

배터리 팩을 위한 고출력, 고용량 리튬이온 18650 셀 스크리닝 비교 분석

이동윤*, 이평연*, 김종훈*, 임철우**

충남대학교 전기공학과*, 한국과학기술원 인공위성연구센터**

High Power, High Energy Lithium Ion 18650 Cell Screening Comparative Analysis for Battery Pack

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

Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*

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

ABSTRACT

배터리 팩에 사용되는 리튬이온 배터리는 셀의 양극활물질에 따라 특성이 다르다. 배터리 팩의 효율적 운용을 위해 단위 셀 간 편차를 최소화 하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 양극활 물질이 다른 고출력 및 고용량 리튬이온 배터리 세 종류를 선정하여 IR 및 OCV를 측정하고, 통계적 분석 기반 셀 스크리닝을 진행하여 결과를 비교 분석하였다.

1. 서론

리튬이온 배터리는 높은 에너지 밀도, 긴 수명, 높은 정격 전압, 환경 친화적, 낮은 자가 방전 등의 특성을 갖고 있어 그림 1과 같이 현재 잠수함, 전기 자동차(electric vehicle ; EV), 인공위성 등에 사용되고 있다. 이러한 여러 분야에 사용되는 배터리는 단위 셀이 아닌 여러 개의 단위 셀을 직병렬 조합으로 구성된 배터리 팩을 사용한다. 이에 따라 우리나라를 비롯하여 전 세계적으로 배터리 팩에 대한 연구와 개발이 이루어지고 있다.

배터리 팩 구성 시 사용되는 리튬이온 배터리는 양극활물질에 따라 단위 셀의 전기화학적 특성이 다르고, 이에 따라 배터리 팩의 특성도 다르게 된다. 충전과 방전이 반복됨에 따라 셀 간 불균형이 발생하여 배터리 팩에 영향을 미치게 된다. 본 논문에서는 배터리 팩 설계 시 사전에 셀 간 편차를 최소화하여 전기화학적 특성이 유사한 셀을 선별하는 통계적 분석 기반 셀 스크리닝 방법을 사용하였다. 양극활물질이 LMO(LiMn₂O₄), NMC(LiNiMnCoO₂), LFP(LiFePO₄)로 이루어진 고출력 및 고용량 리튬이온 배터리 세 종류를 선정하였다. 본 논문에서는 세 종류의 리튬이온 배터리 셀 스크리닝 결과를 비교 분석하였다.



그림 1 잠수함(왼쪽), EV(가운데) 및 인공위성(오른쪽)
Fig. 1 submarine(left), EV(center) and satellite(right)

2. 고출력, 고용량 리튬이온 18650 셀 비교 분석

2.1. 제시된 셀 스크리닝 기법

본 논문에서 제시된 스크리닝 기법은 일반적으로 사용되고 있는 3시그마법에 사용된 $\pm 3\sigma$ (σ = 표준편차) 범위보다 더욱 좁은 범위를 갖고 있는 통계적 분석 기법인 박스 플랏(box plot)을 사용하여 더욱 정밀한 스크리닝을 하였다. 이로 인해 셀 간 편차가 큰 셀은 최대한 제외시키고, 유사한 특성을 갖는 셀들만을 선별할 수 있도록 하였다. 박스 플랏은 사분편차(quartile deviation)와 이상치(outlier)를 직관적으로 나타내어 스크리닝 절차가 간단하다는 장점이 있다. 그림 2는 본 논문에서 제시하는 스크리닝 기법인 박스 플랏과 이를 3시그마법과 비교했을 때의 결과를 나타낸다.

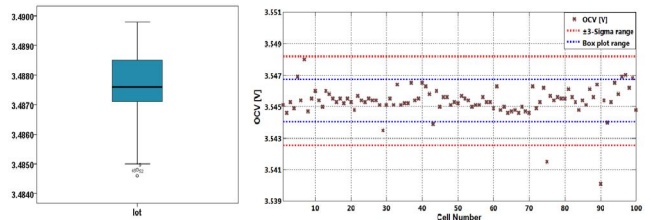


그림 2 박스 플랏(왼쪽), 스크리닝 방법 비교(오른쪽)

Fig. 2 Box plot(left), Comparison of screening methods(right)

2.2. 스크리닝 분석 과정

본 논문에서는 1차적으로 양극활물질이 다른 LMO(LG), NMC(Samsung), LFP(A123) 리튬이온 배터리 18650 셀을 선정해 IR(internal resistance)과 OCV(open circuit voltage)를 측정 후, 셀 스크리닝 결과를 비교하여 편차가 가장 심한 리튬이온 배터리를 제외한다. 2차적으로 제외하고 남은 두 종류의 리튬이온 배터리의 셀은 개수를 늘려 IR 및 OCV를 측정하고, 스크리닝을 진행한다. 두 종류의 셀 스크리닝 결과에서 각 집합별로 발생한 총 이상치를 비교하고, 배터리 팩 설계 시마다 필요한 셀의 개수에 따라 어떠한 리튬이온 배터리를 사용하여야 배터리 팩을 더욱 효율적으로 설계 할 수 있는지에 대하여 분석하도록 한다.

2.3. 스크리닝 결과 비교 분석

LMO, NMC, LFP 리튬이온 배터리 셀의 IR 및 OCV를 측정하여 셀 스크리닝을 진행하고, 이의 비교 분석을 실시하였다.

2.3.1. LMO, NMC, LFP 18650 셀 스크리닝

LMO, NMC, LFP 리튬이온 배터리 별 1 lot(100개)의 셀을 선정하여 스크리닝을 적용한 결과 각각 1개, 6개, 16개의 이상치가 발생하였다. 기술통계를 통해 LFP 리튬이온 배터리의 IR 및 OCV의 표준편차(standard deviation)가 LMO, NMC 리튬이온 배터리의 표준편차보다 약 10배 이상 큰 것을 확인하였다. 배터리 팩 설계 시 LFP 리튬이온 배터리는 셀 간 편차가 심하여 설계 시 큰 어려움이 있다. 그림3, 4는 각각 IR과 OCV의 스크리닝 적용 전, 후 박스 플랏을 나타내며, 표 1, 2는 각각 세 종류의 리튬이온 배터리의 IR과 OCV의 스크리닝 적용 후 기술통계이다.

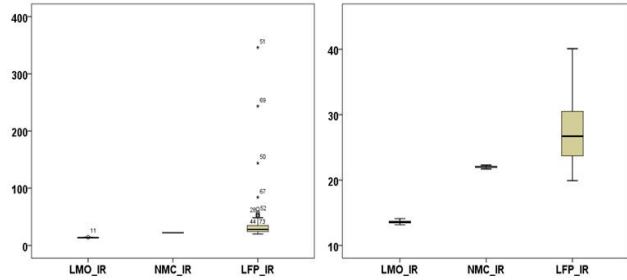


그림 3 IR 스크리닝 적용 전(왼쪽), 후(오른쪽) 박스 플랏
Fig. 3 IR screening before(left) and after(right) box plot

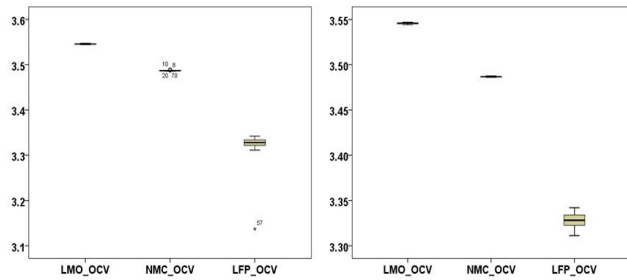


그림 4 OCV 스크리닝 적용 전(왼쪽), 후(오른쪽) 박스 플랏
Fig. 4 OCV screening before(left) and after(right) box plot

표 1 IR 스크리닝 적용 후 기술통계
Table 1 Technical statistics after IR screening

| | LMO_IR | NMC_IR | LFP_IR |
|------------------------|---------|---------|---------|
| Max[mΩ] | 14.10 | 22.29 | 40.10 |
| Min[mΩ] | 13.16 | 21.69 | 19.90 |
| Average[mΩ] | 13.5677 | 22.0189 | 27.7868 |
| Standard deviation[mΩ] | 0.20819 | 0.12857 | 5.16530 |
| Outlier[ea] | 1 | 0 | 15 |

표 2 OCV 스크리닝 적용 후 기술통계
Table 2 Technical statistics after OCV screening

| | LMO_OCV | NMC_OCV | LFP_OCV |
|-----------------------|-----------|-----------|-----------|
| Max[V] | 3.5470 | 3.4876 | 3.3420 |
| Min[V] | 3.5440 | 3.4860 | 3.3113 |
| Average[V] | 3.545705 | 3.486794 | 3.328064 |
| Standard deviation[V] | 0.0006428 | 0.0003821 | 0.0076392 |
| Outlier[ea] | 0 | 6 | 1 |

2.3.2. LMO, NMC 18650 셀 스크리닝

각각 1, 2, 5, 10개의 lot으로 구성된 집합 단위로 나누고 스크리닝을 적용하였다. 10개의 lot으로 구성된 집합의 스크리닝 결과 NMC 리튬이온 배터리와 LMO 리튬이온 배터리에서 발생하는 이상치의 총 개수는 각각 8개, 28개로 NMC 리튬이온 배터리의 스크리닝 결과가 더 우수하다. 그러나 1, 2, 5개의 lot으로 구성된 집합의 스크리닝 결과는 LMO 리튬이온 배터리가 더 우수하였다. 이는 1, 2, 5개의 lot으로 배터리 팩을 구성할 때는 LMO 리튬이온 배터리를 사용하고, 10개의 lot으로 배터리 팩을 구성할 때는 NMC 리튬이온 배터리를 사용하여 제작하는 것이 더욱 효율적이라는 것을 의미한다. 표 3은 LMO 리튬이온 배터리와 NMC 리튬이온 배터리의 lot 개수에 따른 집합별 IR 및 OCV의 총 이상치 개수와 IR과 OCV에서 발생하는 이상치 개수의 합을 나타낸다.

표 3 LMO와 NMC 리튬이온 배터리의 이상치 총 개수
Table 3 Total number of outliers in LMO and NMC Li-ion battery

| | LMO_IR | LMO_OCV | LMO_Total | NMC_IR | NMC_OCV | NMC_Total |
|--------|--------|---------|-----------|--------|---------|-----------|
| 1 lot | 4 | 25 | 29 | 14 | 31 | 45 |
| 2 lot | 6 | 20 | 26 | 12 | 20 | 32 |
| 5 lot | 9 | 19 | 28 | 1 | 64 | 65 |
| 10 lot | 10 | 18 | 28 | 4 | 4 | 8 |

3. 결 론

본 논문에서는 세 종류의 고출력 및 고용량 리튬이온 18650 셀에 통계적 분석 기반 스크리닝을 적용하였다. LFP 리튬이온 배터리는 다른 리튬이온 배터리보다 IR와 OCV에서 높은 편차를 갖고, 이에 따라 셀 간 불균형이 크기 때문에 배터리 팩 설계에 어려움이 있다. 효율적인 배터리팩 설계를 위해서는 LMO 리튬이온 배터리를 적은 양의 셀로 배터리 팩을 설계할 때 사용하고, NMC 리튬이온 배터리를 많은 양의 셀로 배터리 팩을 설계할 때 사용하는 것이 적합하다.

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

참 고 문 헌

- [1] 이평연, 이동윤, 김종훈, 임철우. "우주용 배터리 팩을 위한 통계적 분석 기반 최적의 셀 스크리닝 기법", 한국항공우주학회 학술대회 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] conpaper.tistory.com/47287
- [4] www.kia.com/uk/new cars/soul ev/
- [5] www.ko.wikipedia.org/wiki/아리랑_2호