

셀프에너지 밸런싱을 고려한 리튬이온전지의 Battery Management System 구현

김지명, 이후동, 태동현, 페레이라 마리토, 박지현, 노대석*
한국기술교육대학교 전기공학과

Implementation of Battery Management System for Li-ion Battery Considering Self-energy Balancing

Ji-Myung Kim, Hu-Dong Lee, Dong-Hyun Tae, Marito Ferreira,
Ji-Hyun Park, Dae-Seok Rho*

Department of Electrical Engineering, Korea University of Technology and Education

요약 현재까지 총 29건의 전기저장장치의 화재가 발생되었는데, 이 중 22건이 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 열폭주로 인한 화재의 원인으로 평가되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전기저장장치의 셀프에너지 밸런싱을 방지하는 새로운 BMS의 회로구성과 운용 알고리즘 그리고 SOC 평가알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘과 구현한 BMS를 바탕으로 리튬이온전지의 열화 특성과 열화 및 정상 셀 간의 셀프에너지 밸런싱 특성을 분석한 결과, 정상 셀 대비 열화 셀의 방전 용량 비율은 91.75[%]이며, 열화율이 8.25[%]임을 알 수 있었고, SOC가 높은 정상 셀에서 SOC 낮은 열화 셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생함을 확인하였다. 또한, 셀프에너지 밸런싱 전류가 과도하게 높아지는 경우, BMS가 확실하게 셀들의 병렬연결을 분리하여, 리튬이온전지의 안전성을 향상시킬 수 있어, 본 논문에서 제안한 BMS의 유용성을 확인하였다.

Abstract Until now, 29 fire accidents have occurred; 22 of them were caused by the interconnection of renewable energy sources that occurred during the rest period after the lithium-ion battery had been fully charged regardless of the seasons. The fire accidents of ESS were attributed to thermal runaway due to the overcharging of a few cells with the phenomenon of self-energy balancing, which is unintentional current flow from cells with a high SOC to the low cells if the SOC condition of each cell connected in parallel is different. Therefore, this paper proposes a novel configuration and operation algorithm of the BMS to prevent the self-energy balancing of ESS and presents a hybrid SOC estimation algorithm. From the test results of the self-energy balancing phenomenon between aging and normal cells based on the proposed algorithm and BMS, it was confirmed the possibility of self-energy balancing, which is unintentional current flow from cells with a high SOC to cells with a low SOC. In addition, the proposed configuration of the BMS is useful and practical to improve the safety of lithium-ion batteries because the BMS can reliably disconnect a parallel connection of the cells if the self-energy balancing current becomes excessively high.

Keywords : BMS, Li-ion Battery, Self-energy Balancing, Aging Cell, Fire Accident of ESS, Labview S/W

본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20182410105070)와 한국에너지기술평가원의 연구(No.20191210301940) 그리고 2019년 교육부 대학혁신지원사업 사업비를 지원받아 연구되었음.

*Corresponding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)

email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received December 24, 2019

Revised January 15, 2020

Accepted March 6, 2020

Published March 31, 2020

1. 서론

최근, 전 세계적으로 지구규모적인 환경문제를 해결하기 위하여, 필요한 전력의 100%를 신재생에너지로 공급하는 RE100 캠페인이 글로벌 기업과 환경단체 위주로 진행되고 있다[1-3]. 이러한 세계적 추세에 따라, 우리나라 정부는 석탄화력 및 원전의 발전 비중을 줄이고, 신재생에너지전원의 발전량을 증가시키는 정책들을 시행하고 있다[4,5]. 그러나, 태양광발전, 풍력발전 등과 같은 신재생에너지전원은 기상조건에 따라 출력변동이 심하여, 배전계통의 전력 공급불안정, 전력품질 문제를 야기시킬 수 있다. 이를 해결하기 위한 방안으로, 전기저장장치가 신재생에너지전원의 출력안정화 뿐만 아니라 주파수조정, 수요관리 등 다양한 용도로 활발하게 도입되고 있다 [6,7]. 최근, 현장에 설치되어 운용되고 있는 전기저장장치에서 화재가 발생하여, 대규모의 재산피해가 빈번하게 보고되고 있다. 현재까지 총 29건의 전기저장장치의 화재가 발생되었는데, 이 중 22건이 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[8,9].

따라서, 본 논문에서는 전기저장장치의 셀프에너지 밸런싱을 방지하는 새로운 BMS의 회로구성과 운용 알고리즘 그리고 SOC 평가알고리즘을 제안한다. 또한, 상기의 운용알고리즘 및 SOC 평가알고리즘을 바탕으로 Labview S/W를 이용하여 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS를 구현한다. 이를 바탕으로 정상 및 열화 셀의 용량 특성을 분석한 결과, 동일한 사양을 가진 열화 셀의 용량이 정상 셀 보다 약 8% 감소된 것을 알 수 있었고, 동일한 시간동안 충전 또는 방전할 경우 전압(OCV)의 차이가 발생함을 확인하였다. 한편, 열화 및 정상 셀 간의 셀프에너지 밸런싱 특성을 분석한 결과, SOC가 높은 정상 셀에서 SOC 낮은 열화 셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생함을 알 수 있었다. 또한, 셀프에너지 밸런싱 전류가 과도하게 높아지는 경우, BMS가 적절히 셀들의 병렬연결을 분리하여, 리튬이온전지의 안전성을 향상시킬 수 있어, 본 논문에서 제안한 BMS의 유용성을 확인하였다.

2. 리튬이온전지용 BMS의 운용특성

일반적으로, 전기저장장치는 필요한 용량에 따라 수 대~수십 대의 리튬이온전지 팩으로 구성되며, 각 팩은 Fig. 1과 같이 배터리를 보호하고 안전하게 운용하기 위한 팩 BMS를 포함한다[10]. 이 그림에서와 같이, BMS는 셀의 전압 및 온도와 팩의 전압 및 전류를 계측하고, 이 정보들을 바탕으로 과전압, 과전류, 고온, 등과 같이 이상 상황이 발생하면 팩에 설치된 개폐기를 제어하여, 안전하게 회로를 차단한다. 그러나, 이러한 BMS의 보호기능에도 불구하고, 전기저장장치에서 화재가 발생되고 있는데, 계절과 무관하게 운전대기 상태 중에 대부분의 화재가 일어나고 있다[11]. 이것은 상태편차가 발생한 셀이나 모듈, 팩 간에 에너지를 주고받는 셀프에너지 밸런싱 현상에 의하여, 일부 셀의 과충전으로 열폭주가 될 가능성이 대두되고 있다. 따라서, 본 논문에서는 전기저장장치의 화재의 원인이 될 수 있는 셀프에너지 밸런싱을 방지하기 위하여, 전기저장장치의 안전성을 향상시킬 수 있는 새로운 BMS의 회로구성과 운용 알고리즘을 제안한다.

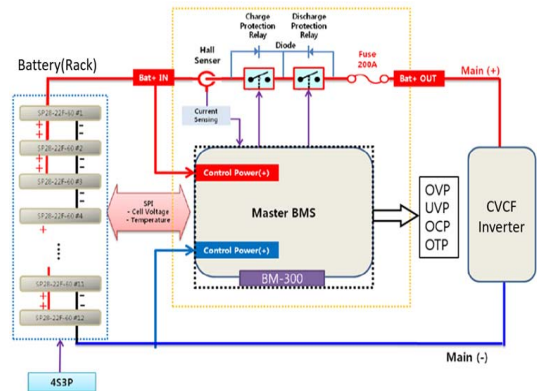


Fig. 1. Configuration of BMS for li-ion Battery

3. 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS의 운용알고리즘

3.1 셀프에너지 밸런싱 정의

리튬이온전지는 필요로 하는 전압과 용량을 얻기 위하여, 수 많은 셀들이 직·병렬로 구성된다. 조합된 셀들은 운용되거나 시간이 지나면서 서로 상태의 편차가 달라져 Fig. 2와 같은 현상이 발생할 수 있다. 이 그림에서와 같

이, 일부 셀이 열화되어 고유의 용량이 감소되는 경우, 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 랙의 SOC가 높은 경우, 상대적으로 열화된 일부 셀들이 셀프에너지 밸런싱 현상에 의해 과충전되어, 전기저장장치의 화재를 유발할 가능성이 있다.

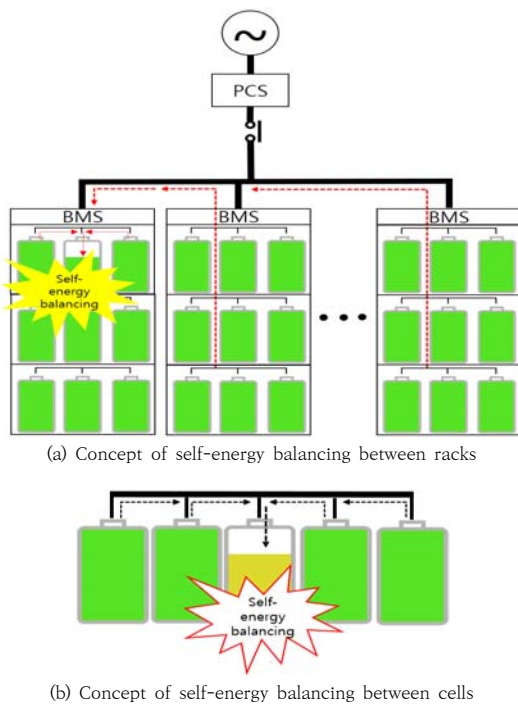


Fig. 2. Concept of self-energy balancing phenomenon

3.2 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS 구성

본 논문에서는 전기저장장치의 안전성을 향상시키기 위하여, 병렬 연결된 셀 간 상태편차에 의해 발생하는 셀프에너지 밸런싱 현상을 고려한 BMS의 회로구성을 Fig. 3과 같이 제안한다. 이 그림에서와 같이, 기존의 직렬 연결된 셀들의 전압과 온도를 측정하는 방식에 추가적으로 병렬 연결된 셀의 전류를 측정하는 계측기와 셀 간의 병렬연결을 차단할 수 있는 보호장치를 설치하여 구성한다. 이러한 구성은 병렬 연결된 셀들의 SOC 편차에 의하여 발생할 수 있는 셀프에너지 밸런싱 전류를 검출할 수 있고, 보호장치를 동작하여 밸런싱 전류를 차단

할 수 있어, BMS의 안전성을 향상시킬 수 있다.

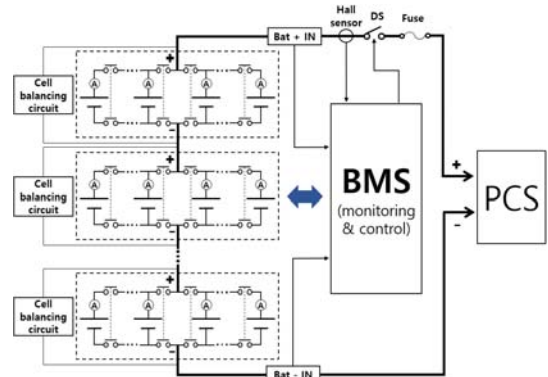


Fig. 3. Proposed configuration of BMS for li-ion battery

3.3 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS의 운용알고리즘

배터리 랙은 용도에 따라 필요로 하는 전압과 용량을 얻기 위하여 여러 리튬이온전지의 셀들이 직·병렬로 조합되어 구성된다. 그러나, 병렬 연결된 셀들의 SOC 상태가 서로 다른 경우, SOC가 높은 셀에서 낮은 셀로 에너지가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생할 수 있다. 특히, 구성된 셀들 중에 열화되거나 편차가 큰 셀이 있는 경우, 이 셀은 과충전되어, 열폭주가 발생하여 전기저장장치 화재의 원인이 될 수 있다. 이러한 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS의 운용알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

- [Step 1] 대상 배터리 랙의 측정요소 및 제어판단 범위를 상정하고, 측정 시간대 t 를 초기 값으로 설정한다.
- [Step 2] t 시간대에서의 대상 배터리 랙에 대하여, 각 셀의 전압, 전류, 온도를 측정하고, 셀의 상태가 정상범위에 있는지 판단한다. 여기서, 셀의 상태가 정상인 경우에는 PCS가 운전대기 상태인지 확인하고, 대기 중이면 셀프에너지 밸런싱 전류(I_{self})가 설정치를 초과하는지 평가한다.
- [Step 3] [Step 2]에서 셀의 상태가 비정상이거나 셀프에너지 밸런싱 전류(I_{self})가 설정치를 초과하는 경우, 모듈 간 병렬연결을 분리하는 개폐장치를 동작시키고, 해당 배터리 랙의 개폐장치도 분리시킨다. 한편, 셀의 상태가

정상범위에 있고, PCS가 충전 또는 방전운전을 하는 경우에는 [Step 2]로 넘어가 해당 과정을 반복한다.

[Step 4] [Step 3]에서 셀프에너지 밸런싱 전류(I_{self})가 설정치 미만인 경우, 모든 셀의 전압 편차가 기준치를 초과하는지 판단하고, 초과하면 셀 밸런싱을 수행한 후, [Step 2]로 진행한다.

[Step 5] [Step 4]에서 셀의 전압 편차가 기준값 미만인 경우에는 운용 시간대 t 가 최대값인지 확인하고, 최대값에 도달하면 해당 배터리 랙의 개폐장치를 분리시킨다.

상기의 BMS 운용알고리즘을 플로우차트로 나타내면 Fig. 4와 같다.

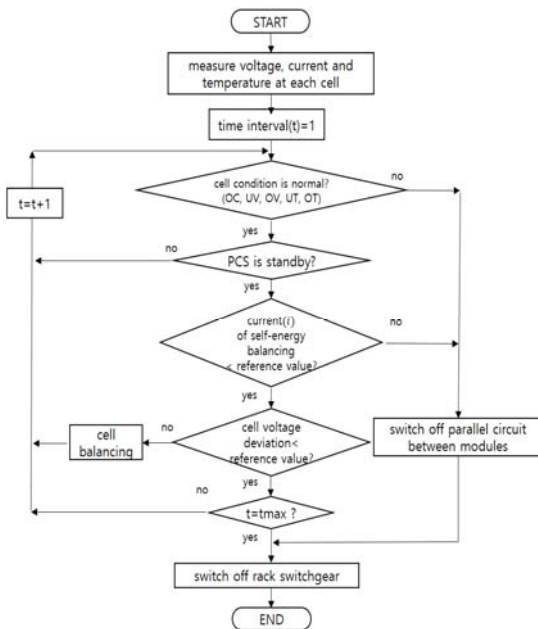


Fig. 4. Operation algorithm of BMS considering self-energy balancing

3.4 OCV법과 Ph-Counting법을 이용한 하이브리드 SOC 평가 알고리즘

OCV를 이용한 SOC 평가 방법은 셀의 최소 및 최대 전압의 범위에서 현재 OCV를 등분함으로써, 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다[12-16].

$$SOC_{OCV}(\%) = \frac{V_{(t)} - V_{\min}}{V_{\max} - V_{\min}} \times 100 \quad (1)$$

여기서, $V_{(t)}$: 전지의 전압, V_{\max} : 전지의 최대 전압, V_{\min} : 전지의 최소 전압

또한, Ph-Counting를 이용한 SOC 평가 방법은 셀의 총 방전된 용량에 대하여 정격용량을 등분함으로써, 식 (2)와 같이 평가식을 나타낼 수 있다.

$$SOC_{Ph}(\%) = \left[1 - \frac{Ph_{(t)}}{Ph_{rating}}\right] \times 100 \quad (2)$$

여기서, $Ph_{(t)}$: t시간까지의 총방전량, Ph_{rating} : 정격 용량

본 논문에서는 상기의 SOC 평가 방법을 바탕으로 리튬이온전지의 SOC를 보다 정확하게 평가하기 위하여, Fig. 5와 같이 초기 SOC를 OCV법으로 평가한 후, Ph-Counting법으로 SOC를 누적시켜 산정하는 하이브리드 방식을 제안한다.

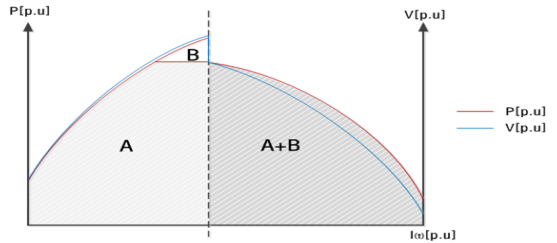


Fig. 5. Hybrid estimation algorithm of SOC with OCV and Ph-counting method

OCV법과 Ph-Counting법을 이용한 하이브리드 SOC 평가 식은 식 (1)과 식 (2)를 조합하여, SOC의 백분율 형태로 식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$SOC_{Hybrid}(\%) = SOC_{OCV}(\%) + SOC_{Ph}(\%) \quad (3)$$

여기서, SOC_{Hybrid} : 전지의 총 SOC(%), SOC_{OCV} : OCV법에 의한 초기 SOC(%), SOC_{Ph} : Ph-Counting법에 의한 누적 SOC(%)

4. 셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS의 구현

4.1 Hardware 시스템 구현

셀프에너지 밸런싱을 고려한 BMS의 회로는 Fig. 6과 같이 나타낼 수 있다. 이 그림에서와 같이, 구현한 BMS는 열화 및 정상 셀이 직·병렬로 조합되는 전지부, 인버터를 통해 AC 부하에 전력을 공급하는 방전부, 계통전원을 이용하여 배터리를 충전하는 충전부 그리고 리튬이온전지의 상태를 감시하고, 회로를 제어할 수 있는 감시제어부로 구성된다. 주요 기능으로는 일반적인 BMS와 같이, 충·방전 및 전압/전류/온도 감시 기능이 있으며, 추가적으로 셀프에너지 밸런싱의 감시 및 차단이 가능하다.

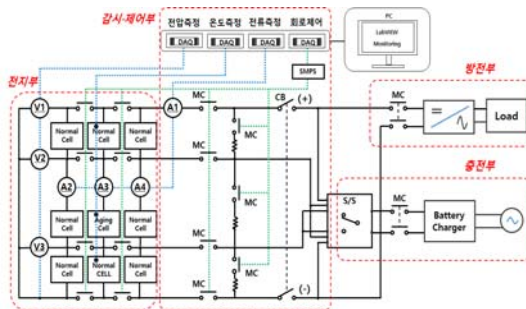


Fig. 6. H/W configuration of BMS

4.2 Software 시스템 구현

BMS의 운용 프로그램은 Labview S/W를 이용하여 전지의 SOC 및 이상상태 감시, 회로보호, 셀 밸런싱, 셀프에너지 밸런싱 감시 등 다양한 기능을 수행하도록 구현한다. 구체적으로, 리튬이온전지의 전압, 전류, 온도를 측정하여, 전지의 이상상태 및 SOC 상태를 평가하고, 셀에 이상이 발생하는 경우 회로를 차단하는 보호기능을 가진다. 또한, 전지의 셀 밸런싱 상태를 감시하여, 충전상태가 정상범위를 벗어나면 셀 밸런싱 기능을 수행한다. 한편, 의도하지 않은 셀프에너지 밸런싱이 발생하면, 제안한 알고리즘에 따라 감시 및 차단할 수 있는 보호기능을 가진다. Fig. 7은 BMS의 메인메뉴를 나타내며, 각 전지의 전압, 전류, 온도, SOC, SOH, 셀 밸런싱, 셀프에너지 밸런싱 등의 정보를 사용자가 쉽게 확인할 수 있도록 구성한다. 또한, 전체 Labview의 구성도는 Fig. 8과 같이, 전류, 전압, 온도 측정부, 메인화면 구성부, 비상시 회로차단부, SOH 추정부, SOC 추정 및 셀 밸런싱부, 셀프에너지 밸런싱 전류부로 구성한다.



Fig. 7. Main menu of BMS based on Labview S/W

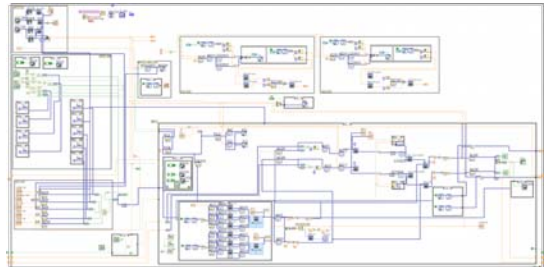


Fig. 8. Block diagram of BMS based on Labview S/W

5. 시험 결과 및 분석

5.1 시험 조건

본 논문에서는 제안한 셀프에너지 밸런싱을 고려한 리튬이온전지용 BMS의 유용성을 확인하기 위하여, 정상 셀과 열화 셀의 충·방전 시험 및 셀프에너지 밸런싱 시험의 특성을 제시한다. Table 1은 각 시험 조건을 상세하게 나타낸 것으로, 충전 시험은 정상 셀(1s16p)과 열화 셀(1s16p)을 완전히 방전하고, 일정 시간(30분)의 휴지 시간 이후 CC-CV 충전 방식으로, 0.2C-rate로 충전한다. 또한, 방전 시험은 완전히 충전된 정상 셀과 열화 셀

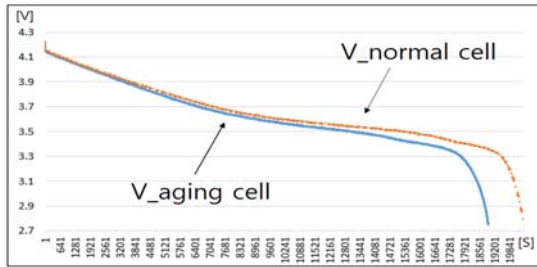
Table 1. Test conditions

item	contents	
cell specification	nominal voltage	3.7V
	capacity	35.2Ah
	cell configuration	1s16p
charging test	charging method	CC-CV
	charging voltage	4.2V
	charging c-rate	0.2C(7.04A)
	charging cut-off current	0.002A
discharging test	discharging cut-off voltage	2.75V
	discharging c-rate	avg. 0.2C(0.56A)
self-energy balancing test	voltage of normal cell	4.09V
	voltage of aging cell	3.89V

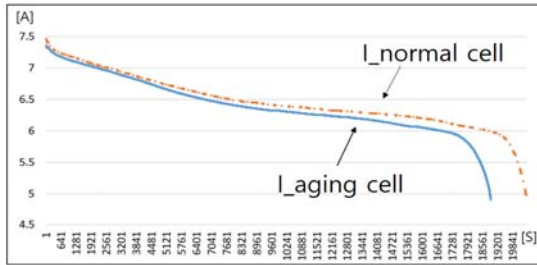
을 평균 0.2C-rate의 전류 크기로 방전한다. 한편, 셀프 에너지 밸런싱 시험은 정상 셀과 열화 셀에 대하여, 충분한 휴지시간(10시간)을 가진 후에 시험을 수행한다.

5.2 정상 및 열화 셀의 용량특성

먼저, 정상 셀과 열화 셀의 전압 및 전류 특성을 나타내면 Fig. 9와 같다. 여기서, Fig. 9는 정상 셀과 열화 셀의 방전 시험에 따른 전압 및 전류 특성인데, Fig. 9(a)는 정상 셀과 열화 셀의 방전시간에 따른 방전 전압이고, Fig. 9(b)는 방전 전류를 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, Ah용량 기준으로 정상 셀은 36.7[Ah] 만큼 방전되고, 열화 셀은 33.7[Ah] 만큼 방전된다. 즉, 정상 셀 대비 열화 셀의 방전용량 비율은 91.75%이며, 열화율은 8.25%임을 알 수 있다.



(a) Voltage characteristics



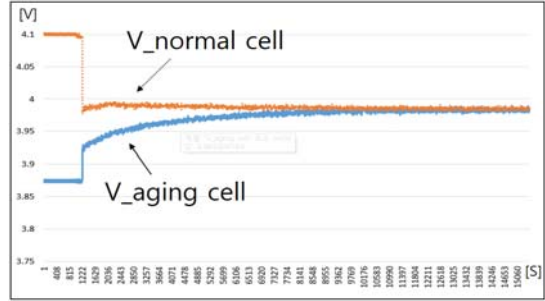
(b) Current characteristics

Fig. 9. Discharging characteristics of normal and aging cells

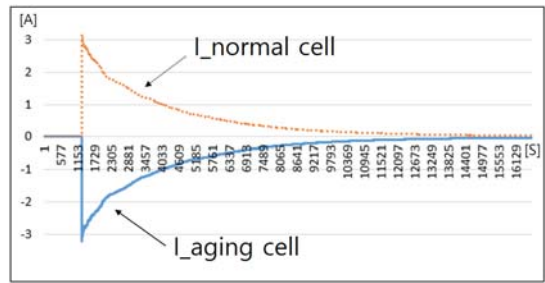
5.3 셀프에너지 밸런싱 특성

셀프에너지 밸런싱 특성을 고려하지 않은 기존의 BMS에 대하여, 상기의 시뮬레이션 조건을 바탕으로 정상 셀과 열화 셀 간의 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행하면 Fig. 10과 같다. Fig. 10(a)는 정상 셀과 열화 셀의 병렬연결 시 전압을 나타내고, Fig. 10(b)는 전류를 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, SOC가 다른 상태의 두 셀을 병렬 연결한 경우, 셀프에너지 밸런싱이 발생하여, 열

화 셀의 전류가 3.21[A]까지 상승한 것을 알 수 있다. 즉, SOC가 높은 정상 셀에서 낮은 열화 셀로 전류가 이동하는 현상인 셀프에너지 밸런싱이 발생함을 알 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 셀프에너지 밸런싱을 방지할 수 있는 운용 알고리즘의 필요성을 확인할 수 있었다.



(a) Voltage characteristics



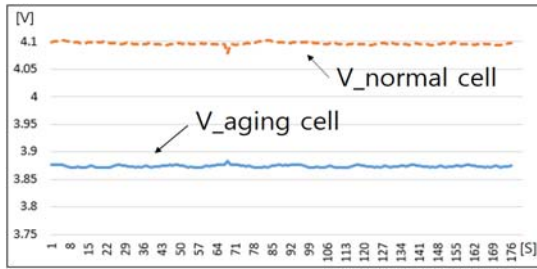
(b) Current characteristics

Fig. 10. Characteristics of self-energy balancing between normal and aging cells

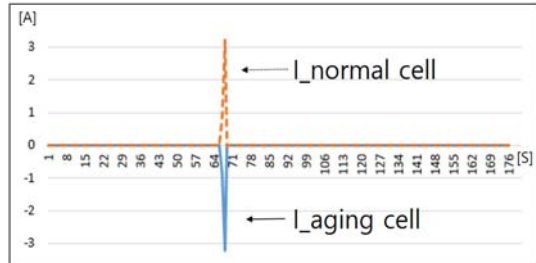
5.4 제안한 리튬이온전지의 BMS 운용특성

(1) 셀프에너지 밸런싱 운용특성

정상 셀과 열화 셀 간의 셀프에너지 밸런싱을 방지하기 위하여, 제안한 운용 알고리즘을 바탕으로 셀프에너지 밸런싱 차단 시험을 수행하면 Fig. 11과 같다. 여기서, Fig. 11(a)는 셀프에너지 밸런싱 발생에 따른 정상 셀과 열화 셀의 전압 특성이며, Fig. 11(b)는 전류 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서와 같이, 셀프에너지 밸런싱 전류가 기준치를 초과하면, 제어 장치에 의하여 정상 셀과 열화 셀 사이의 회로를 차단하여, 셀프에너지 밸런싱이 방지됨을 알 수 있다. 따라서, 셀프에너지 밸런싱이 발생할 경우, 구현한 BMS에 의하여 보호회로가 동작되어, 셀프에너지 밸런싱 전류를 안전하게 차단할 수 있으므로, 제안한 운용알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.



(a) Voltage characteristics



(b) Current characteristics

Fig. 11. Self-energy balancing characteristics with proposed BMS

(2) BMS의 SOC 특성

기존의 OCV 평가방법과 본 논문에서 제안한 하이브리드 SOC 평가 알고리즘에 의한 리튬이온전지의 충전상태 오차율을 비교하기 위하여, 리튬이온전지 SOC 특성 시험을 수행하면 Fig. 12와 같다. 이 그림에서와 같이, Ph-counting 평가방법을 기준으로 OCV 평가방법의 오차율은 약 15[%]이며, 제안한 하이브리드 SOC 평가방법의 오차율은 약 5[%]임을 알 수 있다. 즉, OCV 평가방법에 비하여 제안한 SOC 평가 방법의 오차율이 약 10[%] 정도 개선되어, 본 논문에서 제안한 하이브리드 SOC 평가 알고리즘의 유용성을 확인할 수 있었다.

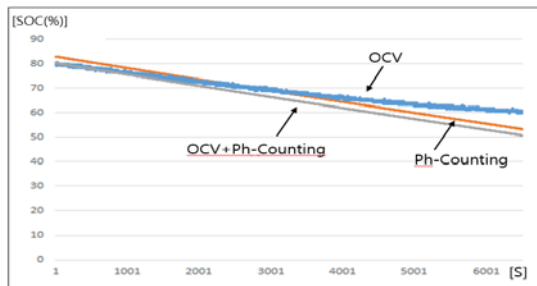


Fig. 12. Characteristics of hybrid SOC method

6. 결론

본 논문에서는 전기저장장치의 안전성을 향상시키기 위하여, 셀 간 SOC 편차에 의해 의도치 않게 발생하는 셀프에너지 밸런싱 전류를 안전하게 차단하는 BMS의 회로구성과 운용알고리즘을 제안한다. 주요 연구결과를 요약하면, 다음과 같다.

- (1) 열화된 리튬이온전지의 특성을 분석하기 위하여, 방전 시험을 수행한 결과, 정상 셀과 열화 셀의 방전용량은 각각 정상 셀 36.7[Ah], 열화 셀 33.7[Ah]임을 알 수 있다. 즉, 정상 셀 대비 열화 셀의 방전 용량 비율은 91.75[%]이며, 열화율이 8.25[%]임을 알 수 있다.
- (2) 셀프에너지 밸런싱 특성을 확인하기 위하여, SOC 편차를 가진 상태에서 열화 셀과 정상 셀을 병렬 연결하면, 최대 3.21[A]의 셀프에너지 밸런싱 전류가 발생하며, SOC가 높은 정상 셀에서 낮은 열화 셀로 전류가 이동하는 셀프에너지 밸런싱 현상이 발생함을 확인할 수 있다. 따라서, 셀프에너지 밸런싱을 방지할 수 있는 BMS의 기능과 운용 알고리즘이 필요함을 알 수 있다.
- (3) 정상 셀과 열화 셀 간의 셀프에너지 밸런싱을 방지하기 위하여, 제안한 BMS와 운용 알고리즘을 바탕으로 셀프에너지 밸런싱 시험을 수행한 결과, 셀프에너지 밸런싱 전류가 기준치를 초과하면, 제어 장치에 의하여 정상 셀과 열화 셀 사이의 회로를 차단하여, 셀프에너지 밸런싱을 방지할 수 있음을 확인할 수 있다.
- (4) 본 연구에서 제안한 하이브리드 SOC평가 방법에 의하여, 리튬이온전지 SOC 특성시험을 수행한 결과, 기존의 방법인 OCV법은 Ph-Counting법 대비 약 15[%]의 오차를 가지지만, OCV법과 Ph-Counting법을 적절히 사용하는 경우, 오차율이 5[%]로 기존의 방법보다 약 10[%] 정도 개선됨을 확인할 수 있었다.

References

[1] Y. J. Lee, M. S. Cho, H. J. Chae, J. C. Kim, S. C. Lee, "The Status of RE100 and Its Implications in Korea", Journal of Energy & Climate Change, vol. 14, no. 1, pp. 43-52, 2019.6.

- [2] Hun Lee, Will the use of renewable energy in the enterprise expand? : 185 companies worldwide including Google GM Apple_Government, October Green Support for joining RE100, including the introduction of a new system, Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp.25-28, 2019.8.
- [3] S. W. Kim, RE100 and the New Future of Korea's Power Industry, Journal of Electrical World Monthly Magazine, pp. 27-31 2019.10.
- [4] S. Y. Lim, S. Y. Park, S. H. Yoo, "The Economic Effects of the New and Renewable Energies Sector", Journal of Energy Engineering, vol. 23, no. 4, pp. 31-40, 2014. DOI: <https://doi.org/10.5855/ENERGY.2014.23.4.031>
- [5] J. Y. Lee, Y. G. Sun, S. M. Lee, S. H. Kim, Y. K. Kim, W. S. Lee, I. Sim, J. Y. Kim, "Implementation of Smart Meter Applying Power Consumption Prediction Based on GRU Model", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 19, no. 5, pp. 93-99, 2019.10. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.5.93>
- [6] 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.
- [7] K. J. Hong, "Development of Hybrid Power Storage System for Urban Railway with UPS Function for Emergency Power Generation", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 19, no. 6, pp.191-196, 2019.12. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2019.19.6.191>
- [8] 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. DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2018.32.6.091>
- [9] H. J. Jang, T. S. Song, J. Y. Kim, S. J. Kim, T. H. Jang "Study on Analysis of Fire Factor and Development Direction of Standard/safety Requirement to Keep Safety for Energy Storage System (ESS)", Journal of Standards, Certification and Safety, vol. 3, no. 9, pp.25-49, 2019.9. DOI: <http://doi.org/10.34139/JSCS.2019.9.3.25>
- [10] D. Xu, L. Wang, J. Yang, "Research on Li-ion Battery Management System", 2010 International Conference on Electrical and Control Engineering, China, 2010. DOI: <https://doi.org/10.1109/iCECE.2010.998>
- [11] S. K. Kim, S. G. Choi, S. Y. Jin, S. S. Bang, "An Experimental Study on Fire Risks Due to Overcharge and External Heat of ESS Lithium Battery", Fire Sci. Eng., Vol. 33, No. 4, pp. 59-69, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.4.059>
- [12] S. K. Kim, S. G. Choi, S. Y. Jin, S. S. Bang, "An Experimental Study on Fire Risks Due to Overcharge and External Heat of ESS Lithium Battery", Fire Sci. Eng., Vol. 33, No. 4, pp. 59-69, 2019. DOI: <https://doi.org/10.7731/KIFSE.2019.33.4.059>
- [13] J. B. Park, B. G. Kim, S. H. Song, D. S. Rho, "Development of State of Charge and Life Cycle Evaluation Algorithm for Secondary Battery", Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society, Vol. 14, No. 1, pp. 369-377, 2013. DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2013.14.1.369>
- [14] S. Susanna, B. R. Dewangga, O. Wahyungoro, A. I. Cahyadi, "Comparison of Simple Battery Model and Thevenin Battery Model for SOC Estimation Based on OCV Method", 2019 International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT), Yogyakarta, Indonesia, 2019. DOI: <https://doi.org/10.1109/ICOIACT46704.2019.8938495>
- [15] S. Y. Park, S. W. Ryu, J. B. Park, B. G. Kim, D. S. Rho, "A Study on Estimation Method for Optimal Composition Rate of Hybrid ESS Using Lead-acid and Lithium-ion Batteries", The transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 65, no. 6, pp.962-968, 2016.6. DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2016.65.6.962>
- [16] Y. W. Kim, B. J. Lee, B. H. Lee, M. J. Lee, K. S. Kim, "Power-efficiency Analysis of the MIMO-VLC System considering Dimming Control", The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication, vol. 18, no. 6, pp. 169-180, 2018.12. DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2018.18.6.169>

김 지 명(Ji-Myung Kim)

[준회원]



- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2020년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 석사과정 재학 중

<관심분야>

전력 및 배전계통, 신재생에너지, 전기저장장치

이 후 동(Hu-Dong Lee)

[준회원]



- 2016년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, 보호협조, 신재생에너지, 마이크로그리드

박 지 현(Ji-Hyun Park)

[준회원]



- 2017년 2월 : 청주대학교 태양광 에너지공학과 (공학사)
- 2020년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)

<관심분야>

신재생에너지, 전력계통, 마이크로그리드

태 동 현(Dong-Hyun Tae)

[준회원]



- 2014년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2019년 9월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통, 신재생에너지, 마이크로그리드, 전기저장장치

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[중신회원]



- 1985년 2월 : 고려대학교 전기공학과 (공학사)
- 1987년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 1997년 3월 : 일본 북해도대학교 대학원 전기공학과(공학박사)
- 1987년 3월 ~ 1998년 8월 : 한국 전기연구소 연구원/선임연구원
- 1999년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기전자통신 공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

페레이라 마리토(Marito Ferreira)

[정회원]



- 2013년 2월 : 동티모르 국립대학교 전기공학과 (공학사)
- 2018년 2월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (석사)
- 2018년 9월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

전력품질 해석, 분산전원, 전기저장장치, 마이크로그리드