

전기저장장치용 리튬이온전지의 셀프에너지 밸런싱 시험장치 구현

정민철*, 김지명*, 최익준*, 정재범*, 노대석*

*한국기술교육대학교

e-mail:kite0486@naver.com

Implementation of Test device for Self-Energy Balancing of Li-ion Battery in Energy Storage System

Min-Chul Jung*, Ji-Myung Kim*, Ik-Joon Choi*, Jae-Beom Jung*, Dae-Seok Rho*

*Dept. of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약

현재까지 국내에서 총 29건의 전기저장장치의 화재가 보고되고 있고, 이 중 23건이 신재생에너지 연계용이며, 대다수의 화재사고는 완전충전 이후, 운전대기 상태인 휴지 기간에 계절과 무관하게 발생되고 있다. 화재의 원인 중 하나로, 병렬로 연결된 셀들의 SOC 상태가 서로 다른 경우, 의도하지 않게 SOC가 높은 셀에서 낮은 셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱이 고려되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 CC-CV 기능을 가진 충전기부, 18650 리튬이온전지로 구성된 배터리부, Labview S/W를 이용한 감시제어부로 구성된 시험 회로를 구현하여, 정상셀과 열화셀의 용량 시험을 통해 정상셀 대비 열화셀의 열화정도를 평가하고, 이를 바탕으로 정상셀과 열화셀의 셀프에너지 밸런싱 특성을 제시한다. 또한, 시험 결과에 의하면, SOC가 높은 정상셀에서 SOC가 낮은 열화셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생하며, 이로 인해 일부 셀이 과충전되어 화재의 원인이 될 가능성이 있음을 알 수 있었다.

1. 서론

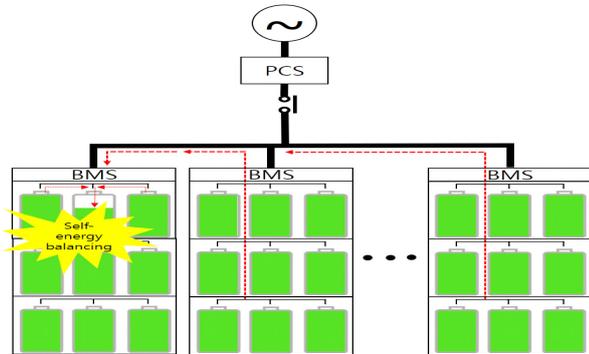
최근, 전 세계적으로 지구 규모의 환경문제를 해결하기 위하여, 필요한 전력의 100%를 신재생에너지로 공급하는 RE100 캠페인이 글로벌 기업과 환경단체 위주로 진행되고 있다. 이러한 세계적 추세에 따라, 우리나라 정부는 석탄 화력 및 원전의 발전 비중을 줄이고, 신재생에너지전원의 발전량을 증가시키는 정책들을 시행하고 있다[1-2]. 그러나, 현장에 설치되어 운용되고 있는 전기저장장치에서 화재가 발생하여, 대규모의 재산피해가 빈번하게 보고되고 있다. 현재까지 총 29건의 전기저장장치의 화재가 발생되었는데, 이 중 23건이 신재생에너지 연계용이며, 완전충전 이후, 운전대기 상태인 휴지기간 동안에 계절과 무관하게 화재사고가 발생되었다. 이것은 병렬로 연결된 셀들의 SOC 상태가 서로 다른 경우, 의도하지 않게 SOC가 높은 셀에서 낮은 셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상으로, 일부 셀이 과충전되어 화재의 원인으로 고려되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 정상셀과 열화셀의 용량 시험을 통해 정상셀 대비 열화셀의 열화정도를 평가하고, 정상셀과 열화셀의 비율을 다르게 구성하여 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행한다. 용량 시험을 통해 열화의 정도를 평가한 정상셀과 열화셀을 대상으로 셀프에너지 밸런싱 특성을 분석

한 결과, SOC가 높은 정상셀에서 SOC 낮은 열화셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생하는 것을 확인할 수 있었다.

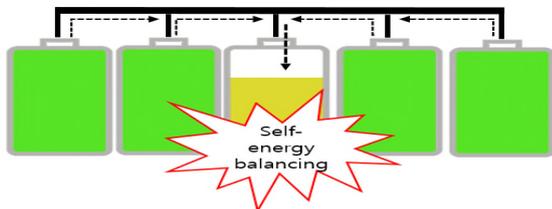
2. 리튬이온전지의 셀프에너지 밸런싱 특성

리튬이온전지는 필요로 하는 전압과 용량을 얻기 위하여, 수 많은 셀들이 직·병렬로 구성된다. 조합된 셀들은 운용되거나 시간이 지나면서 서로 상태의 편차가 달라져 그림 1, 그림 2와 같은 현상이 발생할 수 있다[3]. 여기서 그림 1은 BMS 랙 간의 셀프에너지 밸런싱 개념도이고 그림 2는 셀 간의 셀프에너지 밸런싱 개념도이다. 참조 그림들과 같이, 조합되어 사용되는 셀들은 사용환경, 사용조건 등의 영향으로 열화가 진행되고 이 편차는 셀마다 다를 수 있다. 또한, 열화가 진행되면서 전지의 내부 저항이 증가하게 되고 이로 인해 전지 고유의 용량이 감소된다. 이때, 열화가 상대적으로 진행되지 않아 용량의 여유가 있는 병렬 연결된 타 셀들로부터 열화된 셀로 에너지가 흐르게 되는데, 이러한 현상을 셀프에너지 밸런싱이라고 정의한다. 이것은 직렬 연결된 셀 간에 나타나는 OCV 편차와는 달리, 병렬로 연결되어 있어 전압에 의한 검출이 어렵기 때문에 일반적인 BMS의 기능으로는 보호가 불가능하다. 특히,

충전을 완료하여 배터리 팩의 SOC가 높은 경우, 상대적으로 열화된 일부 셀들이 셀프에너지 밸런싱 현상에 의해 과충전되어, 전기저장장치의 화재를 유발할 가능성이 있다.



[그림 1] BMS 팩 간의 셀프에너지 밸런싱 개념도

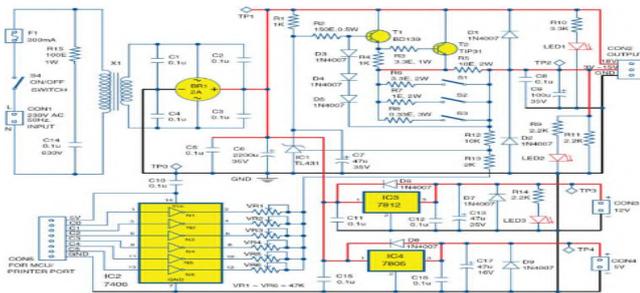


[그림 2] 셀 간의 셀프에너지 밸런싱 개념도

3. 셀프에너지 밸런싱 시험장치 구현

3.1 충전기부

리튬이온전지를 충전하기 위하여 사용하는 CC-CV 직류공급장치의 회로도도는 그림 3과 같이 나타낼 수 있다. 여기서, 직류공급장치는 리튬이온전지를 가장 일반적인 충전방식의 정전류/정전압방식으로 충전하는 역할을 수행한다.

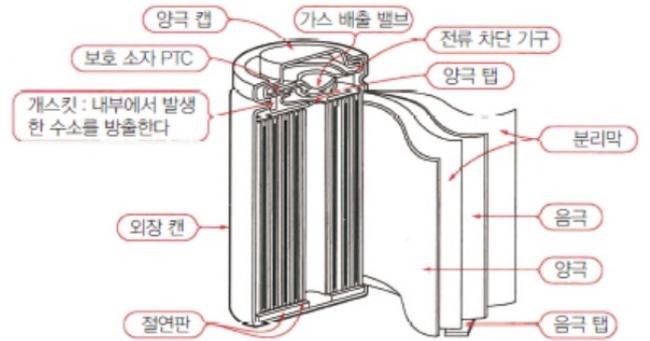


[그림 3] CC-CV 직류공급장치 회로도

3.2 배터리부

원통형 18650 리튬이온전지의 내부 구조는 그림 4와 같이 나타낼 수 있으며. 크게 양극, 음극, 전해액, 분리막, 보호소자 등으로 구성된다. 여기서, 리튬이온전지는 구조상 충방전 시 발생하는 가스에 의한 내부 압력이 잘 방출되지 않아 내부 단락 등 이상 현상으로 인해 파열이 발생할 경우 피해가 커질

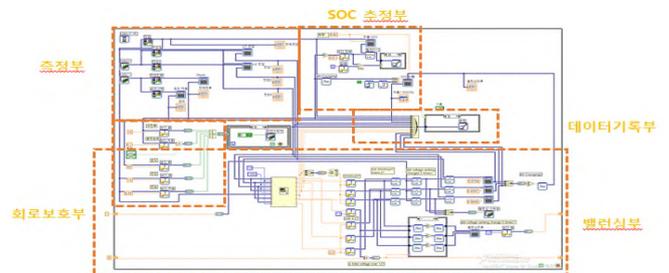
가능성이 있어, 보호소자 PTC, 절연판, 전류 차단 기구, 가스 배출 밸브 등과 같은 많은 보호소자를 이용하여 구성한다.



[그림 4] 원통형 18650 리튬이온전지의 구조

3.3 감시 제어부

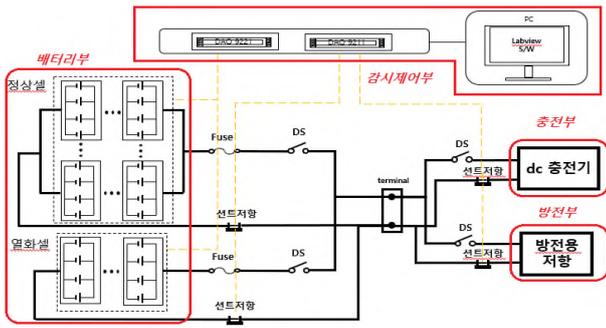
계측 및 제어 기능을 수행하기 위한 LABVIEW S/W의 구성도는 그림 5와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, LABVIEW S/W의 구성도는 측정부, SOC 측정부, 회로보호부, 데이터기록부로 구성되며, 리튬이온전지의 전압, 전류 및 SOC를 측정하고, 전지의 용량 및 셀에 이상이 발생하는 경우 회로를 차단하는 보호기능을 가지며 시험에 사용되는 전지의 용량을 확인하고, 셀프에너지 밸런싱 현상을 기록하는 역할을 수행한다.



[그림 5] LABVIEW 구성도

3.4 셀프에너지 밸런싱 시험장치 구성

셀프에너지 밸런싱 시험장치는 그림 6과 같이 나타나며, 배터리부, 감시제어부, 방전부, 충전부로 구성된다. 먼저, 배터리부는 리튬이온전지를 이용하여 정상셀의 경우 4직렬 4병렬, 4직렬 16병렬로, 열화셀은 4직렬 4병렬로 구성된다. 그리고 감시제어부는 LABVIEW S/W를 이용하여, 계측과 제어를 위한 DAQ 모듈과 회로보호를 위한 차단장치로 구성되며, PC 화면을 통해 전지의 상태정보를 제공한다. 한편, 충전부는 DC 전원공급장치 그리고, 방전부는 저항으로 구성된다.



[그림 6] 셀프에너지 밸런싱 구성도

4. 시험 결과 및 분석

4.1 시험 조건

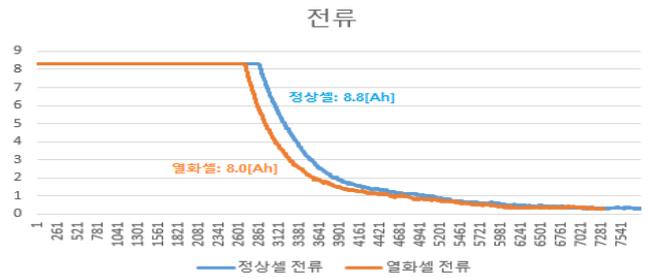
리튬이온전지의 용량과 셀프에너지 밸런싱의 특성을 분석하기 위하여, 표 1과 같이 시험조건을 상정한다. 여기서, 셀은 ICR18650모델을 사용하며, 공칭전압은 3.6[V], 용량은 2200[mAh]이다. 또한 용량 시험은 정상셀과 열화셀을 리튬이온전지 충전 조건(0.2C)으로 각각 CC-CV 방식으로 충전하고 충전중지전류(0.2A)에 도달한 시, 충전을 종료한 후 1시간 이상 휴지시간을 가진다. 한편, 셀프에너지 밸런싱 시험은 정상셀과 열화셀의 4직렬 조합을 기본으로 충전 조건을 비슷하게 하기 위하여 최대 전압인 16.8[V]에 도달시 충전을 종료한다. 여기서, 정상셀과 열화셀의 비율에 따른 셀프에너지 밸런싱 전류의 특성을 알아보기 위하여, 정상셀과 열화셀의 비율을 각각 1 : 1, 4 : 1로 시험한다.

[표 1] 시험 조건

item	contents	
셀 사양	모델	ICR18650
	공칭 전압[V]	3.6
	용량[mAh]	2.2
용량 시험	방법	CC-CV
	전압[V]	4.2
	c-rate[C]	0.2
	충전 중지 전류[A]	0.2
셀프에너지 밸런싱 시험	셀 구성	1s 4p
	충전 중지 전압[V]	16.8
	정상셀 구성	4s 4p
	열화셀 구성	4s 4p

4.2 리튬이온전지의 특성분석

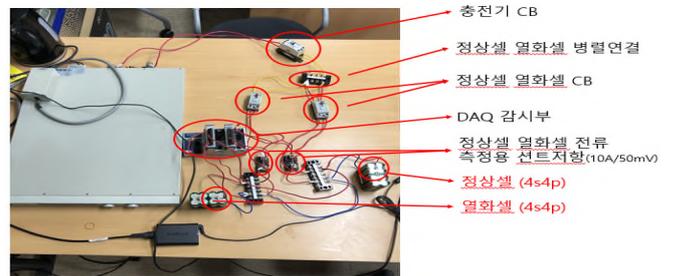
상기의 시험 조건을 바탕으로 정상셀과 열화셀의 충전 시험을 수행한 결과를 나타내면 그림 7과 같다. 여기서, 정상셀의 충전용량은 8.8[Ah]이고 열화셀의 충전용량은 8.0[Ah]이며, 정상셀 대비 열화셀의 용량 비율은 90[%]로 나타나며, 열화율은 10[%]임을 확인할 수 있다.



[그림 7] 정상셀 및 열화셀의 충전 시 용량특성

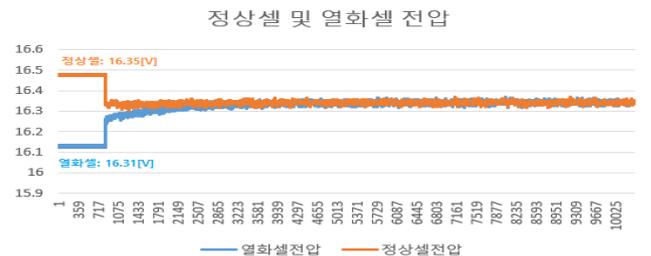
4.3 셀프에너지 밸런싱 특성 분석

상기의 시험조건을 바탕으로 정상셀과 열화셀이 1 : 1일 때, 셀프에너지 밸런싱 특성을 분석하기 위한 시험 구성은 그림 8과 같다.

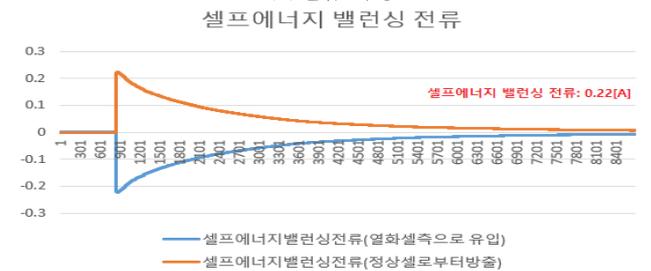


[그림 8] 정상셀 및 열화셀(1:1)간의 셀프에너지 밸런싱 시험 구성

각각 4직렬 4병렬로 구성된 정상셀과 열화셀을 각각 충전 후 충분한 휴지시간을 가지고 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행한 결과를 나타내면 그림 9와 같다. 여기서, 그림 9(a)는 16.8[V]까지 충전 후 휴지시간을 거친 정상셀 및 열화셀의 전압으로, 정상셀의 전압은 16.35[V], 열화셀은 16.31[V]로 나타난다. 또한 그림 9(b)는 정상셀에서 열화셀로 전류가 흐르는 셀프에너지 밸런싱 현상으로 최대 전류 0.22[A]가 정상셀에서 열화셀로 흐른 것을 알 수 있다.



(a) 전압 특성



(b) 전류 특성

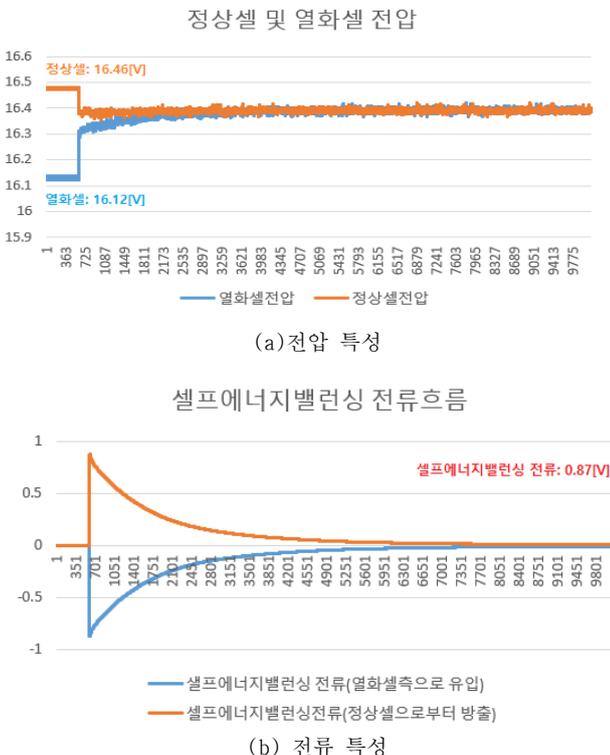
[그림 9] 정상셀 및 열화셀(1:1)간의 셀프에너지 밸런싱 특성

한편, 정상셀과 열화셀이 4:1일 때, 셀프에너지 밸런싱 특성을 분석하기 위한 시험 구성은 그림 9와 같다.



[그림 10] 정상셀 및 열화셀(4:1)간의 셀프에너지 밸런싱 시험

각각 4직렬 4병렬로 구성된 정상셀과 열화셀을 각각 충전 후 충분한 휴지시간을 가지고 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행한 결과를 나타내면 그림 11과 같다. 여기서, 그림 11(a)는 16.8[V]까지 충전 후 휴지시간을 거친 정상셀 및 열화셀의 전압으로, 정상셀의 전압은 16.35[V], 열화셀은 16.31[V]로 나타난다. 또한 그림 11(b)는 정상셀에서 열화셀로 전류가 흐르는 셀프에너지 밸런싱 현상으로 최대 전류 0.87[A]가 정상셀에서 열화셀로 흐른 것을 알 수 있다. 열화셀에 대한 정상셀의 비율이 증가함에 따라, 셀프에너지 밸런싱 현상이 증가하여 정상셀에서 열화셀로 흐르는 전류가 커지는 것을 확인할 수 있었고, 열화셀이 과충전 될 가능성이 있음을 확인하였다.



[그림 11] 정상셀 및 열화셀(4:1)간의 셀프에너지 밸런싱 특성

5. 결 론

본 논문에서는 전기저장장치의 안전성을 향상시키기 위하여, 정상셀에 대한 열화셀의 용량 특성을 분석하고 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행하여 특성을 평가한다. 주요 연구결과를 요약하면, 다음과 같다.

(1) 리튬이온전지의 정상셀과 열화셀의 용량특성을 분석하기 위하여 충전시험을 수행한 결과, 정상셀과 열화셀의 충전용량은 각각 8.8[Ah], 8.0[Ah]임을 알 수 있다. 즉, 정상셀 대비 열화셀의 충전용량 비율은 90[%]로 나타나며, 열화율은 10[%]임을 확인할 수 있다.

(2) 셀프에너지 밸런싱 특성을 확인하기 위하여, 정상셀과 열화셀의 최대 전압까지 충전 후 충분한 휴지시간을 가지고 정상셀과 열화셀을 병렬 연결하면, 정상셀과 열화셀의 비율이 1:1에서 4:1로 증가함에 따라, 셀프에너지 밸런싱 전류도 0.22[A]에서 0.87[A]로 증가하는 것을 확인할 수 있다. 셀프에너지 밸런싱 전류가 발생하는 것을 확인할 수 있다.

감사의 글

본 연구는 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구(No.20182410105070)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] S. J. Park, S. M. Park, J. H. Lee, ESS utilization and related PCS technology, The Korean Institute of Electrical Engineers, pp.12-18, 2017.1.
- [2] K. M. Park, J. H. Kim, J. Y. Park, S. B. Bang, "A Study on the Fire Risk of ESS through Fire Status and Field Investigation", FIRE SCIENCE AND ENGINEERING, vol. 32, no. 6, pp.91-99, 2018.12.
- [3] 김지명, 이후동, 태동현, 페레이라 마리토, 박지현, 노대석 "셀프에너지 밸런싱을 고려한 리튬이온전지의 Battery Management System 구현", 한국산학기술학회 3권 21호, pp. 585-593, 2020. 3.