# 대용량 리튬이온 배터리 팩의 셀간 전압편차를 줄이기 위한 낮은 SOC영역에서의 가용전류 조절

이현준[1], 박종후[1], 김종훈[2], 이평연[2], 이성준[3], 송현철[4], 하미림[4]
숭실대학교[1], 충남대학교[2], 조선대학교[3], 한화지상방산[4]

# Current derating in low SOC range to reduce cell voltage deviation of large capacity Li-ion battery pack

Hyun jun Lee[1], Joung hu Park[1], Jong hoon Kim[2], Pyeong Yeon Lee[2], Seong jun Lee[3]
Hyun chul Song[4], Mi rim Ha[4]
Soong-sil University[1], Chung-nam University[2], Cho-sun University Hanwha Land Systems[3]

ABSTRACT

본 논문에서는 여러개의 셀들로 구성된 대용량 배터리팩을 충/방전시 나타나는 저 SOC영역에서의 셀간 편차 발생을 줄이기 위해 저 SOC영역에서 사용 가능한 전류값을 제한하여 셀간 편차발생을 방지하는 방법을 제안하고자 한다.

## 1. 서론

최근 전기자동차(Electrical Vehicle), 에너지 저장장치(ESS) 등 연비 개선 및 신재생 에너지의 활용과 환경오염에 따른 문제점을 해결하기 위해 환경 친화적인 에너지원으로 사용되고 있는 리튬계열 배터리에 많은 관심이 집중되고 있다. 특히, 크기 대비 에너지 밀도가 우수한 리튬 이온 배터리는 가장 널리 사용되고 있는 배터리 중 하나이다[1]. 그러나 배터리의 소형화 기술 및 에너지 저장 효율성이 높은 양극활 물질들의 개발이 큰 성과를 이루었음에도, 한 개의 셀에 저장될 수 있는 에너지의 양은 한계가 있다[2]. 따라서, 실제 시스템에 배터리를 사용할 경우에는 여러개의 셀을 직렬 및 병렬로 연결하여 각각의 시스템이 필요로 하는 전압 및 전류, 용량에 맞도록 배터리팩으로 구성하여 사용을 하게 된다. 그러나 여러개의 셀을 배터리팩으로 구성하여 사용하다 보면 셀간의 전압 불균형이 발생을 하게 된다. 배터리팩이 오랜시간 충방전을 하다 보면 셀간의 온도편차, 셀과 셀을 연결하는 연결부위에 존재하는 기생저항성분, 셀의 노화 등에 의해 셀간 전압 편차가 발생을 하게 되는데 이 편차는 배터리의 특성이 가장 불안정해지는 저 SOC영역 및 저온의 환경에서 가장 심하게 발생하고, 충/방전하는 전류의 크기가 클수록 커진다.. 이러한 셀간의 전압편차는 배터리의 팩의 전체용량 사용 효율을 떨어뜨릴뿐만 아니라 노화를 가속시키고 과충전 또는 과방전의 원인이 되기도 한다. 물론, 이러한 셀간의 전압편차를 방지하기 위해 셀 밸런싱 회로를 사용하기도 하지만, 배터리팩의 제작 단가를 높일뿐만 아니라 실제 배터리팩의 충/방전중에는 셀 밸런싱 회로의 동작이 어려워 배터리팩을 사용하지 않을때만 가능하기 때문에 효율적이지 못하다. 따라서, 본 논문에서는 저 SOC영역에서 빈번하게 발생하는 배터리팩의 셀간 전압편차를 방지하기 위해 저 SOC에서 사용가능한 전류의 크기를 제한하여 편차를 줄여보고자 한다. 전류의 크기를 제한하는 로직에 대해 설명하고, 저온에서 이 제한하는 전류의 크기대로 대용량 배터리팩의 방전 실험을 진행함으로서 검증하였다.

## 2. 대용량 배터리팩의 셀간 편차

그림 1. 실제 실험에 사용된 24S1P 대용량 배터리팩

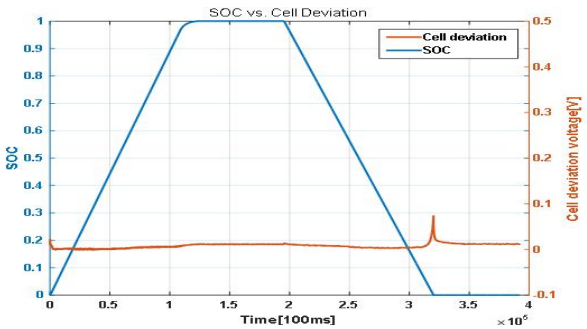


그림 2. 상온(25℃) 1/3C-rate 정전류 만방실험에서의 셀간 전압편차

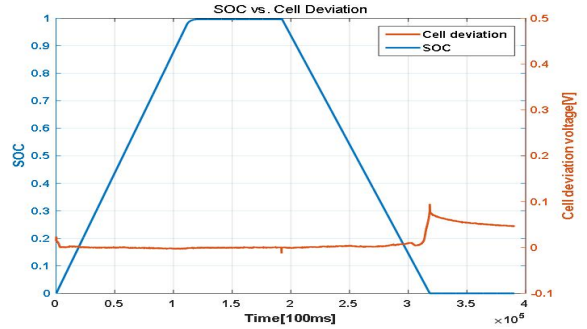


그림 3. 고온(55℃)에서 1/3C-rate 정전류 만방실험에서의 셀간

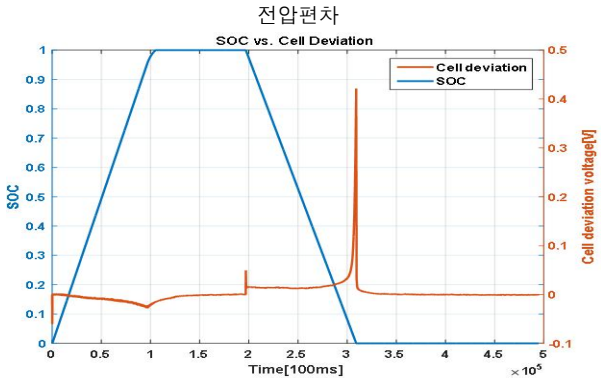


그림 4. 저온(-5℃)에서 1/3C-rate 정전류 만방실험에서의 셀간 전압편차

표 1 온도별 1/3C-rate 정전류 만방실험에서의 최대 전압편차값

| | |
|---|---|
| 상온(25℃) | 75mV |
| 고온(55℃) | 111mV |
| 저온(-5℃) | 422mV |

그림 1은 실제 실험에 사용된 24S1P 대용량 배터리팩이다. 팩을 구성하고 있는 셀은 LMO(리튬망간)+NCM(니켈망간코발트)를 양극활 물질에 사용한 리튬이온계열의 120Ah 대용량 각형 셀이다. 셀의 전압범위는 4.2V~2.7V이고 배터리팩의 전압범위는 100.8V~75.6V이다.

그림 2, 3, 4는 온도챔버를 이용하여 각각 상온(25℃), 고온(55℃), 저온( 5℃)으로 유지되는 환경에서 만충상태의 대용량 배터리팩을 1/3C rate 정전류로 만방시킨 실험에서 최대값과 최소값을 가지는 셀의 전압을 측정한 결과이다. 상온과 고온, 저온에서의 결과를 보면 공통적으로 방전구간에서 SOC 100%~10%구간까지는 셀간 전압편차가 크게 발생하지 않다가 SOC 10%이하의 구간인 저 SOC 구간에서 셀간 전압편차가 커지는 것을 확인할 수 있다. 표 1을 보면 상온과 고온에서는 최대 전압편차가 약 100mV 정도로 크기가 크지 않지만, 저온에서는 최대 전압편차가 422mV로 매우 크게 나타나는 것을 확인 할 수 있다. 전압범위가 4.2V~2.7V인 셀 단위에서 약 400mV는 매우 큰 차이라고 볼 수 있다.

## 3. 제안하는 가용전류 제한기법

$$Current = (Current_origin / SOC_origin) * SOC \quad (1)$$

표 2 대용량 배터리팩의 가용전류 제한 실험조건

| | |
|---|---|
| Case 1 | 온도 : -5℃<br>방전 : 1/3C-rate, CC<br>voltage cut-off : 75.6V<br>전류제한 시작조건 :최대 전압편차 100mV(제한전류값 1초마다 update)<br>전류제한 종료조건 : 전류값 10A |
| Case 2 | 온도 : -5℃<br>방전 : 1/3C-rate, CC<br>voltage cut-off : 75.6V<br>전류제한 시작조건 :최대 전압편차 100mV(제한전류값 10초마다 update)<br>전류제한 종료조건 : 전류값 10A |

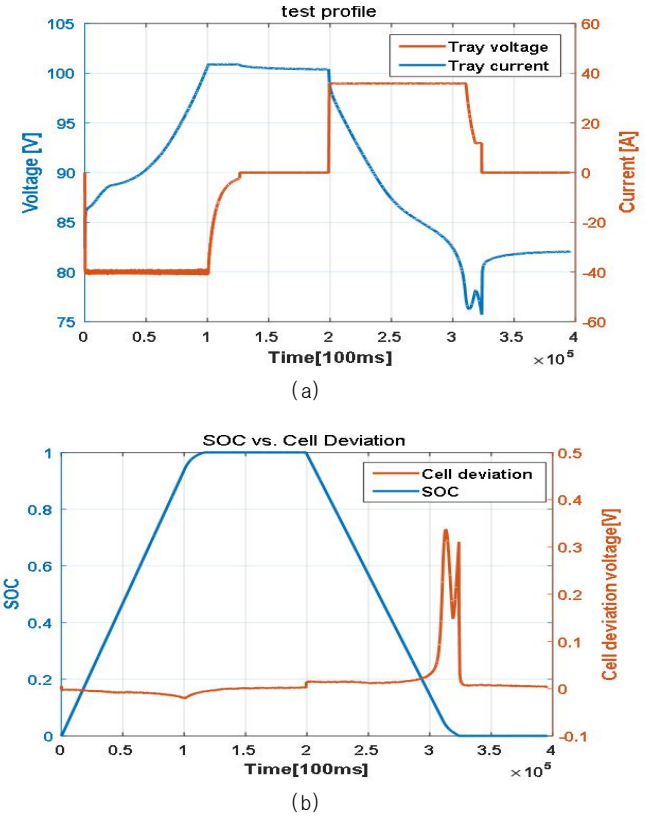


그림 5. Case 1 조건에서의 가용전류 제한 profile에 따른 실험결과; (a) 가용전류 제한 profile, (b) 셀간 전압편차 결과

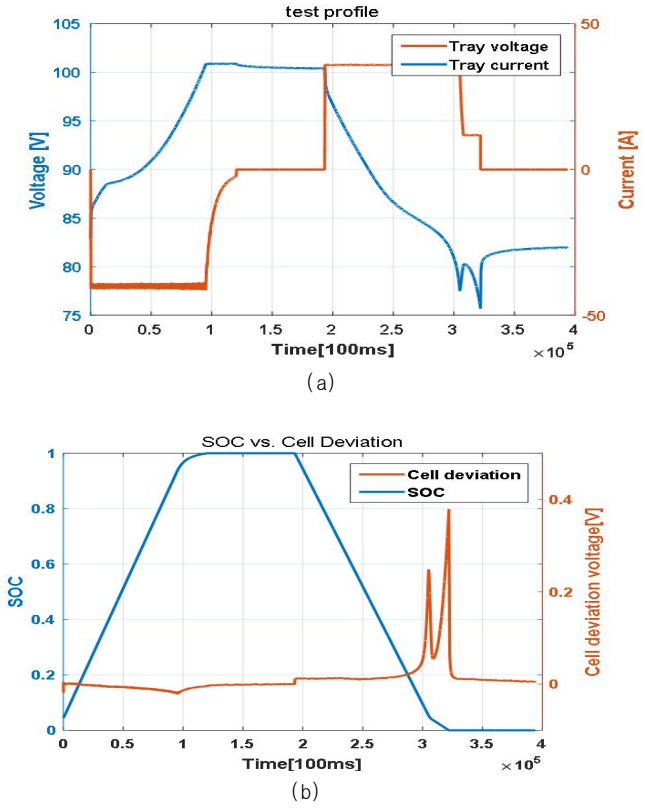


그림 6. Case 2 조건에서의 가용전류 제한 profile에 따른 실험결과; (a) 가용전류 제한 profile, (b) 셀간 전압편차 결과

표 3 가용전류 제한 실험에 따른 셀간 최대전압편차값

| | |
|---|---|
| Original | 422mV |
| Case 1 | 311mV |
| Case 2 | 373mV |

식 (1)은 제안하는 가용전류 제한식이다. 방전구간에서 가용전류 제한을 시작하는 조건이 만족되면, 시작시점의 전류값(Current_origin)과 SOC값(SOC_origin)값을 저장하고 그 값을 기점으로 SOC의 감소에 따라 전류값을 감소시키는 방식이다. 그리고 이 로직을 검증하기 위해 편차가 가장 크게 벌어지는 저온( 5℃)에서 2가지 조건으로 나누어 실험을 진행했다. 표 2를 보면 첫 번째 실험은 1/3 C rate 만방을 하다가 최대전압편차가 100mV 이상 벌어졌을 때 가용전류 제한을 시작하고 식 (1)에 의한 전류감소값을 1초에 한번씩 update하여 방전을 진행하였다. 두 번째 실험은 첫 번째 실험과 동일하나 전류감소값을 10초에 한번씩 update하여 방전을 진행하였다. 두 조건 모두 전류값이 10A에 도달했을 때 가용전류 제한을 멈추었는데, 이는 실제 시스템에서 배터리를 사용할 때 부하를 운용하기 위해 필요로 하는 최소 전류값을 10A라고 가정을 한 것이다.

그림 5, 6은 case 1, 2에 대한 충방전 profile 및 그에 따른 셀간 전압편차 결과이다. 두 조건 모두 가용전류 제한로직이 시작되는 시점부터 방전구간임에도 배터리팩 단자전압이 상승하는 경향을 보이는데, 이는 저 SOC 영역으로 갈수록 내부저항값이 상승하는데 방전하는 전류값을 줄이기 때문에 단자전압이 상승하는 것으로 잘못된 실험에 의한 이상현상이 아니라 정상적인 결과라고 할 수 있다. 그리고 그림 4의 1/3 C rate 정전류로 만방 시켰을때의 셀간 전압편차 결과를 비교해보면, 가용전류 제한로직을 이용하여 방전전류값을 감소시켰을 때, 셀간 전압편차값이 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 표 3은 셀간 최대전압편차값을 비교한 것인데, 역시 정전류로 만방 시킨 결과값 422,mV보다 Case 1에서는 311mV, Case 2에서는 373mV로 편차가 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 그리고 1초에 한번씩 전류값을 update하여 방전한 Case 1의 결과가 10초에 한번씩 전류값을 update하여 방전한 Case 2의 결과보다 좋은데, 이는 배터리의 충/방전시 계단 형식으로 전류를 감소하면서 제한하는 것보다, 계단파형을 빠르게 갱신하여 선형에 가깝게 변화시키는 것이 배터리를 안정화 시키는데 더 효과적이라는 것을 보여준다.

## 4. 결론

본 논문에서는 대용량 배터리팩의 충/방전시 발생하는 셀간 편차를 줄이기 위한 저 SOC에서의 가용전류 제한기법에 대해 제안하고 실험하여 검증해 보았다. 배터리가 가장 불안정해지는 조건인 저온과 저 SOC영역에서 큰 전류로 방전을 하게 되면 셀 간 전압 불균형이 발생한다. 이를 방지하기 위해 셀 밸런싱 회로를 사용하지만 충/방전 중에는 활용하기 어려운 한계점이 존재한다. 따라서, 저 SOC영역에서 사용할 수 있는 전류에 제한을 두고 낮은 전류로 방전을 하여 배터리를 최대한 안정화시키면서 만방에 도달할 수 있도록 가용전류 제한로직을 제안하였다. 실험결과 정전류로 만방했을 때 보다 가용전류 제한로직을 통하여 만방했을 때, 셀간 전압 불균형이 감소하는 것을 확인 할 수 있었다.

실제 시스템에서 부하가 사용할 수 있는 배터리의 전류값을 임의로 제한하는 것은 문제가 될 수 있다. 하지만 자동차의 연비향상을 위해 사용되는 ECO모드, 노트북의 배터리 용량이 얼마 남지 않았을 때 사용되는 절전모드가 있듯이, 배터리의 특성이 불안정해 질 수 있는 조건인 저온이나 저 SOC영역에서 셀간 전압편차가 일정값 이상 벌어지게 되면, 시스템의 운용에 영향을 주지 않는 최소전력값의 범위내에서 배터리의 가용전류값을 제한해준다면, 셀간 전압편차 발생에 의한 배터리의 노화, 과충전, 과방전을 방지할 수 있고, 배터리의 전체용량 활용도를 높일 수 있을 것이다.

이 논문은 한화지상방산의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임

## 참 고 문 헌

[1] 장기욱, 김혁진, 정교범, “셀 모델링 및 SOC 추정기법 비교 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2010. 07, 87 88

[2] 이현준, 박종후, 김종훈, “리튬이온 폐배터리의 효율적인 재활용을 위한 발전된 SOC 추정방법의 필요성 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2015. 11, 54 55