

**특집 : 에너지 저장기술**

# 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지의 기술 개발 동향

정 도 양

(LG화학 기술연구원 ME연구소 부장)

## 1. 개요

### 1.1 배경

환경 관련 국제 합의로서 제기된 몬트리올 의정서(1986년)를 시작으로 기후변화협약(1997년) 등 세계 각국은 환경관련 경각심이 고조되기 시작하였다. 이를 계기로 미국의 캘리포니아주에서는 무공해차량(ZEV: Zero Emission Vehicle)의 판매를 의무화하여, 배기가스 규제를 입법화하였다.

환경문제에서 시작한 무공해 차량은 환경적인 필요성과 경제적인 보급성 사이에서 새롭게 제시된 하이브리드 자동차의 대두로 급속한 인식의 전환이 이루어 졌다. 하이브리드 자동차는 주행거리에서의 한계성과 배터리 재충전 문제를 극복하지 못한 전기자동차의 단점을 해결하여 기존 내연자동차의 성능을 확보하면서 환경적인 이점을 보유하게 되어 상용화에 한 발 다가설 수 있게 되었다.

일본 도요다자동차는 1997년부터 Prius HEV를 시장에 처음으로 출시하기 시작하였으며 혼다는 이 보다 2년 뒤쳐진 1999년부터 Insight HEV를 일본과 북미 시장에 시판하기 시작하였다. 하이브리드 자동차 판매량은 시장진입 초기에는 매우 느린 성장세를 나타내었으나 유가 급등의 영향으로 2004년을 기점으로 빠른 성장을 보이고 있다. 하이브리드 자동차의 누적판매량은 2005년말 현재 전 세계적으로 56만대에 이르고 있다.

### 1.2 하이브리드 자동차의 구동 시스템

하이브리드 자동차의 구동시스템을 그림 1에 나타내었다. 그림 1에서 볼 수 있듯이 하이브리드 자동차는 엔진의 동력을 추

로만 구동되는 내연자동차와 달리 배터리와 모터의 동력을 추

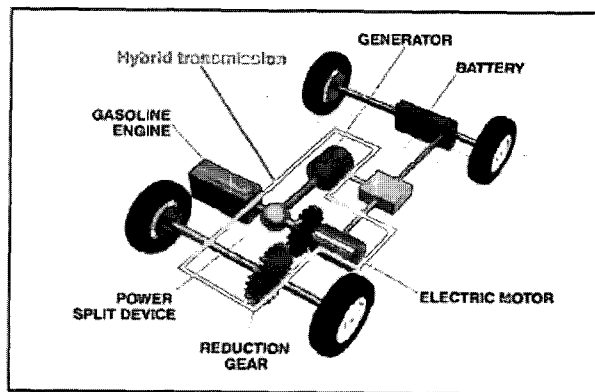


그림 1 하이브리드 자동차의 구동시스템

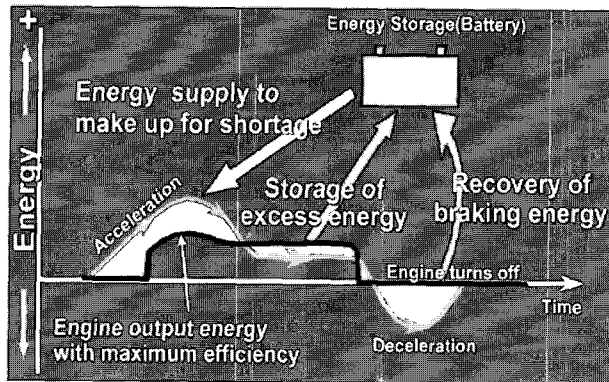


그림 2 하이브리드 자동차의 에너지 흐름

가한 형태의 차량이다. 하이브리드 자동차의 에너지 흐름을 그림 2에 보였다. 차량의 가속시에 에너지는 배터리로부터 모터로 공급되며, 차량의 감속시에 회생된 에너지는 배터리에 저장된다. 따라서 배터리의 성능은 차량의 연비를 결정하는 중요한 역할을 한다.

### 2. 리튬 이온 전지의 원리

리튬 2차 전지(Lithium secondary battery)란 일반적으로 리튬 금속, 리튬 합금 혹은 리튬이온을 흡장한 물질을 사용하는 전지를 지칭한다.

리튬 이온 2차 전지(Lithium-ion secondary battery)는 부극(Anode)으로 탄소물질을 사용하며 정극(Cathode)으로 LiCoO<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>2</sub> 등의 리튬 이온 화합물을 사용한다. 이 전지는 정상적인 상태로 사용할 때에는 어느 충전 상태에서도 리튬금속이 존재하지 않게 된다. 따라서 이 전지는 화학적 안정성이 높아 리튬 금속을 부극으로 사용하는 리튬 2차 전지에 비해 더욱 안전하다.

리튬 이온 2차 전지(이하, 리튬 이온 전지)의 충전전시 전극반응을 식 (1)에 나타내었다. 양쪽 전극은 그림 3에서 볼 수 있듯이 층상구조(Layered structure)를 가지며 충전시 리튬 이온은 정극으로부터 나와 전해질을 통해 이동하여 흑연 부극의 층상 사이에 위치하게 된다. 이 반응으로 인해 전위차(Electrical potential difference)가 발생하게 된다.

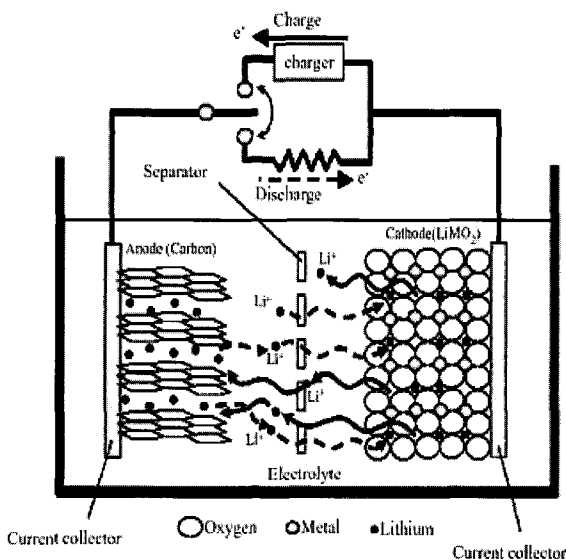
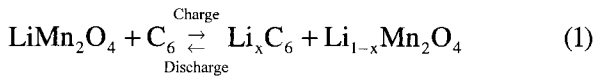


그림 3 리튬 이온 전지의 구조

리튬 이온 전지의 동작전압은 3.0~4.2V로 니켈 카드뮴 전지(Ni-Cd)나 니켈 메탈 하이드라이드 전지(Ni-MH)에 비해 작동전압이 3배 이상 높다. 즉, 리튬 이온 전지 한 셀의 전압은 Ni-MH를 3개 직렬로 연결한 상태의 전압과 같다. 또한, 리튬 전지 활물질의 비중이 Ni-Cd 전지나 Ni-MH 전지에 비해 매우 낮다. 이와 같은 이유로 리튬 이온 전지의 에너지밀도(Energy Density)와 출력밀도(Power Density)는 두 전지에 비해 높은 장점을 가지고 있다.

### 3. HEV에서 리튬 이온 배터리의 경쟁력

#### 3.1 성능

리튬이온 전지의 가장 큰 경쟁력은 에너지밀도와 출력밀도가 높다는 것이다. 이와 같은 이유에서 현재 시판되고 있는 대부분의 휴대폰이나 노트북 PC에 리튬이온 전지가 적용되고 있다.

하이브리드 자동차용으로 사용하기 위해 개발중이거나 이미 상용화된 대표적인 전지의 에너지밀도와 출력밀도를 그림 4에 비교하여 나타내었다. 그림에서 볼 수 있듯이 리튬 이온 전지의 출력밀도는 현재 양산중인 Prius HEV에 적용된 Panasonic Ni-MH에 비해 2배 이상 높으며 에너지밀도도 50% 이상 높다.

리튬 이온 전지는 높은 에너지밀도와 출력밀도 이외에 많은 장점을 가지고 있다. 첫 번째는 자기방전율이 매우 낮으며 장기간 보관 상황에서 과방전이 되더라도 성능의 퇴화가 없다는 것이다. 이는 하이브리드 자동차에서 있을 수 있는 차량의 장기 주차시 차량시동 문제와 제품의 장기 보관시 전지 성능의 퇴화 문제를 방지할 수 있게 한다.

#### 3.2 리튬 이온 배터리의 가격 경쟁력

리튬 이온 전지의 많은 장점에도 불구하고 많은 사람들은

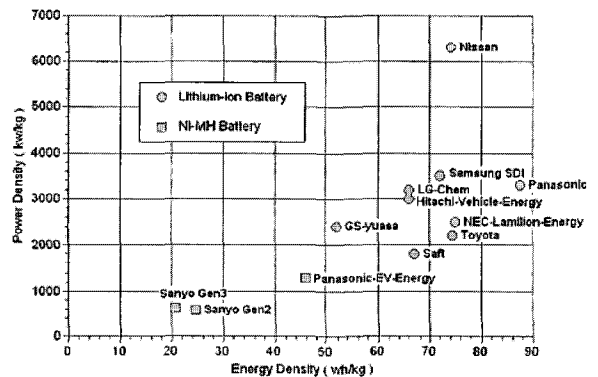


그림 4 HEV용 전지의 성능 비교

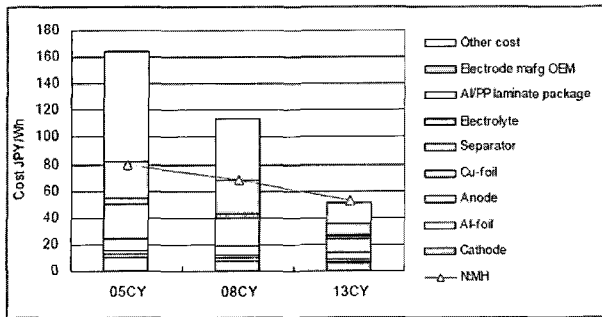


그림 4 리튬 전지의 원재료 비용 전망

표 1 리튬 전지의 가격 전망

	05CY	08CY	13CY
Material cost total for 6Ah cell	1,778	1,484	775
M cost per Price	50%	60%	70%
Price for 6Ah cell	3,555	2,473	1,107
LIB/Laminate JPY/Wh	164.6	114.5	51.2
NiMH JPY/Wh	80.0	68.6	53.1
LIB/Laminate 1.3kWh pack(K yen)	214.0	148.9	66.6
NiMH 1.8kWh pack(K yen)	144.0	123.5	95.5

이 전지의 고가격으로 인해 자동차용으로 상용화 가능 여부에 의구심을 가지고 있다. 그림 4와 표 1에 리튬 이온 전지의 원재료 비용과 가격에 대한 전망을 나타내었다. 이 자료는 일본에서 2006년 발행된 HIEDGE REPORT를 인용하였다.

이 전망에 따르면 2005년 리튬 전지의 Wh당 가격은 164.6엔으로 Ni-MH 전지에 비해 2배가 높지만, 리튬 전지의 생산량 증가에 따라 그 차이는 점차 줄어든다. 리튬전지가 본격적인 양산체제에 들어가는 2013년에는 리튬 전지의 Wh당 가격은 51.2엔으로 Ni-MH 전지의 53.1엔에 비해 오히려 낮아진다.

### 3.3 리튬 이온 전지 적용 전망

리튬 이온 전지의 하이브리드 자동차 적용 전망을 그림5에 나타내었다. 이 자료는 2006년 발행된 HIEDGE REPORT를 인용하였다.

리튬 이온 전지는 2008년부터 Toyota, Honda 및 DCX를 필두로 상용화에 진입할 전망이다. Toyota와 DCX의 경우 2012년에는 자사의 HEV에 리튬전지의 채용이 Ni-MH 전지를 크게 앞지를 전망이다.

### 3.4 HEV 전지 시장 전망

하이브리드 자동차용 전지의 시장 전망을 그림 6에 나타내었다. 이 자료는 2006년 HIEDGE REPORT를 인용하였다.

하이브리드 자동차용 전지 시장은 2005년에 약 55만대에 이르렀으며 Ni-MH 전지가 대부분을 점유하고 있다. 2006년

圖 239 Toyota Hybrid shipment Forecasts in units according to Battery Type ( Estimated by HIEDGE )

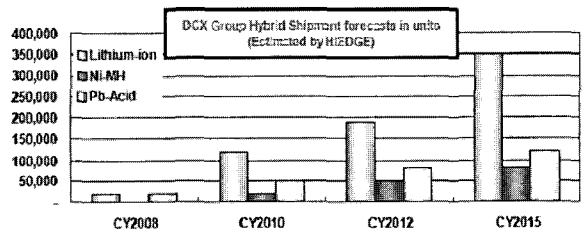
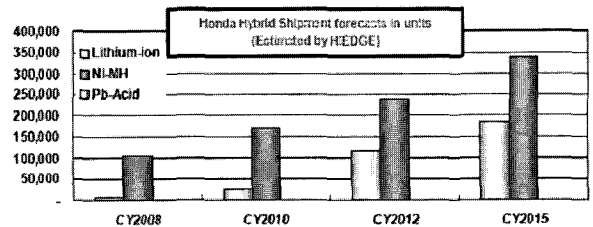
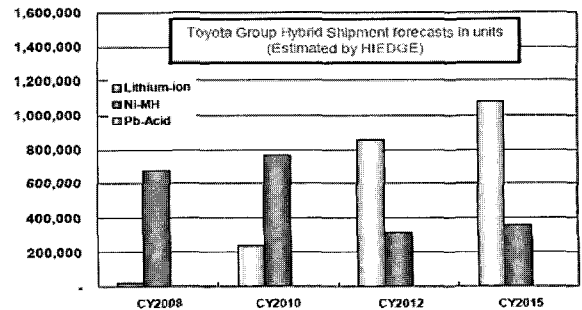


그림 5 리튬 이온 전지의 HEV 탑재 전망

圖 234 Hybrid Battery Forecasts ( Estimated by HIEDGE )

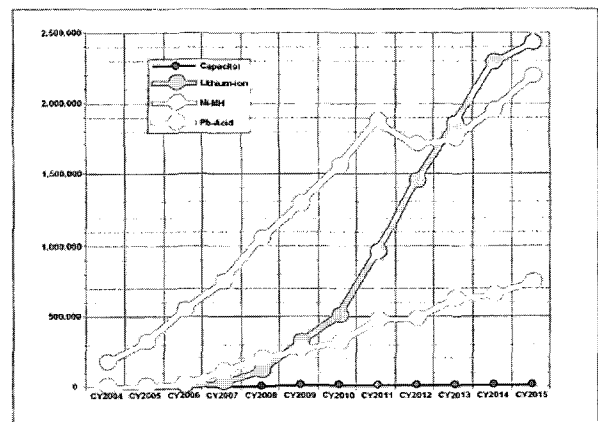


그림 6 HEV 전지의 시장 전망

부터 Pb-Acid 전지가 도래하며 이는 Micro HEV에 Pb-Acid 전지가 적용되는 것을 나타낸다. 2008년부터 리튬 이온 전지가 시장에 진입하게 되며 2010년까지는 점진적인 증가추세를 나타내다 2010년 이후에는 빠른 증가추세를 나타낼 전망이다. 또한, 이 보고서는 2013년 이후에는 하이브리드 자동

차 시장에서 리튬 전지의 시장점유율이 Ni-MH 전지를 앞지를 것으로 전망하고 있다. 2015년에 하이브리드 전지 시장은 약 500만대를 상회할 것으로 전망하고 있으며 그 중 50% 이상이 리튬 전지가 차지할 것으로 예측하고 있다.

#### 4. 국내외 HEV용 리튬 전지 개발동향

##### 4.1 일본

###### 4.1.1 Toyota

Toyota 자동차는 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지를 자사 독자적으로 개발중에 있으며 2008년부터 생산하는 PRIUS III 자동차에 자사에서 개발한 리튬 이온 전지를 탑재하겠다고 발표하였다.

이 전지 셀은 양극 활물질로 NCA를 사용하고 있으며 셀의 용량은 3.8Ah 이다. 전지 셀의 형태는 각형(Prismatic type)이며 셀 케이스의 재질은 알루미늄이다.

###### 4.1.2 Hitachi

하이브리드 자동차용 원통형(Cylindrical type) 리튬 이온 전지를 개발하고 있다. 3.6V-5.5Ah 용량을 가진 전지 셀의 에너지밀도와 출력밀도는 각각 66Wh/kg과 3,000W/kg이다.

또한, 리튬 전지 48셀로 구성된 리튬 배터리 모듈을 개발하였으며 이 모듈의 무게는 22.5kg, 부피는 20L 이다. 170V-5.5Ah 용량의 이 모듈의 에너지밀도와 출력밀도는 각각 41Wh/kg과 1,900W/kg이다.

Hitachi Vehicle Energy는 Battery Control System 개발을 위해 4채널의 Cell Controller용 전용칩을 개발하였다. 이 전용칩의 적용으로 인해 BMS의 크기는 1/10로, 제조비용은 1/8로 크게 줄었다고 2005년 하와이에서 개최된 AABC Conference에서 발표하였다.

###### 4.1.3 MBI

하이브리드 자동차용 각형(Prismatic type) 리튬이온 전지를 개발하고 있으며 양극 활물질로는 NCA를 사용하며 음극 재료는 Amorphous Carbon을 사용한다.

3.6V-7.2Ah 용량을 가진 전지 셀의 에너지밀도와 출력밀도는 각각 92Wh/kg과 3,600W/kg이다.

###### 4.1.4 NEC Lamilion

Laminated type의 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지를 개발하고 있으며 전기자전거용 리튬 이온 전지를 일본에서 처음으로 판매한 저력이 있는 회사이다. NEC Lamilion은 Nissan 자동차와 양산을 위한 공동 개발을 수행하고 있다.

양극 활물질로 Mn-Spinel을 사용하며 음극재료는 Amorphous Carbon을 사용한다. 2Ah 용량을 가진 전지 셀

의 에너지밀도와 출력밀도는 각각 84Wh/kg과 2,940W/kg이다.

이 전지는 전지케이스로 Aluminum Pouch를 사용하여 경량화와 비용 절감을 꾀하였다.

##### 4.2 국내

###### 4.2.1 LG화학

LG화학은 자사가 보유하고 있던 소형 리튬 전지 기술을 바탕으로 2001년에 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지의 개발에 착수하였다. Laminated type의 리튬 이온 전지를 개발하고 있으며 양극 활물질로 Mn-Spinel을 사용하며 음극재료는 Amorphous Carbon을 사용한다.

2003년부터 독자적으로 개발한 배터리 시스템을 수차례에 걸쳐 하이브리드 자동차에 탑재하여 시험평가를 수행하였다. 150V급의 Mild HEV용 배터리 시스템과 300V급의 Hard HEV용 배터리 시스템을 동시에 개발하여 양산화 준비에 박차를 가하고 있다.

또한, LG화학은 2004년부터 미국 USABC에서 지원하는 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지 개발과제를 수행하고 있다.

###### 4.2.2 삼성 SDI

삼성 SDI는 하이브리드 자동차용 각형 리튬 전지를 개발하고 있다. SDI는 2008~2010년 상용화를 목표로 하고 있다.

###### 4.2.3 SK

SK는 하이브리드 자동차용 리튬 이온 배터리를 개발중에 있으며, 2006년 5월 개최된 6차 AABC Conference에서 자사에서 개발한 SK System-V2를 발표하였다. 이 배터리 시스템은 88개의 리튬 전지 셀로 구성되어 있으며, 정격전압은 333V 이다. 그 배터리 시스템은 62Wh/kg의 에너지밀도와 1800W/kg의 출력밀도를 갖는 것으로 발표되었다.

## 7. 맺음말

현재 양산 판매되고 있는 하이브리드 자동차는 모두 Ni-MH 전지를 탑재하고 있다. 리튬 이온 전지를 탑재한 하이브리드 자동차는 2,3년 후에나 일본에서 상용화될 전망이다. 리튬 이온 전지의 고출력 및 고에너지 성능은 하이브리드 자동차의 연비를 한층 더 향상시켜 자동차 시장에서 하이브리드 자동차의 시장 점유율을 증대시키는 견인차 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

우리나라의 하이브리드 자동차 기술 및 부품 기술은 이미 9년 전부터 양산 판매를 시작한 일본에 비해 매우 뒤떨어진 것이 사실이다. 이 기술의 장벽을 극복하기 위해서는 자동차회

사와 부품회사 간의 긴밀한 공조 체제가 무엇 보다 중요하다. 또한, 국가적인 차원에서의 지원은 우리나라가 하이브리드 자동차 분야에서 경쟁력을 갖는데 필수불가결할 것이다. ■

### 〈저 자 소 개〉



#### 정도양

1965년생. 1988년 한양대 재료공학과 졸업. 1990년 동 대학원 졸업(석사). 1993년~1997년 대우자동차 근무. 1998년~2000년 고등기술연구원 근무. 2001년~2002년 (주)네스캡 근무. 2003년 아주대(박사). 2003년~현재 LG화학

기술연구원 ME연구소 부장.