

# 고출력 어플리케이션의 배터리 팩에 적합한 셀간 편차를 이용한 스크리닝 기법

이평연\*, 이동윤\*, 박진형\*, 김종훈\*, 임철우\*\*  
충남대학교\*, 한국과학기술원 인공위성연구센터\*\*

## Screening method using the cells deviation for Li-ion battery pack of the high power application

P. Y. Lee\*, D. Y. Lee\*, J. H. Park\*, J. H. Kim\*, C. W. Lim\*\*

Chungnam National University\*, Satellite Research Center, Korea Institute of Science and Technology\*\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 고출력 리튬이온 18650 셀(cell) 200개를 사용하여 고출력 어플리케이션의 운용 범위와 동적 특성을 적용한 스크리닝 방법을 제안하였다. 전기적 특성 실험 기반 배터리 용량과 OCV(open circuit voltage)의 요소를 고려한 16개의 내부 파라미터를 추출하고 표준편차 기반 가중치를 선정하였다. 선정된 가중치를 각각의 요소에 적용하여 단위 셀의 대표 값을 결정하고 셀 스크리닝을 수행하였다. 기존의 스크리닝 기법과 제안된 스크리닝 기법을 200개의 단위 셀에 적용하여 두 기법의 차이를 비교 분석하였다.

### 1. 서론

산업의 발전에 따라 친환경적인 신재생 에너지의 중요도가 증가하고 있으며 이에 따라 신재생 에너지를 저장할 수 있는 저장 매체의 중요도도 증가하고 있다. 대표적인 저장 매체는 이차 전지로 다양한 분야에서 연구가 활발히 진행되고 있다.

기술의 발전으로 전기자동차(electric vehicle;EV), 전기자전거(E bike), ESS(energy storage system)등 이차 전지가 사용되는 어플리케이션이 늘어남에 따라 요구조건도 다양해지고 있다. 이차 전지가 적용되는 어플리케이션에 따라 크게 두가지(고용량 및 고출력)로 나눌 수 있고 직렬, 병렬, 직렬과 병렬을 혼합한 배터리 팩이 사용된다. 배터리 팩 사용 시 동일한 배터리를 사용하더라도 전기화학적 특성이 상이한 차이를 가지고 있어 충전과 방전이 지속되면 셀간 불균형이 발생한다. 이 불균형에 의해 배터리 팩의 전체적인 출력 및 에너지 밀도가 감소하며 배터리 팩 내부 단위 셀에서 과충전 및 과방전이 발생할 수 있다. 이에 따라 셀간 불균형이 발생한 배터리 팩을 탑재 시 어플리케이션의 성능 저하가 예상된다.

셀간 편차를 최소화시키기 위해 배터리 팩 설계 시 셀 밸런싱 기법, 스크리닝 기법 등 다양한 방법이 사용되고 있다. 본 논문에서는 실제 고출력 어플리케이션에 적합한 스크리닝 기법에 초점을 맞추고 있다. 셀 스크리닝 기법은 일반적으로 지정된 전류를 인가하고 방전 용량과 방전 곡선을 이용하여 셀 선별<sup>[1]</sup>을 수행하지만 본 논문에서는 고출력 어플리케이션에서의 배터리 운용 범위와 동적 특성을 고려하기 위하여 배터리 용량과 더불어 운용 조건에 기반한 각 전압별 미소 용량(partially capacity), OCV(open circuit voltage),  $\Delta$ OCV의 16개의 요소를 고려하여 셀 스크리닝을 수행하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 실험 조건

본 논문에서는 고출력 어플리케이션의 운용 조건을 고려하여 효율적인 스크리닝을 위하여 동일한 고출력 리튬이온 18650 셀을 200개 사용하였다. 생산 공정이 같은 동일 종류의 단위 셀이라도 전기화학적 특성에 상이한 차이가 존재한다. 이에 따라, 실험 수행 전 온도에 의한 영향을 제외시키기 위하여 항온 항습챔버를 사용하였다. 전기적 특성 실험의 경우 충방전기를 사용하여 수행하였다.

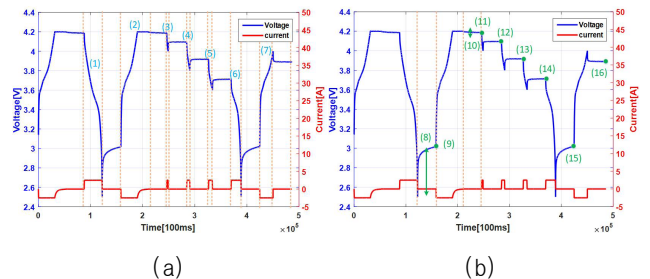


그림 1 전기적 특성 실험 프로파일  
(a)용량 요소, (b) OCV 요소

Fig. 1 Electrical characteristics test profile  
(a) capacity factor, (b) OCV factor

#### 2.2 전기적 특성 실험

상온(25°C)의 온도 조건에서 200개 단위 셀의 내부 특성을 확인하기 위해 모두 동일한 프로파일(그림 1)을 적용하였다. 전기적 특성 실험에 적용된 전류는 단위 셀의 정격 용량(rated capacity) 기반 1C rate를 적용하였다. 충전 조건은 CC CV(constant current constant voltage), 방전 조건은 CC(constant current)를 적용하여 작동 전압의 범위(4.2V~2.5V)에서 실험을 수행하였다. 그림 1의 (a)는 단위 셀의 용량에 관련된 7개의 요소 측정 위치를 나타낸다. 용량에 관련된 요소는 전류 적산을 기반으로 배터리의 실제 방전 용량(1), 충전 용량(2), 각 전압에 따른 미소 용량(3~6), 만방에서 4.0V까지의 충전 용량(7)을 추출하였다. 그림 1의 (b)는 OCV(open circuit voltage)와 관련된 9개의 요소 추출 위치를 나타낸다. OCV와 관련된 요소는 만방(fully discharge)(8)과 만충(fully charge)(10)의  $\Delta$ OCV와 각각의 만방(9), 만충(11), 전압(4.0V, 3.8V, 3.6V, 2.5V)(12~16)에서

의 OCV를 추출하였다. 추출된 16개의 배터리 내부 파라미터는 그림 2에 나타내었다.

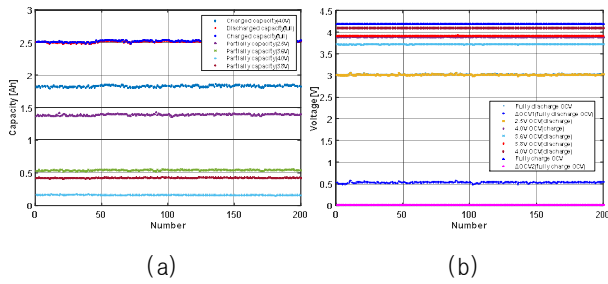


그림 2 실험 기반 16개의 요소  
(a) 용량의 요소, (b) OCV 요소

fig. 2 16 factors based on experimental result  
(a) capacity factor, (b) OCV factor

표 1 16개 요소의 표준 편차 및 가중치  
Table 1 standardeviation and weight of 16 factor

Factor	SD	Weight	Rank
Discharged capacity (full)	0.01289	0.40218	1
Charged capacity (full)	0.01275	0.39782	2
Partailly capacity (4.0V)	0.00518	0.01251	9
Partailly capacity (3.8V)	0.00317	0.00751	10
Partailly capacity (3.6V)	0.00575	0.01388	8
Partailly capacity (2.5V)	0.01139	0.02753	6
Charged capacity (4.0V)	0.01334	0.03224	3
ΔOCV1	0.01294	0.03128	4
Fully discharge OCV	0.01294	0.03127	5
ΔOCV2	0.00079	0.00194	15
Fully charge OCV	0.00080	0.00192	16
Discharge OCV (4.0V)	0.00139	0.00337	14
Discharge OCV (3.8V)	0.00159	0.00385	13
Discharge OCV (3.6V)	0.00203	0.00490	12
Discharge OCV (2.5V)	0.00934	0.02258	7
Charge OCV (4.0V)	0.00216	0.00522	11

### 2.3 제안된 스크리닝 기법

본 논문에서 제안된 스크리닝 기법은 방전 용량만으로 스크리닝하는 기존의 기법과 다르게 실제 어플리케이션에 적용되는 배터리의 운용 범위와 동적 특성을 고려하였다. 스크리닝 방법은 그림 2 (a), (b)에 나타난 용량과 OCV의 요소의 표준편차를 사용하여 가중치를 결정하였다. 표준편차는 평균으로부터 얼마나 흩어져있는 알 수 있는 나타낼 수 있는 값을 의미하고 식 (1)에 나타내었다. m은 평균, n은 요소의 개수, x는 요소가 나타내는 값을 의미한다. 표준편차가 큰 요소일수록 평균으로부터 흩어져있는 정도가 높으므로 표준편차가 작은 요소에 비해 높은 비중으로 가중치를 선정하였다. 각 요소의 표준편차와 가중치, 순위를 표 1에 나타내었다. 배터리 팩 설계 시 방전 및 충전 용량은 배터리 팩의 수명과 밀접한 관계가 존재하여 가중치를 높게 설정하였다. 16개의 요소에서 선정한 가중치의 합은 1이 되도록 설정하고 0~1의 범위를 갖는 단위 셀의 대표 값을 산출하였다. 다양한 어플리케이션에서 요구되는 운용 범위에 상이한 차이가 있고 배터리의 동적 특성도 달라지기 때문에 이를 고려하여 가중치를 변경하였다. 배터리 팩의 직렬과 병렬 조합의 설계에 따라 개수를 선정하고 이에 따라 그룹을 구성하

였다. 구성된 그룹 중 편차가 가장 적은 그룹을 선별하여 기존 스크리닝 기법과 비교하였다. 또한 제안된 스크리닝 기법은 어플리케이션의 요구 조건에 따라 가중치의 일부 변경하여 효율적인 배터리 팩 설계를 수행할 수 있다.

$$\sqrt{\frac{(x_1 - m)^2 + (x_2 - m)^2 + \dots + (x_n - m)^2}{n}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2} \quad (1)$$

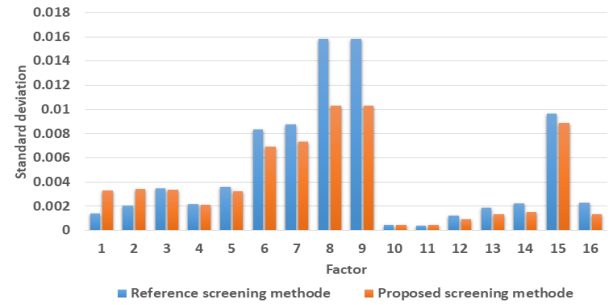


그림 3 기존 스크리닝과 제안된 스크리닝의 표준편차 비교  
Fig. 3 Comparison of reference screening and proposed screening

### 2.4 기존 스크리닝 기법과 제안한 스크리닝 기법 비교

그림 3은 동일한 200개의 단위 셀을 사용하여 기존 스크리닝 기법과 제안된 스크리닝 기법을 적용하여 셀간 편차가 가장 적은 50개의 셀을 선정하고 두 개의 기법을 비교하였다. 용량의 요소 중 방전 용량과 충전 용량의 편차는 상대적으로 증가하였지만 나머지 요소(미소용량, OCV, ΔOCV)는 기존 스크리닝 방법과 비교하였을 때 셀간 편차의 감소를 확인하였다. 제안된 방식은 실제 어플리케이션에 운용조건에 따라 가중치의 중요도를 고려하여 유동적으로 가중치를 조절할 수 있으므로 향후 다양한 어플리케이션에서 본 논문에서 제안한 스크리닝 기법을 적용 할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문에서는 200개의 동일한 고출력 리튬이온 18650 셀을 사용하였고 기존 스크리닝 기법보다 실제 어플리케이션에 적합한 배터리 팩 설계를 위해 전기적 특성 실험을 적용하여 16개의 배터리 내부 파라미터(방전 용량, 미소 용량, OCV)를 추출하였다. 추출된 16개의 요소를 고려하여 가중치를 선정하였고 이에 따라 대표 값을 선정하였다. 기존 스크리닝에 비해 용량의 편차는 증가하지만 나머지 요소에서 상대적으로 편차가 감소함을 확인하였다. 향후 기존의 스크리닝 방법과 제안한 스크리닝 방법을 적용한 실제 배터리 팩 제작 및 제작된 배터리 팩을 사용하여 충전 및 방전 빈번한 전기적 특성 실험을 수행하고 실험 결과를 통해 배터리 팩 내부의 셀간 편차를 확인하고 두 기법의 차이를 검증할 것이다.

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

## 참고 문헌

[1] 김정환,(2003), 특허출원 제 10 2003 0038165,대한민국특허청(KR)