

랜덤 추출과 스크리닝 기법을 적용한 배터리 팩 설계의 통계적 분석

이평연*, 김종훈**
조선대학교* ,충남대학교**

Statistical analysis of the battery pack design by applying the random extraction and screening technique

Pyeong Yeon Lee*, Jong Hoon Kim**
Chosun University*, Chungnam National University**

ABSTRACT

본 논문에서는 효율적인 배터리 팩 설계를 위해 300개의 18650 리튬이온 셀의 전기적 특성을 비교분석하였고 통계적 분석을 기반으로 스크리닝 기법을 적용하였다. 300개의 고출력 원통형 18650 리튬이온 배터리 셀을 사용하여 전류적산법 기반 방전 용량(discharged capacity)과 HPPC(hybrid pulse power Characterization) test 기반 충전저항과 방전저항을 추출하였다. 추출한 파라미터를 바탕으로 통계적 분석을 수행하고 스크리닝 기법을 적용하였다. 스크리닝 기법을 적용한 셀과 랜덤으로 추출된 셀을 비교 및 분석하였다.

1. 서론

현재 산업과 기술의 발전에 따라 리튬이온 배터리 팩은 다양한 대형 어플리케이션의 사용되고 있다. 리튬 이온 배터리 팩은 필요에 따라 고출력 또는 고용량 특성을 가지는 직병렬 배터리 팩으로 설계된다. 대표적으로 휴대폰 보조배터리, 전기 자동차(electric vehicle; EV), BESS(battery energy storage system), 인공위성 발사체 등 어플리케이션의 특성에 따라 배터리 팩이 설계된다. 배터리 팩 운용 시 충전과 방전이 빈번하게 일어나면 각각의 배터리 셀의 전기화학적 특성에 따라 배터리 팩의 셀 간 전압차이가 발생하고, 셀 밸런싱 기술이 필요하게 된다. 셀 밸런싱은 중요한 기법 중 하나이지만 충전과 방전이 진행됨에 따라 셀 간 편차는 다시 발생하고 셀 밸런싱을 다시 실행함에 따라 시간, 비용이 소요된다.^[1] 본 논문에서는 셀 밸런싱의 최소화를 위해 팩 설계 전에 통계적 분석을 적용하고 데이터마이닝 기법 중 하나인 스크리닝 기법을 사용하고 셀 간 전기화학적 파라미터가 동일하거나 근접한 셀을 선별하여 효율적인 팩 설계를 실험을 통해 비교 및 검증하였다.

2. 본론

2.1 스크리닝 기법의 필요성

BMS(battery management system)는 직렬 조합이 있는 배터리 팩의 충전 시 한 개의 배터리 셀이라도 만충(fully charge) 상태가 되면 전류의 유입이 끊어지고 충전이 멈추게 된다. 따라서 셀의 전기화학적 특성에 따라 셀 간 전압과 SOC(State of charge)가 각각의 배터리 셀마다 달라져 배터리 열화의 원

인이 되고 배터리 팩의 수명에 영향을 미치게 된다. 18650 고출력 리튬이온 셀은 동일 재료와 공정으로 만들어진 제품이라도 실험 기반 파라미터를 나타낸 그림 1과 그림 2를 통해 전기화학적 특성이 다르다는 사실을 확인하였다. 효율적인 배터리 팩 설계를 위해 전기화학적 특성이 유사한 배터리 그룹을 형성하는 스크리닝 기법이 필요하다. 스크리닝 기법은 용량적인 측면과 내부 저항적인 측면으로 나눌 수 있고, 본 논문에서는 두 가지 측면을 모두 고려하였다.

2.2 전기화학적 실험

만충과 만방의 전류프로파일을 적용하여 방전 용량(discharged capacity)을 추출하였고, HPPC test 기반 전류 프로파일을 적용하여 SOC 80%에서의 저항을 추출하였다. 그림 1(a), (b), (c)은 300개 배터리 셀의 방전용량, 방전저항, 충전저항을 나타내었고 통계적 비교 및 분석을 수행하였다.

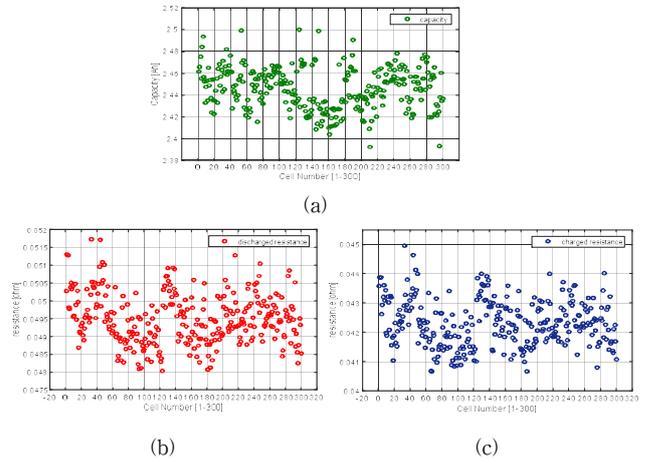


그림 1 300개의 동일한 리튬이온 셀의 (a) 방전용량, (b) 방전저항, (c) 충전저항
Fig. 1 (a) discharged resistance, (b) discharged resistance, (c) charged resistance parameters of the same li-ion cell (300)

2.3 통계적 분석

스크리닝 기법을 적용하기 전에 통계 분석의 방법 중 하나인 정규성 검정을 실시하였다. 검정을 통해 정규성을 이루면 지금보다 많은 배터리 셀의 파라미터 확률을 예측할 수 있는 장점이 있다. 본 논문에서는 파라미터를 기반으로 정규성 검정

방법의 하나인 shapiro wilk 테스트를 수행하였고 테스트 결과 본 논문에서 사용된 모든 파라미터가 정규성을 이루는 것을 확인하였다.^[2]

2.4 파라미터 기반 1차, 2차, 3차 스크리닝 기법

그림 2는 300개의 리튬 이온 배터리 셀의 방전 용량에 따른 히스토그램을 나타낸다. 통계적 분석을 이용하여 상대적으로 빈도가 높은 파라미터 주변으로 표준편차를 추출하고, 스크리닝 기법을 적용하였다. 셀 100개당 한 그룹으로 설정하고 각각 파라미터의 범위를 다르게 하여 8개의 그룹을 선별 및 비교하였다. 그 중 표준편차가 가장 작은 그룹을 1차적으로 선별하였다. 표 1의 group (a)는 선별된 8개 그룹의 방전용량 표준편차를 나타내었다. 내부 저항의 충전 저항과 방전 저항을 고려하였고, 2차적으로 선별을 위해 표준편차가 상대적으로 높은 충전 저항을 먼저 고려하였다. 선별된 100개의 셀 중 50개의 셀을 1차선별과 동일한 방법으로 2차선별하였다. 그림 4(a)에 2차 스크리닝을 실시한 히스토그램으로 나타내었다. 3차선별 또한 동일 방법으로 50개의 셀 중 20개를 선별하였다. 그림 4 (b)에 3차 스크리닝을 실시한 방전저항의 히스토그램을 나타내었다. 표 1의 group (b), group (c)는 선별된 8개의 그룹의 2차, 3차 스크리닝한 충전 저항과 방전 저항의 표준편차를 나타내었다.

2.5 랜덤 추출과 스크리닝 한 데이터 비교

최초 300개의 리튬 이온 배터리 셀에서 랜덤 추출한 20개의 배터리 셀과 최종 선별된 20개의 배터리 셀을 비교, 분석하였다. 그림 4에서 스크리닝 기법을 적용한 셀에 비해 랜덤 추출한 셀은 전기화학적 특성이 고르지 않음을 보여준다. 각각의 표준편차를 추출한 결과 통계적 분석을 기반 한 스크리닝 방법이 셀 간 파라미터의 편차가 적음을 확인하였다. 즉, 통계적 분석을 스크리닝에 적용함으로써 랜덤추출보다 전기화학적 특성이 유사함을 보이고 효율적인 팩 설계 시 스크리닝 기법의 정확성이 향상됨을 의미한다.



그림 2 방전용량 기반 히스토그램(300개)
Fig. 2 histogram based on discharge capacity

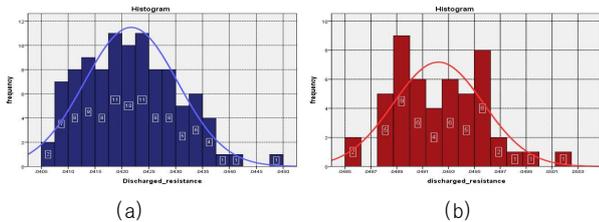


그림 3 (a) 충전 저항 기반 히스토그램(100개)
(b) 방전 저항 기반 히스토그램(50개)
Fig. 3 (a) histogram based on charged resistance(100)
(b) histogram based on discharged resistance(50)

표 1 1차, 2차, 3차 스크리닝 (방전 용량, 충전 저항, 방전 저항) 선별된 8개 그룹의 파라미터 표준편차

Table 1 The standard deviation of the selected 8 group of parameters (discharged capacity, charged resistance, discharged resistance)

group (a)	standard deviation	group (b)	standard deviation	group (c)	standard deviation
1	0.0048872	1	0.0004132	1	0.00011687
2	0.0046876	2	0.0003952	2	0.00010360
3	0.00471956	3	0.0003694	3	0.00011721
4	0.00583218	4	0.0003688	4	0.00014030
5	0.00619590	5	0.0003697	5	0.00014293
6	0.00611537	6	0.0004424	6	0.00011474
7	0.00607408	7	0.0004212	7	0.00015827
8	0.00719843	8	0.0003667	8	0.00014698

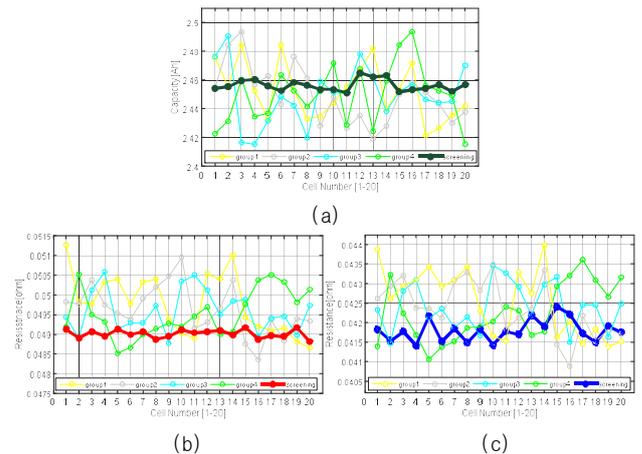


그림 4 최종 선별된 배터리 셀과 랜덤추출한 배터리 셀의 비교
(a)방전용량 (b)방전 저항 (c)충전저항
Fig. 4 Comparison of the final screening of the battery cell and the battery cell extracted random (a)discharged capacity (b)discharged resistance (c)charged capacity

3. 결론

본 논문에서는 효율적인 리튬 이온 배터리 팩 설계를 위해 고효율 원통형 배터리 셀 300개를 사용하였으며 통계적인 분석을 기반으로 한 스크리닝 기법을 사용하여 최종 20개의 배터리 셀을 선별하였다. 랜덤 추출한 배터리의 셀과 최종 선별된 배터리 셀을 비교하였고 랜덤추출보다 스크리닝의 정확성이 향상됨을 확인하였다. 향후 통계적 분석을 적용한 스크리닝 기법을 사용하여 배터리 팩 설계하고 전기화학적 특성분석을 통해 기존 스크리닝 기법과 차이를 검증할 것이다.

이 논문은 2016년 미래창조과학부와 한국연구재단의 한국형발사체개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (NRF 2016M1A3A1A02021173)

참고 문헌

[1] 김래영. "리튬 이온 배터리용 셀 밸런싱 기술의 발전 동향." KPIPE MAGAZINE, 19.6 (2014.12): 38-44.
[2] Razali, Nornadiah Mohd, and Yap Bee Wah. "Power comparisons of shapiro wilk, kolmogorov smirnov, lilliefors and anderson darling tests." Journal of statistical modeling and analytics 2.1 (2011): 21-33.