

제224호

2012년 12월

위험관리정보

목 차

□ 방재정보

- ✓ 리튬 이온 배터리의 위험 / 1
- ✓ 대규모 창고 화재의 발화원인 규명 / 14

□ 방재뉴스

- ✓ 지하 공간 침수방지를 위한 수방기준 / 22

□ 방재기술

- ✓ 소방안전관리 관련 법률 / 24
- ✓ 화재조사 보고서 / 26

□ 신착자료 목록 / 31

□ 안 내

- ✓ 판매도서 안내 / 34

리튬 이온 배터리의 위험

(Lithium-Ion Battery Hazards)

R. Thomas Long (미국 기술사)

Micheal Kahn (박사)

Celina Mikolajczak (미국 기술사)

리튬 이온은 소비자들의 전자기기(예, 스마트폰, 노트북 컴퓨터)에 주로 사용된 충전 가능한 전지의 화학반응 메커니즘이 되고 있으며, 산업이나 교통 기관, 전력저장장치들에 매우 흔히 사용되고 있다. 리튬 이온 배터리의 화학반응 메커니즘은 이전의 대중적인 이차전지(예, 니켈수소전지[NiMH], 니켈카드뮴전지[NiCad], 납축전지)와는 여러 면에서 다르다. 기술적인 관점에서는, 높은 에너지 밀도 때문에 리튬 이온 기술은 스마트폰과 같은 휴대용 기기들의 전 제품군들의 출시를 가능하게 했다. 안전성과 소방적인 관점에서는, 전통적인 수계(水系) 전해질에 비해 인화성이 있는 유기물과 연관되는 높은 에너지 밀도는 수많은 새로운 소방적인 문제를 야기 시켰다. 당면한 과제들은 리튬 이온 단전지(單電池)들로 구성된 배터리의 설계와 이러한 배터리들의 저장과 취급 문제, 리튬 이온 배터리와 연관된 화재를 억제하고 제어하기 위한 최선의 대응방법 등이 있다.

소방연구재단(The Fire Protection Research Foundation, FPRF)은 리튬 이온 전지의 저장과 소방과 관련하여 리튬 이온 배터리와 연관된 위험들의 평가를 완료하였다. 이 글은 최근의 일련의 업무들에 대한 간략한 개관이다.¹⁾ 리튬 이온 배터리와 연관된 세계적인 화재 안전 위험에 대해 논하기 이전에 리튬 이온 기술에 대한 이해를 하는 것이 유용하며, 이에 대한 내용은 다음과 같다.

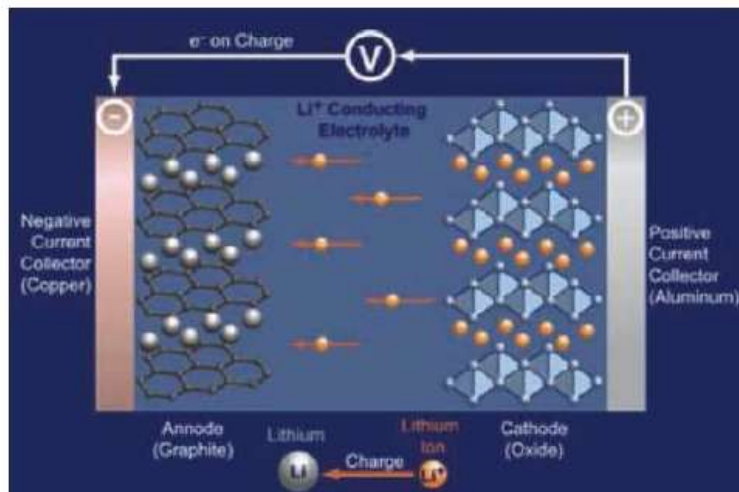
■ 리튬 이온 단전지와 배터리

리튬 이온 배터리라는 용어는 배터리 화학 반응 메커니즘의 전체 군(群)을 말한다. 상용 리튬 이온 전지들에 사용되는 모든 화학 반응 메커니즘을 기술하는 것은 이 글의 범위를 넘는다. 리튬 이온 배터리의 화학 반응 메커니즘

1) Adapted from Mikolajczak C., Kahn M., White K., Long R.T., Lithium-ion batteries hazard and use assessment, Fire Protection Research Foundation, July 2011.

은 활발하게 진행되고 있는 연구 영역이며, 새로운 물질들이 계속적으로 개발되고 있다. 리튬 이온 전지는 리튬 배터리(또는 리튬 일차전지)와는 구분된다. “리튬 전지” 라는 용어는 가장 정확하게는 충전 불가능한 배터리 반응 메커니즘을 말하는데, 여기에서는 리튬 금속이 전지의 전극중 하나로 사용된다. 리튬 금속은 리튬 이온 전지의 음극으로 사용되지 않는다. 그러나 이 두 전지 이름의 유사성으로 인해 전지 종류에 따른 적절한 소방 기술과 관련하여 주로 혼동을 유발한다. 다음은 충전 가능한 리튬 이온 전지 기술의 개관이며, 주로 많이 사용되는 리튬 이온 배터리의 특성에 초점을 맞추고 있다.

가장 기본적인 관점에서 ‘리튬 이온 전지’ 라는 용어는 음극재와 양극재가 리튬 이온(Li⁺)의 호스트의 역할을 하는 배터리를 말한다. 배터리가 방전되는 동안 리튬 이온은 음극에서 양극으로 이동하고, 양극 내부(양극의 결정학적 구조에서의 빈 공간 안쪽)로 끼어 들어간다. 충전되는 동안에는 리튬 이온은 반대 방향으로 이동한다(그림 1 참조). 충전 또는 방전되는 동안 리튬 이온이 호스트 물질 속으로 끼어 들어가기 때문에, 리튬 이온 전지 내부에는 자유 리튬 금속이 없다. 그래서 전지가 외부적인 불에 의한 충격 또는 내부적인 단락으로 인해 발화한다면, 금속 화재에 대한 진압 기술은 리튬 이온 배터리의 화재를 제어하는 데에 적절하지 않다. 특정한 가혹 조건 하에서, 매우 소량의 리튬 금속이 음극 표면에 석출될 수 있다. 그러나 이것은 전지의 화재 양상에 주목할 만한 영향을 끼치지 않는다.



[그림 1] 리튬 이온 전지 구동: 충전되는 동안, 리튬 이온은 음극으로 끼어 들어간다. 방전시에는 역반응이 일어난다.

전지는 (각형 전지와 같이) 전극 층을 교대로 쌓거나, 전극의 긴 조각을 맡아서 전형적인 원통형 전지 모양인 “젤리롤” 속에 끼워 넣음으로써 만들어진다. 일반적으로, 리튬 이온 전지는 각형전지, 원통형전지, 파우치전지(또는 폴리머전지, 소프트팩 폴리머전지, 리튬 폴리머전지로 알려져 있음)로 나누어진다.

리튬 이온 전지에서, 교차로 쌓이는 음극과 양극의 전극 층은 다공성 필름(분리막)에 의해 분리된다. 유기용매로 구성되어 있고 리튬염이 녹아있는 전해질은 리튬 이온의 이동을 위한 매체를 제공한다. 다양한 안전성 메커니즘은 또한 전류차단장치(current interrupt device, CID)와 정온도계수(positive temperature coefficient, PTC) 스위치와 같이 전지의 기계적 설계 내에 포함될지도 모른다.

개개의 리튬 이온 단전지는 특정한 전지 화학 반응 메커니즘에 의해 결정되는, 사이클이 돌 수 있는 안전 전압 영역을 가지고 있다(譯註: 일반적으로 전지를 완전 충전했다가 완전 방전하는 행위를 1 사이클이라고 하며, 충·방전을 계속하는 행위를 ‘사이클을 돌린다’고 한다. 또한, 완전 충전/완전 방전했을 때의 전압 사이 구간을 ‘안전 전압 영역’이라고 한다). 안전 전압 영역은 전지 전극에 리튬이 석출되거나, 구리가 용출되지 않고, 원하지 않는 화학반응에 의해 급격하게 분해되지 않는 영역이다. 대부분의 전지에서, 100% 충전상태(state of charge, SOC) 이상으로 현저하게 충전하면, 전극이 발열하면서 급격하게 분해된다. 제조사의 최고 전압 규격 이상으로 충전하는 것을 과충전이라고 한다. 과충전은 폭발적인 열적 폭주의 원인이 될 수 있기 때문에,²⁾ 수많은 과충전 방지 장치가 전지 내부에 설계되거나 리튬 이온 배터리팩을 위한 전자장치 보호 패키지에 포함되어 있다.

리튬 이온 배터리(또는 배터리팩)는 연관된 보호 전자장치와 함께 패키징된 하나 또는 더 많은 단전지들로부터 만들어진다. 전지를 병렬로 연결함으로써, 설계자는 팩의 용량을 증가시킨다. 전지를 직렬로 연결함으로써 팩의 전압이 증가된다.

큰 배터리팩에서는, 단전지들이 함께 연결(직렬 또는 병렬)되어 모듈을 이룰 수도 있다. 이 모듈들이 직렬 또는 병렬로 연결되어 완전한 배터리팩을

2) Reddy T.B. (ed), *Linden's Handbook of Batteries*, 4th Edition, McGraw Hill, NY: 2011.

형성한다. 그래서 큰 배터리팩 구조는 작은 가전의 배터리팩에 비해 훨씬 더 복잡한데, 이것은 전형적으로 두 개 이상의 병렬로 연결된 전지들로 구성되어 있는 직렬로 연결된 모듈들을 포함하고 있다.

실제적인 리튬 이온 전지의 4가지 기본 기능 구성요소는 음극, 양극, 분리막, 전해액이다. 집전장치, 케이스 또는 파우치, 내부 절연재, 헤더 그리고 벤트 포트와 같은 리튬 이온 전지의 부가적인 구성요소 또한 전지의 신뢰성, 안전성, 불이 났을 때의 거동에 영향을 준다.

이러한 구성요소들의 화학 반응 메커니즘과 설계는 많은 인자들에 따라 매우 달라질 수 있다. 전지의 구성요소, 화학 반응 메커니즘, 전극 재료, 입자 크기 분포, 각 입자들의 코팅 상태, 바인더 물질, 전지 구성 방식 등은 일반적으로 전지 설계자가 전지의 성질과 성능 기준을 최적화시킬 수 있도록 선택될 수 있다. 그 결과, 非 “표준” 리튬 이온 전지가 존재하며, 명목상으로 동일하게 보이는 전지들(예, 리튬 코발트 옥사이드/그래파이트 전극)은 현저하게 다른 성능과 안전성 거동을 나타낼 수 있다. 또한 리튬 이온 전지의 화학 반응 메커니즘은 활발한 연구 분야이기 때문에, 전지 제조사들이 가까운 미래를 위한 전지 설계 변경을 계속할 것이라 예상된다.

■ 리튬 이온 기술의 응용

리튬 이온 전지는 가정용 전자기기에 사용되는 이차전지 시장에서 지배적인 위치를 차지했다, 리튬 이온 배터리가 우위를 차지하게 된 근본적인 원인은 높은 비에너지(specific energy, Wh/kg)와 부피당 에너지 밀도(Wh/L) 때문인데 더 간단하게 말하자면, 단위 크기와 단위 무게의 리튬 이온 전지가 같은 크기와 무게의 경쟁 기술보다 현저하게 더 많은 에너지를 제공한다는 사실 때문이다. 리튬 이온 전지는 더 작고, 더 납작하고, 기능이 더 많은 휴대용 전자기기를 사용가능하게 했다. 가장 작은 리튬 이온 전지는 청각 보조장치와 블루투스 헤드셋과 같은 장치에서 발견된다. 좀더 크고 단일 전지가 사용되는 기기는 디지털 카메라, MP3, e-reader(譯註: 전자책을 읽어주는 기기)가 있다. 가장 흔하게 사용되는 단일 전지 리튬 이온 배터리 응용기기는 휴대폰과 스마트폰이다.

노트북 컴퓨터, 파워툴, 휴대용 DVD 플레이어, 그리고 휴대용 시험기기와 같은 더 큰 전자기기에는 다전지(多電池) 배터리 팩이 사용된다. 노트북 컴퓨

터 배터리팩과 같은 다전지 기기는 복잡한 보호 전자기기를 이용한다.

상용 시장에서 상대적으로 복잡한 리튬 이온 전지가 가장 많이 사용되는 곳은 노트북 컴퓨터이다. 비록 최근에 더 작은 크기의 원통형 전지와 평평한 소프트 파우치 리튬 이온 폴리머 전지가 더욱 흔하게 나타나고 있지만, 노트북 컴퓨터 배터리팩에는 6개에서 12개의 원통형 18,650 크기의 전지들이 직렬과 병렬로 연결되어 있다.(그림2 참조, 譯註: 원통형 전지의 규격인 18,650은 전지의 지름이 18mm이고 원통형 모양의 높이가 650mm이기 때문에 붙여진 이름이며, 일반적인 노트북 컴퓨터 배터리팩에 가장 많이 사용되는 리튬 이온 전지 규격이다.)



[그림 7] 18,650 전지의 예 (가전 기기에 가장 흔하게 사용되는 리튬 이온 전지 형태)

하이브리드 전기자동차(HEVs), 플러그인 하이브리드 전기자동차(PHEVs), 그리고 순수 전기자동차(EVs)에 대한 수요가 증가할 것이라고 예측된다. 현재, 많은 하이브리드 자동차는 NiMH 배터리를 채용하고 있다. 리튬 이온 배터리 기술이 적용된 몇몇 자동차들이 최근 미국 시장에 출시되었다.

전기자동차의 등장과 함께 개인 주거지 뿐만 아니라 공공장소에도 충전소가 설치되고 있다. 자동차 배터리팩 또한 제공될 것이며, 그래서 고속도로 휴게소와 배터리 교환 장소에서 보관될 것이다. 이러한 새로운 형태의 인프라

라는 리튬 이온 배터리 자체의 문제와 더불어 높은 전압과 화재 안전성 문제들에 직면하게 될 것이다.

최근 2~3년 동안 리튬 이온 배터리를 다양한 에너지 저장장치와 전력 공급 안정화 장치(스마트 그리드)에 적용하기 위한 많은 관심과 연구가 진행되어 왔다.³⁾ 원형(原型, prototype) 장치가 이미 설치되었다.⁴⁾ 메가와트 단위의 장치에는 일반적으로 발전소에 위치할 수 있는 선적 컨테이너 크기의 구조체 내에 장착된 수천 개의 단전지들이 장착되어 있다. 이 장치들은 설비 내에 집적된 화재 진압장치를 갖고 있다. 또한 좀 더 작은 장치의 개발이 계획되고 있으며, 특히 신재생 에너지원과 함께 사용되기 위한 시험평가를 위하여 개발되고 있다.

■ 리튬 이온 배터리 고장

매우 드문 경우이기는 하지만 배터리가 제어되지 않는 경우에 고장이 날 수 있다는 사실, 특별히 몇몇 휴대용 노트북 컴퓨터와 휴대폰 배터리의 대규모 리콜사태는, 배터리의 안전문제에 대한 대중의 관심을 증대시켰다. 리튬 이온 전지와 배터리의 활성적/비활성적 고장, 둘다 수많은 이유에 의해 일어날 수 있는데, 이 이유에는 전지 설계의 (전지화학적 또는 기계적) 오류, 전지 제조 결함, 전지의 외부적인 (열적, 기계적, 전기적) 학대, 배터리팩 설계나 제조 오류 등이 있다. 그래서 리튬 이온 배터리의 신뢰성과 안전성은 전지와 팩, 시스템 설계, 그리고 제조의 쏠 기능에서 전반적으로 고려되어야 한다.⁵⁾⁶⁾

성능 표준은 전지와 배터리팩 설계를 시험하기 위해 고안된다. 실제 필드에서 발생하는 고장이 전지 설계와 관련이 있는 경우는 별로 없다. 그보다는 제조 결함이나 잠재하고 있는 전지의 내부적 오류가 커짐에 따라 서서히 발생하는 감지하기 어려운 확대 시나리오에 의한 것이 훨씬 더 많다.

3) Kamath H., "Integrating Batteries with the Grid," *28th International Battery Seminar and Exhibit 2011*, Curran Associates, Inc., Red Hook, NY, 2011, pp. 921-940.

4) Gengo T., Kobayashi Y., Hashimoto T., Minami M., Shigemizu T., Kobayashi K., "Development of Grid-Stabilization Power-Storage System with Lithium-Ion Secondary Battery," *Mitsubishi Heavy Industries Technical Review* 46(2) June 2009.

5) IEEE 1625, "IEEE Standard for Rechargeable Batteries for Multi-Cell Mobile Computing Devices," IEEE, New York, NY, 2008.

6) IEEE 1725, "IEEE Standard for Rechargeable Batteries for Cellular Telephones," IEEE, New York, NY, 2011.

■ 전지 및 배터리 고장 모드

리튬 이온 배터리는 비활성적 모드와 활성적 모드로 고장 날 수 있다. 전형적인 비활성적 고장 모드(보통 양성 고장으로 간주된다)에는 용량 감소, 내부 임피던스 증가(rate capability의 감소), CID, 섯다운 분리막(譯註: 리튬 이온 전지의 안전성 메커니즘 중 하나로, 열폭주나 폭발을 막기 위해 전지가 비정상적으로 고온 상태가 되면 다공성 분리막의 구멍을 완전히 막아버려 전지가 제 기능을 하지 못하게 하는 메커니즘), 퓨즈나 배터리팩의 영구적인 장애, 전해액 누출을 동반한 전지의 메마름 현상, 그리고 전지가 부풀어 오르는 현상과 같은 전지의 영구적 장애 메커니즘을 작동시키는 등의 증상을 포함한다.

때때로, 활성적 고장은 열적 폭주로 이어진다. 전지의 열적 폭주는 고도로 산화하는 양극과 고도로 환원되는 음극이 반응하는 화학 발열반응에 의해 전지가 스스로 급격한 열을 내는 현상을 말한다. 이 현상은 거의 모든 화학 반응 메커니즘의 배터리에서 발생할 수 있다.

열적 폭주 반응에서, 전지는 저장된 에너지를 방출한다. 전지가 더 많은 에너지를 저장하고 있을수록, 열적 폭주 반응은 더욱더 활성을 가지게 될 것이다. 리튬 이온 전지의 열적 폭주 반응이 매우 활성적인 원인 중 하나는 리튬 이온 전지가 다른 화학 반응 메커니즘을 가진 전지들과 비교했을 때 에너지 밀도가 높기 때문이다. 리튬 이온 전지의 열적 폭주 반응이 매우 활성적인 또 다른 이유는 이 전지들이 가연성 전해질을 포함하고 있기 때문이다. 그 결과, 리튬 이온 전지들은 전기 에너지를 전기화학적 포텐셜(potential) 에너지의 형태로 저장할 뿐만 아니라 주목할 만한 화학 에너지(특히 수계 전해액을 사용하는 전지에 비하여)를 연소가능한 물질의 형태로 저장한다.

전지의 열적 폭주 이벤트의 심도(深度)는 전지의 SOC(얼마나 많은 에너지가 화학적 포텐셜(potential) 에너지의 형태로 저장되어 있는지의 정도, State Of Charge), 주위의 온도, 전기화학적 전지 설계(전지의 화학 반응 메커니즘), 그리고 전지의 기계적 설계(전지 크기, 주액된 전해액의 양 등)를 포함하여 수많은 요인들에 달려있다.

모든 전지에서, 가장 심각한 열적 폭주 반응은 전지의 SOC가 100%일 때

(혹은 과충전 되었을 때는 SOC가 더 높을 때) 나타나는데, 이유는 전지가 최대 전기 에너지 상태이기 때문이다. 전형적인 만충전 상태(또는 과충전 상태)의 리튬 이온 전지에서 열적 폭주 반응이 일어나면, 다음과 같이 많은 현상들이 일어난다.

- 전지의 내부적 온도 상승
- 전지의 내압 증가
- 전지의 벤팅(譯註: vent, 리튬 폴리머 전지에서 전지의 내압이 증가하면 부풀어 오르게 되는데, 이때 파우치 실링부의 약한 부분이 찢어지면서 내압이 해소되는 상태를 말함)
- 벤팅된 가스의 발화
- 전지 구성요소의 사출(射出)
- 전지의 열적 폭주 반응의 인접 전지로의 확산 가능성.

■ 활성적인 전지/배터리 고장의 근본 원인

리튬 이온 전지의 열적 안정성 한계를 넘어서 활성적 고장을 야기하는 여러 가지 원인이 있다. 리튬 이온 배터리의 고장은 화재에의 노출 또는 기계적 손상과 같은 외부적인 힘에 의하여 유발되거나, 거의 없거나 교묘하게 나타나는 제조 문제로부터 발생하는 내부적인 전지 결함에 의해 야기될 수 있다. 일반적으로 활성적 전지/배터리 고장은 다음과 같이 분류될 수 있다.

- 열적 학대 (예. 외부적 가열)
- 기계적 학대 (예. 훼손, 낙하)
- 전기적 학대 (예. 과충전, 외부단락, 과방전)
- 전지의 잘못된 전기화학적 설계 (예. 음극과 양극 사이의 불균형)
- 전지 제조 결함과 연관된 내부적 전지 결함 (예. 금속성 이물질, 전극의 잘못된 정렬)

■ 고장의 효과에 영향을 미치는 인자들

리튬 이온 전지 고장의 심도는 그 전지에 저장되어 있는 총 에너지양에 매우 큰 영향을 받는다(화학적 에너지와 전기 에너지의 합). 그러므로 잠재적인 열적 폭주 이벤트의 심도는 저장된 화학적 에너지를 감소시킴으로써(즉, 전지 내부에 있는 전해액의 부피를 감소시킴으로써) 또는 전해액을 불연성 물질로 바꿈으로써(즉, 전지 화학 반응 메커니즘을 바꿈으로써) 완화시킬 수 있다.

리튬 이온 전지에서 가장 인화성이 높은 구성요소는 탄화수소 기반의 전해액이다. 리튬 이온 전지 내 탄화수소 기반의 전해액은, 화재가 발생할 경우 이 전지들은 수계 전해액을 포함하고 있는 납축전지, NiMH, 니켈카드뮴 전지와는 기본적으로 다른 방식으로 거동이 이루어진다는 것을 의미한다.

비록 모든 충전된 전지가 저장된 전기 에너지를 가지고 있지만, 완전히 방전된 리튬 이온 전지조차 전해액의 연소를 통해 방출될 수 있는 어느 정도의 화학적 에너지를 가지고 있다. 충전 조건에서, 수계 기반의 배터리에서는 화학 반응 중에 물의 전기분해에 의하여 수소 기체가 발생할 수 있다. 그러나 이러한 위험은 충전이 일어나지 않는 저장기간 동안에는 걱정할 필요가 거의 없다.

만약 수계 전해액 전지에 구멍이 나거나 손상이 일어난다면, 전해액의 누출로 인해 부식의 위험에 노출될 수 있다. 그러나 화재의 위험에 노출되지는 않는다. 이에 비하여, 리튬 이온 전지의 누출 또는 벤팅은 인화성 증기를 방출한다. 리튬 이온 전지가 불에 닿으면 인화성 전해액의 방출과 (환기가 잘 되는 조건을 가정하였을 때) 화재의 총 열 방출량의 증가를 야기 시킨다.

리튬 이온 전지에서 연소가 가능한 다른 구성요소에는 고분자 분리막과 전극에 사용되는 다양한 바인더(譯註: 전극을 금속제 호일에 고정하기 위한 접착제), 음극에 사용되는 광물(graphite)이 있다.

전지의 벤팅이 일어날 때, 방출된 기체는 주위 공기와 함께 섞인다. 연료의 농도, 산소 농도, 온도 등의 수많은 인자들에 따라서, 혼합 공기에는 불이 붙거나, 붙지 않을 수도 있다.

■ 전지와 배터리팩의 화재 거동

현재는, 대규모의 리튬 이온 전지 또는 배터리팩의 화재 시험으로부터 도출된 공개적으로 사용가능한 데이터가 없다. 대규모 시험 데이터가 부족한 이유에는 여러 가지가 있다. 리튬 이온 전지 산업은 현재 급속도로 진화하고 있는 상태이므로, “평균적인” 전지, 배터리팩 또는 장비들을 정의하는 데에 태생적인 어려움이 있다. 그래서 시험이 합리적이고 종합적으로 이루어지기 위해서는 여러 제조사에서 만들어진 전지/팩/장비의 여러 가지 모델에 대한 시험이 요구되며, 만일 시험이 이루어진다고 하더라도 전지의 화학 반응 메

커니즘과 기계적 설계가 개량됨에 따라 시험 데이터는 곧 무용지물이 될 것이다.

2010년에 리튬 이온 배터리팩이 장착된 가전기와 열적 폭주 반응이 일어나는(외부에서의 가열은 없을 경우) 가전 기기 패키지에 장착된 전지와 관련하여 시험이 진행되었다.⁷⁾

이 시험에서 관찰된 사실은 진화 방법, 특히 화재 예방과 소화 전략, 화재 현장 점검 방법, 현장 복원을 위한 화재 현장 모니터링에 있어서 명백한 시사점을 제공해준다. 특히 화재가 저장중인 리튬 이온 전지나 배터리팩 근처에서 발생한다면, 이 전지와 배터리팩은 (플래시오버와 비교했을 때) 상대적으로 정도가 세지 않은 과열로부터 보호되어야만 한다. 그렇지 않으면 전지는 벤팅이 일어나거나 발화하기 시작하여 보통의 가연성 물질들에서 예상되는 수준보다 훨씬 더 빨리 확산될지도 모른다.

대량의 리튬 이온 전지와 관련된 화재 현장에서는, 전지들이 포장되지 않고 이동되거나 점검과정에서 손상을 입게됨에 따라 전지들이 열적 폭주와 벤팅, 발화 그리고 뜨거운 발사체가 될 수도 있다는 사실에 대해 이해한 후에 점검 방법과 관련된 결정을 내려야 한다. 유사하게, 그러한 화재 현장에서는 재발화할 가능성이 높을 것이고, 이러한 현장은 지속적인 모니터링이 필요하다.

이러한 제품들이 시장, 총판, 저장소에 포화됨에 따라, 철물점과 소매점에는 배터리를 포함하고 있는 제품뿐만 아니라 리튬 이온 배터리를 저장하게 될 것이다. 새로운 배터리 기술은 가장 효과적인 진압 물질을 결정하는 것을 포함한 최선의 화재 진압 및 제어 방법을 결정하는 데에 새로운 위협과 도전을 가져온다.

■ 화재 예방 기준

리튬 이온 배터리와 배터리팩은 다른 통상의 배터리에 비하여 에너지 밀도가 높기 때문에 소비자에게 더욱 어필하지만, 리튬 이온 배터리 화재에 관하여 알려진 최근의 지식들로부터 알 수 있듯이 다른 전지들과 차별화된 방

7) Harmon J., Gopalakrishnan P., Mikolajczak C., "US FAA-style flammability assessment of lithium-ion batteries packed with and contained in equipment (UN3481)," Exponent Report 1000025.000 A0F0 0310 FREP, The Rechargeable Battery Association, Washington, DC, March 2010.

화 위험들이 존재한다.

현재 시점에서, 저자들은 리튬 이온 전지에 특화된 어떠한 화재 안전 기준도 발견하지 못하였다. 일반적으로 널리 사용되는 리튬 이온 배터리에 적용 가능한 어떠한 기준에도 수계 적용 시험이 포함되어 있지 않다. 지금까지 수행된 시험으로부터 나온 어떤 공적인 문헌에서도 전통적인 수계 자동 스프링클러 시스템, 미분무수 소화설비, 또는 다른 수계 소화 설비가 저장된 리튬 이온 전지 또는 배터리의 방화에 가장 효과적인지 여부에 대한 종합적인 평가가 전무하다.

수계 자동 스프링클러는 화재 진압에 가장 널리 사용되고 있고, 그 효율성과 신뢰성이 수년 동안 증명되었다. 수계 소화 설비를 사용한 화재 진압 전략이 가능하게 하는 데에 필수적인 기초시설이 여러 곳에 설치되어 있다. 그래서 최근의 지식과 인프라에 기초하면, 수계 소화설비는 저장된 리튬 이온 전지와 배터리의 방화설비의 가장 강력한 후보이다. 그러나 철물점과 소매점에서 이러한 제품들의 판매를 확대하고 있음에도 불구하고, 최근의 코드와 기준들은 리튬 이온 배터리 또는 그와 같은 제품류의 최선의 방화 대책에 대하여 충분한 가이드를 제공하고 있지 못하다.

수계 소화 대책에 대한 제품 분류는 NFPA 13에 묘사되어 있는데,⁸⁾ 스프링클러 시스템의 활용에 대하여 언급하고 있고, 저장소의 방화를 위한 필요조건을 제안하고 있다. 제품 분류는 소화 설비 설계를 위한 필요조건과 직접적으로 연관되어 있다.

실제적인 제품들의 분류는 기본적으로 화재로부터 방호되어야 할 제품들과 다양한 제품 등급에 대한 정의를 비교하는 데에서 기초한다. NFPA 13은 다양한 제품들의 제품 등급의 목록을 제공한다. 제품 분류가 저장된 상품의 기하학적 구조와 배치상태와 함께 알려져 있을 때, 스프링클러 설계 밀도가 선정될 수 있다. 다른 유형의 배터리와 이 배터리에 권장되는 제품 분류는 다음과 같이 언급되어 있다.

- 통에 담긴 건전지(非리튬계) : Class I (예. 알칼라인 전지)
- 통에 담긴 블리스터 포장된 건전지(非리튬계) : Class II (예. 알칼라인 전지)

8) NFPA 13, *Standard for the Installation of Sprinkler Systems*, National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2010.

- 자동차 배터리 : Class I (예. 수계 전해액 기반의 납축전지)
- 트럭 또는 거대 배터리, 비어있거나 가득찬 Group A 플라스틱 (예. 수계 전해액 기반의 납축전지)

현재, NFPA 13은 리튬 이온 전지나 리튬 이온 전지가 탑재된 배터리 완성품을 위한 제품 분류에 특정한 권장사항을 제공해주지는 않는다. 리튬 이온 배터리에 특정된 수많은 특징들로 인해 현존하는 어떠한 배터리 분류도 부정확해질 수 있으며, 권장되는 소화 방법 또한 부적절할지도 모른다.

- 가연성 對 수계 전해액
- 열폭주 반응시 전극/용기(발사체)의 분출 가능성
- 열폭주 반응의 잠재적 위험(전지의 벤팅이 연속적으로 일어날 수 있으며, 현저한 지연 이후에 물질의 재발화가 일어난다.)
- 거대한 형태의 배터리팩은 전형적인 트럭 배터리보다 훨씬 더 높은 전압을 나타낼 수 있다.
- 개개의 단전지는 일반적으로 금속 對 플라스틱 외부 껍질을 갖고 있다.

리튬 이온 전지의 벤팅과 방출 위험은 에어로졸 제품과 어떠한 면에서는 유사점을 갖고 있는데 전형적으로 프로판, 부탄, 디메틸에테르, 메틸에틸에테르와 같은 가연성의 추진체를 사용하고 있다는 점이다. 그러나 이러한 제품들은 일반적으로 연관된 전기 에너지가 없고 재발화 현상이 일어나게 할 정도로 민감하지 않다. 가연성의 전해액을 포함하고 있기 때문에, 리튬 이온 전지 또한 탄약이나 블리스터 포장된 팩에 들어 있는 부탄 라이터(높은 에너지 밀도)와 같은 상품들과 비교해야 할지도 모른다.

NFPA 13으로 분명하게 커버되지 못하는 상품군에 대해서는 제품 분류를 결정하는 데에 일반적으로 실제 규모의 화재 진압 테스트가 사용된다. 대부분의 현재 스프링클러 시스템 설계 기준은 점유물의 제품 분류 또는 실제 규모의 화재 진압 테스트 결과와 최저 방호 수준을 보이는 실험 결과의 응용으로부터 도출된 상품의 제품 분류에 근거한다. 자동 스프링클러 시스템 핸드북에 따르면, 다음과 같다.⁹⁾

제품군이 현재 정의되어 있지 않을 때, 제품 분류 테스트를 통해 대상 제

9) Dubay C. (ed), *Automatic Sprinkler System Handbook*; National Fire Protection Association, Quincy, MA, 2010.

품과 제품 분류가 알려져 있는 제품 사이의 완전한 비교가 가능하다. 이 테스트는 새로운 제품이나, (주어진 제품과 다른) 제품 분류를 알고 있는 다른 제품 사이의 유의성 있는 비교가 불가능할 때 제품 분류를 모르는 제품들의 수급 가능한 스프링클러 설계 기준을 결정할 때 필수적이다. 벤치 규모의 테스트는 정확한 제품 분류를 결정하는 데에 유용하지 않다.

새로운 제품이나 알려지지 않은 제품의 제품 분류를 결정할 때 특정한 테스트 데이터가 필요한 주요한 이유 중 하나는 현재 공학적 분석 능력이 스프링클러의 화재진압 특성을 정의하는 데에 불충분하기 때문이다.

현재는, 리튬 이온 전지 또는 배터리의 저장 위험을 완벽하게 평가하거나 종합적인 화재 진압 방법을 제공하는 데에 사용될 수 있는 적절한 제품 분류를 결정하는 데에 이용될 수 있는 리튬 이온 전지에 대해 사용가능한 공개적인 대규모의 화재 시험 데이터가 없다.

FPRF는 현재 리튬 이온의 위험과 사용 평가의 2단계를 준비하고 있는데, 별크로 포장된 리튬 이온 배터리의 화재 거동 특성을 결정하는 것을 겨냥한 화재 시험, 그리고 최종적인 목표로서 다양한 리튬 이온 배터리 제품에 대하여 적절하게 제품 분류를 결정하는 데에 밀접한 관련이 있다. 이 데이터는 다양한 곳에서 사용되고 있는 리튬 이온 배터리 화재 진압과 관련한 대비를 증진시키는 일을 하는 데에 책임이 있는 NFPA 13 기술위원회에 유용하다고 생각한다.

미국 기술사인 R. Thomas Long 씨와 Micheal Kahn 박사는 고장 분석 관련 전문가이며, 미국 기술사 Celina Mikolajczak 씨는 배터리 컨설턴트이다.

출처 : Fire Protection Engineering(2012. 10)

번역 : 경영기획팀 박정배 사원