

블루투스 기반 리튬인산철 배터리팩을 위한 BMS 모듈 알고리즘 개발에 관한 연구

김종민¹, 류갑상^{2*}

¹동신대학교 컴퓨터학과 석사, ²동신대학교 컴퓨터학과 교수

A Study on Development of BMS module Algorithm for Bluetooth-based Lithium-Iron Phosphate Battery pack

Jong-Min Kim¹, Gab-Sang Ryu^{2*}

¹Master, Dept. of Computer Science, Dongshin University

²Professor, Dept. of Computer Science, Dongshin University

요약 현재 자동차를 포함한 에너지 저장장치 제품에는 리튬 이온 배터리가 주로 사용되고 있으며, 이를 과충전하거나, 고온 상황에 방치하는 잘못된 배터리 관리 상황 발생시 폭발 등 위험한 상황에 노출될 수 있으며, 과방전 시 배터리 불능 상황을 야기한다. 이로 인해 배터리 상태를 관리해주는 시스템이 필요하며 배터리 관리 시스템은 배터리 상태를 정확하게 인지하고 각 셀의 전압을 일정하게 유지하여 최적의 배터리 효율을 얻는 데 목적이 있다. 본 논문에서는 일반적 리튬이온배터리에 비해 고안전성을 갖는 리튬인산철 배터리팩과 이를 관리하기 위해 Matlab Simulink 기반의 시뮬레이션을 사용하여 셀 특성을 확인할 수 있는 RC등가회로 모델을 이용한 분석방법을 제시하고, 저전력 및 상호통신 간섭이 적은 블루투스 기반 BMS 모듈의 알고리즘을 개발하였다.

주제어 : 리튬이온배터리, 리튬인산철배터리, 배터리관리시스템, 전기자동차, 에너지저장시스템

Abstract Currently, lithium-ion batteries are mainly used in energy storage equipment products including automobiles. This can be exposed to dangerous situations such as explosions in the event of incorrect battery management conditions that are overcharged or left in high temperature conditions. It also causes a situation battery cannot be used when it has been over discharged. Therefore, a system that manages the state of the battery is required. The battery management system aims to obtain optimum battery efficiency by accurately recognizing the state of the battery and keeping the voltage of each cell constant. In this paper, we develop a lithium-iron phosphate battery that has higher safety than a general lithium-ion battery. Then, in order to manage this, we try to develop the algorithm of the BMS module based on the Bluetooth communication using the MATLAB-SIMULINK.

Key Words : Lithium-ion battery, Lithium-iron phosphate, Battery management system, Electric vehicle, Energy storage system

*Corresponding Author : Gab-Sang Ryu(gstryu@dsu.ac.kr)

Received January 18, 2021

Accepted April 20, 2021

Revised March 24, 2021

Published April 28, 2021

1. 서론

오늘날 미세먼지 등으로 인한 환경오염이 가속화됨에 따라 전 세계적으로 친환경 에너지 및 친환경 자동차의 필요성이 더욱 강조되고 있으며 화석연료 가격 인상, 환경문제에 대한 대응자세 변화로 전기자동차(Electric Vehicle; EV)의 시장규모는 증가하고 있다. 또한 전기자동차, ESS 등 다양한 분야에서 리튬 이온 배터리의 활용도가 높아지면서 이를 효율적이고 안전하게 사용할 수 있는 방법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 리튬이온 배터리는 고에너지 및 고전력밀도, 장수명의 장점이 있어 전기자동차의 주 동력원으로 사용되고 있다[1-3].

배터리의 성능과 안전한 운용을 보장하기 위해 배터리 관리 시스템(Battery Management System; BMS)은 꼭 필요하며, SoC(State of Charge), SoH(State of Health) 등 많은 배터리 상태 추정 알고리즘들이 개발되었다[4,5].

리튬 이온 배터리의 안전성에 대한 우려가 높아짐에 따라 배터리가 안전 전압 영역에서 동작하도록 충·방전 전류를 제어해야 한다. 그러나 충·방전 전류의 과도한 제한은 배터리 가용 에너지의 활용도를 감소시키므로 배터리의 안전한 동작을 보장하면서 가용 에너지 또한 최대한 사용할 수 있도록 전류추정 알고리즘이 필요하다[6,7].

전류추정 알고리즘은 배터리가 일정 시간 동안 정전류가 인가될시 상·하한 전압에 도달하게 만드는 최대 전류를 산출한다. 배터리가 안전한 전압 영역에서 동작할 수 있도록 산출된 전류보다 작은 전류를 배터리에 허용함으로써 배터리가 안전성을 확보함과 동시에 가용 에너지를 최대화 한다. 그러나 전기자동차를 구동하는 배터리 팩은 직·병렬로 연결되며, 각 배터리는 셀과 모듈로 구성되므로 충·방전 동작이 반복됨에 따라 노화도나 온도의 차이가 필연적으로 발생하게 되고 Fig. 1과 같이 배터리 셀 간 용량 및 내부 저항의 편차로 나타난다.

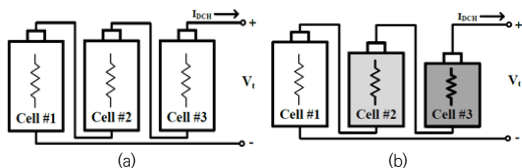


Fig. 1. (a) Battery pack with equal cells, (b) Battery pack with deviated cells

현재 자동차를 포함한 에너지 저장장치 제품에는 리튬이온 배터리가 주로 사용되고 있으며, 잘못된 배터리 관

리 상황 발생시 폭발 등 위험한 상황에 노출되고, 과방전시 배터리 불능 상황을 야기한다. 이로 인해 배터리 상태를 관리해주는 시스템이 필요하며 배터리 관리 시스템은 배터리 상태를 정확하게 인지하고 각 셀의 전압을 일정하게 유지하여 최적의 배터리 효율을 얻는 데 목적이 있다.

또한, 리튬 배터리는 구조적으로 전해질의 상태에 따라 액체일 경우 리튬이온 배터리, 고체일 경우 리튬 폴리머 배터리로 구분한다. 이러한 리튬 폴리머 배터리 중 리튬 인산철 배터리는 리튬이온 배터리의 불안정한 이온 상태에서 발생할 수 있는 폭발 및 발화의 위험성 문제를 해결할 수 있는 배터리라고 할 수 있다. Fig. 2는 리튬이온 배터리 및 리튬 인산철 배터리의 충전 특성이다.

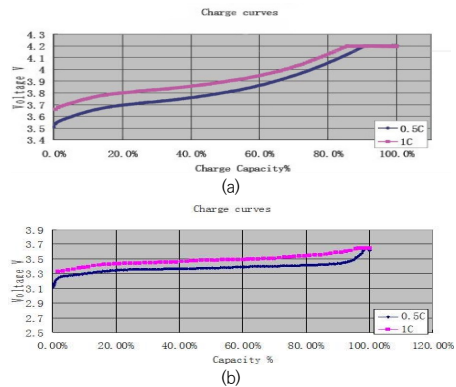


Fig. 2. (a) Charging characteristic curve of lithium-ion battery, (b) Charging characteristic curve of lithium iron phosphate battery

본 논문에서는 일반적 리튬이온 배터리에 비해 고안전성을 갖는 리튬인산철 배터리팩과 이를 관리하기 위한 블루투스 기반 BMS 모듈의 알고리즘을 개발하고자 한다. BMS는 이상적인 RC등가회로 모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 바탕으로 알고리즘을 구성하여 각 배터리 셀, 배터리팩의 실시간 모니터링을 블루투스 통신을 기반으로 작동된다. 이를 기반으로 예측된 데이터인 전압, 전류, 온도를 사용하여 배터리의 현재 상태를 판단하는 SoC와 SoH를 추정하고자 하며, 이는 C-rate 방법을 이용한다. 제안한 방법의 알고리즘은 Matlab Simulink를 이용하여 수행하였다.

2. 배터리 BMS 구성을 위한 조건

제안한 방식의 리튬인산철배터리와 블루투스 기반의 BMS 모듈 제작에 관한 배터리 팩의 화학적 구조, BMS

의 C-rate, SOC는 다음과 같다.

2.1 리튬이온전지의 원리 및 리튬인산철전지 구조

리튬은 금속 중 원자량은 가장 작으나 이온 상태의 단위당 전위용량은 3860mAh/g으로 매우 높고, 가장 낮을 때 산화-환원 전위는 3.04V를 가지고 있다. 그래서 높은 기전력을 발생할 수 있는 음극성 물질로 주목을 받고 있으며, 또한 원자량(6.94)과 밀도(0.54g/cm³) 값이 작기 때문에 에너지 밀도가 높고 이로 인해 단위 전기량당 중량이 작고 가벼운 전지를 만들 수 있는 장점이 있다[8].

그러나 리튬 금속을 사용하는 전지는 방전 상태에서 리튬이온의 용해 후에 전해질을 통한 양극활 물질 내부로 리튬이온의 삽입이 발생하며, 음극에서는 충전 상태에서 리튬이온이 리튬 금속 표면에 환원되어 일부가 전해질 계면형성을 띠게 되고 이로 인해 전지 내부 저항이 높아지고 방전효율이 낮아진다. 따라서 전체 용량이 감소 되고, 리튬 이온이 전착되지 못하고 수지상을 형성하는 문제가 있으며, 수지상은 점차 성장하여 리튬 금속 내부 단락이 발생하여 전지의 안전성 면에서 큰 문제가 야기 된다[9].

이러한 안전성 문제를 해결하기 위해, 리튬이온전지에서는 음극에 탄소계 물질을 대체 물질로 도입하였고, 탄소계 음극 물질은 리튬이온의 석출과 용해 반응을 일으키는 리튬 금속 전지와는 다른 음극과 양극 물질 내에서 리튬 이온의 삽입과 탈리 반응이 일어날 수 있게 된다. 이러한 산화 및 환원 반응의 메커니즘은 Fig. 3과 같다.

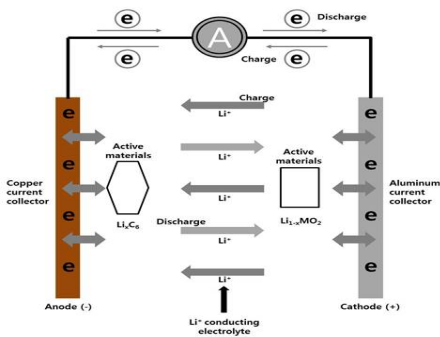
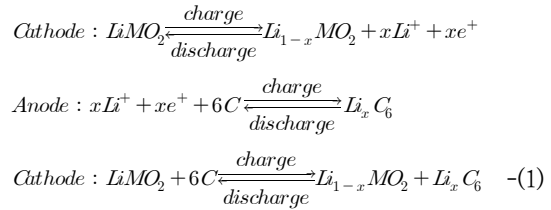


Fig. 3. Structure of oxidation and reduction reaction mechanism of lithium ion battery.

산화 반응에서는 리튬이온이 양극에서 전해질을 통해 음극으로 이동을 하고 환원 반응 때는 반대로 음극에서 양극으로 리튬이온이 이동한다. 구조적으로 변화는 없으며 가역적으로 삽입 및 탈리 반응이 발생한다. 이때 전지

에서 일어나는 반응식은 식(1)과 같고 이러한 특성으로 리튬이온 전지는 충전 및 방전 효율과 안정성에서 리튬 금속 전지에 비해 매우 뛰어난 특성을 지니고 있다 [10,11]. 이러한 높은 에너지 밀도를 갖는 리튬 이온 폴리머 배터리로 응용분야가 확대되었고, 높은 에너지 밀도를 갖게 됨에 따라 고용량화되어 배터리 특성도 매우 민감해지게 되었다.



그러나 리튬이온전지는 구조적인 특징으로 발화 및 폭발의 위험성을 갖고 있다. 특히 과충전 및 과방전으로 인한 발화와 열화라는 위험성이 있다. 양극활물질에 산소가 들어있어, 액체 전해질 상태에서 고온으로 변화시 연료로 작용해 발화한다. 이는 리튬 덴드라이트(Dendrite; 수지상)를 생성하고, 분리막이 크랙되고, 과충전 및 배터리 셀 충격 등의 발생시 큰 전류가 흐르게 되고 이는 분리막이 용해되고, SEI(Solid Electrolyte Interphase; 고체 전해질 계면막)분해 및 음극이 노출되는 등의 문제를 초래하며, 배터리의 온도를 더욱 상승하게 만들어 양극재가 분해되고 산소가 방출되어 액체 전해질이 연소하는 문제가 야기된다. 이를 해결하게 위해 열이 발생하지 않도록 배터리에 충전되는 전압과 전류를 정밀하게 제어하는 것이 최선으로 60°C 이하에서 사용하도록 권고하고 있으며, 전기차의 경우 냉각시스템이 가동되고, ESS의 경우 내부 작동온도가 높아 최근 빈번하게 화재 사고로 연결이 되고 있는 실정이다.

반면에 인산철을 사용한 리튬인산철전지는 납축전지처럼 안전하고 리튬이온전지처럼 고용량을 지니는 하이브리드 특징을 지니고 있다. 특히 리튬이온전지에 비해 충전시간이 짧으며, 과충전의 허용범위가 넓고, 안전하며, 수명시간이 높은 장점이 있다. 반면 무게가 무겁고 전압이 3.3V 인 단점이 있다. 그러나 충전시간이 짧고 수명이 길어 전기자동차 및 ESS 등 다양한 분야에서 활용이 늘어나는 추세이다.

리튬인산철전지의 화학구조는 Fig. 4와 같다. $LiFePO_4$ 는 올리빈 구조로 과충전(10V), 과방전(0V)에서 매우 안정적인 구조를 갖는다. 안정적인 화학구조로 인해 리튬의 경로 이동이 용이하며 열적으로도 매우 안정

적이다. 외부 불순물과 혼합되어 다른 변형된 형태로 왜곡이 쉽게 되지 않아 외형의 변화나 폭발이 없고 안전하다. 특히 리튬 망간, 리튬 코발트 계열 배터리가 가지고 있는 결합인 발화 및 폭발의 문제 해결이 가능하다. 이와 같이 리튬의 경로이동이 용이하고 열적으로 매우 안정적이기 때문에 열적기법을 이용한 2차 가공이 쉽게 된다. 그래서 2000년 초부터 중국 및 미국 등에서 많은 연구가 이뤄지고 있으며, 현재 국내에서도 망간을 대체한 재료로 연구가 활발히 진행되고 있다.

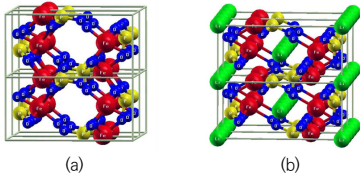


Fig. 4. Chemical structure((a) $FePO_4$, (b) $LiFePO_4$)

2.2 C-rate

C-rate는 배터리 용량에 대한 충·방전 전류의 비율로 1Ah의 용량의 배터리에 기준 1C-rate는 1A가 되며 2C-rate는 2A가 된다. C-rate는 식(2)와 같다.

$$C-rate(C) = \frac{\text{충전 또는 방전 전류량}(A)}{\text{배터리용량}(Ah)} \quad \text{-----}(2)$$

이는 충전 및 방전 둘 다 적용이 되는 단위이며, 대부분의 배터리 용량 산정시 C-rate의 용량으로 평가되며, 예로 들어 3시간 동안의 충·방전량을 의미하여 시간을 이용하여 3시간용이라고도 한다. 배터리마다 다르나 공통적으로 C-rate가 높아지면 배터리의 용량은 감소하며 C-rate가 작을수록 배터리의 용량은 증가된다.

배터리 제조사에서는 최대 충·방전전류를 A로 표기하거나 CA(C-rate Ampere)로 지칭하여 나타내기도 한다.

Fig. 5는 배터리의 C-Rate별 방전 특성을 나타내는 그래프로 3C-rate에 대한 배터리 용량을 나타내며 0.1C-rate로 방전시보다 10%이상 용량 차이가 나타나는 것을 확인 할 수 있다. C-rate량이 클수록 전압 강하량은 증가하고 배터리 용량을 100% 사용할 수 없게 된다.

또한, C-rate 특성에 따른 산업용 축전지의 방전율을 비교해 볼 때, 본 논문에서 제안한 리튬인산철 구조의 배터리의 효율이 매우 우수함을 알 수 있다.

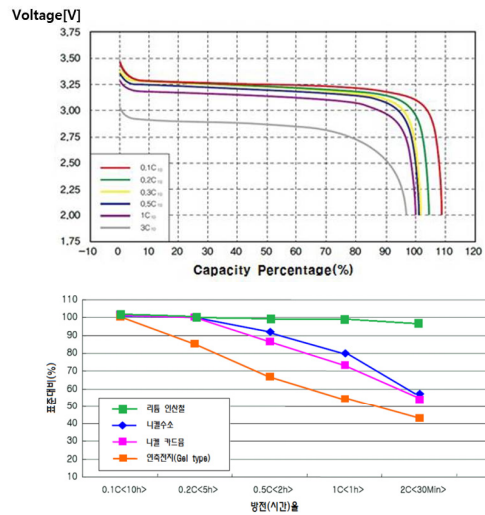


Fig. 5. Battery C-rate discharge characteristics and Comparison by industrial battery discharge (current) rate

2.3 SoC(State of Charge): 배터리 잔존량 추정

리튬 이차전지는 기존의 리튬 일차전지에 비해 충전이 반복적으로 가능하다. 그래서 여러 번의 충전과 방전이 가능하고 그에 따라 서로 다른 에너지 준위 상태를 가질 수 있다. 에너지의 보관능력은 용량(Capacity)으로 정의할 수 있으며 배터리의 완충 상태에서 완전 방전 상태까지 일정 전류로 방전시 방전되는 전하의 총량으로 정의할 수 있다. 완충상태는 배터리의 파손이 없는 범위 안에서 내포할 수 있는 전하를 최대로 받은 상태로써 과전압 상태에서 과도한 부반응이 발생할 수 있기 때문에 충전시 일정 전압으로 제어하여 파손을 입지 않게 충전할 수 있다. 완충 상태는 일정 전압으로 충전되어 더 이상 전류가 흐르지 않으며, 완전 방전상태는 방전이 될 수 있는 전하를 모두 배출한 상태이다.

또한, 배터리 용량을 결정시 SoC는 방전 전류의 온도나 노화의 영향도 중요하게 고려하여야 한다. 일반적으로 배터리 제조사에서는 정격용량(Rated Capacity)인 Q_{rated} 를 사용하고 상온(25°C)일 때, 완충 상태부터 완전 방전상태까지 규정된 전류 조건 i_{rated} 로 방전했을 때의 값으로 정의하며 식(3)과 같이 표현한다.

$$Q_{rated} = \int_{t_0}^{t_0+T} i_{rated} dt \quad \text{-----}(3)$$

방전 전류의 크기에 따라 용량이 변하는 특성으로 식

(3)에서 정의한 Q_{rated} 를 사용할 수 없게 되고, 식(3)을 보완하기 위해 식(4)를 유도한다.

$$SoC_{Batt} = SoC_{Batt_0} - \frac{\int_0^t i_{Bat} dt}{Q_{discharge}} \text{-----(4)}$$

배터리의 현재 용량은 이전의 배터리 SoC상태에서 방전되는 전류를 적분하여 이를 방전용량으로 나누어 빼주는 방법으로 구성하였고, 충전용량 및 방전용량은 배터리의 충전용량에 따른 차이가 발생하는 만큼 배터리 용량이 아닌 방전 용량에 대해 이용한 특징으로 Fig. 6은 리튬 인산철 배터리에 대한 전류별 방전 커브를 표현하고 있다. 전류의 크기가 낮을수록 완충 상태에서 완전방전까지의 시간이 늘어나고 있음을 알 수 있고, 방전 전류에 대한 방전되는 시간을 측정하여 방전용량을 계산한다.

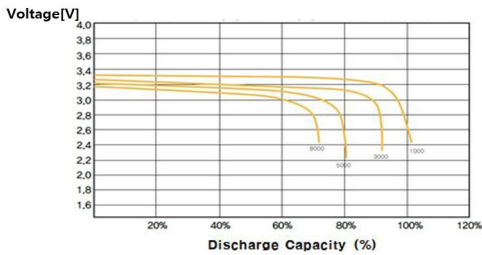


Fig. 6. Battery life characteristic test at room temperature

2.4 블루투스 통신 프로토콜

제안한 방식의 BMS는 블루투스 통신을 이용하여 배터리팩의 전압 및 전류의 정보를 받아 배터리의 상태 확인이 가능하도록 제작되었다. Fig. 7은 블루투스 데이터 구조를 나타낸다.

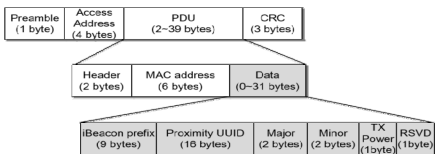


Fig. 7. Bluetooth data structure

무선의 다른 신호와 간섭을 최소화하며, 신호가 간섭될 때, 빠르게 연결하여 복구가 가능하며, 다양한 개선작업이 가능하여 사물인터넷(IoT)과 비콘 기반 기술이 가능할 수 있는 구조를 지니고 있다. 또한, 상호간 페어링이 되지 않으면, 기기간의 데이터 전송이 불가능하며, 사

용되는 주파수는 ISM이 가능한 대역인 2.4GHz이다. 클라이언트에서 서버로 어플리케이션 데이터를 전송시 서버는 응답메시지를 클라이언트에게 전송하여 클라이언트로부터 서버는 어플리케이션 데이터를 전송받으나 이에 대한 별도의 응답 메시지는 없으며, 서버에서 클라이언트로 어플리케이션 데이터를 전송하여 클라이언트로부터 응답메시지를 받는 방식으로 서버가 클라이언트에게 어플리케이션 데이터를 전송하더라도 클라이언트의 응답메시지를 원하지 않는 형태로 구분할 수 있다.

또한, 블루투스 통신은 다른 통신에 비해 거리에 대한 제약이 있으나, 저전력 및 지원기기 간의 호환성이 매우 좋은 장점을 가지고 있기 때문에 본 논문에서는 2.4GHz 대역폭의 Wi-Fi와 동일한 주파수를 갖으며, 기존의 배터리 모니터링을 위한 배터리팩의 모니터 액정에 소모되는 불필요한 전력 소모를 줄이는 저전력 및 시스템간 전파 간섭이 적은 블루투스 통신을 이용하고자 한다.

3. 시뮬레이션 및 결과

본 논문에서 제안한 블루투스 기반 BMS 알고리즘을 적용하기 위한 리튬인산철 배터리 70Ah 급으로 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Specification of Battery

Nominal Capacity	70Ah
Rated Voltage	3.2V
Weight(Approx.)	1.55kg
Dimension	115*36*200
Standard Charging Voltage	3.55V
Charging Current	0.2 ~ 0.33C
Discharging Current	0.5C
Internal Resistance	≤10m Ohm
End-off Discharged Voltage	2.5V

또한, 제안한 리튬인산철배터리 전지의 셀 특성 및 열에 대한 특성을 확인하기 위해 Matlab Simulink를 사용하였다. 상세한 전기 화학 모델은 계산량이 많아 장시간이 소요되어 유연성이 없고, 전체적인 BMS의 모델링 및 응용프로그램에는 적합하지 않다. 따라서 Fig. 8과 같이 등가회로 모델을 이용한 분석을 이용하여 셀의 화학적 현상과 회로 요소 사이에 직접적인 상관관계를 구하는 방식으로 빠른 배터리의 상태 파악을 위해 기생 커패시터에 의한 현상은 배제하였다. 또한 제안한 방식은 모델

의 수가 많을수록 계산량이 증가하기 때문에 $n=1$ 인 모델을 적용하였다[12-16].

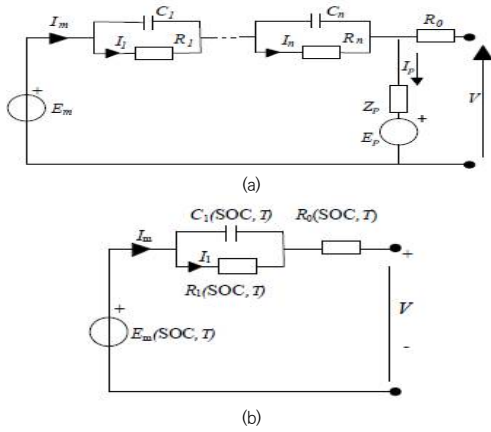


Fig. 8. (a) A general equivalent circuit of a lithium battery (b) The equivalent circuit used for the proposed method, with $n=1$.

단일 RC블록 모델을 이용하여 계산 추정하는 방법은 일반적이며 셀의 온도 및 SOC에 따라 변화하는 4개의 변수 E_m , R_0 , R_1 , C_1 에 대해 계산하였다. 이를 기반으로 배터리 셀의 온도를 추정하여 냉각은 주로 대류를 통해 이루어지고, 가열은 내부저항에서 발생한다고 가정하여 Fig. 9와 같은 시뮬레이션 모델링을 수립하였다.

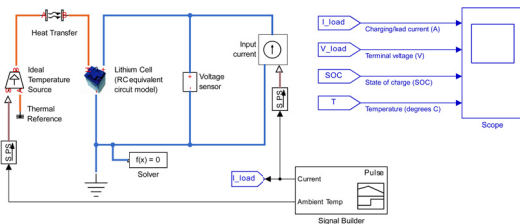


Fig. 9. Simulation Model with Matlab Simulink

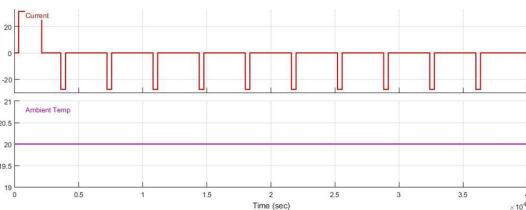


Fig. 10. Simulation Model with Matlab Simulink

Fig. 10은 전체 시뮬레이션을 위해 전류와 온도에 대한 기준 입력 신호이며, 저항 회로 요소는 가변저항으로

모델링하였다. 이는 옴의 법칙에 따라 적용되고, 시뮬레이션 중 발산을 방지하기 위해 최소 저항 값을 사용하였다. 또한 최적화된 디자인을 위해 이상적인 전류원과 전압 센서를 사용하여 충전 회로 모델에 적용하였다.

Fig. 11은 전체 모델링의 결과를 나타낸다. 이는 Fig. 10에서 기준 신호로 설정된 전류 및 온도에 대한 배터리 모델의 충전시 부하 전류, 배터리 모델의 단자 전압, SOC, 온도에 대한 반응 결과이다. 총 10회의 방전을 모의하였으며, 방전 전류의 크기로 인해 셀 임피던스의 변화가 없다고 가정하였다. 시뮬레이션 결과 셀이 방전됨에 따라 전류 및 전압, SOC 및 온도의 변화결과가 일치함을 바탕으로 OCV의 감소를 빠르게 추적할 수 있음을 알 수 있다. 결과적으로 제한한 RC 등가회로 모델을 이용하여 셀 동작 시뮬레이션이 가능함을 확인할 수 있다.

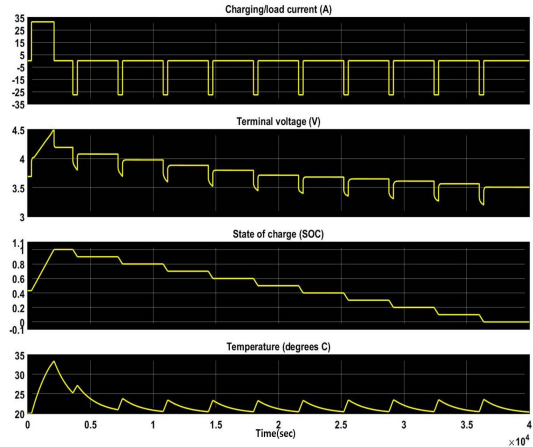


Fig. 11. Result of Simulation Model

또한, 제한한 방법의 BMS 알고리즘을 이용한 블루투스 기반의 모니터링 어플리케이션을 Fig. 12와 같이 제작하였다.

시뮬레이션 및 블루투스 기반 어플리케이션을 이용한 실험 결과 기존 모니터링 액정에 의한 시스템에 비해 BMS의 안전성 및 신뢰성을 향상시킬 수 있다. Fig. 12의 결과를 통해 RC 등가회로 모델 기반의 배터리의 상태 추정이 안정적으로 이뤄짐을 확인할 수 있고, 블루투스기반의 무선통신 BMS는 유선방식의 모니터링 시스템에 비해 액정을 구동하는 불필요한 전력손실이 없으며, 실시간으로 사용자가 직접 확인할 수 있어 유지보수가 간편하며, 기계적 고장 상황으로 유선 통신이 불가능한 상황에 무선 어플리케이션을 이용한 실시간 통신은 배터리가 안전할 수 있는 신뢰성을 확보할 수 있다.

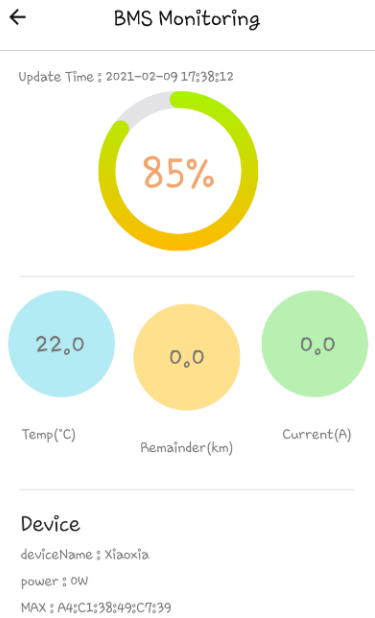


Fig. 12. Application of Proposed BMS Model

따라서 블루투스 통신을 이용한 BMS 어플리케이션은 실시간으로 배터리 관리가 가능하게 되어 배터리 상태에 대한 실시간 정보획득 가능성을 알 수 있다.

4. 결론

본 논문은 리튬인산철 배터리의 고안전성을 확인하고 이를 이용한 배터리의 블루투스 통신을 이용한 BMS 모듈의 알고리즘을 개발하는 내용에 관한 것이다.

기존 리튬이온 제품에 비해 에너지밀도가 낮고 무게가 무거운 단점이 있지만, 수명은 약 3배이고 사용시 안전성이 보장이 되는 장점을 지니고 있는 리튬인산철 배터리는 올리빈 구조로 인해 매우 안정적인 구조로 열적 특성도 안정적임을 확인하였다. 그리고 시뮬레이션 결과 배터리셀의 화학적 성질에 대한 전압 및 직렬저항에 대한 단일 RC구조를 이용한 등가회로가 충분하다는 것을 알 수 있다. 이를 이용하여 다수의 셀에 대한 등가회로 모델에도 사용할 수 있음을 알 수 있다. 현재 모델은 셀에서 발생하는 내부 열 및 열 축적에 대한 Matlab Simulink 모델에서 제공하는 이상적인 데이터를 기반으로 수행되었으며, 이를 기반으로 배터리팩을 구성시 RC 등가모델화하여 적용한다면 충분한 분석이 가능하여 모니터링이 가능할 것으로 사료된다.

또한, 제한한 리튬인산철 배터리팩은 기존 제품에 비해 가볍고 전압이 12V, 또는 48V 계열로 상용전원이 취약한 도서산간, 캠핑에서 기존 화석연료 기반의 환경오염을 일으키는 소형발전기 및 납산전지를 대체함으로써 최근 지구온난화 및 기상이변에 대한 온실가스 저감에 대한 이슈가 높아 이용 빈도가 높을 것으로 예상된다.

향후 무거운 리튬인산철 배터리의 구조를 개선하여 경량화 및 저전력 기반의 블루투스 통신을 이용한 배터리 관리시스템을 현재 배터리 셀의 실시간 용량 추정에 대한 유효성을 개선하는 방향으로 딥러닝(Deep Learning)을 이용한 관련 연구가 활발히 진행될 것이다.

REFERENCES

- [1] M. M. Thackeray, C. Wolverton & E. D. Isaacs. (2012). Electrical energy storage for transportation—approaching the limits of, and going beyond, lithium-ion batteries. *Energy & Environmental Science*, 5(7), 7854-7863. DOI : 10.1039/C2EE21892E
- [2] T. H. Kim, J. S. Park, S. K. Chang, S. Choi, J. H. Ryu & H. K. Song. (2012). The current move of lithium ion batteries towards the next phase. *Advanced Energy Materials*, 2(7), 860-872. DOI : 10.1002/aenm.201200028
- [3] B. Scrosati & J. Garche. (2010). Lithium batteries: Status, prospects and future. *Journal of power sources*, 195(9), 2419-2430. DOI : 10.1016/j.jpowsour.2009.11.048
- [4] W. Zhang, W. Shi & Z. Ma. (2015). Adaptive unscented Kalman filter based state of energy and power capability estimation approach for lithium-ion battery. *Journal of Power Sources*, 289, 50-62. DOI : 10.1016/j.jpowsour.2015.04.148
- [5] L. Lu, X. Han, J. Li, J. Hua & M. Ouyang. (2013). A review on the key issues for lithium-ion battery management in electric vehicles. *Journal of power sources*, 226, 272-288. DOI : 10.1016/j.jpowsour.2012.10.060
- [6] L. W. Juang, P. J. Kollmeyer, T. M. Jahns & R. D. Lorenz (2012). Implementation of online battery state-of-power and state-of-function estimation in electric vehicle applications. *2012 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition(ECCE)*, 1819-1826. DOI : 10.1109/ECCE.2012.6342591
- [7] L. Wang, Y. Cheng & J. Zou. (2014). Battery available power prediction of hybrid electric vehicle based on improved Dynamic Matrix Control algorithms. *Journal of power sources*, 261, 337-347.

DOI : 10.1016/j.jpowsour.2014.03.091

- [8] J. Desilvestro & O. Haas. (1990). Metal oxide cathode materials for electrochemical energy storage: a review. *Journal of the Electrochemical Society*, 137(1), 5C-22C.
DOI : 10.1149/1.2086438
- [9] J. K. Park. (2012). *Principles and applications of lithium secondary batteries*, Wiley-VCH.
- [10] B. Scrosati. (1992). Lithium rocking chair batteries: an old concept?. *Journal of The Electrochemical Society*, 139(10), 2776-2781.
DOI : 10.1149/1.2068978
- [11] K. M. Abraham. (1993). Directions in secondary lithium battery research and development. *Electrochimica Acta*, 38(9), 1233-1248.
DOI : 10.1016/0013-4686(93)80054-4
- [12] G. L. Plett. (2004). High-performance battery-pack power estimation using a dynamic cell model. *IEEE Transactions on vehicular technology*, 53(5), 1586-1593.
DOI : 10.1109/TVT.2004.832408
- [13] T. Kim & W. Qiao. (2011). A hybrid battery model capable of capturing dynamic circuit characteristics and nonlinear capacity effects. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 26(4), 1172-1180.
DOI : 10.1109/TEC.2011.2167014
- [14] J. Li & M. S. Mazzola. (2013). Accurate battery pack modeling for automotive applications. *Journal of Power Sources*, 237, 215-228.
DOI : 10.1016/j.jpowsour.2013.03.009
- [15] A. P. Schmidt, M. Bitzer, Á. W. Imre & L. Guzzella. (2010). Experiment-driven electrochemical modeling and systematic parameterization for a lithium-ion battery cell. *Journal of Power Sources*, 195(15), 5071-5080.
DOI : 10.1016/j.jpowsour.2010.02.029
- [16] J. Lee, J. H. Ahn & B. K. Lee. (2017). A novel li-ion battery pack modeling considering single cell information and capacity variation. In *2017 IEEE Energy Conversion Congress and Exposition(ECCE)*, 5242-5247.
DOI : 10.1109/ECCE.2017.8096880

류 갑 상(Gab-Sang Ryu)

[정회원]



- 1996년 3월 ~ 현재 : 동신대학교 컴퓨터학과 교수
- 1985년 3월 ~ 1996년 2월 : 한국기계연구원, 선임연구원
- 2000년 2월 : 고려대학교(이학박사)
- 1991년 12월 : 정보처리기술사(전자계산기조직응용)
- 관심분야 : 블록체인, SW품질, 정보보호
- E-Mail : gsryu@dsu.ac.kr

김 종 민(Jong-Min Kim)

[정회원]



- 2008년 ~ 2016년 : (주)해건 대표이사
- 2014년 3월 ~ 2021년 2월 : 동신대학교 컴퓨터학과 석사
- 2017년 ~ 현재 : (주)조인트리 부사장
- 관심분야 : 인공지능, 딥러닝, 플랫폼
- E-Mail : jongmin7411@daum.net