

고출력 배터리팩의 안정적 운용을 위한 과방전 기반 전기적 특성 분석

김건우*, 이평연*, 김종훈*, 임철우**
충남대학교*

Electrical characteristics analysis for stable operation of high-power battery pack based on over-discharging

Gunwoo Kim*, Pyeongyeon Lee*, Jonghoon Kim*, Cheol Woo Lim**
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*
Satellite Research Center, Korea Institute of Science and Technology**

ABSTRACT

배터리팩의 과방전은 용량감소와 내부저항의 증가를 일으킨다. 본 논문에서는 고출력 배터리팩의 안정적 운용을 위한 전기적 특성 실험 및 이의 체계적 분석을 실시하였다. 4S4P의 고출력 배터리팩을 직육면체, 정육면체의 두 가지 형태로 구성하여 실험을 진행하였다. 과방전(Over discharge)이 배터리팩에 악영향을 미치기 때문에 배터리팩을 충·방전함에 있어서 안정성 측면에서 이를 중점적으로 고려해야 한다.

1. 서론

오늘날 배터리는 다양한 분야에 사용되며 요구되는 용량이 크게 증가하였다. 특히, 전력 구동용 어플리케이션으로써 우주 분야에서 인공위성 및 발사체, 항공분야에서 비행기, 방위산업 분야에서 전투기 및 탱크, 잠수함 등에서 고용량 및 고출력 배터리를 요구하고 있다^[1]. 이러한 요구조건을 충족시키기 위해 여러 종류의 배터리 중 리튬이온전지가 가장 많이 사용된다.

배터리 시장이 성장하고 다양한 어플리케이션에 고용량 및 고출력 배터리가 사용됨에 따라 안정적인 배터리의 사용과 각 어플리케이션에 적합한 배터리를 탑재하기 위한 요구조건들이 다양해지고 있다. 따라서 고용량 및 고출력 배터리의 전기적 특성실험 및 분석은 배터리의 안전성과 신뢰성을 향상시키기 위한 필수조건이다. 리튬이온 배터리팩은 단위 셀이 아닌 셀들의 직·병렬 조합으로 구성되는데, 직육면체와 정육면체 두 가지 형태에 따라 용량 및 내부 저항의 변화 등 내부 파라미터들 간에 차이가 나타난다. 특히 과방전이 일어나면 내부저항의 증가로 인해 손실이 늘어나 용량이 감소한다. 따라서 전기적 특성실험을 통해 배터리팩의 형태에 따른 내부 파라미터의 변화를 분석해야 한다.

본 논문에서는 고출력 배터리팩의 안정적 운용을 위한 충·방전 시스템 구축을 위해 NCA($LiNiCoAlO_2$) 18650 HE4 셀을 조합하여 직육면체와 정육면체 두 가지 형태의 배터리팩을 구성한 뒤 실험을 진행한다. 전기적 특성 실험을 통해 먼저 각 배터리팩의 방전용량을 파악하고 추출된 방전용량 데이터를 바탕으로 내부저항을 추출하기 위한 실험을 진행한다. 배터리팩을 SOC(State of Charge) 5%씩 방전하여 각 방전구간에서 OCV(Open Circuit Voltage)를 추출하였고 이 OCV를 바탕으로 내부저항을 산출하여 과방전 전·후의 데이터들의 용량 감소량, 내부저항의 변화 등을 비교 및 분석 하였다.

2. 본론

2.1 고출력 배터리의 과방전 성능 시험

배터리팩을 설계하기 전 IR과 OCV등 내부특성이 비슷한 16개의 셀들을 스크리닝 과정을 통해 선별하여 4S4P의 직·병렬 조합으로 직육면체와 정육면체형태의 배터리팩을 구성하였다^[2].

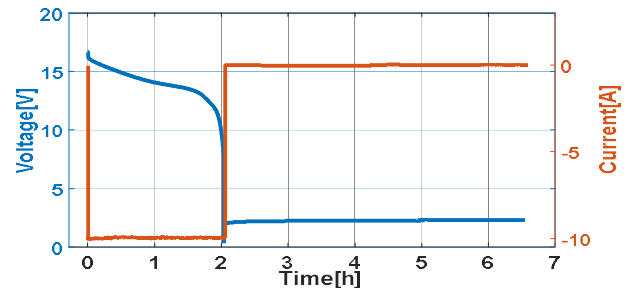


그림 1 과방전 실험 프로파일
Fig. 1 Over-discharge experiment profile

그림 1은 과방전 성능 시험의 프로파일을 나타내며 과방전 시험 이전에 배터리팩의 실험을 했다. 그 후에 그림 1과 같이 과방전 시험을 진행하였고 사전에 실행했던 실험과 동일한 방식으로 실험을 진행하여 데이터를 추출하였다.

2.2 배터리팩 내부 파라미터 비교·분석

온도조건은 항온·항습 챔버를 사용하여 외기온도를 25℃로 유지 하였고, 온도데이터의 측정은 데이터로거를 사용하였다. BMS(Battery Management System)의 방전 중지 전압의 조건은 2V로 설정 했다. 25℃에서 배터리팩을 6시간의 온도 안정화를 이룬 뒤 HE4 데이터시트 조건을 통해 10A(4S4P)의 전류를 인가하여 용량 측정 실험을 진행하였다. 용량 측정 실험에 사용된 프로파일은 그림 2에 자세히 나타나 있다. 처음 10초간의 휴지시간을 인가하여 셀의 안정 상태를 확인한 뒤 1C rate로 16.8V까지 CC CV조건(Constant Current Constant Voltage)으로 완전 충전을 하고 6시간의 휴지시간을 인가하여 배터리팩 내부 안정화를 이룬다. 1C rate로 10V까지 CC조건으로 완전 방전시킴으로써 배터리팩의 용량데이터를 추출한다. 표 2를 통해 용량실험의 결과를 비교함으로써 과방전으로 인한 배터리팩 용량 감소를 확인할 수 있다. 앞선 실험 결과 데이터를 바탕으로 SOC를 5%씩 방전시키고 1시간의 휴지시간을 인가하여 배

터리팩 내부 중심의 온도를 외기온도와 맞춰주며 그때의 OCV를 추출했다. 추출된 OCV데이터를 바탕으로 방전 저항을 추출하여 비교 및 분석하였다.

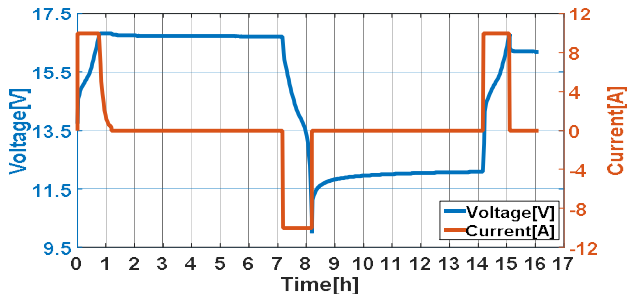


그림 2 용량실험 프로파일
Fig. 2 Capacity experiment profile

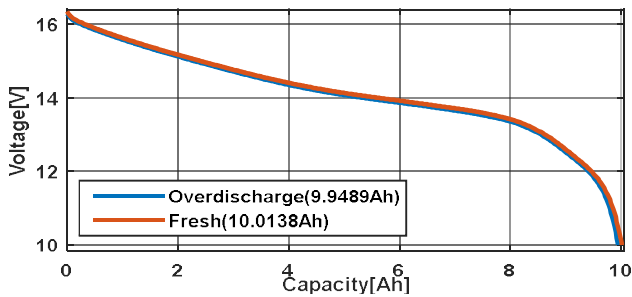


그림 3 정육면체 4S4P 배터리팩의 용량 비교
Fig. 3 Capacity comparison of square 4S4P battery pack

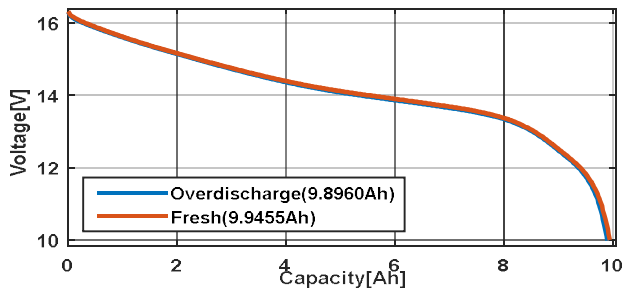


그림 4 직육면체 4S4P 배터리팩의 용량 비교
Fig. 4 Capacity comparison of rectangular 4S4P battery pack

용량 실험에서 과방전으로 인한 용량의 감소량은 그림 3과 그림 4에 나타나있다. 정육면체 배터리팩의 경우 10.0138[Ah]에서 9.9489[Ah]로 0.0649[Ah]만큼 줄어들었고, 직육면체 배터리팩의 경우 9.9455[Ah]에서 9.8960[Ah]로 0.0495[Ah]만큼 감소했다. 과방전이 배터리팩에 치명적인 용량감소를 일으키지는 않는다. 하지만 과방전이 계속 된다면 배터리팩의 용량감소량은 기하급수적으로 증가하게 될 것이다^[3].

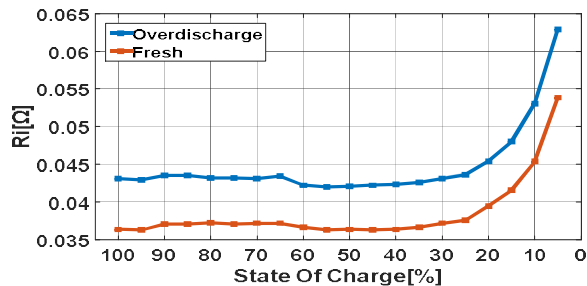


그림 5 정육면체 배터리팩의 내부저항 비교
Fig. 5 Comparison of internal resistance of square battery pack

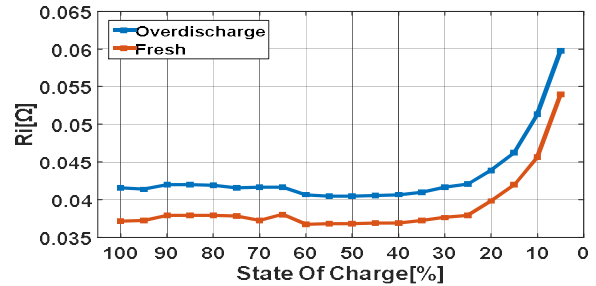


그림 6 직육면체 배터리팩의 내부저항 비교
Fig. 6 Comparison of internal resistance of rectangle battery pack

그림 5와 그림 6을 확인했을 때 정육면체 배터리팩과 직육면체 배터리팩의 R_i 의 증가는 뚜렷하게 나타난다^[3]. R_i 의 증가는 용량감소량과 관련이 있다. 과방전으로 인한 정육면체 형태 배터리팩의 R_i 의 증가량이 직육면체 형태 배터리팩의 R_i 증가량보다 크다. 앞선 결과들을 정리한다면 정육면체 형태의 배터리팩에서 R_i 의 증가량이 더 크기 때문에 용량감소가 더 크다는 결론을 내릴 수 있다.

위 실험의 결과는 배터리팩의 충·방전에 있어서 과방전이 배터리팩의 용량변화에 미치는 영향과 저항의 증가를 분석하였다.

3. 결론

본 논문에서는 과방전 시험을 진행한 배터리팩의 내부 변화를 보기 위해 전기적 특성실험 및 이의 체계적 분석을 실시하였다. 배터리팩이 과방전이 되면 저항이 증가하여 손실이 발생한다. 그리하여 결과적으로 용량이 감소한다. 이 결과는 앞으로 사용될 고출력 배터리팩의 안정적 운용을 위한 방전 시스템 구축에서의 가이드라인으로 제시할 수 있다.

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

참고 문헌

- [1] M. Coleman, C. H. Lee, C. Zhu, and W. G. Hurley, "State of Charge Determination From Voltage Estimation: Using Impedance, Terminal Voltage and Current for Lead Acid and Lithium ion Batteries,"
- [2] L. Zhou, Y. Zheng, M. Ouyang, L. Lu, "A study on parameter variation effects on battery packs for electric vehicles."
- [3] H. Maleki, J. N. Howard, "Effects of overdischarge on performance and thermal stability of a Li ion cell"
- [4] S. Zheng, L. Wang, X. Feng, X. He, "Probing the heat sources during thermal runaway process by thermal analysis of different battery chemistries"