

배터리팩을 위한 진동·충격별 고용량 리튬이온 18650 셀 스크리닝 비교·분석

이동윤*, 윤창오*, 이평연*, 김종훈*, 장민호**, 임철우***

High-Capacity Li-Ion 18650 Cell Screening Comparison and Analysis by Vibration and Shock for Battery Pack

Dongyoon Lee*, Chang O Yoon*, Pyeongyeon Lee*, Jonghoon Kim*, Minho Jang**,
Cheolwoo Lim***

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*

Korea Aerospace Research Institute**

Satellite Research Center, Korea Institute of Science and Technology***

ABSTRACT

배터리팩에 사용되는 리튬이온 배터리는 제조공정 과정에 따라 각각의 배터리 마다 부피에 의한 물리적 특성, 내부 저항, 자가 방전률, 셀 용량, 배터리 노화 속도 등 여러 가지 특성이 다르다. 배터리 팩의 효율적 운용을 위해 이러한 단위 셀 간 편차를 최소화 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 두 종류의 고용량 리튬이온 배터리를 선정하여 진동·충격 실험 전·후 개방 회로 전압(open circuit voltage, OCV)를 측정하고 Matlab을 사용하여 비교·분석 하였다. OCV 비교·분석 데이터를 이용하여 통계적 분석 기반 셀 스크리닝을 진행하였고 이에 대한 결과를 비교·분석하였다.

1. 서 론

리튬이온 배터리는 높은 에너지 밀도, 긴 수명, 높은 정격 전압, 환경 친화적, 낮은 자가 방전 등의 특성을 갖고 있어 그림 1과 같이 잠수함, 전기 자동차(electric vehicle, EV), 인공위성 등 여러 분야에 사용되고 있다. 최근 배터리를 사용하는 분야는 고용량의 배터리를 요구하기 때문에 여러 개의 단위 셀을 직병렬 조합으로 구성한 배터리 팩이 사용한다. 이에 따라 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 배터리팩의 효율을 높이기 위한 연구와 개발이 이루어지고 있다.

배터리팩을 구성할 때 가장 많이 사용되는 배터리는 리튬이온 배터리이다. 리튬이온 배터리는 진동·충격을 가하게 되면 OCV 및 내부 저항(internal resistance), 배터리 노화 상태(state of health, SOH) 등 배터리 상태에 관한 매개 변수들이 변화하게 된다. 배터리의 상태가 변화하면 기존과 동일한 충방전 프로파일을 인가하였을 때 여러 가지 문제점이 발생하고 이는 시스템에 영향을 미친다. 본 논문에서는 진동·충격 실험 후 개방 회로 전압을 측정하여 배터리팩 설계 시 진동·충격이 각 셀의 개방 회로 전압에 얼마나 영향을 끼쳤는지 통계적 분석 기반 셀 스크리닝 방법을 사용하여 비교·분석하였다.

2. 진동·충격 실험 전·후 리튬이온 18650 셀 비교 분석

2.1 셀 진동·충격 실험

본 논문은 리튬이온 배터리에 진동과 충격을 주는 실험을

하였다. 진동실험을 위해 5 105[Hz]의 주파수를 갖는 사인파형과 20 2000[Hz]의 주파수를 갖는 무작위 파형으로 셀을 진동시키는 실험을 하였다. 충격실험은 셀에 3[ms] 동안 175g[m/s²]만큼의 가속도를 주어 충격시키는 실험을 진행하였다. g는 중력가속도를 의미한다. 그림 1은 실제 진동·충격 실험 환경이며, 그림 2는 진동·충격 전·후의 OCV 분포를 나타낸다.



그림 1 진동 실험(왼쪽), 충격 실험(오른쪽)
Fig. 1 vibration test(left), shock test(right)

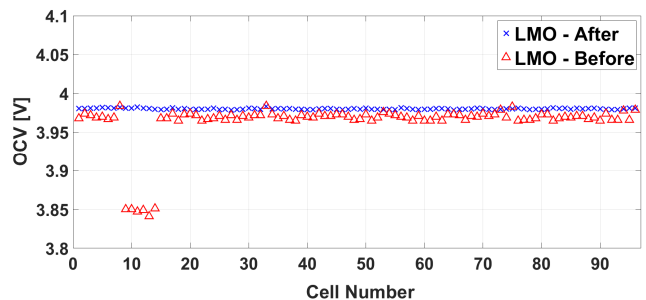


그림 2 진동 충격실험 전 후 개방 회로 전압
Fig. 2 OCV before and after vibration and shock test

2.2 진동·충격실험 셀 선정 및 OCV 비교·분석

진동·충격 실험을 위해 두 종류의 고용량 리튬이온 배터리 18650 셀을 선정하였다. 각각의 양극활 물질은 LMO(LiMn₂O₄)와 NMC(LiNiMnCoO₂)이다.

진동·충격 실험에 사용된 LMO 배터리는 총 96개, NMC 배터리는 총 144개로 각 배터리의 진동·충격 실험 후 OCV를 측정하였다. 진동·충격 실험 전·후의 OCV 데이터 비교하고, 스크리닝을 진행하여 다른 셀들보다 편차가 크게 나타나는 이상치(Outlier)의 개수를 비교·분석한다.

2.3 셀 스크리닝 기법

배터리팩은 같은 종류의 여러 개 단위 셀 직병렬 조합으로

구성된다. 그러나 생산된 같은 종류의 셀들 중 공정상의 차이로 인해 다른 셀들에 비해 편차가 크게 발생하는 셀이 생산되는 경우가 발생한다. 이로 인해 배터리팩과 같은 시스템이 무너지는 상황이 발생하게 된다. 셀 스크리닝 기법은 편차에 의해 시스템이 무너지는 상황을 막기 위해 그림 3과 같이 사전에 편차가 크게 발생하는 셀을 제거하는 기법이다.

본 논문에서 제시된 스크리닝 기법은 통계적 분석 기법인 박스 플랏(box plot)^[1]으로 산업계에서 많이 쓰이는 3시그마법보다 더욱 정밀한 방법이다.^[2] 박스 플랏에 대한 자세한 내용은 참고문헌[1]을 참고하기 바란다.

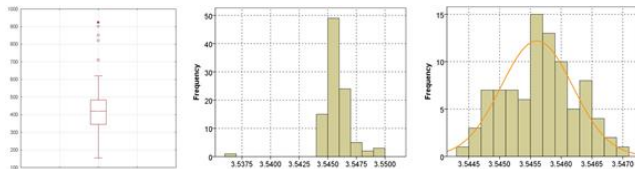


그림 3 박스 플랏을 사용한 셀 스크리닝 전 후 히스토그램
Fig. 3 Histogram before and after cell screening using box plot

2.4 셀 스크리닝 결과 비교·분석

표 1은 NMC 셀의 진동·충격 실험 전·후 셀 스크리닝 결과를 나타낸다. NMC 셀의 경우 진동·충격 실험 전의 OCV의 최대·최소값 및 평균값은 증가하였고, 셀 간의 표준편차는 약 1/2로 줄어들었다. 또한 그림 4의 왼쪽과 같이 초기 이상치는 진동·충격 실험 전에 더 많이 나타났지만, 표 1과 같이 셀 스크리닝을 통해 제거한 총 이상치의 개수는 실험 후에 더 많은 것을 확인하였다.

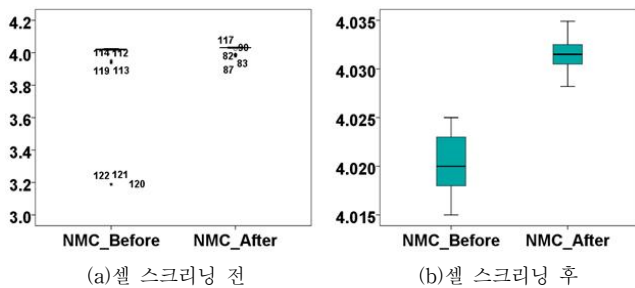


그림 4 NMC 셀 스크리닝
Fig. 4 NMC cell screening

표 1 진동 충격 전 후 NMC 셀 스크리닝 기술통계
Table 1 NMC cell screening technical statistics before and after shock

| | NMC_Before | NMC_After |
|-----------------------|------------|-----------|
| MAX[V] | 4.0250 | 4.0349 |
| MIN[V] | 4.0150 | 4.0282 |
| Average[V] | 4.0203 | 4.0315 |
| Standard Deviation[V] | 0.0030 | 0.0014 |
| Outlier[ea] | 8 | 16 |

LMO 배터리 셀 스크리닝 결과 표 2와 같이 진동·충격 실험 전의 OCV의 최대·최소값 및 평균값은 증가하였으며, 셀 간의 표준편차는 약 1/4로 줄어들었다. 또한 그림 5의 왼쪽과 같이 초기 이상치는 진동·충격 실험 전에 더 많이 나타났고, 셀 스크리닝을 통해 제거한 총 이상치의 개수도 실험 전이 더 많은 것을 확인하였다.

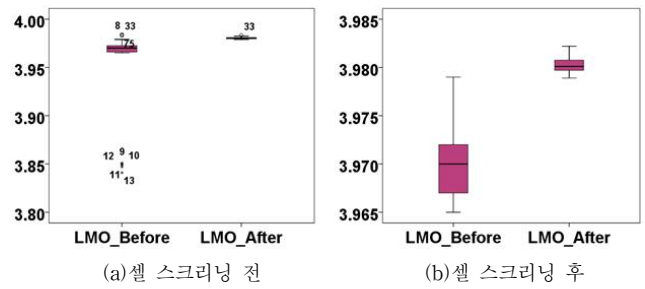


그림 5 LMO 배터리 셀 스크리닝
Fig. 5 LMO cell screening

표 2 진동 충격 전 후 LMO 셀 스크리닝 기술통계
Table 2 LMO cell screening technical statistics before and after shock

| | LMO_Before | LMO_After |
|-----------------------|------------|-----------|
| MAX[V] | 3.9790 | 3.9825 |
| MIN[V] | 3.9650 | 3.9789 |
| Average[V] | 3.9698 | 3.9803 |
| Standard Deviation[V] | 0.0034 | 0.0008 |
| Outlier[ea] | 9 | 1 |

3. 결론

셀 스크리닝을 통해서 두 종류의 셀 모두 진동·충격 실험 전·후의 셀 간 표준편차는 줄어들었지만, 전체적으로 OCV가 증가하는 것을 확인하였다. 셀의 OCV가 증가하여 배터리의 노화를 일으킨다는 것을 확인하였다.^[3] 이 때 각각의 OCV 증가량이 다르고, 이로 인해 노화속도가 다르게 되어 편차가 발생해 배터리팩에 사고가 발생할 수 있다. 스크리닝을 통해 이러한 편차를 성공적으로 줄여 사전에 서로 다른 노화상태에 대한 편차로 인한 사고를 예방 할 수 있다. 또한 추가적으로 제거되는 이상치의 개수는 진동·충격 실험 후에 많을 것으로 예상하였다. 그러나 제거된 이상치 수가 감소하는 경우가 있는 것으로 보아 처음부터 제조 공정상의 문제 또는 셀 내부의 화학반응의 문제로 인해 제 역할을 못하고 있던 셀이 존재하는 것으로 보여진다. 따라서 실험 전 셀 스크리닝을 통해 이상치를 제거하여 최대한 편차가 없는 셀들을 실험에 사용하여야 한다.

이 논문은 2018년 한국연구재단의 우주핵심기술개발사업의 지원을 받아 수행된 연구입니다.
(NRF 2017M1A3A3A03016056)

참고 문헌

- [1] 이동윤, 이평연, 김중훈, 임철우 “배터리 팩을 위한 고출력, 고용량 리튬이온 18650 셀 스크리닝 비교 분석”, 전력전자학회 추계학술대회 논문집, 2017년.
- [2] Gonai, T., Kiyokawa, T., Yamazaki, H., & Goto, M. (2003, October). Development of the lithium ion battery system for space: report on the result of development of the lithium ion battery system for space. In Telecommunications Energy Conference, 2003. INTELEC'03. The 25th International(pp. 234-240). IEEE.
- [3] Gregory L. Plett. "Battery management systems, Volume II (Equivalent Circuit Methods)"