 리튬이온이차전지

리튬을 사용하는 이차전지는 음극활물질과 전해질의 종류에 따라서 3가지로 분류된다. 리튬이차전지는 음극활물질이 리튬 금속이고 고분자 전해질이 사용되는 것으로, 주로 LRB (lithium rechargeable battery)로 줄여서 표기하며, LPB (lithium polymer battery)로 표기하는 경우도 있다. 리튬이온이차전지는 음극활물질로 리튬이온을 삽입/탈리하는 흑연이나  $Li_4Ti_5O_{12}$ 를 사용하고 비수계 액체전해질을 사용한다. 이것은 LIB (lithium ion battery)라 표기한다. 폴리머리튬이온전지는 고분자 전해질을 사용한 LIB로 LIPB (lithium ion polymer battery)라 일반적으로 표기한다.

이차전지 성능을 평가하는 요소는 에너지밀도, 출력(충전속도), 수명(사이클수명, 보관수명), 안전성, 작동온도, 친환경성, 가격, 취급용이성 등이 있으며, 성능이 좋은 이

Table 1. 대표적인 이차전지의 종류에 따른 특성 비교

구분	납축전지	Ni-MH	LIB	LRB
에너지밀도	4	2	1	1
출력밀도	4	3	2	3
방전평탄성	3	3	3	3
저온특성	3	4	2	2
Charge retention	4	5	2	1
효율	2	5	1	3
수명	3	2	1	4
가격	1	5	2	4

\* Rating: 1 to 5, best to poorest

차전지는 다음과 같은 특성을 가져야 한다.<sup>1)</sup>

- (1) 고에너지밀도 ; 작고 가벼운 전지로 많은 에너지를 뽑을 수 있어야 한다.
- (2) 고출력 ; 전동공구, HEV에서는 순간적으로 큰 에너지를 사용할 수 있는 전지가 요구된다. 출력은 전류와 전압을 곱한 것이기 때문에 전지 전압을 높이면 출력을 쉽게 올릴 수 있다. 또한 한꺼번에 많은 양의 전류를 흘려보내도 출력을 높일 수 있으며, 이러한 전지는 짧은 시간에 충전이 가능한 전지이기도 하다.
- (3) 장수명 ; 휴대전화나 노트북에 사용되는 이차전지는 500회 충방전하여 사용한 후에 용량 감소가 20% 이하인 것이 요구되었다. 그러나 HEV, EV, 대용량 전력저장용 이차전지에서는 5000회의 충방전 내지는 10년 이상의 수명이 요구되고 있다.
- (4) 안전성 ; 전지는 에너지를 저장한 통이다. 고에너지밀도에 고출력인 전지는 많은 에너지를 작은 통에 담고 있다가 한꺼번에 에너지를 방출하는 전지이다. 따라서 이러한 전지에 이상반응이 일어나면 급격한 발열반응이 일어나고 폭발할 수도 있다. 전지가 대형화할수록 이상이 생겼을 때 발열량이나 폭발력이 증가하기 때문에 안전성은 더욱 중요한 문제가 된다. 또한 전자기기에 사용되는 이차전지는 소형으로 수명이 다한 전지의 회수율이 낮으며, 일반 쓰레기와 함께 버려지는 경우가 많기 때문에 환경오염을 일으키지 않는 물질을 사용하는 것이 바람직하다.
- (5) 사용온도범위 ; 이차전지를 사용하는 휴대폰, 노트북, 카메라 등은 40-50℃를 오르내리는 사막에서도 사용할 수 있어야하며 또한 남극이나 해발 8000m 이상의 에베레스트산의 정상에서도 쓸 수 있어야 하기 때문에 사용온도 범위가 넓은 것이 요구된다.
- (6) 가격 ; 모든 제품은 가격 경쟁력이 있어야 가치가 있다. 리튬이온이차전지가 가장 경쟁력을 갖는 분야는 고용량이 요구되는 휴대폰이나 노트북과 같은 휴대용 전자 기기이다. 그러나 전동공구, 전기바이크, EV, 대용량 에너지 저장용에서는 Li-MH 이차전지, 납축전지, 아연공기 이차전지, Na-S 이차전지 등과 가격적으로 경쟁하여야 한다.

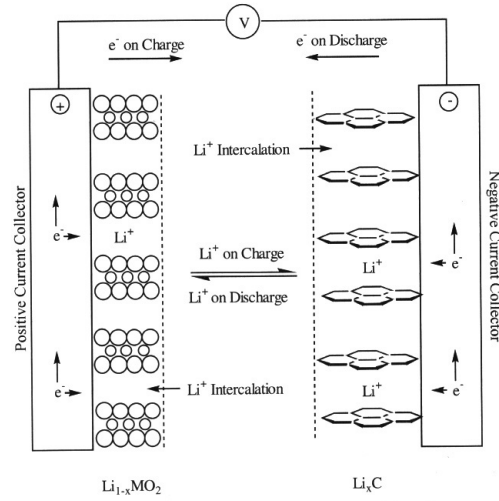


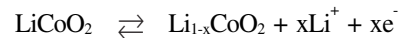
Fig. 1. 리튬이온이차전지의 개략도; 충전시 양극(LiCoO<sub>2</sub>)의 Li<sup>+</sup>와 전자가 음극(흑연)으로 이동하고, 방전시 음극에서 Li<sup>+</sup>와 전자가 양극으로 이동한다.

## 2.2. 리튬이온이차전지의 구성

전지는 양극, 음극, 전해질, 분리막 그리고 집전체와 케이스로 이루어져 있다. LIB는 Fig. 1에서와 같이 리튬이온이 양극과 음극에서 삽입/탈리되어 반복적으로 왕복하고, 동시에 전자가 왕복하면서 충전되거나 방전하는 것이다. 각 전극에서 일어나는 반응은 다음과 같이 표시할 수 있다.

양극(cathode); 활물질이 LiCoO<sub>2</sub>인 경우

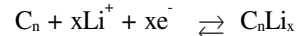
(충전)



(방전)

음극(anode); 활물질이 흑연인 경우

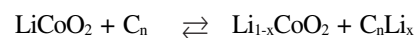
(충전)



(방전)

전체반응

(충전)



(방전)

충전할 때 양극에서는 리튬이온과 전자가 음극으로 이동한다. 리튬이온은 전해질을 통해서 이동하고 전자는 전

지 외부에 연결된 전선을 따라서 이동한다. 이 반응은 자발적인 반응이 아니기 때문에 전자를 양극활물질에서 끄집어내기 위해서 전위차를 주어야 한다. 한편, 방전할 때에는 음극에서 리튬이온과 전자가 나오며, 리튬이온은 전해질을 통해서, 전자는 외부 전선을 통해서 양극으로 이동한다. 이 반응은 자발반응이기 때문에 외부 전선을 따라 나온 전자는 일을 할 수 있다.

### 2.2.1. 양극

양극을 이루는 양극활물질은 리튬이온이차전지의 원가에서 가장 큰 비중인 약 30%를 차지한다. 또한 전지의 용량, 구동전압 등의 특성에 가장 큰 영향을 미치는 물질이다. 현재 상용화되어 사용되고 있는 대표적인 양극활물질로  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ ,  $\text{LiNi}_{0.5}\text{Co}_{0.3}\text{Mn}_{0.2}\text{O}_2$ ,  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ ,  $\text{LiFePO}_4$ 가 있으며, 이들의 특징을 Table 2에 정리하였다.

가장 먼저 리튬이온이차전지의 양극활물질로 사용되기 시작한 것은  $\alpha\text{-NaFeO}_2$  형으로 층상구조를 가지는  $\text{LiCoO}_2$ 이다.  $\text{LiCoO}_2$ 는 4.25V로 충전하였을 때 사용 가능한 용량이 150mAh/g으로 비교적 크고, 평균 전압이  $\text{Li/Li}^+$  대비 3.6V로 높으며, 수명과 충방전속도에 있어서 뛰어난 특성을 가질 뿐만 아니라 제조하기가 용이하다는 장점이 있어 2000년대 중반에는 대부분의 리튬이온이차전지에 사용되었다.<sup>2,3)</sup> Fig. 2는  $\text{LiCoO}_2$ 에서 리튬이온이 삽입/탈리된 정도에 따라서 일어나는 상전이를 도식적으로 나타낸 것이다. Li이온이 빠져나오기 시작하여 0.5까지는 가역적이면서 육방정계 구조(O3; 단위셀에서  $\text{MO}_2$  층이 세 번 반복될 때마다 리튬이 팔면체에 자리함)를 유지한다. 그러나

0.5 이상 리튬이온이 빠져나오면 구조가 불안정해지면서 비가역적 특성이 있는 단사정계 구조(P3)로 일부가 상전이 하며, 완전히 리튬이온이 빠져나오면 비가역적인 상으로 전이한다. 따라서 이 활물질은 이론용량의 60%에 상당하는 150mAh/g까지만 사용이 가능하다.

$\text{LiCoO}_2$ 는 매우 우수한 양극활물질로 LIB가 Ni-MH를 대신하여 이차전지의 왕자가 되는데 크게 공헌하였다. 그러나 구성 원소의 하나인 코발트는 희토류로 매장량이 적을 뿐만 아니라 생산지가 일부 국가에 편재되어 있어 수요가 늘어남에 따라서 공급 면에서 불안정할 것이라는 인식이 있었으며, 실제로 2000년대 중반부터 가격이 폭등하였다. 따라서 코발트를 사용하지 않거나 적게 사용한 양극활물질 개발이 활발히 진행되었으며, 그 중에서  $\text{LiCoO}_2$ 와 같은 층상구조를 가지는 것의 하나로  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 가 개발되었다.

$\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 는  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ 가 가지는 장점을 가진 활물질로서 가격면 뿐만 아니라 안전성과 수명에 있어서도 이점이 있기 때문에 최근에  $\text{LiCoO}_2$ 를 1/2 정도 대체하여 사용되고 있다. Fig. 3은  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$  각각의 장단점을 도식적으로 표시한 것이다.  $\text{LiNi}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3}\text{O}_2$ 는  $\text{NiO}_6$ ,  $\text{CoO}_6$ ,  $\text{MnO}_6$  팔면체가 이루는 층으로 구성된 super lattice 구조로 리튬이온이 빠져나온 상태에서도 상전이 없이 구조적으로 안정하여  $\text{LiCoO}_2$ 보다 높은 전압에서 사용이 가능하다. 따라서 4.5V의 높은 전압에서 구동하여도 싸이클 특성이 우수하여 HEV(hybrid electrical vehicle)와 같은 고출력을 요하는 분

Table 2. 양극활물질의 특성

	$\text{LiCoO}_2$	$\text{Li}(\text{Ni}_{1/3}\text{Co}_{1/3}\text{Mn}_{1/3})\text{O}_2$	$\text{LiMn}_2\text{O}_4$	$\text{LiFePO}_4$
구조	층상	층상	스피넬	올리빈
이론 용량	274mAh/g	285mAh/g	148mAh/g	170mAh/g
가용 용량	145mAh/g	170mAh/g	120mAh/g	150mAh/g
가용 전압 (Li/Li <sup>+</sup> vs.)	3.7V	3.6V	4.1V	3.4V
장점	· 높은 전기전도도 · 합성이 쉬움	· 높은 용량 · 가격 저렴 · 열적 안정성	· 가격 저렴 · 독성이 없음	· 열적안정성 · 가격 저렴 · 독성이 없음
단점	· 가격 고가, 독성 · 열적 불안정	· 합성이 어려움	· 망간 용출 · 적은 방전 용량	· 낮은 전기전도도 · 낮은 에너지 밀도

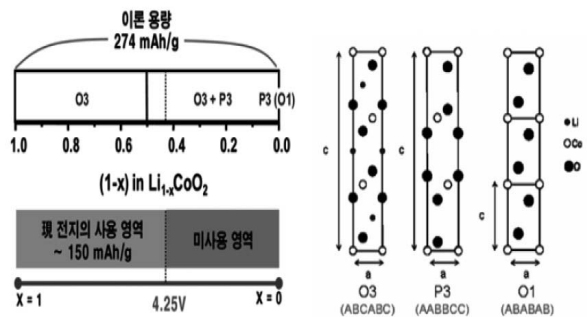


Fig. 2.  $\text{LiCoO}_2$ 에서 리튬의 탈리되었을 때의 상전이와 가용 용량과의 관계.

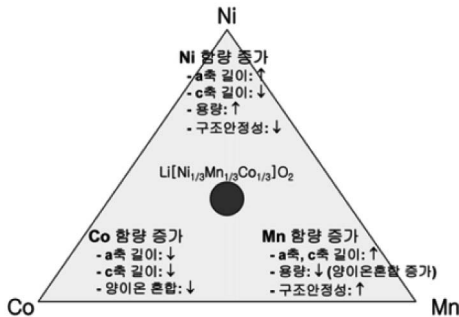


Fig. 3.  $\text{LiNiO}_2$ ,  $\text{LiCoO}_2$ ,  $\text{LiMnO}_2$ 가 혼합된 3성분계 양극활물질의 조성에 따른 특성 변화.

야에의 응용이 기대되고 있다.<sup>4,5)</sup>

코발트가 전혀 들어가지 않은 양극활물질의 하나로 스피넬 구조의  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 가 있다. 망간은 자원이 풍부하여 가격이 저렴하고 친환경적인 원소이기 때문에 망간을 전이 금속속으로 사용되는  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$ 는 가격이 저렴하면서 역시 친환경적이다.<sup>6,8)</sup> 그리고 이 활물질은 리튬이 빠져나가도 구조적으로 안정하여 가용용량은  $120\text{mAh/g}$ 으로 크지 않으나 높은 안전성이 요구되는 PHEV(plug-in hybrid electrical vehicle)용 대용량 전지에 활용이 기대되고 있다. 그러나 이 물질이 가지고 있는 가장 큰 문제는 실온보다 높은 온도에서  $\text{Mn}^{2+}$ 의 용출이 심하게 일어나는 것이다.  $\text{Mn}^{2+}$ 가 전해질에 용출될 때 산소이온이 같이 용해되지 않기 때문에 폭발의 위험성은 적으나  $\text{Mn}^{2+}$ 가 전해액에 녹아  $\text{LiMn}_2\text{O}_4$  활물질의 양이 감소되며, 또한 용출된  $\text{Mn}^{2+}$ 가 음극 표면에 금속으로 석출되어 리튬이온의 이동을 방해하거나 전해액의 환원분해를 유발시켜 전지의 성능을 급격하게 저하시킨다. 고온에서 과충전 되었을 때 용량 감소가 급속하게 일어나는 것은 이러한 촉매반응이 촉진되기 때문이다.

코발트를 사용하지 않는 또 다른 양극활물질의 하나로  $\text{LiFePO}_4$  올리빈계 활물질이 있다. 철은 지구상에서 가장 많은 원소 중의 하나로 가격이 저렴하며 친환경적이다. 이 활물질은 3.4V의 전압을 얻을 수 있으며  $\text{PO}_4^{3-}$  poly anion이 만드는 사면체가  $\text{LiO}_6$ 와  $\text{FeO}_6$  팔면체와 결합되어 있다.  $\text{PO}_4^{3-}$  사면체에서 P-O는 강한 공유결합을 하고 있기 때문에 리튬이 빠져나간 상태에서도 산소가 전해액

으로 용해되지 않아 안전성이 매우 높은 것으로 알려져 있다.  $\text{LiFePO}_4$ 의 가장 큰 문제점은 전기전도도가 매우 낮은 것이다. 이것은 poly anion을 포함하는 재료들의 일반적인 특징으로, 빠른 속도로 충방전할 때 분극이 크게 일어나 용량이 급격히 낮아지게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 활물질의 입자 크기를 수 백 nm로 작게 하거나, 전도성이 높은 초미립 탄소를 코팅하거나 전이금속을 치환하는 방법 등이 연구되고 있다.<sup>9,12)</sup>

### 2.2.2. 음극

LIB가 개발되기 전에는 리튬 금속을 음극으로 사용한 리튬이차전지가 개발되었었다. 리튬 금속의 부피당 이론 용량은  $2062\text{mAh/cc}$ 로 매우 높아, 부피당 이론용량이  $855\text{mAh/cc}$ 인 탄소를 음극활물질로 사용하는 LIB보다 고용량의 전지를 만들 수 있는 장점이 있다. 그러나 리튬이차전지는 충방전을 할 때마다 새로운 리튬 금속이 음극 표면에 불균일하게 석출하여 수지상(dendrite)을 형성하고, 새로이 석출된 리튬은 전해질을 또다시 분해시키고 불균일한 표면피막을 형성하기 때문에 사이클 특성이 급격히 감소할 뿐만 아니라 성장한 수지상이 분리막을 뚫고 내부 단락을 일으키는 등의 문제가 발생하기 때문에 거의 사용되지 않고 있다.

리튬 금속이 가지는 문제점은 흑연이 리튬 이온을 반복적으로 삽입/탈리할 수 있다는 것을 알아내면서 해결되었다. 특히 리튬이 삽입된 탄소는 리튬 금속과 거의 같은 전기화학 반응 전위를 가지기 때문에 전지 전압 손실이 거의 없으며, 또한 탄소는 리튬이 삽입/탈리할 때 부피변화가 작기 때문에 여러 번 충방전을 반복하여도 결정구조의 변화가 적어 사이클 수명이 우수한 전지를 만들 수 있게 하였다.

흑연의 종류는 다양하여, 천연에도 존재하지만 인공적으로도 제조할 수 있다. 열분해탄소를  $3000^\circ\text{C}$  이상에서 열처리하면 결정화된 흑연을 만들 수 있다. 인공흑연 외에도 카본블랙, 활성탄, 탄소섬유, 코오크스, 유기전구체를 불활성 분위기에서 열처리하여 합성한 다양한 종류의 탄소재료가 있다. 열처리온도가 낮아 흑연화가 일어나지 않은 탄소재료는 비정질이다. 그런데 XRD 상에서는 같은 비

정질로 보이지만 고온열처리에 의해서 흑연화되는 것과 되지 않는 탄소가 있다. 흑연화되는 탄소는 무르기 때문에 soft carbon, 흑연화되지 않는 탄소는 단단하기 때문에 hard carbon 이라 부른다. Fig. 4는 soft carbon과 hard carbon의 구조를 모식적으로 표시한 것이다. Soft carbon은 결정립이 거의 한 방향으로 정렬되어있기 때문에 열처리할 때 탄소가 짧은 거리를 확산하여도 흑연화될 수 있다. 반면 hard carbon은 결정립이 무질서하기 때문에 흑연화가 일어나지 않는다.

탄소재료는 출발원료나 열처리 조건 등에 따라서 특성이 크게 다른데, 이차전지에서의 음극특성은 탄소의 결정성, 배향성, 형상 등의 구조인자에 의해서 크게 좌우되는 것으로 알려져 있다. Fig. 5는 soft carbon과 hard carbon의 가용용량이 열처리온도에 따라서 어떻게 변화하는가를 나타내고 있다. Soft carbon은 1000°C 이하에서 열처리할 경우 매우 높은 용량을 나타내며, 1600-1800°C 부근에서 최소값을 보이다가 2500°C 이상에서 열처리하면 흑

연의 이론용량인 372mAh/g에 가까워진다. 한편 hard carbon은 1000°C 이하에서 열처리한 경우는 600mAh/g 정도의 높은 용량을 보이나 열처리 온도가 높아질수록 용량이 감소하며, 2000°C 이상에서 열처리하면 흡착할 수 있는 자리와 미세공극이 감소하여 흑연화가 진행된 soft carbon보다 용량이 낮아지는 것을 알 수 있다.<sup>13)</sup> 탄소의 성질이 다양하기 때문에 아직도 탄소재료를 개선하기 위한 연구가 수행되고 있으며, 음극재로 사용되는 탄소소재는 아직도 많은 부분을 수입에 의존하고 있다.

Fig. 6에 대표적인 양극활물질과 음극활물질의 단위무게당 용량과 이들의 Li/Li<sup>+</sup> 대비 전극전위를 표시하였다. 이 그림에서 양극활물질과 음극활물질을 조합하였을 때 전지의 구동전위를 예측할 수 있으며, 또한 전지를 조립할 때 양극활물질과 음극활물질의 단위면적당 무게비를 어느 정도로 해야 하는지를 예측할 수 있다. 예로, 양극활물질로 망간 스피넬(Li<sub>1-x</sub>Mn<sub>2-y</sub>M<sub>y</sub>O<sub>4</sub>)을, 음극활물질로 흑연을 사용할 경우, 스피넬의 Li/Li<sup>+</sup> 대비 전위는 4.2V이고 흑연의 전위는 0.1V라 하면, 전지의 전위는 4.1V가 됨을 알 수 있다. 또한 단위무게당 용량을 스피넬이 120mAh/g이고 흑연이 370mAh/g이라 하면, 음극과 양극의 무게비를 1.1:1의 비율로 할 경우의 각 전극에 들어가야 하는 활물질의 무게를 계산할 수 있다. 또한 이론용량이 3000mAh/g 이상인 음극활물질로는 리튬이나 실리콘 금속이 있다. 그

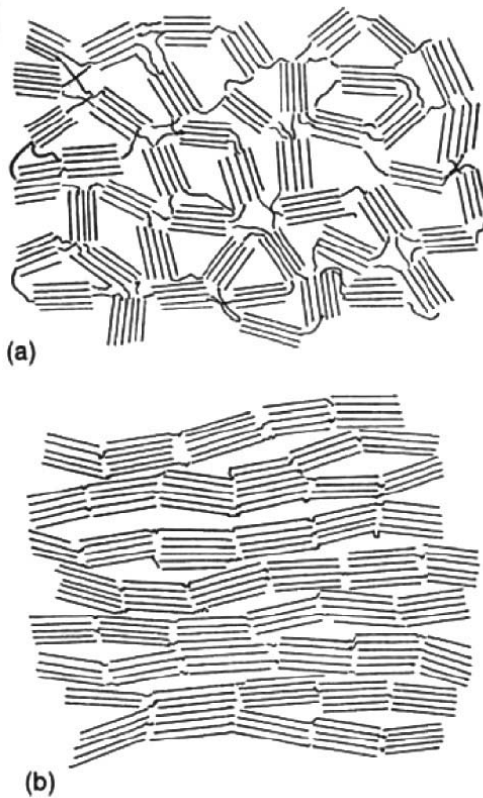


Fig. 4. Soft carbon(a)과 hard carbon(b)의 구조 모델.

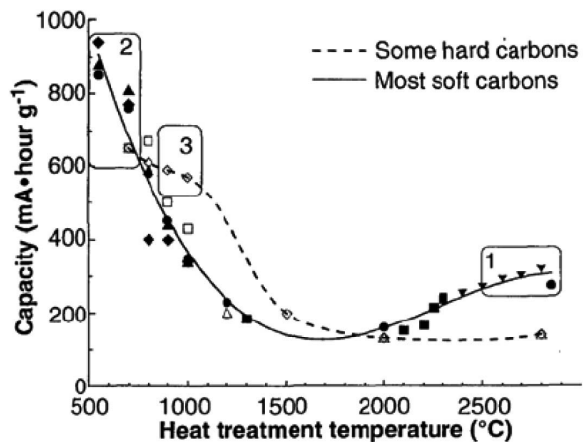


Fig. 5. Soft carbon과 hard carbon의 열처리온도에 따른 가역용량의 변화.

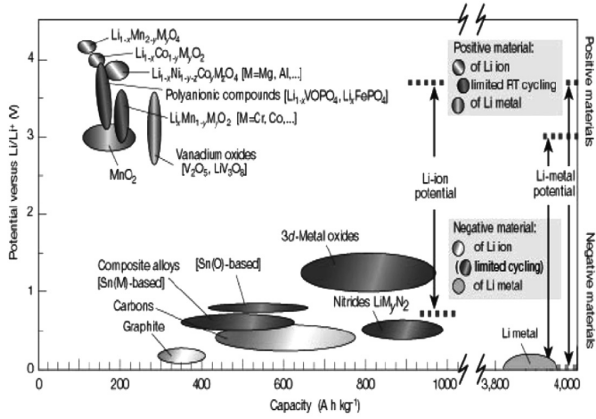


Fig. 6. 대표적인 양극활물질과 음극활물질의 용량과 전위.

러나 이들 금속 음극활물질은 리튬이 삽입되었을 때 부피 팽창이 수백 % 일어나기 때문에 그대로 사용할 수 없다. 현재 이들을 합금화 하거나 탄소와의 복합체를 만들거나 나노화하여 부피팽창에 의한 음극의 붕괴를 억제하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

### 2.2.3. 전해질

전해질은 리튬이온이 두 개의 전극을 왕복하는 통로로, 리튬염과 용매로 되어 있다. 앞의 식에서 표시했듯이 전극 반응은 리튬이온과 전자가 항상 동시에 움직인다. 그러므로 전극재료와 전해질재료의 계면에서 전극 내의 전자와 리튬이온이 만나거나 헤어져야 반응이 일어난다. 전자의 이동은 물리적 현상으로 반응 없이 매우 빠르게 일어남으로 대부분의 경우 전극반응의 속도를 결정하는 것은 리튬이온의 이동속도이다. 전해질은 리튬이온의 이동뿐만 아니라 전지의 수명과 안전성에도 매우 중요한 역할을 하고 있으며, 높은 이온전도성, 전기화학적 안정성, 화학적 안정성, 열적 안정성, 환경친화성 등의 특성이 요구된다. 현재 대부분의 리튬이온이차전지에서는 LiPF<sub>6</sub>를 리튬염으로 사용하고 용매로는 리튬염의 용해도와 온도에 따른 전해액의 점도 및 안전성을 고려하여 EC (ethyl carbonate), DMC (dimethyl carbonate), DEC(diethyl carbonate), EMC(ethylmethyl carbonate) 등을 특정 비율로 혼합하여 사용하고 있다.

### 2.2.4. 분리막

리튬이온이차전지용 분리막은 양극과 음극이 접촉하여 전자가 직접 전달되는 단락 현상이 일어나는 것을 방지하고 리튬이온은 원활하게 이동할 수 있게 하는 역할을 한다. 또한 분리막은 전지의 단락에 의한 이상전류, 급격한 내압 및 온도 상승, 발화 등을 방지하는 역할이 추가적으로 요구되고 있다. 현재 두께 25 $\mu$ m 내외의 미세 기공을 가진 다공성 PE (poly ethylene)과 PC (poly carbonate)계 수지가 주로 사용되고 있다.

### 2.3. 리튬이온이차전지의 전망

노트북용 이차전지팩의 폭발로 인하여 소니에너지디바이스는 2006년 전세계적으로 960만개의 노트북용 전지팩을 회수했고, 동년 산요지에스에너지는 일본내에서 130만개 전지팩을 회수하는 소동이 있었다. 이러한 폭발의 원인은 전지 내부에서의 내부단락으로, 제조공정상에 문제가 있었던 것으로 알려져 있다. 리튬이온이차전지는 이상적으로는 폭발 위험이 없다. 그러나 매년 생산되어 나오는 수 억개의 제품 모두가 이상적이지는 않으며, 따라서 모든 제품이 완벽하게 안전성이 확보되었다고 할 수는 없다. 휴대용 기기에 사용되는 소형 전지인 경우는 폭발의 위험이 적고 앞으로도 당분간 LIB를 대체할 전지가 나오지 않을 것으로 생각되기 때문에 그 수요는 지속적으로 늘어날 것이다.

2008년도 전세계 이차전지 시장규모는 22-25조원 정도로 그중에서 리튬이온전지는 7-8조원 정도였고, 그보다 거의 2배인 13-14조원이 납축전지 시장이었다. Table 1에서 보듯이 LIB는 가격적인 면 외에는 모든 면에서 납축전지보다 우수하다. 따라서 LIB의 가격을 조금 낮추고 안전성을 조금만 더 확보하면 LIB의 시장은 현재의 2배 이상으로 증가할 것이다. 그러나 LIB의 수요가 획기적으로 늘어나는 시점은, HEV, EV와 같은 운송분야, 풍력발전이나 태양광발전과 같은 발전 시스템용 전력저장, 전력공급의 피크타임 조정하기 위한 전력저장용으로 LIB가 사용될 때이다. 이를 위해서 요구되는 것은 안전성, 오랜 수명 그리고 낮은 가격이다. LIB의 안전성, 수명, 가격에 관련된 연구개발 성과는 직접적으로 LIB 시장의 확대에 이어질

것이며, 그 시장규모는 현재의 수배로 성장할 것이다.

### 3. 결론

이차전지의 세계시장 규모는 08년 20조원을 넘었으며, 앞으로 HEV, EV가 상용화되고 전력저장 용도의 이차전지 수요가 늘어나면 시장규모는 급속하게 늘어날 것이다. 이렇게 확대되어질 이차전지 산업에서 차세대 전지개발에서 세라믹스 소재와 세라믹 공정은 대단히 큰 비중을 차지한다. LIB의 경우 양극활물질은 리튬과 전이금속의 복합산화물이고, 음극활물질은 흑연, 실리콘 또는 이들의 복합체로 세라믹 재료이며, 양극과 음극을 만드는 공정은 tape casting이다. 전지의 특성은 활물질에 의해서 대부분 결정되기 때문에 새로운 활물질을 개발하는 것이 차세대 전지 개발의 전부라고 해도 과언이 아닐 것이다. 또한 안전성면에서 크게 요구되는 폭발 위험성이 전혀 없는 LIB를 만들려면 액체 전해질을 대체할 수 있는 고체 전해질을 개발해야 한다. 이 외에도 현재 실용화된 대용량 전지인 Na-S 전지의 핵심 부품은 나트륨이온전도성이 높은  $\beta$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 튜브로, 이 또한 세라믹공정을 이용하여 두께가 얇으면서 직경이 70mm인 대형 U자관을 만드는 것이 전지 개발의 핵심이라 할 수 있다. 그러나 이런 전지를 평가하고 설계하기 위해서는 재료나 공정기술만 가지고는 부족하다. 세라미스트가 전기산업, 에너지산업의 주역이 되기 위해서는 재료나 소재 개발에 관한 기초연구뿐만 아니라 계면화학, 전기화학, 전산모사 등에도 많은 관심을 가지고 연구를 수행해야 할 것이다.

### 참고문헌

1. D. Linden and T.B. Reddy, Handbook of Batteries; 3ed Ed., McGraw-Hill, New York, 2002.
2. T. Nohma, H. Kurokawa, M. Uehara M. Takahashi, K. Nishio, and T. Saito, "Electrochemical Characteristics of LiNiO<sub>2</sub> and LiCoO<sub>2</sub> as a Positive Material for Lithium Secondary Batteries," *J. Power Sources*, **54** [2] 522-24 (1995).
3. A.M. Kannan, L. Rabenberg, and Manthiram, "High Capacity Surface-Modified LiCoO<sub>2</sub> Cathodes for Lithium-Ion Batteries," *Electrochem. Solid-State Lett.*,

- 6 [1] A16-A18 (2003).

4. N. Yabuuchi and T. Ohzuku, "Novel Lithium Insertion Material of LiCo<sub>1/3</sub>Ni<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> for Advanced Lithium ion Batteries," *J. Power Sources*, **119-121** [6] 171-74 (2003).
5. Z. Wang, Y. Sun, L. Chen, and Z. Huang, "Electrochemical Characterization of Positive Electrode Material LiNi<sub>1/3</sub>Co<sub>1/3</sub>Mn<sub>1/3</sub>O<sub>2</sub> and Compatibility with Electrolyte for Lithium-ion Batteries," *J. Electrochem. Soc.*, **151** [6] A914-A921(2004).
6. M.Y. Saidi, R. Loksbang, E.S. Saidi, H. Shi, and J. Barker, "Rocking-chair Batteries Based on LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> and V<sub>6</sub>O<sub>13</sub>," *J. Power Sources*, **68** [2] 726-29 (1997).
7. Z. Liu, A. Yu, and J.Y. Lee, "Cycle Life Improvement of LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Cathode in Rechargeable Lithium Batteries," *J. Power Sources*, **74** [2] 228-33 (1998).
8. H. Abiko, M. Hibino and T. Kudo, "Temperature hysteresis in Charge-discharge Process of LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> Spinel," *J. Power Sources*, **124** 526-32 (2003).
9. P.S. Herle, B. Ellis, N. Coombs, and L.F. Nazar, "Nano-network Electronic Conduction in Iron and Nickel Olivine Phosphates," *Nat. Mater.*, **3** [3] 147-52 (2004).
10. H.C. Shin, W.I. Cho, and H. Jang, "Electrochemical Properties of the Carbon-coated LiFePO<sub>4</sub> as a Cathode Material for Lithium-ion Secondary Batteries," *J. Power Sources*, **159** 1383-88 (2006).
11. H. C. Shin, S.B. Park, H. Jang, K. Y. Chung, W. I. Cho, C. S. Kim, and B. W. Cho, "Rate Performance and Structural Change of Cr-doped LiFePO<sub>4</sub>/C During Cycling," *Electrochim. Acta*, **53** 7946-51 (2008).
12. K.S. Park, J.T. Son, H.T. Chung, S.J. Kim, C.H. Lee, K.T. Kang, and H.G. Kim, "Surface Modification by Silver Coating for Improving Electrochemical Properties of LiFePO<sub>4</sub>," *Solid State Comm.*, **129** [5] 311-14 (2004).
13. J.R. Dahn, T. Zheng, Y. Liu, and J.S. Xue, "Mechanisms for Lithium Insertion in Carbonaceous Materials," *Science*, **270** [10] 590-93 (1995).

### ●● 김창삼



- 1984 한양대학교 무기재료공학과(학사)
- 1986 한양대학교 무기재료공학과(석사)
- 1992 동경공업대학 總理工學研術科(박사)
- 1992-1994 RIKEN Co. 선임연구원
- 1994-현재 한국과학기술연구원 책임연구원