패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱을 이용한 배터리 에너지 비교분석

안지수, 유현우, 이병희
한밭대학교 전자공학과

Comparative Analysis of Battery Energy Using Passive Cell Balancing and Active Cell Balancing

Ji-Su An, Hyun Woo You, Byoung Hee Lee
Hanbat National University

Abstract - 본 논문은 패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱의 에너지 손실 비교에 관한 연구내용이다. 패시브 셀 밸런싱은 저항을 이용하여 과충전된 셀의 에너지를 소모하는 방식이며 액티브 셀 밸런싱은 SSC(Single Switched Capacitor) 구조를 이용하여 높은 에너지 셀의 에너지를 낮은 에너지 상태의 셀로 전달하는 방식이다. 높은 셀과 낮은 셀의 SOC(State Of Charge)의 차이가 5% (0.085 V)일 때 △SOC = 3% (△V = 0.051 V)로 줄이기 위해 패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱을 하여 두 셀 밸런싱의 에너지 손실 차이를 시뮬레이션과 실험을 통하여 비교한다.

1. 서 론

최근 환경 문제에 관한 관심이 높아지면서 신재생 에너지 분야나 전기자동차 같은 분야에서 반복적 충·방전이 가능한 에너지 저장장치인 배터리가 이용되고 있다. 배터리는 과충·방전 등에 따른 폭발의 위험성 및 노화도 방지 등 배터리의 손상을 막기 위하여 다양한 배터리 관리시스템 BMS(Battery Management System)가 존재한다[1].

다수의 배터리 셀들로 이루어진 리튬-이온 배터리팩의 경우 충·방전 횟수가 증가하게 되면 에너지를 많이 사용한 배터리에서부터 충·방전속도나 배터리 최대용량 등의 차이가 발생하게 되면서 셀 간의 불균형이 야기된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 패시브 셀 밸런싱이나 액티브 셀 밸런싱을 이용하여 셀들 간에 SOC를 맞춰줄 수 있다[2]. 시뮬레이션과 실험을 통하여 패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱 중 어떤 방식이 더 효율적으로 셀 밸런싱을 수행하는지 비교분석 한다.

2. 본 론

2.1 패시브 셀 밸런싱 방식

그림 1은 다수의 셀을 직렬로 연결하여 구성한 패시브 셀 밸런싱을 나타낸 구조이다. 각 셀에 병렬로 저항과 스위치가 연결되어 있다. 셀 밸런싱을 할 때는 제어부에서 높은 배터리의 스위치를 온 시켜 에너지를 저항으로 소모하여 높은 배터리 셀의 SOC가 기준값에 도달하게 만드는 방식이다. 회로를 구현하기 쉽지만, 밸런싱 과정에서 저항이 소비한 에너지는 사용할 수 없다.

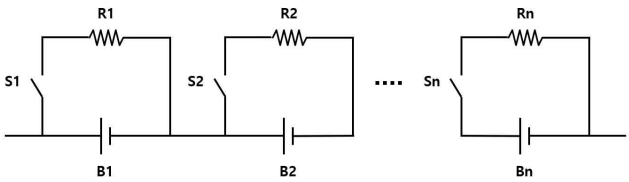

그림 1 패시브 셀 밸런싱 구조
Fig. 1 Structure of passive cell balancing

2.2 액티브 셀 밸런싱 방식

그림 2는 다수의 셀을 직렬로 연결하여 구성한 액티브 셀 밸런싱 중 SSC방식을 나타낸 구조이다. 각 셀 양단은 스위치로 구성되어 있고 맨 위에는 커패시터가 있다. 셀 밸런싱을 할 때는 그림 2 (a)처럼 제어부에서 높은 배터리 양단의 스위치와 커패시터 양단의 스위치를 온 시킨다. 높은 배터리의 에너지는 소모되고 커패시터는 충전된다. 커패시터가 충전되면 제어부에서 그림 2 (b)처럼 낮은 배터리 양단의 스위치를 온 시켜 에너지를 충전하는 방식이다. 셀 밸런싱 과정에서 커패시터에 에너지를 충전해 낮은 배터리로 에너지를 전달하여 에너지를 효율적으로 사용할 수 있지만, 스위치 제어가 복잡하다.

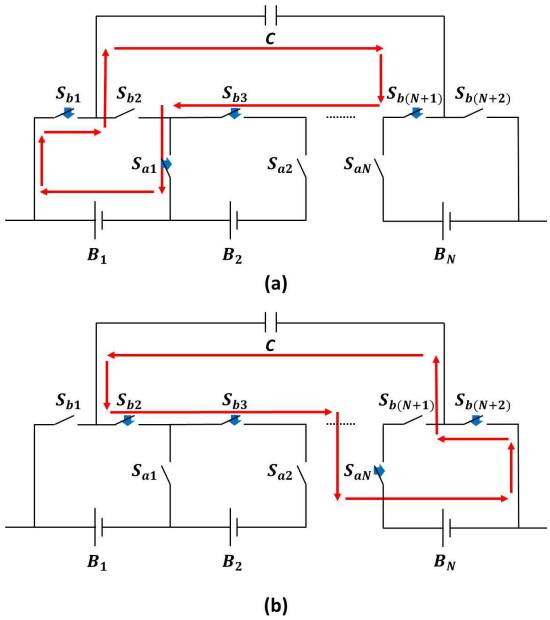

그림 2 액티브 셀 밸런싱 동작
Fig. 2 Operation of active cell balancing

2.3 시뮬레이션 및 실험

PSIM 시뮬레이션을 이용하여 패시브와 액티브 셀 밸런싱에 대하여 시뮬레이션을 하였다. 실제 배터리 모델을 적용할 경우 밸런싱 회로의 시정수가 길어지는 문제로 530 nF의 용량을 갖는 커패시터를 적용하여 시뮬레이션 하였다. 높은 셀과 낮은 셀의 SOC가 5%(0.085 V)가 차이 날 때 △SOC = 3%(△V = 0.051 V)로 줄이는 시뮬레이션을 하였다. 그림 3은 패시브 셀 밸런싱 시뮬레이션 결과이고 에너지 소모량은 0.31 W였다. 그림 4는 액티브 셀 밸런싱 시뮬레이션 결과이고 에너지 소모량은 0.04 W였다.

셀 밸런싱 실험은 그림 5와 같은 환경에서 3.7 V, 2000 mAh 리튬-이온 배터리를 가지고 실험하였다. 그림 6은 패시브 셀 밸런싱 실험 결과이고 에너지 소모량은 0.48 W였다. 그림 7은 액티브 셀 밸런싱 실험 결과이고 에너지 소모량은 0.12 W였다.

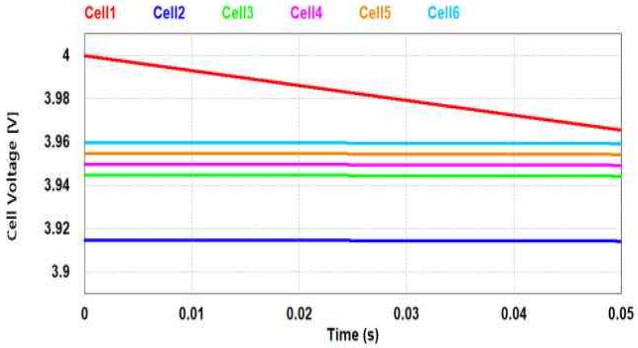

그림 3 패시브 셀 밸런싱 시뮬레이션 파형
Fig. 3 Passive cell balancing simulation waveform

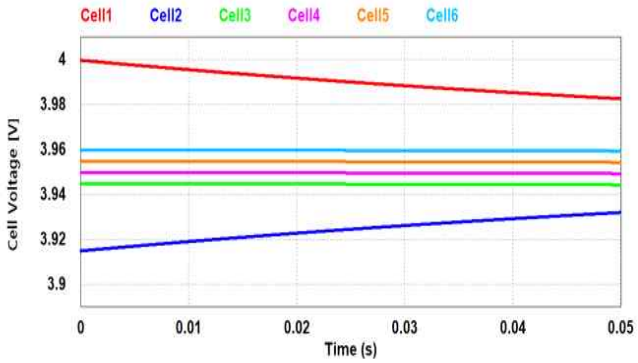

그림 4 액티브 셀 밸런싱 시뮬레이션 파형
Fig. 4 Active cell balancing simulation waveform

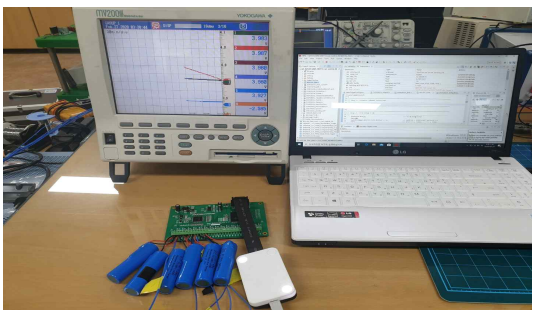

그림 5 셀 밸런싱 실험환경
Fig. 5 Cell balancing experiment environment

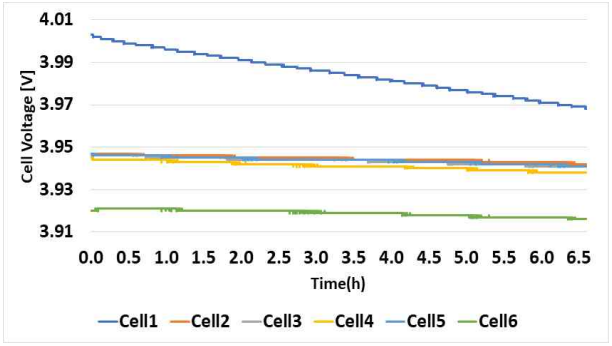

그림 6 패시브 셀 밸런싱 실험 파형
Fig. 6 Passive cell balancing experiment waveform

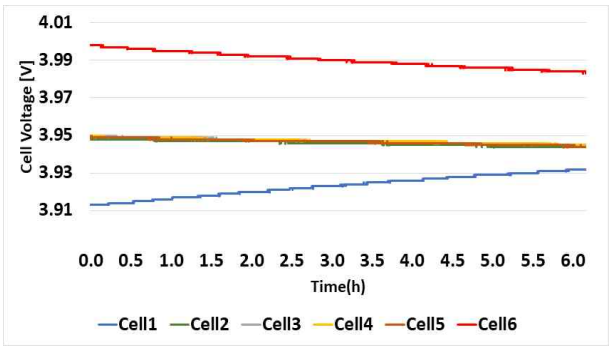

그림 7 액티브 셀 밸런싱 실험 파형
Fig. 7 Active cell balancing experiment waveform

3. 결 론

본 논문에서는 액티브 셀 밸런싱과 패시브 셀 밸런싱 두 가지의 밸런싱 방법에 대하여 PSIM 시뮬레이션과 실험을 통해 서로의 에너지 손실을 비교해 보았다. 시뮬레이션에서는 0.27 W, 실험에서는 0.36 W 차이를 보이는데 이는 스위칭 손실에 의한 영향이다 [4]. 패시브 셀 밸런싱과 액티브 셀 밸런싱의 에너지 손실을 비교해 본 결과 에너지를 효율적으로 사용하고 싶다면 액티브 셀 밸런싱이 적합하다. 하지만 회로구현이나 제어적인 측면에서 봤을 땐 패시브 셀 밸런싱이 적합하다.

참 고 문 헌

[1] Yuang-Shung Lee and Ming-Wang Cheng, "Intelligent control battery equalization for series connected lithium-ion battery strings," IEEE Trans. Ind. Electron., vol. 52, no. 5, pp. 1297-1307, Oct. 2005.

[2] 서민규, 전효찬, 백승명, 손진근. (2019). 액티브 셀 밸런싱 기법을 이용한 배터리 관리 시스템의 수명 연장 알고리즘. 대한전기학회 학술대회 논문집, 2117-2118.

[3] 배선호, 전승욱, 박정욱. (2016). 배터리의 액티브 셀 밸런싱 방법에 관한 연구. 대한전기학회 학술대회 논문집, 1015-1016.

[4] 장유남, 이성찬, 방태호, 김승탁, 박정욱. (2014). 스위칭 로스를 고려한 액티브 셀 밸런싱과 패시브 셀 밸런싱의 효율 비교. 대한전기학회 학술대회 논문집, 1013-1014.