

리튬 이온 전지의 성능과 안전성의 이해와 평가

이호준(LG화학기술연구원)

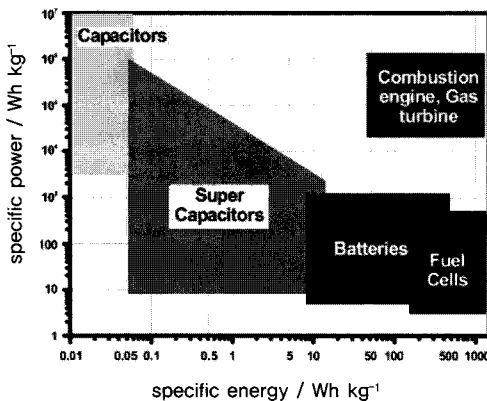
I. 리튬 이온 전지의 개요

1. 왜 리튬 이온 전지인가?

에너지와 출력 특성면에서 전지는 캐패시터나 연료전지의 중간정도에 위치한다 (그림 1). Capacitor는 출력특성은 우수하지만 전지에 비해 현저히 낮은 에너지 밀도는 극복할 수 없는 문제점이다. 휴대용 연료전지 또한 몇가지 커다란 기술적 난제에 막혀 개발 일정이 기약없이 지연되고 있는 실정이다. 이러한 상황에서 배터

리의 출력특성이나 에너지 밀도를 capacitor나 연료전지 수준으로 끌어올리는 것이 가장 현실적인 접근 방식이라는데 대해 이론을 제기하는 사람은 많지 않은 것으로 보인다.

표 1은 Lead-acid, Ni-MH, 및 리튬 이온 전지의 특징들을 비교한 자료이다. 에너지밀도, 수명, 및 온도특성에서 리튬 이온 전지는 타 전지에 비해 월등한 우위를 보인다. 반면, 리튬 이온 전지의 상대적으로 취약한 안전성과 높은 Wh당 가격의 문제는 앞으로 많은 개선이 필요한 부분이라 하겠다. 특히, 최근의 빈번한 안전사고로 인해 리튬 이온 전지의 안전성 이슈는 사용자와 제조자 모두에게 있어 어느 때 보다 중요한 문제로 인식되고 있다.



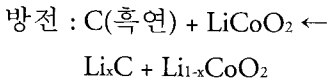
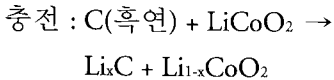
〈그림 1〉 각 에너지 저장 혹은 변환 매체들의 에너지 밀도와 출력 특성)

〈표 1〉 납축전지, 니켈수소 및 리튬 이온 전지의 특징 비교

	납축전지	니켈수소전지	리튬 이온 전지
에너지밀도	Low	High	Very High
출력	High	Very High	High
수명	Middle	High	Very High
온도특성	Low	Middle	High
안전성	High	Middle	Low
Wh당 가격 (\$)	0.13	0.45	0.75

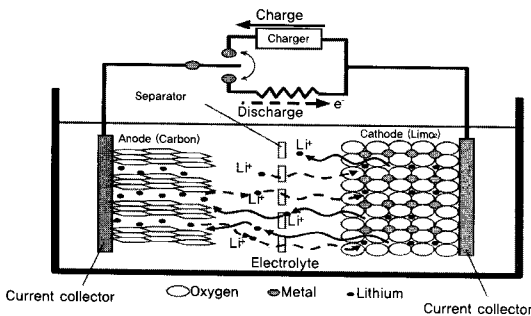
2. 리튬 이온 전지의 원리

그림 2는 리튬 이온 전지의 충전 및 방전 과정의 작동원리를 나타낸다. 충방전 반응을 현재 상용 전지에 가장 널리 사용되는 LiCoO_2 양극과 흑연계 음극을 예를 들어 나타내면 아래와 같다.

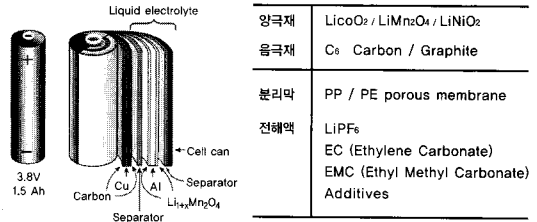


즉, 전류의 흐름에 따라 리튬 이온이 양극과 음극사이를 이동하면서 충전과 방전이 일어나게 된다. 이때, 리튬 이온과 양극 및 음극 물질의 반응의 본질은 주로 리튬이온의 활물질 격자구조내부로의 탈 / 삽입(intercalation/de-intercalation) 혹은 리튬이온과 활물질의 합금화 반응이다. 이는 이온이 전극표면에 흡착되는 capacitor에 비해 전지가 고에너지 밀도를 나타낼 수 있는 근본적인 이유이다.

전지는 양극(cathode, +극), 음극(anode, -극), 전해액, 분리막의 4대 주요 구성 요소와 집전



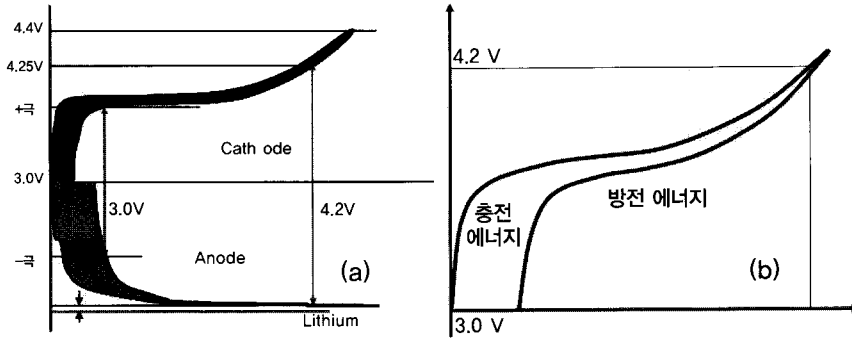
〈그림 2〉 리튬 이온 전지의 작동 원리



〈그림 3〉 리튬 이온 전지의 구조과 구성요소

체, 외장재, 그리고 보호회로 등의 기타 구성요소로 이루어져있다. 그림 3은 원통형 전지의 단면 구조를 나타낸다. 양극과 음극이 전기 절연체인 분리막을 사이에 두고 권취된 구조체(jelly roll, J/R)가 원통형 캔에 삽입되어 있고, 여기에 전해액이 고루 함침된 형태이다. 전지의 에너지 밀도는 사용되는 양극과 음극의 종류는 물론, 한정된 내부공간을 얼마나 효율적으로 사용하는냐에 따라 결정된다.

그림 4는 리튬 이온 전지를 일정한 전류로 충방전할 때, 용량(전하량=전류*시간)에 대한 양극과 음극의 전압 변화를 나타낸다. 양극은 대략 3-4.4V (Li/Li^+ 전위 대비), 음극은 3-0V 범위에서 작동하며 따라서 통상적으로 리튬 이온 전지의 작동 전압은 3-4.2V가 된다. 충전시, 양극의 전압은 상승하고 음극의 전압은 감소하여, 전지의 전압은 증가한다. 방전시의 전압 변화는 충전과정의 그것과 반대로 진행된다. 그림 4b에서 충전 및 방전 곡선 아래의 면적은 각각 충전 및 방전 에너지에 해당한다. 실제 전지에 저장되는 에너지는 항상 충전에너지 이하이며, 방전에너지 역시 실제 전지에 저장된 에너지 이하이다. 이러한 에너지 손실은 대부분 열에너지로 발산되며, 충방전 속도에 비례하여 증가한다. 이는 충방전 반응을 일



(그림 4) 리튬 이온 전지의 정전류 충방전 cycle 과정동안의 양극과 음극 및 (a) 및 전지 (b)의 전압 거동^[2]

정 속도로 이상으로 진행시키기 위해 평형전압 이상의 과전압(overpotential)이 필요하기 때문이다. 리튬 이온 전지의 에너지 밀도를 표시함에 있어서 방전용량(Ah)을 사용하는 것이 일반적인데, 이는 리튬 이온 전지의 방전 거동이 서로 유사하다는 가정 하에서 굳어진 관습이다. 따라서 상이한 양극 및 음극 물질을 사용하는 리튬 이온 전지들을 단순히 방전용량으로 비교하는 것은 무리가 있을 수 있음을 유념해야 한다.

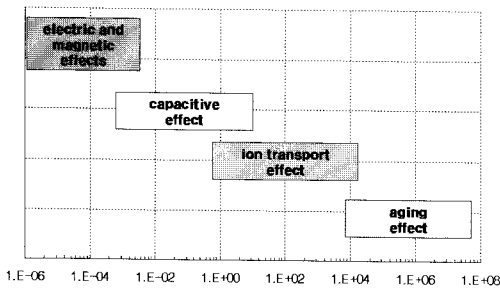
II. 리튬 이온 전지의 성능

1. 리튬 이온 전지의 성능의 이해와 평가

전지에서 발생하는 특정 현상들의 time scale 을 그림 5에 도시하였다. 전자적 효과 중에서 전기적 효과는 전해액과 집전체등의 ohmic 내부저항에 해당한다. 전극의 권취형 구조에 기인하는 inductance 성분은 가장 대표적인 자기적 효과이나 소형전지에서 그 영향은 미미하다. Capacitive 효과는 전극표면에 존재하는 부동태막(passive film)에 의한 capacitance와 이

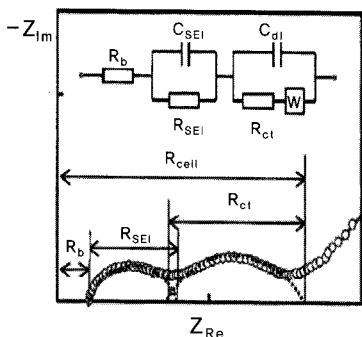
온의 전극 표면흡착에 기인하는 electric double layer capacitance로 구분해 볼 수 있다. 앞서 언급한 것처럼 리튬 이온 전지의 주된 반응은 리튬이온의 탈/삽입 반응이지만, 활물질의 넓은 비표면적으로 인해 electric double layer capacitor에 의한 용량은 전체 용량의 약 1-5%에 달한다. electric double layer capacitance의 효과는 충방전 초기 이온 이동효과에 앞서 발현되며, 특히 짧은 시간동안 순간적으로 큰 전류가 흐르는 펄스 충방전이나 내부단락 시에 주요한 역할을 한다. 전지내 이온이동은 diffusion과 migration에 기인하며 일반적으로 diffusion에 의한 이온이동이 전지의 충방전 특성에 중대한 영향을 미친다. Aging 효과는 전지의 충방전 cycle 및 고온 보존에 따른 비가역적인 화학 혹은 물리적 열화반응을 의미하며, 통상 용량 감소, 출력 감소, 전지 내압증가/부피 팽창 등의 현상으로 발현된다. 이온이동과 열화현상은 추후 상술하겠다.

Electrochemical impedance spectroscopy(이하 EIS)는 평형상태의 전지에 작은 교류전압 (10 mV이하)을 인가하여 임피던스를 측정하는 분석 방법으로서 전지의 small signal analysis technique 이라 할 수 있으며, 충방전 테스트와 더불어

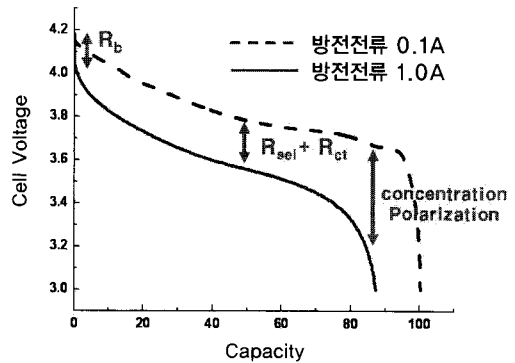


〈그림 5〉 리튬 이온 전지에서 발생하는 각 효과들의 고유 time scale²⁾

보편적으로 사용되는 전지 성능분석법이다. 교류전압의 주파수 영역은 대략 100kHz-0.1mHz 정도이다. EIS 측정을 통해 얻어진 data를 일정 등가회로에 fitting하여 각 인자값을 얻게 된다. 그림 6은 대표적인 등가회로와 임피던스 스펙트럼을 도시한다. R_b 는 ohmic 저항, R_{SEI}/C_{SEI} 는 표면 부동태층, $R_{ct}/C_{dl}/W$ 는 이온 이동과 관련된 인자인데 특히, 이온 이동과 관련된 인자들을 전지의 성능과 열화정도를 가늠할 수 있다. 그러나 small signal analysis 분석법인 EIS는 평형상태 이면서 선형성이 유지되는 영역에서만 유효하다는 제약이 따른다.



〈그림 6〉 리튬 이온 전지의 등가회로(상)와 특징적 EIS 스펙트럼

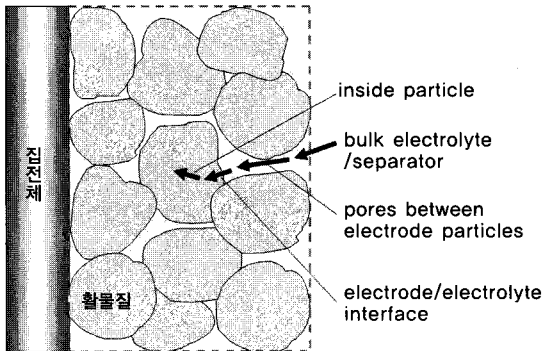


〈그림 7〉 전지의 방전 과정과 각 인자사이의 연관성

그림 7은 전지의 방전 과정과 각 인자사이의 연관성을 나타낸다. 방전초기 R_b 에 의한 IR 강하가 발생하고, 이어서 부동태층과 이온이동 저항에 의한 추가적인 overpotential이 발생한다. 방전말기에는 이온 확산 속도의 한계에 도달하여 이온 농도가 고갈되거나 축적되어 발생하는 농도분극 현상이 나타난다. 농도분극은 방전(혹은 충전)이 진행되는 과정에 발생하는 현상으로서 평형상태에서 측정되는 EIS 측정을 통해서서는 농도분극에 관련된 인자를 얻을 수 없음을 유념해야 한다.

전극의 단면에서 이온이동 모식도를 그림 8에 나타내었다. 이온 이동은 이동 매질에 따라 bulk 전해액, 활물질 기공내 존재하는 전해액, 전해액/전극활물질 계면, 그리고 활물질 내부 고체상에서의 이동으로 구분할 수 있다. 이중 활물질 기공내 존재하는 전해액에서의 이온의 확산이 충전과정의 중반 이후에 발생하는 농도분극과 관련이 있으며 대부분의 조건하에서 전지 충전과정의 율속단계로 알려져 있다.

현재 수준에서 리튬 이온 전지의 온도별 각 성능 확보상의 기술적 난이도를 표 2에 비교하였다. 용량 특성은 저온으로 갈수록 저하되



〈그림 8〉 전극의 단면에서 이온이동 모식도

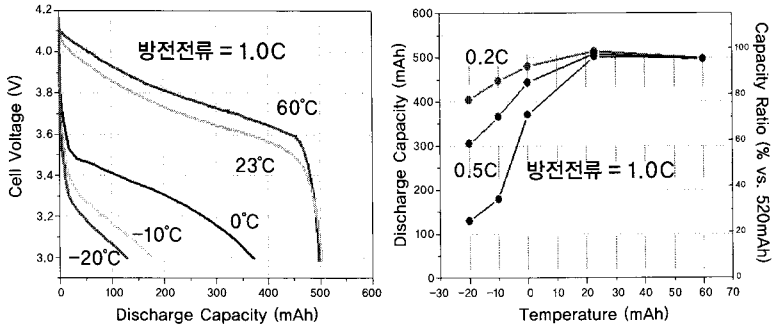
는 경향을 보이는데 온도에 따른 제반 물리화학적 반응들의 kinetics 감소에 따른 결과라 하겠다. 전지의 cycle 수명 확보 역시 온도가 내려갈수록 어려워지지만, 저온 cycle life에 대한 업계의 요구수준은 높지 않아 난이도는 상대적으로 낮은 편이다. 통상적으로 cycle 수명 평가는 60°C 이하에서 이루어지는데, 그 이유는 60°C 이상의 고온에서는 전지 성능 열화가 급격히 가속되기 때문이다. Shelf 특성은 통상 보관 기간에 따른 용량 감소나 전지의 내부압력 증가(혹은 외관 변형) 비교 척도로 삼는다. 온도가 증가할수록, 또한 전지의 충전상태(state of charge, SOC)가 높을수록, shelf 특성을 확보하기는 어려워진다.

그림 9는 상용 폴리머 전지의 온도에 따른 방전 곡선과 방전전류에 따른 온도별 방전용량을 비교한 자료이다. 상온과 60°C 특성은 큰 차이를 보이지 않지만 상온과 0°C 이하의 특성은 큰 차이를 보임을 알 수 있다. 최근 들어서는 전극설계나 신규 전해액을 사용하여 저온에서의 열악한 방전 성능을 크게 개선한 사례들이 보고되고 있다.

실제 개발 단계에서 고려되는 전지의 성능별 요구사항과 측정방법을 표 3에 정리하였다. 용량 혹은 출력 특성은 일반적으로 0.2C 용량값 자체와 0.2C 용량대비 1C 혹은 2C 용량 비율을 기준으로 삼는다. 여기서 1C란 전지의 용량을 1시간 동안 모두 방전하는 속도를 말한다. 즉, 상기 표에서 860mAh 용량을 가지는 전지의 1C전류는 860mAh이다. Cycle 수명은 초기용량 대비 300-500회 총방전 cycle을 진행 후 용량의 비율로 나타낸다. 상용전지의 경우 400회 cycle 후 80-90%의 용량유지율을 보인다. 고온 보관 테스트는 60°C 이하에서는 수십 일, 80-90°C에서는 수 시간 내외에서 실시되는데 상용전지의 경우 만충전 상태에서 90°C에서는 약 6시간 보관 후에 통상적으로 90% 이상의 용량을 유지한다. 외관변형의 기준은 전지의 종류(원통형, 각형, 폴리머)와 외장재의

〈표 2〉 리튬 이온 전지의 온도에 따른 성능별 기술적 난이도

	저온 (-20~0°C)	상온 (15~30°C)	고온 1 (30~50°C)	고온 2 (60~90°C)
용량 특성	difficult	medium	easy	NA
Cycle 수명	medium	medium	easy	Very difficult
Shelf 특성	easy	easy	medium	difficult



〈그림 9〉 전극의 단면에서 이온이동 모식도

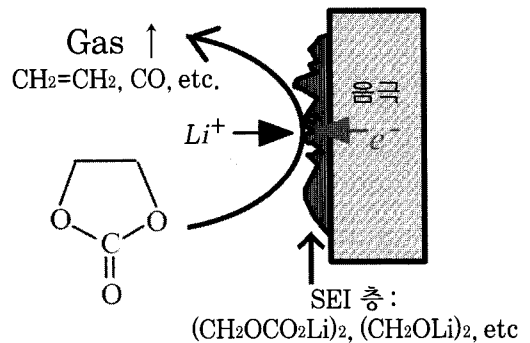
종류(금속캔, pouch)에 따라 상이하다.

전술한 바와 같이 양극의 작동 전위의 범위는 3.4-4.5V, 음극은 0-3V이다. 따라서 전해액은 0-4.5V영역에서 전기화학적으로 반응성이 없어야한다. 그러나 현재 거의 모든 리튬 이온 전지가 사용하는 carbonate계 전해액의 산화전압은 4.5V 이상으로 양극에서의 산화는 큰 문제가 되지 않은 반면, 환원전압은 0V 보다 훨씬 높아 열역학적인 관점에서는 적당한 화합물이 아니다. 그럼에도 불구하고 carbonate계 전해액이 사용될 수 있는 이유는 carbonate계 전해액이 음극에서 환원 시 음극표면에 solid electrolyte interphase (이하 SEI) 층을 형성하고 이것이 더

이상의 환원반응을 막는 동력학적 보호막(kinetic barrier)의 역할을 하기 때문이다. 그림 10은 ethylene carbonate (EC)에 의한 음극에서의 SEI층 형성 과정을 모식화 하였다. SEI층의 두께는 대개 수십 nm 이하로 매우 얇기 때문에 SEI 층의 조성 분석은 많은 어려움이 따른다. 간접적인 방법으로서 EC의 환원 분해 시 ethylene이나 carbon monoxide와 같은 gas가 검출되며 이로부터 SEI층의 조성을 유추해 볼 수 있다. 이상적인 SEI층은 전기적으로는 높은 저항과 리튬 이온에 대한 높은 전도도를 보이는 것이다. 또한 SEI층의 충방전 cycle에 따른 손상이 적

요구 항목	Spec.	측정 방법	
용량 특성	0.2C 용량	≥ 860 mAh	충전조건 : 500mAh / 4.2V / 50mA 1. 방전 (0.1C) 2. 충전 / 방전 (1C) 4회 3. 충전 / 방전 (0.1C)
	평소 용량	≥ 850 mAh	0.2C 용량을 확인한 이후 충전 / 풀스방전 pulse : 1200mA x 초 / 100mA x 초
	-20°C 평소 용량	0.2C, 풀스 용량 대비 ≥ 20%	100% 상태의 cell을 -20°C 에서 풀스 방전으로 방전
상온 cycle 수명	400cyc.에서 0.2C, 풀스 용량 대비 ≥ 80%	충전은 500mAh / 방전은 1C로 진행 매 25회 시 풀스 방전	
	상온-40°C 0.2C 용량 대비 ≥ 90%	50% 충전 / 0% 충전 xx일간 60°C x시간, 30°C x시간 보관 (온도변화시간 1시간)	
Shelf 특성	90°C 용량 유지율	100% 충전 후 90°C 에서 4시간 보관 온도 상승 및 하강 1시간씩	
	보관후 두께 ≤ x.xx mm	90°C 보관 시 cell 두께 측정	

〈표 3〉 리튬 이온 전지의 성능별 요구사항과 측정방법³⁾

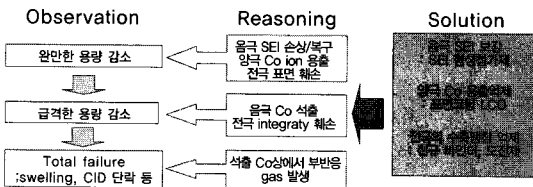


〈그림 10〉 Ethylene carbonate의 전기화학적 환원반응에 의한 음극표면에서의 SEI층 형성⁴⁾

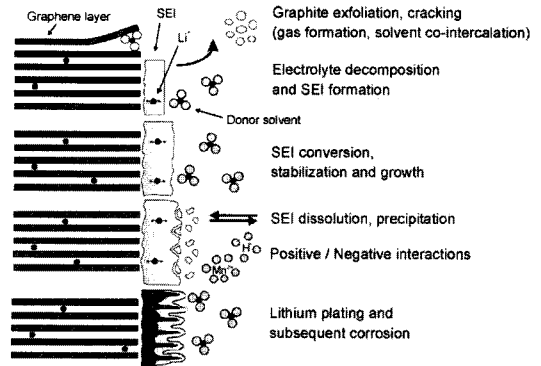
고 열적 안정성이 우수할수록 전지의 성능 열화는 효과적으로 방지 된다. 이와 같이 SEI층은 전지의 성능과 열화 현상에 중요한 영향을 미친다.

2. 리튬 이온 전지의 열화 기작

전지의 성능열화에 관하여는 수많은 연구가 진행되어왔지만, 아직도 성능 열화 기작에 대한 정설은 존재하지 않는 것으로 보인다. 그림 11은 LiCoO₂/graphite 전지의 대략적인 cycle 수명의 열화 기작을 도시하였다. 현상적으로 cycle 특성은 초기 완만한 용량 감소에 이어 급격한 용량 감소가 발생하고, 중국에는 전지의 내부 압력 증가로 인한 swelling, CID(current interrupt device) 단락 등 전지의 total failure가 발생한다. 이러한 열화 현상의 주요원인으로는 음극 SEI층의 손상 및 양극으로부터의 Co이온 용출 등의 전기화학적 요인이 있을 수 있다. 또한 전지는 충방전 시 전체 부피의 수%이내에서 수축/팽창을 반복하게 되는데 장기 cycle에 따라 활물질 입자사이의 접촉이 느슨해지는 등의 전극 집적도(integrity) 훼손과 같은 역학적 요인도 크게 작용한다. 성능 열화를 억제하기 위한 목적으로 음극 SEI층 특성을 조절하거나 양극 활물질의 구조적 안정성을 향상시키는 방향의 다양한 방법들이 연구되고 있다.



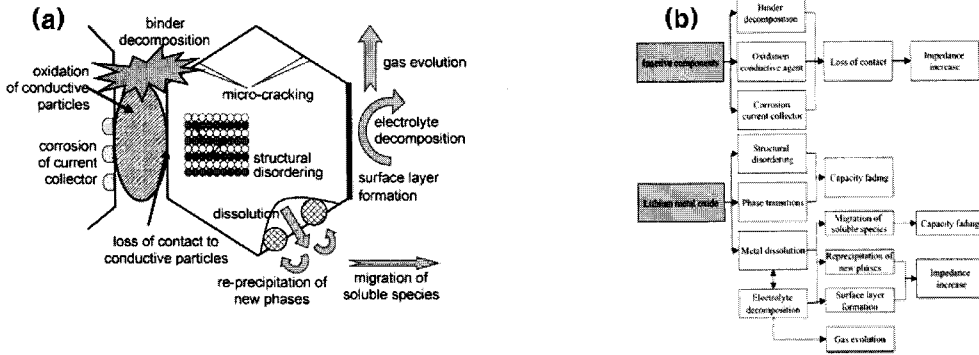
〈그림 11〉 LiCoO₂/graphite 전지의 cycle 수명의 열화 기작



〈그림 12〉 흑연계 음극의 열화 현상과 관련된 각종 반응⁵⁾

흑연계 음극의 열화 현상과 관련된 각종 반응들을 그림 12에 도시하였다. kinetic barrier의 역할을 하는 SEI층이 손상되면 음극과 전해액은 즉각적으로 반응하여 손상된 SEI를 복구하게 되는데, 이 과정에서 용량 감소가 발생하게 된다. 따라서 반복적 SEI층의 손상과 복구의 과정은 필연적으로 전지의 용량감소를 가져오게 된다. SEI층의 안정성은 SEI층의 구성 성분에 따라 달라지고, 이는 다시 전해액과 음극의 종류에 의해 결정된다. SEI층의 열적 안정성에 관하여 ARC(accelerating rate calorimetry)나 DSC(differential scanning calorimetry)와 같은 열분석 방법을 이용하여 많은 연구결과가 축적되어있다.

그림 13은 양극 열화와 관련된 전기화학적 그리고 역학적 반응들을 나타낸다. 전술한 전극 집적도 훼손 등의 역학적 요인에 의한 성능 저하는 활물질의 전기전도도가 낮을 때 더욱 두드러지게 나타난다. 따라서 LiCoO₂/graphite 전지의 경우 전지의 임피던스 증가의 원인은 주로 LiCoO₂양극에 기인한다. 반면 Si음극을 사용하는 전지에서는 Si의 큰 부피팽창에 기



〈그림 13〉 양극 열화와 관련된 각종 반응 (a)과 전기 성능과의 연관성 (b)⁵⁾

인한 전극 집적도 저하 현상이 가장 심각한 문제가 된다.

III. 리튬 이온 전지의 안전성의 이해와 평가

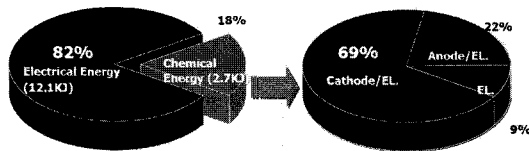
전지의 고에너지화가 진행될수록 전지의 안전성은 위협을 받게 된다. 그림 14에 도시한 것처럼 800mAh급 상용전지에서 저장된 전기 에너지는 전지의 화학반응에 의한 에너지의 4 배에 달하며, 전기에너지는 전지의 에너지 밀도에 비례하여 증가한다. 평상시 양극과 음극에 저장된 전기에너지는 분리막에 의해 분리되어 안전하게 유지되지만, 각종 원인에 의해 양극과 음극사이 단락이 유발되어 저장된 전기에너지가 짧은 시간동안에 방출되게 되면

서 발열/발화 혹은 열폭주(thermal runaway) 현상을 일으키게 된다. 화학반응 에너지는 전기에너지보다는 크기가 작지만 그 자체로 열폭주를 유발할 수도 있고 또는 전지 에너지를 발산시키는 뇌관의 역할을 할 수도 있다. 화학 에너지의 약 70%는 양극과 전해액의 반응에 기인하는 것으로 알려져 있다.⁶⁾

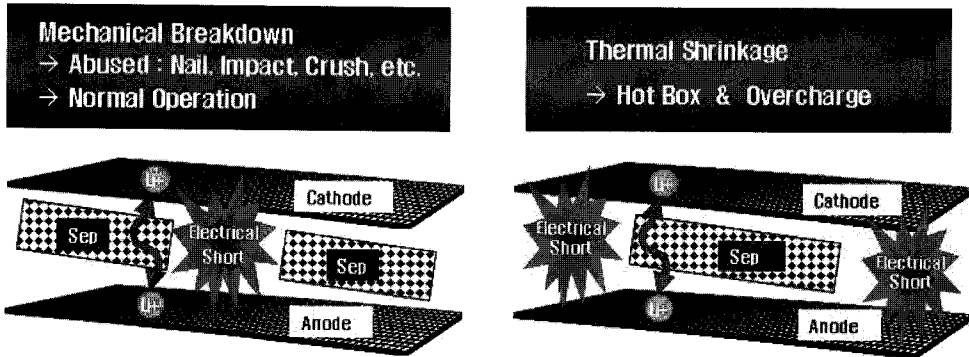
리튬이온 전지의 안전성 평가는 크게 기계적, 열적, 그리고 전기적 유형으로 구분할 수 있다. 표 4는 각 유형에 해당하는 평가법과 실제 사용중에 발생할 수 있는 사례를 나타낸다. 기계적 평가법은 인위적으로 직접적인 단락을 유발하는 방법이라고 할 수 있다. 반면, 열

〈표 4〉 리튬 이온 전지의 유형별 안전성 평가법과 해당 오남용 사례⁶⁾

Damage Type	Safety Tests	Abuse Cases
Mechanical	Nail penetration Crush Impact Drop	The same
Thermal	Hot box Hot Plate	Heat gun Micro-oven etc.
Electrical	Overcharge Overdischarge External short	Non-certified charger External short



〈그림 14〉 충전상태의 리튬 이온 전지(800mAh급)에 저장된 전기에너지와 화학 에너지⁶⁾

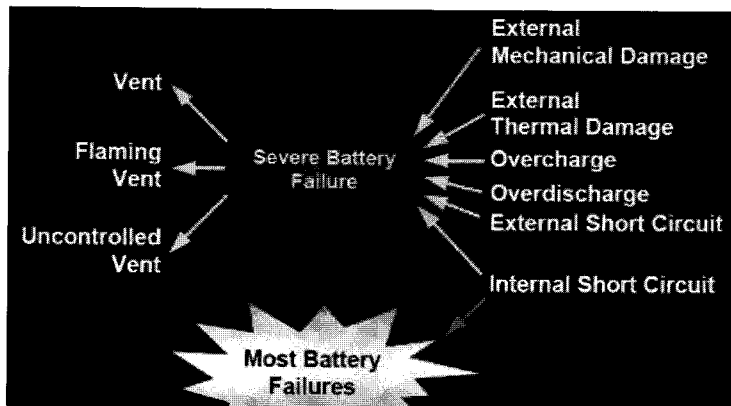


〈그림 15〉 기계적, 열적 요인에 의한 분리막의 파열 및 수축으로 인한 단락 발생의 모식도⁷⁾

적 평가법은 분리막의 열적 손상을 유도하거나 화학 반응을 촉진시키는 방법이라 하겠다. 그림 15는 기계적, 열적 요인에 의한 분리막의 파열 및 수축으로 인한 단락 발생의 모식도를 나타낸다.⁷⁾ 전기적 방법 중 특히 과충전 테스트는 가장 중요한 안전성 평가 항목 중 하나이다. 과충전 시에는 전기에너지 증가와 화학 반응 촉진이 동시에 진행되므로 전지의 안전성이 크게 취약해진다.

상용 전지에는 각종 안전 회로가 구비되어

있고, 다양한 전지 안전성 평가 기준이 마련되어 있음에도 불구하고 전지의 발화사고는 지속적으로 발생하고 있다. 최근 실제 사용중에 발생하는 안전사고는 전지의 설계상의 문제라기보다는 제조/생산과정에서 이물질의 유입이나 전극의 수축/팽창 과정에서 전극의 접힘 현상과 같이 통제 및 예측이 불가능한 원인에 기인하는 것이라는 주장이 힘을 얻고 있다. 전지 안전사고의 대부분은 전지의 원인이 불명확한 내부단락에 기인한다는 보고가 발표



〈그림 16〉 대부분은 전지 안전사고는 불명확하고 통제가 어려운 원인에 기인하는 내부단락에 의해 발생한다.⁸⁾

되기도 하였다. (그림 16).⁸⁾ 이러한 이유로 전지의 안전성을 외부 보호 장치에 의존하거나 안전성 평가기준 통과를 목표로 하는 수준에서 탈피하여 전지자체의 안전성을 확보하고자 하는 방향으로 관련 업계의 많은 노력이 집중되고 있다. 최근 올리빈계 양극재인 LiFePO_4 는 타 양극재에 비해 전해액과의 반응성이 현저히 낮다는 장점 때문에 많은 연구자들의 커다란 관심을 끌고 있다. 또한, 전해액 측면에서도 불연 혹은 난연성을 보이는 전해액에 대한 연구가 오래전부터 진행되어왔다. 그러나 안전성이 강화된 재료들은 기존 재료들에 비해 열악한 성능 때문에 아직 가시적 상업적 성과는 나타나고 있지 못한 실정이다. 이런 상황에서 열수축이 일어나지 않는 새로운 개념의 분리막이나, 전극 표면을 무기 충전재를 코팅하여 단락 전류를 차단하는 등의 방법들이 새로이 주목받고 있다. 이러한 접근 방식은 기존 전지 성능에 대한 영향을 최소화 하며 안전성 향상을 도모할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 추후 리튬 이온 전지 업계의 판도는 누가 획기적인 안전성 확보 방안을 먼저 찾아내냐에 따라 크게 좌우 될 것으로 보인다.

참고문헌

- [1] M. Winter and R.J. Brodd, What Are Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors?, Chem. Rev., 104, 4245-4269, 2004.
- [2] A. Jossen, Fundamentals of battery dynamics, J. Power Sources, 154, 530-538, 2005.
- [3] Battery Tech. Center, LG화학 내부자료, 2005.

[4] 미쯔비시 화학 내부자료.

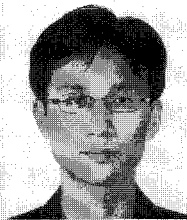
[5] J. Vetter, P. Novak, M.R. Wagner, C. Veit, K.-C. Moller, J.O Bessenhard, M. Winter, M. Wohlfahrt-Mehrens, C. Vogler, and A. Hammouche, J. Power Sources, 147, 269-281, 2005.

[6] 김제영, LG화학 배터리 연구소, 내부자료, 2004.

[7] 이상영, LG화학 배터리 연구소, 내부자료, 2007.

[8] Exponent社, 24th International Battery Seminar, 2007.

저자소개



이 호 춘

1994년 2월 KAIST 화학과 학사
 1996년 2월 KAIST 화학과 석사
 2000년 2월 KAIST 화학과 박사
 2000년 4월-2001년 9월 미국 Brookhaven
 National Laboratory
 Material Science
 Division Post-doc.
 2001년 10월-현재 LG화학 배터리 연구소
 선임연구원

주관심 분야 : 전기화학 디바이스용 신규 소재
 개발 및 해석