

# 리튬이온 고분자 전지의 재료 및 연구동향

고 장 면

## 1. 서 론

전지는 미래 정보화 산업의 3대 핵심부품으로서 두뇌인 반도체, 눈인 액정표시소자(LCD)와 함께 심장에 비유될 정도로 중요성이 크게 부각되고 있다. 이는 21세기 인류의 생활과 밀접한 미래형 전자기기의 휴대화, 고성능화, 경박단소화를 위해서 에너지원인 전지(battery)의 고성능화가 필수적이기 때문이다. 전지는 보급이 급속히 확산되고 있는 휴대형 통신기기뿐 아니라 전기자동차 전원 및 심야의 잉여전력을 저장하여 부하평준화(load leveling)를 실현하여 에너지 절약을 가능케하는 전력저장용 전지로서도 그 중요성이 크게 인식되어, 선진국에서는 국가적 차원에서 다양한 형태로 전지제조 및 전지관련 주변 산업을 육성하고 있다.<sup>1-3</sup>

현재 대표적인 2차전지의 특징을 표 1에 요약하였다. 전극 및 전해질의 특성에 근거해 분류된 것이며 각각의 독특한 특성을 가지고 있으며 고유한 영역을 확보하면서 발전하고 있다. 다만 LIPB(lithium ion polymer battery)는 미국의 Ultralife사가 노트북 전원으로서 상용화를 발표한 것 이외에 아직 상용화된 예는 없으나 그 응용 가능성이 커 국내외에서 경쟁적으로 연구개발에 참여하고 있다.<sup>3</sup>

전지는 크게 방전과정시 산화반응이 일어나는 음극(anode), 환원반응이 일어나는 양극(cathode) 및 전해질로 구성된다. 전지의 분류에 있어서 일반적으로 전극의 산화/환원 반응의 가역성 여부에 따라 1차 및 2차 전지, 전해질의 상에 따라 고체 및 액체 전지, 외관의 형태에 따라 원통형, 각형, 박형, 코인형 등으로 분류할 수 있다.

리튬금속을 음극, 염을 포함한 액체용매를 전해질로 사용한 리튬 이차전지는 방전과정에서 전해질에 용해된 리튬이온이 충전과정에서 리튬표면에 균일하게 석출되지

표 1. 2차전지의 성능비교

| 특성/종류         | Pb     | Ni-Cd  | Ni-MH  | LIB <sup>a</sup> | LIPB |
|---------------|--------|--------|--------|------------------|------|
| 에너지 밀도(Wh/kg) | 25     | 55     | 70     | 120              | 150  |
| 전압(V)         | 2.0    | 1.2    | 1.2    | 3.6              | 3.8  |
| 수명(회)         | 500    | 1000   | 800    | 1000             | 1000 |
| 자가방전(%/월)     | 6      | 15     | 25     | 5                | 5    |
| 환경문제          | yes    | yes    | yes    | yes              | yes  |
| 안정성           | middle | middle | middle | low              | high |

<sup>a</sup> Lithium ion battery.

못하고 반복되는 충전 과정에 마늘형태로 성장하는 덴드라이트(dendrite) 현상으로 인해서 전지의 장수명과 안전성 확보에 어려움이 있어 왔다.<sup>4</sup> 이러한 단점을 개선하기 위하여 그림 1에 나타낸 바와 같이 리튬금속 대신에 리튬이온을 다량 흡수할 수 있는 결정성 또는 비결정성 탄소를 음극, 리튬이온이 가역적으로 출입이 가능한 리튬금속산화물을 양극으로 구성하고, 여기에 액체 전해질과 분리막을 사용한 것이 리튬이온 전지(lithium ion battery, LIB)이며 이미 휴대전화 등에 널리 사용되고 있다.<sup>5-8</sup> LIB에서 액체 전해질 대신 고체 고분자 전해질이나 유기용매와 염을 고분자에 혼합한 하이브리드(hybrid) 겔상(gel)의 전해질로 구성된 것이 LIPB이며,

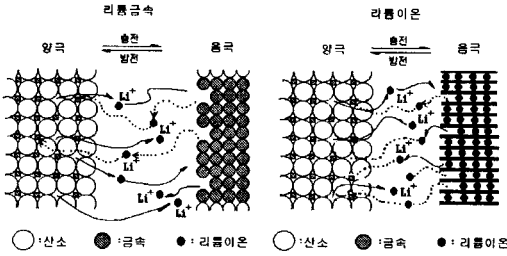


고장면

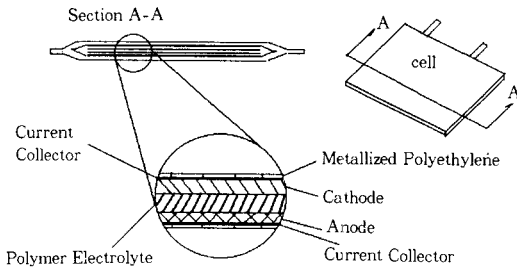
1984 고려대학교 화공과(학사)  
 1989 한국과학기술원 화공과(석사)  
 1995 한국과학기술원 화공과(박사)  
 1987~ 한국과학기술연구원 고분자부  
 1992 연구원  
 95~96 한국타이어 중앙연구소 과장  
 96~97 전력연구원 선임연구원  
 1997~ 대전산업대학교 공업화학과  
 현재 조교수

### Materials and Research Trend on Lithium Ion Polymer Battery

대전산업대학교 공업화학과(Jang Myoun Ko, Department of Industrial Chemistry, Daejeon National University, 305-3, Samsung-2 dong, Dong-gu, Daejeon 300-717, Korea)



**그림 1.** 리튬전지와 리튬이온전지를 비교한 것으로 리튬전지는 리튬금속, 리튬이온 전지는 리튬이온이 삽입될 수 있는 탄소를 음극으로 사용한 것이 특징이다.



**그림 2.** 고분자 전해질의 장점을 활용하여 LPB 형태와 크기를 다양하게 제조할 수 있는 예를 보여주고 있다.

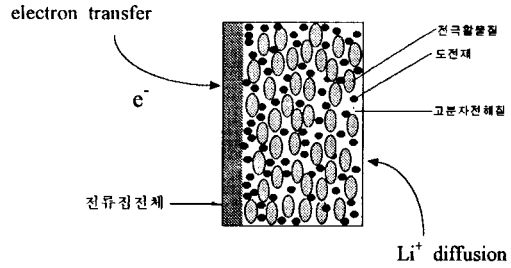
금속리튬을 음극으로 사용한 리튬고분자 전지(lithium polymer battery, LPB)와는 구별된다.

LIB와 LPB의 단점을 보완한 LIPB는 누액이 없고, 고분자 특유의 특성을 이용하여 **그림 2**와 같이 박형 등 전지의 형태를 다양하게 제조할 수 있고, 기술의 개선에 따라 제조공정도 혁신적으로 단순화시킬 수 있는 가능성 뿐 아니라 덴드라이트 현상이 없어 전지의 안전성 확보 관점에서도 많은 장점이 있다.<sup>10-13</sup> 따라서, 휴대형 통신기기 및 노트북, 캠코더 등에 응용이 가능할 뿐 아니라 전지의 고도의 안정성 및 신뢰성이 요구되는 전기자동차용 전지 및 전력저장용 축전지로도 응용이 가능하다.<sup>14</sup>

본문에서는 LIPB를 구성하고 있는 고분자 전해질, 양극, 음극재료와 제조기술 및 개발동향에 대해 개략적으로 기술하고자 한다.

## 2. 본 론

모든 2차전지의 성능 및 특성은 전극에 의해 결정된다. LIPB의 전극은 전극활물질(electroactive material)이 모두 전기화학적으로 전극반응에 참여할 수 있도록 전극의 저항을 최소화하여 **그림 3**에 나타난 바와 같이 전자전이(electron transfer)와 이온전도(ion conduction)를 가능한 빠르게 할 수 있도록 해야 한다.<sup>15</sup> 그러나, 대부분의 전극활물질은 전기전도도가 충분하지 못하



**그림 3.** LIPB의 전극은 전극활물질, 도전체, 고분자 전해질로 구성되어 있으며 전극내에 전자전도와 리튬이온의 이동을 가능한 빠르게 하기 위하여 전극 구성체 사이의 계면저항을 최소화시켜야 한다.

**표 2.** 리튬계 전지에 사용되는 전해질의 장단점 비교

| Phase of electrolytes | Advantages  | Disadvantages  |
|-----------------------|---|--|
| Liquid                | - High ionic conductivity<br>- Established technology       | - Liquid Leakage<br>- Use of expensive separator & metal can<br>- Oxidation of electrolyte |
| Solid                 | - No leakage<br>- Polymer processing                        | - Low ionic conductivity<br>- Difficult to purify  |
| Hybrid                | - High conductivity<br>- Polymer processing<br>- No leakage | - Poor compatibility with electrode<br>- Mechanical creep<br>- Electrochemical stability   |

기 때문에 전기전도성을 부여하는 아세틸렌 블랙(acetylene black) 등의 첨가제가 필요하며, 또한 미세입자로 된 전극활물질을 서로 결합시켜 전극을 제조할 수 있도록 하고, 또한 리튬이온의 통로를 제공하기 위하여 poly(vinylidene fluoride) 등 불소계의 고분자가 결합제(binder)로 전극에 포함된다.<sup>16,17</sup> LIPB에서는 아직 LIB와는 달리 확립된 전극 제조공정이 발표된 예는 거의 없으며, 다만 고분자의 특성에 크게 의존하는 것으로 알려져 있다. LIPB의 전극 재료의 구성은 활물질, 전기적 특성을 부여하는 첨가제 및 고분자 전해질로 구성되며 고용량의 전극을 제조하기 위해서는 가능한 많은 활물질이 전극에 포함되는 것이 바람직하다. 이를 위해서 LIPB 제조와 관련하여 고분자 전해질, 양극 및 음극재료의 특성을 상호 유기적으로 이해해야 고용량, 장수명의 전지를 제조할 수 있다.

### 2.1 고분자 전해질

LIPB 제조에 적합한 고분자 전해질은 다음과 같은 특성을 가지고 있어야 한다. 1) 실제 적용 온도범위에서 유연하면서 높은 이온전도도를 나타내며, 2) 화학적 및 전기화학적으로 안정하고, 3) 리튬이온의 운반율이 1에 근접하며, 4) 전극에 친화적이어야 한다. 이와 같은 특성을 만족하는 고분자 전해질을 개발하기 위한 연구는 고분자에 리튬염을 혼합한 순수 고체형 전해질(solid)과 이에 유기용매를 첨가한 하이브리드 겔형의 전해질로 나누어 진행되어 왔다. 이들의 장단점을 **표 2**에 간략히 요약하였다.

표 3. LIPB에 사용되는 각종 겔상 고분자 전해질의 일반적인 장단점

| Polymers                   | Advantages  | Disadvantages                                    |
|----------------------------|---|--|
| Poly(ethylene oxide)       | - High conductivity                               | - Poor mechanical property<br>- No easy handling |
| Poly(acrylonitrile)        | - High conductivity                               | - Poor mechanical property                       |
| Poly(vinylchloride)        | - Good mechanical property                        | - Chemical instability                           |
| Poly(meta methyl-acrylate) | - Good mechanical property                        | - Stiffness<br>- Poor interface property         |
| Poly(vinylidene fluoride)  | - High conductivity<br>- Good mechanical property | - High cost                                      |

표 4. 대표전인 고분자 겔상의 조성과 이온전도도<sup>22</sup>

| Electrolytes   | Conductivity at 20 °C (S/cm) |
|--|------------------------------|
| 21 <sup>a</sup> PAN-38EC/33PC-8LiAsF <sub>6</sub>                      | 2.1 × 10 <sup>-3</sup>       |
| 37 PVdF-30EC/30PC-3 LiN(CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> | 1.5 × 10 <sup>-3</sup>       |
| 17 PVC-24EC/14PC/12Trigyme-3LiClO <sub>4</sub>                         | 1.1 × 10 <sup>-3</sup>       |
| 37 PVC-30PC/30SL-3LiAsF <sub>6</sub>                                   | 1.5 × 10 <sup>-4</sup>       |
| 24 PAN-38EC/33PC-5 LiPF <sub>6</sub>                                   | 1.7 × 10 <sup>-3</sup>       |
| 21 PAN-40EC/35PC-3LiN(CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub>   | 1.5 × 10 <sup>-3</sup>       |

<sup>a</sup> Mol percent.

EC: ethylene carbonate, PC: propylene carbonate, PAN: poly(acrylonitrile), PVdF: poly(vinylidene fluoride), PVC: poly(vinyl chloride), SL: Sulfolane.

고체형 고분자 전해질의 개념은 고분자 주쇄에 염을 해리할 수 있도록 O, N 등의 극성인 원소를 포함하면서 고분자 사슬의 운동이 가능하도록 T<sub>g</sub>가 가능한 낮은 고분자에 리튬염을 혼합하는 것이다.<sup>18-20</sup> 대표적인 예가 poly(ethylene oxide) (PEO)계 및 이의 유도체들이며, 상온에서 이온전도도가 낮아 실제적으로 LIPB에 응용되어 상용화된 예는 아직 없다.

최근에는 이를 보완한 고분자 하이브리드 겔형의 전해질에 관한 연구가 많이 보고되고 있다.<sup>21,22</sup> 이들의 개념은 poly(acrylonitrile)(PAN), poly(vinylchloride)(PVC), poly(methyl methacrylate)(PMMA) 등 극성 고분자에 유기용매와 염을 혼합하여 제조하는 것으로 거시적으로는 점탄성을 갖지만 미시적으로는 액체의 특성을 가지고 있어, 상온에서 10<sup>-3</sup> S/cm 정도의 높은 이온전도도를 나타내며 4.5 V까지 전기화학적으로도 안정하다. 표 3, 4에 대표적인 하이브리드 겔상의 고분자 전해질을 요약했다.<sup>23,24</sup> 하이브리드 겔상의 고분자 전해질은 액상의 전해질에 버금가는 이온전도 특성을 나타내는 장점이 있는 반면 저분자 유기용매가 고분자에 혼합되므로 액상의 전해질이 가지고 있는 단점을 일부 포함하고 있다. 따라서, 전극에 특성에 적합하도록 고분자/유기용매/염의 구성요소 및 혼합비의 최적화가 요구된다.

하이브리드 겔형의 전해질에 포함되는 유기용매는 전

표 5. 고분자 겔상의 전해질에 사용되는 리튬염의 산화전위

| Salts   | Breakdown voltage/Li |
|---|----------------------|
| LiClO <sub>4</sub>                                  | 4.6                  |
| Li(CF <sub>3</sub> SO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> N | 4.4                  |
| LiCF <sub>3</sub> SO <sub>3</sub>                   | 4.1                  |
| LiAsF <sub>6</sub>                                  | 3.9                  |
| LiPF <sub>6</sub>                                   | 3.8                  |
| LiBF <sub>4</sub>                                   | 3.4                  |

극전위의 범위에서 화학적 및 전기화학적으로 안정해야 한다. 유기용매는 carbonate계, ether계, ester계 등이 있으며, 유전상수, 점도, 비점, 어는점 등을 종합적으로 고려하여 2성분 또는 3성분계가 사용된다.<sup>25,26</sup> 특히 고분자 전해질의 단점인 0 °C 이하의 저온에서 이온전도도가 급격히 감소하는 특성을 개선하기 위하여 어는점이 낮은 유기용매가 포함되기도 한다. 또한 유기용매의 조성을 결정하기 위해서는 음극인 탄소전극과의 친화성도 고려하여야 한다. 이는 유기용매가 탄소전극에 리튬과 함께 동반 삽입되거나 환원 분해되어 가스 등의 부생성물을 발생 시키어 탄소전극 내부 구조를 변하게 하거나 탄소층이 박리되어 떨어져 나오기 때문이다. 초기의 총방전시에 탄소전극과 전해질의 계면에 있어서 전해액은 극히 일부가 분해되기 때문에 전극계면에 막을 형성하고 그 막이 보호막으로 작용하여 용매의 과분해를 억제하는 것으로 알려져 있다.<sup>27,28</sup> 따라서 가역적인 리튬의 이동을 위해서 리튬이온만 탄소안으로 통과시키고 유기용매의 통과를 막기 위하여 탄소전극 표면에 보호막을 형성하여야 한다. 이러한 보호막은 ethylene carbonate (EC) 등의 고리형 카보네이트와 diethylene carbonate (DEC) 등의 선형 카보네이트를 혼합하여 제조하는 경우에 좋은 결과가 얻어지는 경우가 많다. LIPB 전지의 장수명화를 위해 탄소표면에 형성되는 피막의 특성 및 이의 제거가 중요한 연구과제가 되고 있다.

고분자 전해질 제조에 사용되는 염은 고분자 주쇄의 구조나 열을 가하는지 등의 가공 조건에 따라 알맞게 선택하여야 한다. 대체적으로 LiClO<sub>4</sub>, LiPF<sub>6</sub>, LiAsF<sub>6</sub>, Li(CF<sub>3</sub>SO<sub>2</sub>)<sub>2</sub>N이 사용될 수 있으며, 표 5에 이들의 전기화학적으로 안정한 전위영역을 정리하였다. 이중 LiAsF<sub>6</sub>는 비소의 독성에 의하여 사용의 제한을 받고, LiPF<sub>6</sub>는 열안정성이 떨어지며 가격이 비싸며, 액체전해질에서 LiClO<sub>4</sub>는 산소가 있어 안정성이 떨어지나 고분자에서는 사용되는 예가 많이 보고되고 있다.<sup>29,30</sup>

LIPB 제조에 사용된 고분자 전해질은 미국 Bell Communication Research, Inc.(이하 Bellcore)에서 발표한 PVdF 공중합체에 유기용매인 EC/PC를 첨가한 고분자 전해질이 유망한 것으로 여겨져 왔으나, 제조공정상 유기용매의 치환 등 대량생산에 불리한 것으로 평가되고 있어, 제조 공정의 개선이 요구되고 있다.<sup>31,32</sup> 이외에

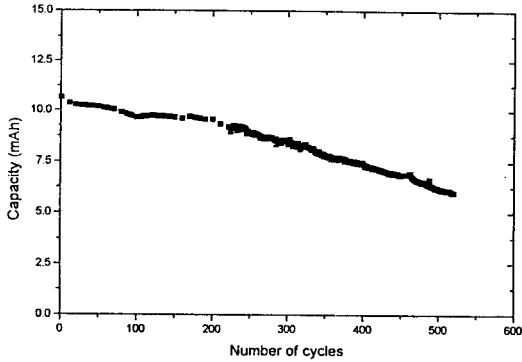


그림 4. LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, 결정성 탄소, PAN-EC-DEC-LiClO<sub>4</sub>를 사용하여 제조한 카드형 LIPB(4×4×0.2 cm)의 사이클 수명.

표 6. LIPB에 사용되는 양극활물질의 특성

|                 | LiCo <sub>2</sub> | LiNiO <sub>2</sub> | LiNi <sub>1-x</sub> Co <sub>x</sub> O <sub>2</sub> | LiMn <sub>2</sub> O <sub>4</sub> |
|-----------------|-------------------|--------------------|--|----------------------------------|
| Structure       | Layer             | Layer              | Layer  | Spinel                           |
| Preparation     | Easy              | Difficult          | Difficult  | Difficult                        |
| Cost            | High              | Moderate           | Moderate   | Low                              |
| Capacity(mAh/g) | 135               | 160                | 195  | 120                              |
| Cycle life      | Long              | Moderate           | Long   | Moderate                         |
| Safety          | Good              | Fair               | ?  | Excellent                        |

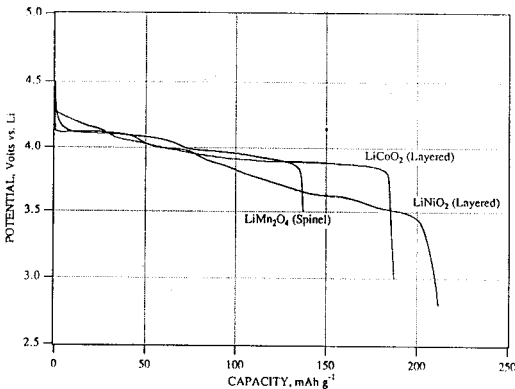


그림 5. 양극물질인 LiCo<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, LiCo<sub>2</sub>의 전위-용량 비교.

PEO, PVC, PMMA, PAN 등의 극성 고분자에 PC, EC 등의 유기용매를 가소화시킨 것도 여전히 고분자 특유의 점탄성을 유지하면서 필름상으로 제조하면 액체에 버금가는 10<sup>-3</sup>S/cm 이온전도도를 나타내므로 고분자/가소제/염/첨가제의 최적 혼합비 조절 등으로 성능의 개선여지가 많다(그림 4참조).

고분자 전해질의 연구는 고분자의 물리적, 화학적 특성, 전해질/전극활물질 사이의 계면특성, 전극효율 향상, 전극 구성재료, 제조방법 등을 모두 고려하여 이루어져야 한다.

## 2.2 양극재료

현재 LIPB의 양극의 재료로는 LiCo<sub>2</sub>, LiNiO<sub>2</sub>, LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 등이 활발히 연구되고 있다.<sup>33-35</sup> 이들의 특성을

표 7. LIPB의 음극재료로 사용되는 탄소재료의 미세구조에 따른 분류

| Structure          | Carbon Materials                            |
|--------------------|---|
| Amorphous carbon   | - Soft carbon                               |
|                    | - Hard carbon                               |
| Crystalline carbon | - Natural graphite                          |
|                    | - Kish graphite                             |
|                    | - Pyrolytic carbon                          |
|                    | - Mesophase pitch based carbon fiber        |
|                    | - Meso-carbon microbeads                    |
|                    | - Mesophase pitches                         |
|                    | - Petroleum or coal tar pitch derived cokes |

표 6에 간략히 정리하였고 개략적인 방전특성을 그림 5에 나타내었다.

LiCo<sub>2</sub>은 가격이 비싸지만 이상적인 층상구조를 갖고 있고 열처리가 쉬워 이미 LIB에 상용화되고 있다. 반면 LiNiO<sub>2</sub>은 작동전압이 LiCo<sub>2</sub>보다 약간 낮고, 가격과 자원적인 관점에서 장점이 있지만 이상적인 층상구조로 제조하기 어려운 단점이 있다. 한편 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>은 가격이 가장 싼 장점이 있다. 최근에는 이들의 전기적 특성을 향상시키기 위하여 Ni, Mg, B, Co 등을 첨가한 경우 사이클 수명 등이 향상된 보고가 있다.<sup>35</sup>

LIPB의 양극재료로서 경제성 및 안정성을 고려하면 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub>계가 가장 유력할 수 있다. LIB에서는 LiMn<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 가운데 Mn 원소가 액체 전해질에 녹아나와 석출되어 수명이 떨어지는 단점이 있지만 고분자 전해질에서는 비교적 안정하고, 방전 전압의 평탄성도 우수하여, 에너지 밀도로 환산하면 성능이 LiCo<sub>2</sub>에 비해 크게 떨어지지 않는 장점이 있다.

실제 전극을 제조하기 위해서는 리튬금속산화물의 입자를 가능한 작고 균일하게 제조해야 전극물질의 이용율을 높일 수 있어 고용량의 LIPB의 제조가 가능하며, 또한 양극의 구성요소인 리튬금속산화물, 전자전도 특성을 부여하는 도전재, 이온전도성을 부여하는 고분자 결합재 등의 구성비를 최적화하여야 한다. 따라서, 양극재료의 선택은 전지의 성능, 용도, 경제성 등을 모두 고려하여 이루어져야 한다.

## 2.3 음극용 탄소

LIPB의 음극용 탄소재료는 미세구조에 따라 표 7과 같이 분류할 수 있다.<sup>36-39</sup>

탄소는 전구체의 제조 공정에 따라 다양한 형태 및 구조를 나타내며 결정성, 형태 및 조직이 탄소전극의 수명과 용량에 큰 영향을 미친다.<sup>38</sup> 가령, 그림 6에 나타난 바와 같이 2,600 °C에서 열처리된 다양한 미세구조를 가진 결정성 탄소섬유의 층방전 특성을 조사한 결과에 의하면 zigzag layer를 가진 radial texture(b)에서 가장 좋은 특성을 나타낸다고 보고된 바가 있다.<sup>38</sup> 또한, 최근에는 그림 7에 나타난 바와 같이 리튬이온이 탄소결정에 in-

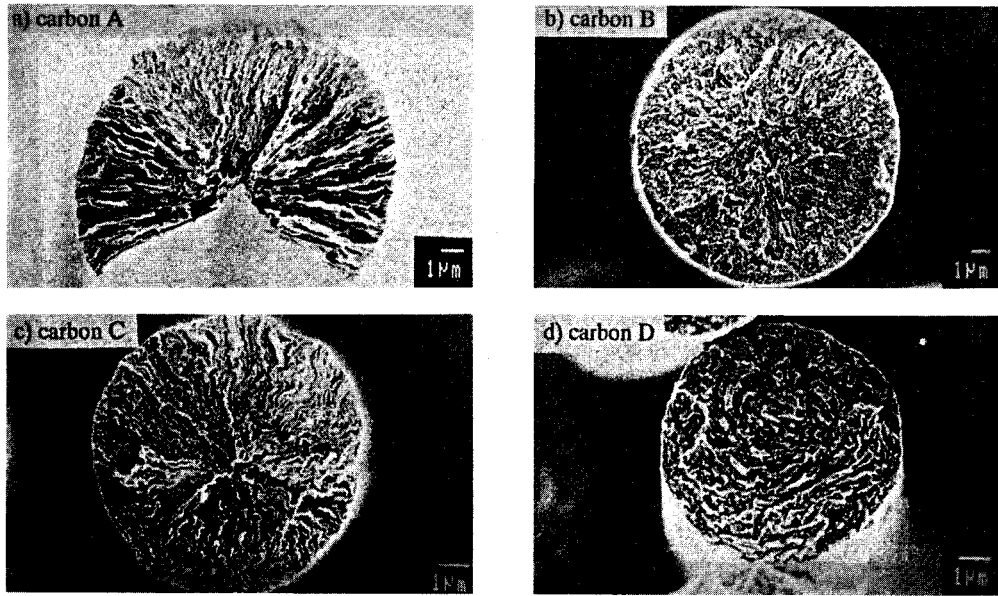


그림 6-1. 여러 가지 미세조직을 가지고 있는 결정성 탄소섬유의 단면을 나타낸 전자현미경 사진. (a): radial texture with wedge, (b) radial texture with fine zigzag layer, (c): double texture, (d): concentric texture.

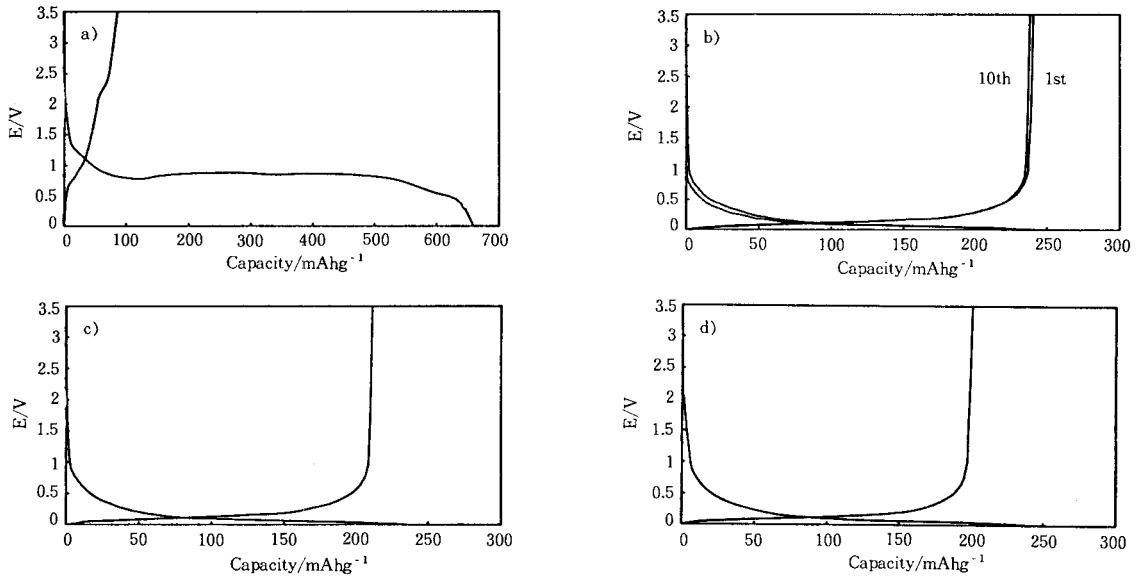


그림 6-2. (a)-(d)의 결정성 탄소섬유의 충방전 특성비교.

tercalation되는 결정성 탄소와는 달리 탄소층에 리튬이온을 insertion시킬 수 있는 비정형의 탄소의 경우에 더 큰 용량을 나타내는 연구결과도 보고되고 있다.<sup>40</sup>

실제 전극을 제조하기 위해서는 1) 탄소입자가 가능한 작고 균일해야 전극물질의 이용율을 높일 수 있어 고용량의 LIPB를 제조할 수 있으며, 2) 음극의 구성요소인 탄소, 도전재, 이온전도성을 부여하는 고분자 결합재 등의

구성비를 최적화하여야 한다. 따라서, 탄소재료의 선택은 LIPB의 장수명 및 고용량화를 위해서 탄소와 고분자 전해질의 구성요소(유기용매, 염, 고분자 주쇄)와의 계면 특성 및 경제성을 종합적으로 고려하여야 한다.

#### 2.4 LIPB의 제조기술

LIPB의 제조기술은 LIB의 제조기술과 비슷한 면이 있으나 고분자 전해질의 특성에 따라 전극제조 및 전지

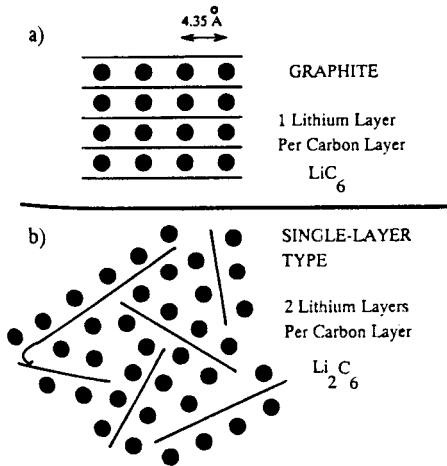


그림 7. Schematic presentation of (a) lithium intercalation in graphite and (b) lithium insertion in a single-layer carbon.

조립공정이 크게 의존할 것으로 보인다.<sup>41</sup> 전지제조를 위해서는 아래의 사항이 중점적으로 고려되어야 할 것이다. 1개의 LIPB를 제조하기 위해서는 모든 조건이 만족될 때만 가능하며, 실제로 양산하기 위해서 극저습 유지를 위한 작업 공간과 공정의 정밀성이 요구된다.

(1) 전극활물질의 제조기술: 탄소 제조 및 리튬산화물 제조와 입자 크기의 균일도 조절, 대량생산 공정 기술개발.

(2) 고분자 전해질 제조기술: 고분자 주쇄합성 및 선정, 고분자/유기용매/염의 구성비 결정, 고분자 박막제조 또는 전극에 코팅 기술.

(3) 전극제조를 위한 코팅물질 제조기술: 전극물질/고분자/유기용매/염의 배합비의 최적화.

(4) 전극제조 기술: 전극의 균일성, 고밀도화, 집전체와의 접촉성.

(5) 전지설계 기술: 전지의 종류의 다변화.

(6) 부식방지 기술: 집전체, 금속 및 용기의 장수명화.

(7) 고분자재료 기술: 가스켓, 포장용기의 밀폐화.

(8) 금속가공 기술: 집전체, 용기 가공기술.

(9) 전자, 회로 기술: 전지보호회로 관련기술.

(10) 안정성 확보 기술.

(11) 성능평가 기술: 자체기준설정 확립

(12) 양산설비 제조기술 및 응용기술

(13) 환경평가 기술: 부산물의 폐기 및 유해물 관련 재활용 기술 등

LIPB의 안전성을 향상시키기 위한 방법은 아직 거의 알려진 바 없지만 전지의 구성재료 및 전지의 형태에 크게 의존할 것이다. LIB에서 고안된 방법들, 가령 PTC 관련 재료의 응용, 전해액에서 발생한 인화성 가스 배출을 위한 안전구 설치, 가열시 분리막의 기공이 응용되어 이온전도를 차단시키는 것 등이 응용될 수 있을 것이다.

## 2.5 LIPB의 개발동향

표 8. 미국의 LIPB 연구기관

| 1980-1985               | 1990  | 1995   |
|-------------------------|---|--|
| Hyro-Quebec<br>Academia | Mead/valence<br>Hyro-Quebec<br>Academia<br>Gould<br>National Lab. | Valence/Delco/Eveready<br>3M/Hydro-Quebec<br>W.R.Grace/JC/EIC<br>Ultralife<br>Bellcore<br>Alliant<br>Gould<br>Moltech<br>Hope Inc<br>Polyplus<br>Air Force(WPAFA)<br>Army(ARO/U.Rome)<br>Academia<br>National Lab.<br>A.D.Little |

표 9. 일본의 LIPB 연구기관

| 1980-1985                           | 1990  | 1995  |
|-------------------------------------|---|---|
| Asahi<br>Hitachi<br>Dai-ichi<br>Ube | Asahi<br>Hitachi<br>Dai-ichi<br>Ube<br>Mitsubishi<br>Teijin<br>Yuasa<br>Fuji<br>Otsuka<br>Richo | Sanyo<br>Honda<br>Matsushita<br>Toshiba<br>Toray<br>NTT<br>Hitachi<br>Dai-ichi<br>Ube<br>Mitsubishi<br>Yuasa<br>Fuji<br>Otsuka<br>Richo |

미국 및 일본에서 LIPB 및 LPB 전지개발을 진행하고 있는 업체 및 연구기관을 표 8, 9에 요약하였다.<sup>42</sup> 년도 별로 더 많은 업체가 LIPB 개발에 참여하고 있음은 LIPB의 중요성을 반영하는 것이다.

미국의 Ultralife사가 미국 Bellcore 특허를 응용하여 노트북 PC용 LIPB를 일본에 공급하는 것을 제외하고는 아직 세계적으로 연구개발 단계에 있다. 일본, 미국을 비롯한 전지 선진국들은 활발히 내부적으로 연구를 진행하고 있지만 연구결과와 공개를 꺼리고 있어 정확한 동향 파악이 힘든 실정이다. 다만 새로운 고분자 전해질을 개발하기 보다는 PVdF 공중합체를 이용하여 LIPB를 제조하는 방법을 제시한 Bellcore 특허에 기초로 하여 제조공정 및 성능개선 초점을 맞추고 있는 것으로 알려져 있다.

국내에서는 LIPB 개발을 위해 정부주도의 컨소시엄 형태로 사업추진을 진행하고 있으나 아직 연구성과가 발표된 예는 거의 없다. 업체 및 연구소가 개별적으로 연구를 진행하고 있으나 전지기술의 노하우와 산업체간의 기업비밀을 감안하면 실제적인 연구결과와 교류는 어려운 실정이다.

### 3. 결 론

21세기 정보화 사회에 부응하는 초소형 노트북 컴퓨터 등 미래형 전자기기의 출현에 맞추어 전지의 형태 및 용량을 다양하게 제조할 수 있어 많은 장점을 지닌 LIPB의 응용 가능성은 무한한 것으로 전망된다. 전세계적으로 LIPB의 상용화는 초보적인 단계에 있어 이 분야를 집중적으로 연구한다면 전지 선진국을 따라갈 수 있을 것이다. LIPB가 상용화되기 위해서는 고분자 전해질의 성능을 개선하면서 양극/고분자 전해질, 음극/고분자 전해질, 전극 구성요소 사이의 계면 저항을 최소화시키며, 고분자 전해질의 특성에 적합하게 경제적으로 전극 및 전지를 제조할 수 있는 공정의 개발이 요구된다.

### 참 고 문 헌

1. J. Aragane, K. Matsui, H. Andoh, S. Suzuki, H. Fukuda, H. Ikeya, K. Kitaba, and R. Ishikawa, *8th International Meeting on Lithium Batteries, Extended Abstracts*, p. 18, The Committee of Battery Tech., The Electrochem. Soc., Japan, 1996.
2. Y. Chen and J. W. Evans, *J. of Electrochem. Soc.*, **140**, 1833 (1993).
3. *Nikkei Electronics Asia*, **32**, 3 (1998).
4. D. Aurbach, A. Zaban, A. Schechter, Y. Ein-Eli, E. Zinigrad, and B. Markovsky, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 1879 (1995).
5. J. M. Tarascon and D. Guyomard, *J. Electrochem. Soc.*, **138**, 2864 (1991).
6. S. Megahed, *J. Power Sources*, **51**, 79 (1994).
7. JP Pat., 4-249860 (1992).
8. A. S. Gozdz, C. N. Schmutz, J. M. Tarascon, and P. C. Warren, Pat. Coop. Treaty Appl., PCT/US94/08772 (1994)
9. S. I. Moon, "Project Report on Technology and Development for Secondary Battery", p. 9, MOCIE, 1996.
10. Iwamoto, Kazuya, Takada, Kazunori, Kondo, and Shigeo, U. S. Pat. 5,677,081 (1996).
11. L. Jerry, U.S. Pat. 5,569,560 (1995).
12. M. Tuttle, U.S. Pat. 5,665,489 (1995).
13. F. Capuano, F. Croce, and B. Scrosati, U.S. Pat. 5,576,115 (1995).
14. K. Takei, N. Terada, T. Iwashori, T. Tanaka, H. Mishima, and K. Takeuchi, *8th International Meeting on Lithium Batteries, Extended Abstracts*, p. 56, The Committee of Battery Tech., The Electrochem. Soc., Japan (1996).
15. M. Alamgir and K. M. Abraham, "Lithium Batteries", ed. by G. Pistoia, vol. 5, chap. 3, p. 93, Elsevier, Industrial Chemistry Library, Amsterdam-Landom-New York-Tokyo (1994).
16. *Ibid.*, p. 239.
17. *Ibid.*, p. 417.
18. M. Gauthier, A. Belanger, P. Bouchard, B. Kapfer, S. Ricard, G. Vassord, M. Amand, J. Y. Sanchez, and L. Krause, *J. Power Sources*, **54**, 163 (1995).
19. F. Alloin, J. Y. Sanchez, and M. Armand, *J. Electrochem. Soc.*, **141**, 1915 (1994).
20. M. Morita, T. Fukumasa, M. Makoto, H. Tsutuni, and Y. Matsuda, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 3401 (1990).
21. M. Watanabe, K. Nagaoka, and I. Shinohara, *J. Polym. Sci. : Polym. Phys. Ed.*, **21**, 939 (1983).
22. M. Alamgir and K. M. Abraham, *J. Electrochem. Soc.*, **137**, 1657 (1990).
23. F. Croce, F. Gerace, G. Dautzemberg, S. Passerini, G. B. Appetecchi, and B. Scroati, *Electrochimica Acta*, **39**, 2187 (1994).
24. K. M. Abraham, M. Kuzhikalail, and M. Alamgir, US Pat. 5, 219,679 (1991).
25. D. Aurbatch, I. Weissman, A. Zaban, and O. Chusid, *Electrochem. Acta*, **39**, 51 (1994).
26. D. Aurbatch, Y. Ein-Ely, and A. Zaban, *J. Electrochem. Soc.*, **141**, L1 (1994).
27. J. Ju, "The First Lithium Secondary Battery Seminar: Characteristics of Electrolytes for Lithium Bechargeable Battery", eds. by Y. M. Choi et. al., Center for Interface Science and Engineering of Materials, KAIST, 1997.
28. A. Ohta, H. Okuna, and H. Murai, *J. Power Sources*, **54**, 6 (1995).
29. Y. Matusuda, "Electrochemistry in Transition", eds. by, O. J. Murphy, S. Srinivasan, and B. E. Conway, p. 641, Plenum Press, New York and London, 1992.
30. F. Croce, S. Passerini, and B. Scrosati, *J. Electrochem. Soc.*, **144**, 1405(1994).
31. M. N. Richard, I. Koetscu, and J. R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.*, **144**, 554 (1997).
32. A. S. Gozdz, C. N. Schmutz, J. M. Tarascon, and P. C. Warren, Pat. Coop. Treaty Appl., PCT/US94/08772 (1994).
33. J. Arangene, K. matsui, H. Andoh, S. Suzuki, H. Fukuda, H. Ikeya, K. Kitaba, and R. Ishikawa, *8th Int. Meet. on Lithium Batteries Extended Abstracts*, p. 18, The Committee of Battery Tech., The Electrochem. Soc., Japan (1996).
34. J. Aragane, K. Matsui, H. Andoh, S. Suzuki, H. Fukuda, H. Ikeya, K. Kitaba, and R. Ishikawa, *8th International Meeting on Lithium Batteries, Extended Abstracts*, p. 18, The Committee Battery Tech., The Electrochem. Soc., Japan (1996).
35. J. M. Tarascon, E. Wang and F. K. Shokoohi, W. R. McKinnon, and S. Colson, *J. Electrochem. Soc.*, **138**, 1859 (1991).
36. S. Megahed and W. Ebner, *J. Power Sources*, **54**, 155 (1995).
37. I. Mochida, S. H. Yoon, F. Fortin, N. Takano, Y. Korai, and K. Yokogawa, *Carbon*, **34**, 942 (1996).
38. N. Imanishi, H. Kashiwagi, T. Ichikawa, Y. Takeda, O. Yamamoto, and M. Inagaki, *J. Electrochem. Soc.*, **140**, 315 (1993).
39. A. Ohta, H. Koshina, H. Okuno, and H. Murai, *J. Power Sources*, **54**, 6 (1995).
40. A. M. Wilson and J. R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.*, **142**, 326 (1995).
41. K. M. Abram, Z. Jiang, D. M. Pasoquariello, and D. Peramunage, "The Twelfth International Seminar on Primary and Secondary Battery Technology and Application", ed. by S. P. Wolsky, N. Marincic, 1995.
42. D. Fautex, "The Twelfth International Seminar on Primary and Secondary Battery Technology and Application", ed. by, S. P. Wolsky, N. Marincic, 1995.