

전력저장용 리튬 이차전지 개발 동향

글 _ 홍진규
삼성SDI

1. 전력 저장장치의 필요성

최근 전력 산업의 패러다임 변화로 인한 저탄소 녹색 성장이라는 기조아래 미국은 오바마 정부의 녹색 뉴딜 정책의 핵심사항으로, 일본에서는 신재생 에너지 확대의 일환으로 스마트 그리드 사업을 추진하고 있다.

종래의 전력망은 화력, 원자력 등 중앙 집중형 발전으로 전력을 생산하고 송전망을 통하여 수요처에 전달하는 단순한 방식으로 장거리 송전시설이 필요하며, 특히 수요처에 전력을 공급하는 것에 초점을 두어 장비의 고장과 이로인한 정전사고 등에는 취약한 구조를 가지고 있다. 또한 계절별로 발생하는 최대 피크 전력수요에 대응하기 위해 대규모 예비전력이 필요하고, 전력설비 이용률이 낮은 비효율적인 전력시스템이다. 풍력이나 태양광

을 이용하는 신재생에너지는 바람, 일조량 등 자연현상에 의해 발전 변동폭이 심해 별도의 품질제어장치가 필요하며 발전량이 증가할 경우 전력품질저하의 소지가 있고 전기자동차 등 대규모 신규 전력수요에는 적합하지 않은 시스템이다.

스마트 그리드는 기존의 전력시스템에 IT 기술을 접목하여 전력망을 실시간으로 관찰 및 통제하고, 양방향 통신을 통해 운영 효율을 최적화하는 시스템이다. 실시간으로 전력 수요 변동에 따라 발전량을 조절함으로써 고품질의 전력을 공급하는 스마트 그리드 시스템은 기존의 공급자 중심의 일방향 전력망에서 수요자 중심의 네트워크 전력망으로 진화된 시스템이다.

이런 스마트 그리드 시스템에 필요한 것이 전력을 저장하거나 신재생에너지로 생산된 전력의 품질 제어에 필

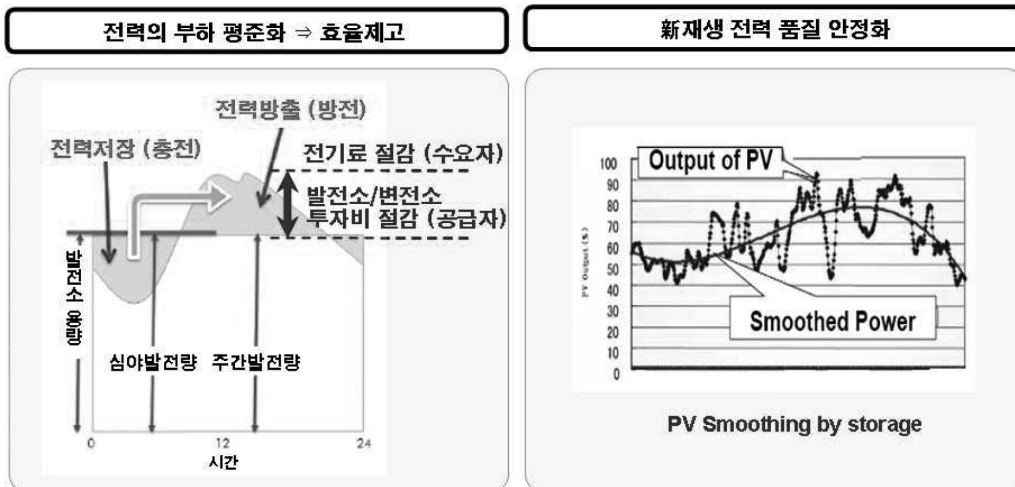


Fig. 1. 에너지 저장 시스템의 기능.

요한 전력저장장치이다. 에너지저장 기술은 궁극적으로 화석 연료 기반의 에너지 패러다임을 대체할 수 있는 가능성을 내포하고 있으므로, 전 세계적인 신재생 에너지 확대 정책에 따른 전력효율 극대화를 위해 중형 에너지 저장 시스템의 개발이 전세계적으로 활발히 진행되고 있다. 이러한 전력 제어용 저장장치의 필요량은 조사업체마다 차이가 있기는 하나 2050년에 189~305GW가 될 것으로 예상되고 있다.

2. 전력저장용 이차전지 기술 개발 동향

에너지 저장 장치에 필요한 전지에 대한 관심과 기술 개발에 대한 욕구도 점차 증대되고 있는 현실이며, 시스템 특성상 현재 핸드폰이나 노트북 PC에 상용화되어 있는 소형 이차전지가 아닌 수백 Wh 급 전지가 필요하게 된다. 전력저장장치의 전지는 일반적으로 stack cell로 이루어지며 전력 저장용 장치의 전압과 전류 크기는 전지를 직/병렬함으로서 얻을 수 있다.

전력저장용 저장장치에 들어가는 이차전지는 높은 에너지 저장밀도와 출력 밀도, 장수명(Long cycle life), 고속 동작, 낮은 비용 등의 기술을 요구한다. 전력저장장치에 사용되는 전지로는 납축전지, NaS, 리튬이온전지, metal-air전지, Redox flow battery(RFB) 등이 있다. 이중 납축전지가 가장 오래되고 성숙된 기술이다. NiCd 전지나 납축전지는 높은 출력을 낼 수 있는 전지이기는 하나, 다량의 중금속을 사용해야 하는 문제와 다른 전지에 비해 빠른 자가 방전을 가지고 있는 단점이 있다. NaS 전지는 NiCd 전지에 비해 훨씬 작고 가볍지만 전해질을 고체 전해질을 사용함에 따라 이온이 전해질 내부를 움직일 수 있도록 온도를 300°C 정도까지 올려야 하고, 그 온도를 유지하기 위해 지속적으로 열을 공급해주어야 하는 단점이 있다. RFB의 경우는 자가 방전이 없는 것을 필요로 하는 분야에 매력적이기는 하나 펌프 시스템을 포함한 설비 투자 비용이 많고, 화학 공정을 운영해야 하는 치명적인 단점이 있으며, 향후 폭넓은 응용을 확보하기 위해서는 전류 밀도를 올릴 수 있는 방안이 도출되어

야 한다. Metal air 전지의 경우 싸고 높은 에너지 밀도를 가지고 있으나 재충전할 수 있는 2차 전지로의 응용은 전극 및 전해질의 개발 등 아직 넘어야 할 난제가 많이 남아 있는 기술이다.

앞에 서술한 전지들에 비해 리튬 이온 전지는 미래에 전력저장용으로 사용될 가능성이 높은 전지로 여겨지고 있다. 그 이유는 친환경성, 높은 에너지 밀도, 100%에 근접하는 에너지 저장 효율의 강점을 가지고 있기 때문이다. 하지만, 리튬 이차전지는 제조에 필요한 무급 조건 등에 의한 공정의 복잡함에 기인한 높은 가격과, 유기 전해액을 사용함에 따른 안전성(safety)이 전력저장용 전지 진입의 장애로 여겨지고 있다. 이외에도 수명(cycle life), 작동 온도영역 등도 리튬 이온전지가 전력저장용 전지로 자리매김하는데 해결해야 할 과제로 남아있다.

리튬 이온 전지의 문제를 해결하기 위한 돌파구는 크게 전극과 전해질 두 가지 기술이라는 인식이 일반적으로 형성되어 있다.

전극 물질과 전해질은 리튬 이온 전지가 1990년대 초에 소개된 이후 거의 바뀐 것이 없다. 양극은 LiCoO₂와 같은 리튬 함유 산화물, 음극은 흑연과 같은 탄소소재, 전해질은 LiPF₆를 염으로 사용하고 EC-DMC 등의 유기 용매를 사용하는 시스템에서 진보된 것이 거의 없다. 따라서, 전지 구성 요소에 대한 대체 물질에 대한 연구가 전세계적으로 활발하게 진행되고 있다.

양극 재료는 망간 산화물과 인산철에 대한 관심이 고조되고 있다. 망간은 리튬 이온 전지에 사용되어왔던 Co계 산화물에 비해 가격적, 환경적 장점이 있어 리튬 이온 대용량 전지에 있어서 Co계 산화물의 가장 이상적인 대체물질로 각광을 받아왔다. 스핀넬 구조의 LiMn₂O₄는 망간계 산소화합물 양극재 중 그 중심에 있으나, 고온(55°C 이상)에서 Mn 용해에 의한 수명 및 용량 저하라는 문제로 광범위한 사용에는 제한을 받아왔다. 하지만, Mn의 이중 원소에 의한 치환, 코팅에 의한 표면 구조 변화 등에 의한 성능 향상이 꾸준히 이루어져 왔으며 조만간 성능적인 향상을 기반으로 가격적 장점을 내세워 전력저장용 전지에 적용될 것으로 믿어 의심치 않는다.

인산철은 올리빈 구조의 LiFePO₄로 리튬 이온 전지의

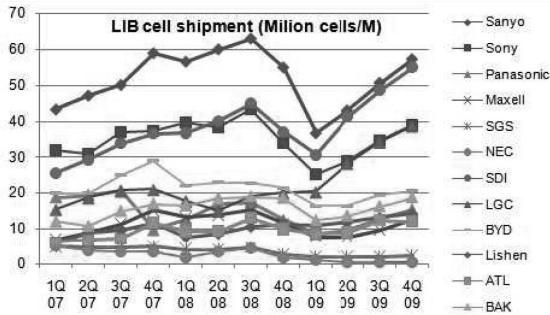


Fig. 2. 세계 리튬 이차전지 소형시장 점유율 (07-09) IIT 자료.

양극재로 사용되어왔던 전이금속 산화물에 비해 P-O 공유 결합구조로 양극재에서 산소 발생이 억제됨으로 인한 리튬 이온 전지의 안전성 향상이 크게 주목을 받았다. 리튬 이온 전지의 안전성외에도 지구상에 풍부한 철을 사용한다는 점에서 궁극적으로는 Co계 산화물보다 가격적으로도 유리하다는 장점도 가지고 있는 재료이다. 단점으로는 물질 자체의 전도도, 탭밀도, 작동전압이 작아 전이금속 산화물을 사용한 리튬 이온 전지에 비해 전지의 에너지 밀도면에서는 불리하게 작용한다. 그러나, 안전성 면에서 다른 양극재를 사용한 리튬 이온 전지에 비해 탁월한 성능을 발휘하므로 자동차용 전지 및 전력저장용 전지에 양극재로서 채용이 더욱 확대될 것으로 기대된다.

소재의 물질에 대한 연구뿐만 아니라 양극소재의 형상은 충방전 시간과 밀접한 관련이 있으므로, 나노 구조화에 대한 연구가 필요하며, 표면에서의 부반응을 최소화시키고, 전기전도성을 도울 수 있는 표면 개질을 적용하는 것이 중요하다.

리튬 이온 전지의 전력저장장치로의 장애 중 하나인 안전성문제를 해결하기 위한 노력은 전해질로 사용되고

있는 액상의 유기용매를 제거 또는 난연성 유기용매를 사용하는 것들이 있다. 액상의 유기 용매를 제거하는 방법은 전고체 리튬 이온 전지를 만드는 것이 있으며, 전해질로 사용하는 것은 리튬 이온 전도성이 있는 고체 산화물을 사용하거나, 전해질을 용액이 아닌 고분자 화합물을 사용하는 것이다. 위의 두 가지 방법은 이온 전도도의 향상과 제조 공정비를 감소하는 방법에 대한 개선이 필요하다.

국내 Li-ion 전지의 기술 수준은 이미 세계 최고 수준으로, 국내 업체인 삼성SDI(M/S 2위), LG화학(M/S 4위) 등이 세계적인 경쟁력을 갖추고 있으며 특히, 에너지 저장 장치에 응용할 수 있는 중대형 Li-ion 전지 기술의 경우 본격적인 기술개발은 대부분 전기자동차용 전지개발에서 출발하였다. LG화학에서 자동차용 중대형 전지를 개발하고 양산능력을 갖추고 현대자동차, GM, Ford 등 국내외 자동차 회사와 공급 계약을 체결하였고, 삼성SDI는 독일의 Bosch사와 합작회사를 통해 BMW에 납품계약을 체결하였다. 따라서 Li-ion 전력저장시스템에 사용되는 중대형 Li-ion 전지는 한국이 세계적인 경쟁력을 확보할 수 있는 분야로, 다양한 시도가 이루어지고 있다.

●● 홍진규



- 2003년 서울대학교 공업화학과 박사 졸업
- 2003년 동부 파인셀 연구소
- 2006년 삼성 SDI 연구소 에너지 Lab 책임 연구원
- 2010년 삼성 SDI 개발팀 수석연구원