

공유형 전동킥보드의 안전성 향상을 위한 배터리 안전관리 시스템(BSMS) 구현에 관한 연구

신건, 이후동, 김지명, 최형석, 노대석*
한국기술교육대학교

A Study on Implementation of Battery Management System for Enhancing Safety of Sharing Electric Kickboard

Jian Shen, Hu-Dong Lee, Ji-Myung Kim, Hyung-Seok Choi, Dae-Seok Rho*
Korea University of Technology and Education

요약 최근, 전동킥보드에서 발생한 화재사고 건수는 2018년에 5건, 2019년에 10건, 2020년에 39건으로 매년 기하급수적으로 늘어나는 추세이고, 그중 대부분은 충전 또는 휴지기간 중 전동킥보드에 설치된 리튬이온배터리에서 발생한 것이다. 따라서, 본 논문에서는 공유형 전동킥보드의 안전성 향상을 위한 BSMS(battery safety management system)를 이용하여 리튬이온배터리에 대한 셀밸런싱 알고리즘을 통한 셀간 전압 편차를 감소시킴으로써, 저전압 셀이 과충전되는 것을 방지한다. 또한, BSMS의 오프가스 검출 알고리즘은 외기로부터 유입된 유사 오프가스로부터 리튬이온배터리에서 발생하는 오프가스를 정확하게 판단하고, 오프가스가 검출되었을 경우, 충전회로를 즉시 차단하여 열폭주가 발생하는 것을 방지한다. 한편, BSMS는 셀프 에너지밸런싱 알고리즘에 따라, 각 셀의 전압, 전류, 온도를 측정하여 셀의 상태가 정상범위에 있는지 판단하고, 셀의 상태가 비정상이거나 셀프 에너지밸런싱 전류가 설정치를 초과하는 경우, 셀간 병렬 연결을 분리하는 개폐장치를 동작시킨다. 상기의 알고리즘을 바탕으로, 본 논문에서는 BSMS 시험장치를 구현하고 운용 특성을 평가한 결과, 제한한 전동킥보드를 BSMS가 리튬이온배터리를 효과적으로 보호할 수 있어 유용함을 알 수 있었다.

Abstract Recently, cases of fire accidents in electric kickboards are exponentially increasing as there are 5 cases in 2018, 10 cases in 2019, and 39 cases in 2020. Most of these accidents occurred in lithium-ion batteries during the charging or resting time. Therefore, this paper proposes a BSMS (battery safety management system) to enhance the safety of sharing electric kickboards. The BSMS also prevents low-voltage cells from being overcharged by reducing the cell voltage differences using its cell balancing algorithm. Furthermore, the off-gas detection algorithm of the BSMS accurately distinguishes off-gas from irrelative gas, which flows in from outside. This detection of off-gas prevents the thermal runaway phenomenon by cutting the charging circuit off when off-gas is detected. On the other hand, the BSMS evaluates if the battery cells' voltage, current, and temperature are in the normal range. It then operates a switchgear, which disconnects the parallel-connected cells if the cell condition is abnormal or if the self-energy balancing current exceeds the set value. This paper implements a BSMS device based on the algorithms mentioned above and evaluates the operational characteristics of the BSMS. It is also found that the proposed BSMS is useful as it can effectively protect the lithium-ion batteries of sharing electric kickboards.

Keywords : BSMS, Sharing Electric Kickboard, Off-Gas Detection, Cell Balancing, Self Energy Balancing, Li-Ion Battery

본 연구는 본 논문은 산업통상자원부의 재원으로 한국에너지기술평가원의 연구(No.20191210301940)와 중소벤처기업부의 기술개발사업 지원에 [S2854105] 의해 수행되었음

*CorresPanding Author : Dae-Seok Rho(Korea University of Technology and Education)
email: dsrho@koreatech.ac.kr

Received August 11, 2021

Revised September 2, 2021

Accepted October 1, 2021

Published October 31, 2021

1. 서론

최근, 국내의 전동킥보드를 포함하여 1인용 전동이동장치 시장은 2017년의 8만대 수준에서 2022년엔 20만~30만대의 규모로 증가할 전망이다[1]. 하지만, 전동킥보드에 BMS(battery management system)가 설치되었음에도 불구하고, 발생한 화재사고 건수는 2018년에 5건, 2019년에 10건, 2020년에 39건으로 매년 늘어나는 추세이고, 그중 대부분 화재사고는 충전 또는 휴지기간 중 전동킥보드에 설치된 리튬이온배터리에서 발생한 것이다[2]. 하지만, 이러한 BMS가 기존의 전동킥보드에 설치되어 있지만, 전동킥보드의 구조적인 측면에서 고성능의 배터리 보호장치를 설치할 공간이 매우 제한적이고 생산단가가 증가하는 문제가 발생하여, 화재사고에 대한 방지능력이 매우 취약한 실정이다[3-5]. 특히, 공유형 전동킥보드의 경우, 사용 패턴이 일정하지 않고 운전성향이 다른 다수의 사용자들이 공유하는 특성으로 인하여, 전동킥보드를용 리튬이온배터리는 열화가 더 많이 진행될 수 있고, 화재사고에 더 쉽게 노출될 수 있다[6].

따라서, 본 논문에서는 BSMS를 공유형 전동킥보드용 도킹스테이션에 설치하여, 충전 및 휴지기간 중 여러 개의 전동킥보드에 대한 감시 및 보호기능을 동시에 수행하고, 각 전동킥보드에 설치된 기존의 BMS는 운행 중 배터리에 대한 보호기능을 수행한다. 여기서, BSMS는 리튬이온배터리 셀간 전압 차이가 감지될 경우, 셀밸런싱 알고리즘을 통하여 셀간 전압차를 제조사에서 제공하는 셀간 허용전압차 이내로 감소시킴으로써, 전압이 낮은 셀이 과충전 되는 것을 방지한다. 또한, BSMS의 오프가스 검출 알고리즘은 외기로부터 유입된 유사오프가스로부터 리튬이온배터리에서 발생하는 오프가스를 정확하게 판단하고, 오프가스가 검출되었을 경우, 충전회로를 즉시 차단하여 열폭주가 발생하는 것을 방지한다. 한편, 본 논문에서는 상기의 알고리즘을 바탕으로 하드웨어 및 소프트웨어 시스템으로 구성된 BSMS 장치를 구현하고 운용특성을 평가하여, 제한한 공유형 전동킥보드를용 BSMS가 배터리를 효과적으로 보호할 수 있음을 확인한다.

2. 공유형 전동킥보드를용 배터리의 운용특성

일반적으로, 전동킥보드를용 배터리팩은 전동모터의 정격전압에 따라 여러 개의 소용량 원통형 리튬이온배터리를 직렬, 병렬조합으로 구성하고, 이 배터리팩을 보호하

고 안전하게 운용하기 위하여 Fig. 1과 같이 전동킥보드의 본체에 BMS가 설치된다. 여기서, BMS는 리튬이온배터리의 출력 전압 및 전류를 측정하고, 이를 바탕으로 리튬이온배터리에서 과전압, 과전류, 과방전, 과충전 등과 같은 문제가 발생할 경우, 회로를 빠르게 차단하여 화재사고가 발생하는 것을 방지한다.

하지만, 이러한 BMS가 기존의 전동킥보드에 설치되어 있지만, 전동킥보드의 구조적인 측면에서 고성능의 배터리 보호장치를 설치할 공간이 매우 제한적이고 생산단가가 증가하는 문제가 발생하여, 화재사고에 대한 방지능력이 매우 취약한 실정이다. 특히, 공유형 전동킥보드의 경우, 사용 패턴이 일정하지 않고 운전성향이 다른 다수의 사용자들이 공유하는 특성으로 인하여, 전동킥보드를용 리튬이온배터리는 열화가 더 많이 진행될 수 있고, 화재사고에 더 쉽게 노출될 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 공유형 전동킥보드를용 리튬이온배터리의 안전성을 향상시키기 위하여, 공유형 전동킥보드를용 BSMS의 운용 알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 BSMS 장치를 구현한다[7,8].

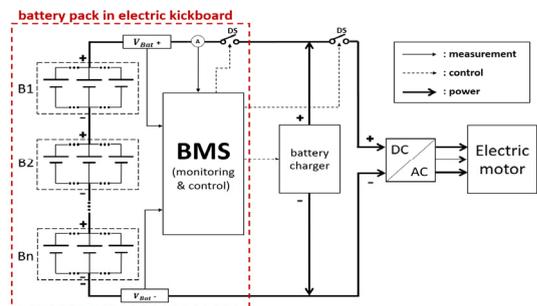


Fig. 1. Configuration of conventional electric kickboard

3. 공유형 전동킥보드를용 BSMS 운용 알고리즘

3.1 BSMS의 구성

2장에서 제시한 바와 같이, 기존의 전동킥보드를용 BMS가 갖고 있는 문제점들을 해결하고 배터리에 대한 효과적인 보호기능을 제공하기 위하여, 본 논문에서는 Fig. 2와 같이 BSMS를 공유형 전동킥보드를용 도킹스테이션에 설치하여, 충전 및 휴지기간 중 여러 개의 전동킥보드에 대한 감시 및 보호기능을 동시에 수행하고, 각 전동킥보드에 설치된 기존의 BMS는 운행 중 배터리에 대한

보호기능을 수행한다[9,10]. 여기서, 리튬이온배터리의 안전성을 강화한 BSMS는 Fig. 3과 같이 측정된 전류, 전압, 온도 및 오프가스 데이터를 바탕으로, 오프가스 검출 알고리즘, 셀프 에너지밸런싱 알고리즘 및 셀밸런싱 알고리즘으로 구성된 BSMS의 운용알고리즘을 통하여 충전 및 휴지기간 중 배터리에 대한 보호를 수행하고, 기존의 BMS는 운행 중 과방전 및 과전류 방지와 같은 배터리 보호기능을 수행한다.

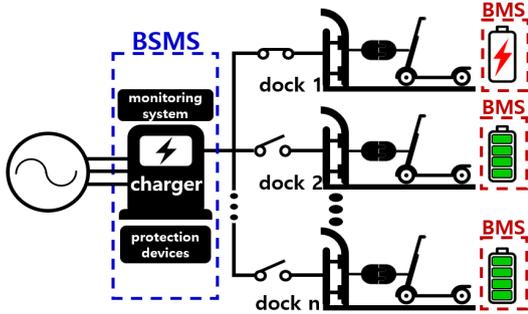


Fig. 2. Concept of BSMS in sharing electric kickboard

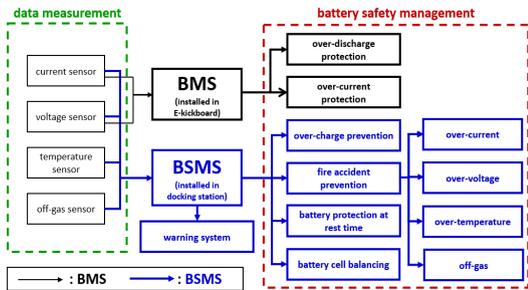


Fig. 3. Configuration of BSMS in sharing electric kickboard

3.2 BSMS의 운용알고리즘

3.2.1 셀프에너지 밸런싱 알고리즘

전동킥보드용 리튬이온배터리는 전동모터의 사양에 따라 여러 개의 리튬이온배터리 셀들의 직·병렬 조합으로 구성된다. 조합된 셀들은 운용되거나 시간이 지나면서 서로 상태의 편차가 달라져 Fig. 5와 같은 현상이 발생할 수 있다. 이 그림에서와 같이, 일부 셀이 열화되어 고유의 용량이 감소되는 경우, 용량의 여유가 있는 병렬 연결된 타 셀들로부터 열화된 셀로 에너지가 흐르게 되는데, 이러한 현상을 셀프 에너지밸런싱이라고 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 배터리팩의 SOC가 높은 경우, 상대적으로 열화된 일부 셀들이 셀프 에너지밸런싱 현상에 의해 과충전되어, 전동킥보드의 화재를 유발할 가능성이 있다. 따라서, 본 논문에서는 셀프 에너지밸런싱 알고리즘에 따라, 각 셀의 전압, 전류, 온도를 측정하여 셀의 상태가 정상범위에 있는지 판단하고, 셀의 상태가 비정상이거나 셀프 에너지밸런싱 전류가 설정치를 초과하는 경우, 셀간 병렬연결을 분리하는 개폐장치를 동작시킨다. 한편, 셀프 에너지밸런싱 전류가 설정치 미만인 경우, 셀의 전압 편차가 기준치를 초과하는지 판단하고, 이 값을 초과하면 셀밸런싱을 수행한다.

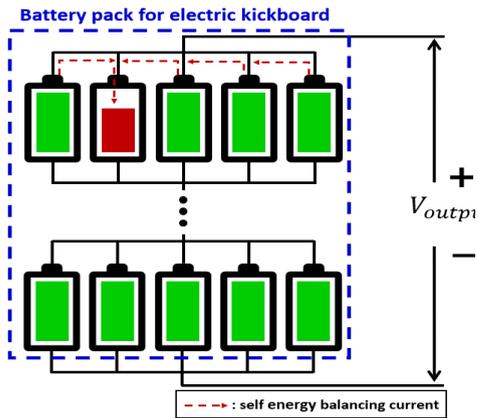


Fig. 4. Concept of self-energy balancing phenomenon

3.2.2 셀밸런싱 알고리즘

공유형 전동킥보드를 장기간 운용할 경우, 전동킥보드용 리튬이온배터리 셀의 고유 내부저항의 차이에 따라 각 셀의 내부에서 소모되는 에너지의 양이 다르므로, 각 셀들의 SOC(state of charge) 및 단자전압에 편차가 발생하게 된다. 또한, 배터리팩은 통상적으로 전용 충전기에 의해 CC-CV 방식으로 충전되는데, 여기서 충전기는 배터리팩의 단자전압을 감지하여 충전 상한전압까지 배터리팩을 충전하므로, 배터리팩 내부의 직렬 연결된 각 셀들은 상태 편차에 따라 과충전 되거나 적게 충전되어, 전기적 스트레스로 인한 화재발생의 원인이 될 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여, 본 논문에서는 리튬이온배터리의 셀 간 전압 편차를 바탕으로 각 셀에 대한 적정 방전용량을 산정하고, 해당 용량만큼 셀밸런싱을 수행하여 셀 간 전압편차를 최소화 하는 셀밸런싱 알고리즘을 제안한다.

구체적으로, 본 논문은 Eq. (1)과 같이 리튬이온전지 정격용량($Q_{manu(Ah)}$) 및 셀전압을 이용하여 리튬이온배

터리 셀의 등가 커패시턴스(C_{cell})를 나타내고, 이 식을 적정 방전용량(Q_{CB}) 계산식 Eq. (2)에 대입하여 Eq. (3)을 구한다. 한편, Eq.(3)에 리튬이온배터리의 정격용량, 측정된 셀전압 및 셀전압과 기준전압의 편차를 대입하여 셀밸런싱에 필요한 방전용량을 정확하게 산정한다.

$$C_{cell} = \frac{Q_{(As)}}{V_{cell}} = \frac{3600 \cdot Q_{manu(Ah)}}{V_{cell}} \quad (1)$$

$$Q_{CB} = C_{cell} \cdot \Delta V_n \quad (2)$$

$$Q_{CB} = \frac{3600 \cdot Q_{manu(Ah)} \cdot \Delta V}{V_{cell}} \quad (3)$$

여기서, C_{cell} : 리튬이온배터리 셀의 등가 커패시턴스, V_{cell} : 측정된 단자 전압, $Q_{manu(As)}$: A · s단위의 용량, $Q_{manu(Ah)}$: 배터리 제조사에서 제공하는 A · h단위의 정격용량, ΔV : 측정된 최소전압과 셀밸런싱을 수행하는 셀의 단자전압의 차 Q_{CB} : 셀밸런싱에 필요한 방전용량

3.2.3 오프가스 검출 알고리즘

일반적으로, 리튬이온배터리에서 발생하는 열폭주의 발생 메커니즘은 Fig. 4와 같이 3개의 단계로 나타낼 수 있다. 여기서, 1단계에서의 대표적인 현상은 리튬이온배터리가 지속적인 전기적 스트레스에 노출될 경우, 셀 내부온도의 상승으로 인하여 전해질이 기화되어 오프가스가 발생하는 것인데, 1단계에서는 이러한 오프가스를 조기에 검출하여 회로차단과 같은 전기적인 방식으로 리튬이온배터리에서의 화재가 2단계로 악화되는 것을 방지할 수 있다. 또한, 2단계에서는 셀 내부온도의 급격한 상

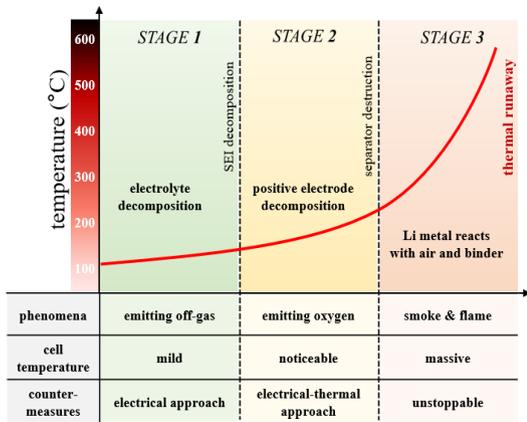


Fig. 5. Mechanism of thermal runaway in Li-ion battery

승과 함께 분리막이 파괴되고 양극재가 분해되면서 산소가 발생하므로, 전기적인 조치뿐만 아니라 강제적으로 온도를 낮추는 소방 조치도 동반하여야 마지막 단계인 열폭주로 이어지는 것을 방지할 수 있다. 한편, 3단계에서 리튬이온배터리는 자체적으로 발생시키는 열과 산소로 인하여 일반적인 소화장비로는 소화시킬 수 없다.

따라서, 추가적인 소방조치가 필요한 2단계나 화재를 막을 수 없는 3단계로 이어지는 것을 방지하기 위하여, 1단계에서 발생하는 오프가스를 조기에 검출하여 회로를 차단하는 것이 가장 효과적이다. 하지만, 외부에서 유입된 유사 가스로 인한 BSMS의 오작동으로 인하여, 공유형 전동킴보드를 운용함에 있어서 문제점이 발생할 수 있다. 따라서, 본 논문에서는 오프가스를 정확하고 효과적으로 검출하기 위하여, Fig. 6과 같이 오프가스센서를 배터리팩에 설치하여 외부에서 유입되는 유사 가스로부터의 영향을 최소화하고, 유사 가스센서는 전동킴보드함과 배터리팩 사이에 설치하여 오프가스센서의 검출결과에 대하여 정확도를 향상시킨다. 또한, 열폭주의 2단계에 가까워지면 리튬이온배터리의 온도상승이 확연하게 나타나므로, 오프가스가 검출되고 리튬이온배터리의 온도가 설정값에 도달하는 경우, 오프가스 검출 알고리즘에 따라 회로를 차단하여 화재가 발생하는 것을 미연에 방지한다.

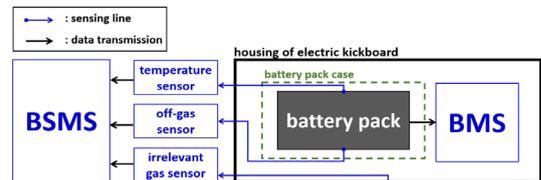


Fig. 6. Configuration of off-gas detecting device

3.2.4 BSMS의 운용알고리즘

상기의 오프가스 검출, 셀프 에너지밸런싱 및 셀밸런싱 알고리즘을 바탕으로, 전동킴보드를 리튬이온배터리 에 대한 BSMS의 운용알고리즘을 나타내면 다음과 같다.

[Step 1] 전동킴보드를 리튬이온배터리를 구성하는 각 셀들에 대해 번호를 n 까지 지정하여 셀 전압 및 전류를 측정하고, 각 운용모드는 k 로 지정한다. 여기서 $k=1$ 은 셀밸런싱, $k=2$ 는 오프가스 검출, $k=3$ 는 셀프 에너지밸런싱 운용모드를 나타낸다.

[Step 2] $k=1$ 인 경우, 측정된 최소 셀전압 (V_{min})을 셀밸런싱 기준전압으로 상정하고, n 번 셀의 단자전압

$V_{cell,n}$ 과 V_{min} 의 차(ΔV_n)를 제조사에서 제공하는 셀간 허용전압차(V_{allow})와 비교한다. 여기서, ΔV_n 가 V_{allow} 보다 작은 경우, 셀간 SOC 및 단자전압 편차가 비교적 작으므로, 다음 셀에 대한 셀밸런싱을 수행한다.

[Step 3] ΔV_n 가 V_{allow} 보다 큰 경우, 셀밸런싱에 필요한 방전용량을 산정하고, 이를 바탕으로 셀밸런싱을 수행한다. 셀밸런싱을 완료 후, ΔV_n 를 다시 산정하고 V_{allow} 와의 비교를 통하여 허용전압차 이내로 밸런싱 되었는지 확인한다.

[Step 4] 재 산정한 ΔV_n 가 V_{allow} 보다 큰 경우 셀밸런싱을 다시 수행하고, ΔV_n 가 V_{allow} 보다 작은 경우, 다음 셀에 대한 셀밸런싱을 수행한다. 한편, n 이 MAX값에 도달하면 [Step 1]으로 돌아가 다음 운용모드로 진행한다.

[Step 5] $k=2$ 인 경우, 오프가스센서, 유사 가스센서 및 온도센서에 대하여 작동여부를 확인한다. 여기서, 오프가스센서가 작동하면 유사 오프가스센서를 통하여 검출된 가스가 리튬이온배터리에서 발생한 오프가스가 맞는지 확인하고, 이때 리튬이온배터리 셀의 온도가 허용

값을 초과할 경우 충전회로를 차단하고 공유형 전동킥보드 관리자에게 알리고 다음 운용 모드로 진행한다.

[Step 6] $k=3$ 인 경우, BSMS의 동작상태를 확인하고, 휴지상태일 경우, 각 리튬이온배터리 셀들의 전압 및 전류를 측정하여, 셀프 에너지밸런싱 전류의 크기(I_n)를 허용값(I_{ref})과 비교한다. 여기서, I_n 가 I_{ref} 보다 큰 경우, 셀프 에너지밸런싱 전류를 차단하기 위하여 셀스위치를 작동하고 관리자에게 알린다.

따라서, 상기의 전동킥보드를 리튬이온배터리에 대한 BSMS의 운용알고리즘을 플로우차트로 나타내면 Fig. 7과 같다.

4. 공유형 전동킥보드를 BSMS 장치의 구현

본 논문에서는 상기의 BSMS 운용알고리즘을 바탕으로, 하드웨어 및 소프트웨어 시스템으로 구성된 공유형 전동킥보드를 BSMS장치를 구현하여, 제안한 알고리즘의 유용성을 평가한다.

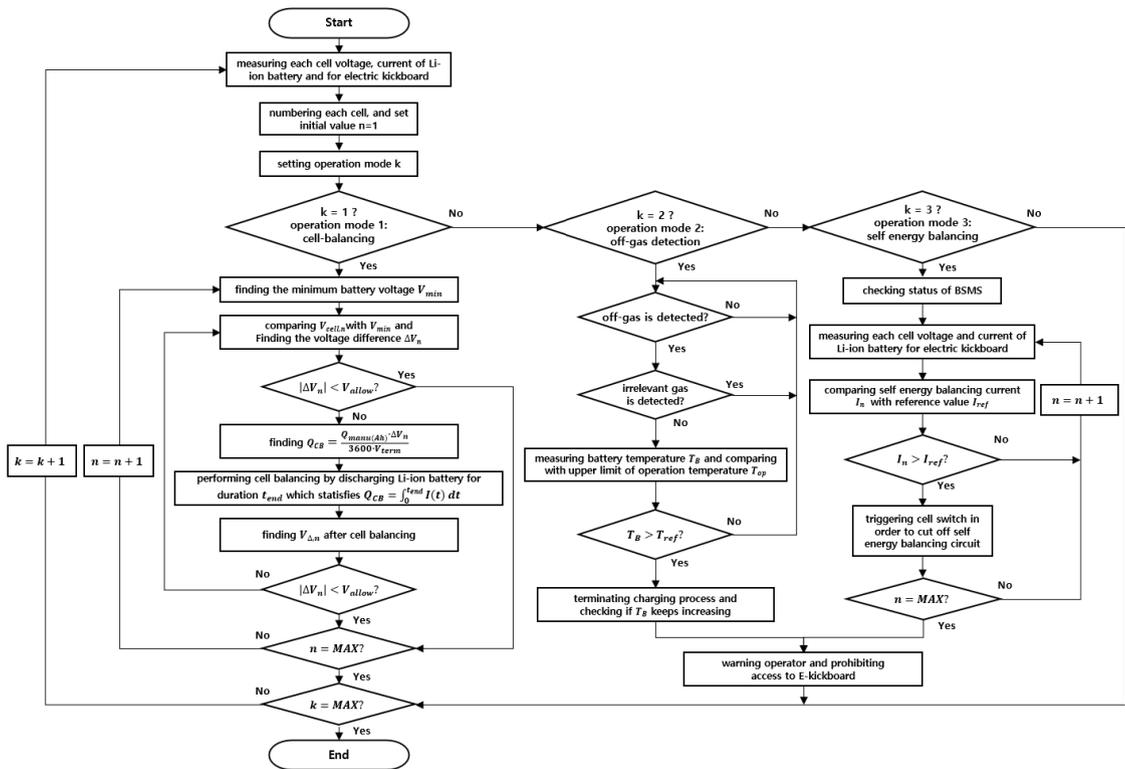


Fig. 7. Entire operation algorithm of BSMS

4.1 하드웨어 시스템 구현

공유형 전동킥보드용 BSMS 장치의 하드웨어 시스템은 Fig. 8과 같이 감시제어부, 센서부, 충전부, 셀밸런싱부, 등으로 구성된다. 여기서, 센서부는 전압, 전류, 온도, 유사 가스 및 오프가스 센서로부터 데이터를 측정하고, 감시제어부는 측정된 데이터를 바탕으로 오프가스 또는 셀프 에너지밸런싱 전류가 감지되어 화재가 발생할 위험이 있다고 판단될 경우, 개폐장치를 동작시켜 회로를 차단한다. 또한, 충전부는 리튬이온배터리를 충전하고, 셀밸런싱부는 전동킥보드용 리튬이온배터리의 셀간 전압편차가 감지될 경우, 셀밸런싱을 수행한다. 한편, BSMS가 구현된 전동킥보드의 외관은 Fig. 9와 같다.

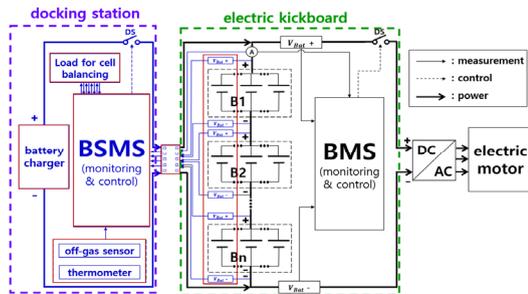


Fig. 8. Configuration of BSMS hardware system

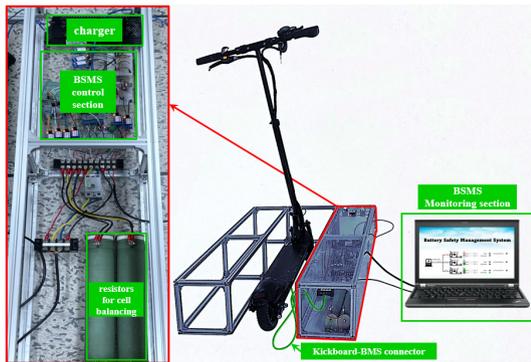


Fig. 9. Implementation of BSMS hardware system

4.2 소프트웨어 시스템 구현

리튬이온배터리에 대한 감시제어 기능을 수행하기 위하여, 공유형 전동킥보드용 BSMS의 소프트웨어 시스템을 Fig. 10과 같이 Autobase S/W를 이용하여 구현한다. 구체적으로, 소프트웨어 시스템은 각 공유형 전동킥보드의 충전상태 및 리튬이온배터리 셀의 최고, 최저전압을 표시하고, 오프가스의 감지 또는 셀프에너지 밸런싱이 발생할 경우, 또는 셀프에너지 밸런싱을 수행할 경

우에 대하여 경고등을 통하여 관리자에게 알려준다.

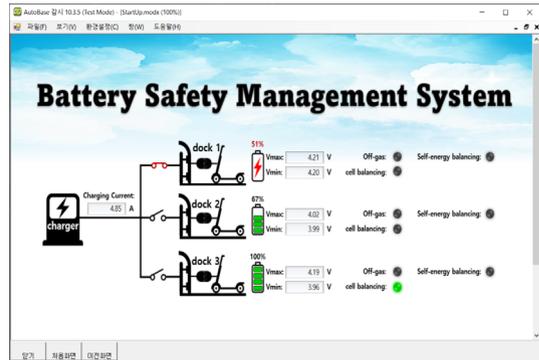


Fig. 10. Implementation of BSMS S/W system

5. 시험결과 및 분석

5.1 시험 조건

상기의 BSMS 운용 알고리즘을 바탕으로 구현한 BSMS 장치의 성능을 평가하기 위하여, 본 논문에서는 Table 1과 같이 1.5년 동안 1,030[km]를 주행한 전동킥보드를 대상으로 BSMS 장치의 운용특성을 분석한다. 여기서, 전동킥보드용 리튬이온배터리는 10직렬, 5병렬로 구성되고, 전체 용량은 10.4[Ah]이며, 정격전압은 36[V]이다. 또한, 오프가스 검출 시험을 수행하기 위하여, 실제로 배터리에 화재를 발생시키는 것은 어려운 실정이므로, 본 논문에서는 열폭주의 초기단계에서 전해질이 기화하여 발생하는 오프가스를 전해액 성분의 기체로 모의하고, 유사 가스는 알코올 성분의 기체로 모의하여, BSMS의 오프가스검출 알고리즘의 성능을 평가한다. 한편, 셀프 에너지밸런싱 시험에서는 정상 셀과 열화셀을 완전히 방전하고, 일정 시간(30분)의 휴지시간 이후

Table 1. Specification of electric kickboard

items		contents
battery spec.	type	Li-ion battery
	connection	10S × 5P
	capacity	10.4 [Ah]
	rated voltage	36 [V]
motor spec.		700W-BLDC hub motor
milage range per full charging		maximum 40 [km]
years of use		1.5 [years]
mileage		1,030 [km]

CC-CV 충전 방식으로, 0.2C-rate로 충전한다. 또한, 해당 전동키토드 배터리팩에서 전압편차가 발생한 3개의 리튬이온배터리 셀을 선정하여, BSMS의 셀밸런싱 기능에 대한 평가를 수행한다.

5.2 BSMS의 운용특성

상기의 시험조건을 바탕으로 전동키토드용 리튬이온 배터리에 대한 오프가스 검출 시험을 수행한 결과, Fig. 11과 같이 유사가스가 감지될 경우, 충전이 정상적으로 진행되지만, 오프가스가 감지됨에 따라 모든 리튬이온배터리 셀의 전압은 즉시 개방전압으로 나타나고, 전동키토드용 리튬이온배터리의 충전전류는 1.6[A]에서 0[A]로 감소하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 제안한 BSMS가 유사 가스에 의해 오동작을 일으키지 않고, 오프가스를 정확하게 검출하여 열폭주의 초기 단계에서 충전회로를 효과적으로 차단하여 전동키토드용 리튬이온배터리에서 발생하는 화재사건을 미연에 방지할 수 있음을 알 수 있다.

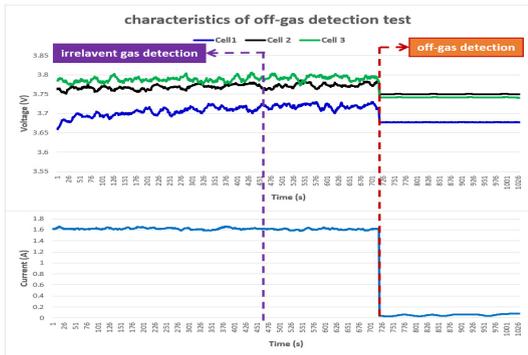


Fig. 11. Characteristics of voltage and current in off-gas detection test

또한, BSMS의 셀밸런싱 알고리즘에 대한 성능평가를 수행한 결과를 나타내면 Fig. 12와 같다. 여기서, 충전완료 후 휴지기간을 거친 리튬이온배터리 셀들의 전압을 측정된 결과, Cell 1의 전압은 3.675[V]로 제일 낮으므로, 셀밸런싱 기준전압으로 상정한다. 또한, Cell 2의 전압은 3.672[V]로 측정되어, 기준전압과의 편차가 0.141[V]로 발생하는 것을 알 수 있고, Cell 3의 전압은 4.014[V]로 측정되어 기준전압과의 편차가 0.339[V]로 나타나는 것을 알 수 있다. 이러한 셀간 전압편차를 해소하기 위하여, Cell 2와 Cell 3에 대한 셀밸런싱을 수행한 결과, Cell 2의 전압은 3.672V로 측정되어 기준전압과의 편차가 0.003V로 감소하고, Cell 3의 전압은 3.679V

로 측정되어 기준전압과의 편차는 0.004V로 감소하여 제조사에서 제공하는 셀간 허용전압편차의 범위(0.1[V]) 이내로 밸런싱이 이루어짐을 알 수 있다. 따라서, 제안한 BSMS는 셀밸런싱 알고리즘에 따라 셀간 전압편차를 최소화하여, 전압편차가 발생한 셀에서 과충전으로 인한 화재사건이 발생하는 것을 방지 할 수 있음을 알 수 있다.

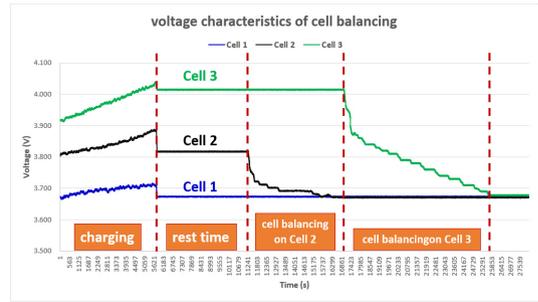


Fig. 12. Characteristics of cell voltage in cell balancing test

한편, 셀프 에너지밸런싱 시험 결과는 Fig. 13과 같이 나타낼 수 있는데, 여기서 Curve 1은 셀프 에너지 밸런싱이 차단되지 않을 경우의 전류특성을 나타낸 것으로서, 셀프 에너지밸런싱 전류가 열화된 셀로 천천히 감소하며 지속적으로 흐르는 것을 알 수 있다. 하지만, 열화된 셀로 흐르는 셀프 에너지밸런싱 전류가 상정한 기준값 0.1[A]보다 큰 값(0.16[A])으로 측정될 경우, BSMS는 열화된 셀을 즉시 차단하여 해당 셀로 전류가 흐르지 않는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 본 논문에서 제안한 BSMS는 셀프 에너지밸런싱 알고리즘에 따라 셀프 에너지밸런싱 전류를 차단하여, 이로 인한 화재가 발생하는 것을 효과적으로 방지함을 알 수 있다.

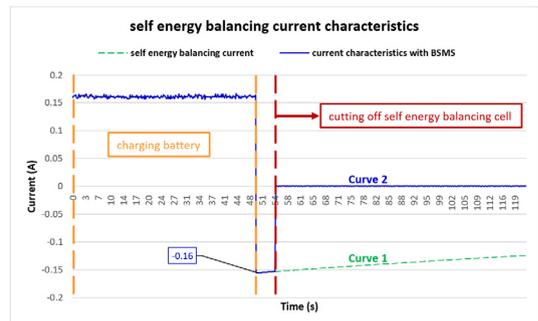


Fig. 13. Characteristics of current in self energy balancing test

6. 결론

본 논문에서는 전동키토드의 안전성 향상을 위하여, 셀밸런싱 알고리즘, 오프가스 검출 알고리즘 및 셀프 에너지밸런싱 알고리즘으로 구성된 전동키토드용 BSMS 운용알고리즘을 제안하고, 이를 바탕으로 공유형 전동키토드용 BSMS 장치를 구현하여 공유형 전동키토드의 리튬이온배터리에 대한 보호기능을 평가한다. 이에 대한 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 오프가스가 발생 시 BSMS의 보호특성을 확인하기 위하여, 리튬이온배터리의 전해액 성분을 전동키토드용 리튬이온배터리 근처에 노출시켜 오프가스의 발생을 모의한 결과, 오프가스가 검출되면 충전전류는 1.6A에서 0A로 감소하여, 제안한 BSMS에 의하여 전동키토드용 리튬이온배터리가 열폭주로 이어지기 전에 효과적으로 회로를 차단할 수 있음을 알 수 있었다.
- (2) 셀밸런싱 알고리즘의 유용성을 확인하기 위하여, 전압편차가 발생한 3개의 배터리 셀에 대한 셀밸런싱을 수행한 결과, 기준전압으로 상정한 최저전압 3.675V와의 편차가 각각 0.003V와 0.004V로 감소하여 본 논문에서 제안한 BSMS가 셀간 전압편차를 효과적으로 방지할 수 있음을 확인할 수 있었다.
- (3) 셀프 에너지밸런싱 방지 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여, 정상셀과 열화셀을 병렬로 연결하여 셀프 에너지밸런싱 현상을 모의한 결과, 열화셀로 흐르는 셀프 에너지밸런싱 전류가 상정한 기준 값 0.1[A]보다 큰 0.16[A]로 측정될 경우, BSMS는 열화된 셀을 즉시 차단하여 해당 셀로 전류가 흐르지 않는 것을 알 수 있어, 본 논문에서 제안한 셀프 에너지밸런싱 방지 알고리즘이 유용함을 알 수 있었다.

References

- [1] Korea Transport Institute, "The domestic personal mobility market is expected to more than triple from 60,000 units in 2016 to 200,000 units in 2022", Korea, 9, 2017.URL: https://www.koti.re.kr/user/bbs/BD_selectBbs.do?q_bbsCode=1005&q_bbscttSn=20170906164600945&q_clcCode=1&q_lwprtClCode=-1
- [2] National Fire Data System, 2021. URL:<https://nfds.go.kr/stat/general.do>
- [3] Yuk, Sunwoo, Kiwon Choi, Sang-Geon Park, and Sukmin Lee. 2019. "A Study on the Reliability Test of a Lithium Battery in Medical Electric Wheelchairs for Vulnerable Drivers" Applied Sciences 9, no. 11: 2299. DOI: <https://doi.org/10.3390/app9112299>
- [4] Laura Bravo Diaz, "Meta-Review of Fire Safety of Lithium-Ion Batteries: Industry Challenges and Research Contributions" Journal of The Electrochemical Society, Volume 167, Number 92020 <https://iopscience.iop.org/article>
- [5] H. J. Jang, T. S. Song, J. Y. Kim, S. J. Kim, T. H. Jang"Study on Analysis of Fire Factor and DevelopmentDirection of Standard/safety Requirement to KeepSafety for Energy Storage System (ESS)", Journal ofStandards, Certification and Safety, vol. 3, no. 9, pp.25-49, 2019.9. DOI: <http://doi.org/10.34139/JSCS.2019.9.3.25>
- [6] Da-eun Ahn, Kyung-Hwan Lee, Eun-Jeong Ko. "Analysis of Factors Affecting Environmental Satisfaction with Shared Electric Scooter - For Seoul City -." Proceedings of the Korean Institute of Architecture 37.7 (2021): 3-11 <https://www.dbpia.co.kr/journal/NODE10584926>
- [7] Jin-yong Bae. "A study on a battery management system for a small electric vehicle." Korea Society of Automotive Engineers Fall Conference and Exhibition . (2020): 1162-1167. <https://www.dbpia.co.kr/journal/NODE10519612>
- [8] Jong-Hoon Kim. "Battery and BMS research trends in mobile devices". KIPE MAGAZINE 24(1), 2019.2, 35-39. <https://www.dbpia.co.kr/journal/NODE07614746>
- [9] Park Tae-Han, Lee Jung-Ju, Jang Young-Eun, Won Won-Tae. "Development of self-locking storage rack for electric kickboard." Proceedings of the conference of the Korean Society of Precision Engineering. (2019): 426-426. <https://www.dbpia.co.kr/journal/NODE10503967>
- [10] Kim Geun-sik. "A study on the establishment of charging facilities for small electric vehicles of 1 [kW] or less." 10.12 (2019): 93-99. <https://www.dbpia.co.kr/journal/NODE09408507>

신 건(Jian Shen)

[정회원]



- 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 기계공학과 (공학사)
- 2017년 2월 : 동대학원 전기공학과 (공학석사)
- 2021년 3월 ~ 현재 : 동대학원 전기공학과 박사과정 재학 중

<관심분야>

배전계통 운용, MVDC, 신재생 에너지, micro-grid, ESS

최 형 석(Hyoung-Seok Choi)

[정회원]



- 1997년 2월 : 광운대학교 전기공학과 (공학사)
- 2020년 8월 : 한국기술교육대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2010년 6월 : 티팩토리 CEO

<관심분야>

신재생에너지, 전기저장장치, 배전계통, 마이크로그리드

이 후 동(Hu-Dong Lee)

[정회원]



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

<관심분야>

배전계통 운용, MVDC, 보호협조, 마이크로그리드, ESS

노 대 석(Dae-Seok Rho)

[증신회원]



- 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 전기전자통신공학부 교수

<관심분야>

전력/배전 계통, 분산전원연계, 전력품질해석

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