Journal of the Korea Convergence Society
Vol. 11. No. 6, pp. 7-14, 2020

ISSN 2233-4890 / eISSN 2713-6353
https://doi.org/10.15207/JKCS.2020.11.6.007

확장 칼만 필터를 이용한 배터리 모니터링 시스템 개발

조성우[1], 정순규[1], 김현탁[2*]
[1]한국전자통신연구원 연구원, [2]한국전자통신연구원 책임연구원

Development of Battery Monitoring System Using the Extended Kalman Filter

Sung-Woo Jo[1], Sun-Kyu Jung[1], Hyun-Tak Kim[2*]
[1]Researcher, Materials & Components Basic Research Division, ETRI
[2]Senior Researcher, Materials & Components Basic Research Division, ETRI

요 약 본 논문에서는 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정이 가능한 배터리 모니터링 시스템을 개발하였다. 배터리의 충·방전 상태를 정확하게 추정하기 위해 배터리 셀을 테브닌 모델로 모형화하고, 모델에 맞는 파라미터를 추출하였다. 이를 이용하여 확장 칼만 필터 알고리즘을 이용한 SOC 추정이 가능한 배터리 모니터링 디바이스를 제작하였으며, 다중 배터리 모니터링 디바이스 제어 및 배터리 상태 측정이 가능한 모니터링 서버를 제작하였다. 또한, 관리자가 실시간으로 상태를 확인하며 배터리 모니터링 디바이스 제어가 가능한 웹 서비스를 제작하였다. 특히, 배터리 SOC를 각각의 배터리 모니터링 디바이스에서 추정하고, 최종 결과만 모니터링 서버로 전달함으로써 서버의 계산량을 줄일 수 있다.

주제어 : 배터리, 잔존 용량, 확장 칼만 필터, 모니터링, 웹 서비스

Abstract A Battery Monitoring System capable of State-of-Charge(SOC) estimation using the Extended Kalman Filter(EKF) is described in this paper. In order to accurately estimate the SOC of the battery, the battery cells were modeled as the Thevenin equivalent circuit model. The Thevenin model's parameters were measured in experiments. For the Battery Monitoring System, we designed a battery monitoring device that can calculate the SOC estimation using the EKF and a monitoring server that controls multiple battery monitoring devices. We also develop a web-based dashboard for controlling and monitoring batteries. Especially the computation of the monitoring server could be reduced by calculating the battery SOC estimation at each Battery Monitoring Device.

Key Words : Battery, SOC, EKF, Monitoring, Web Service

1. 서론

현대 사회에서는 친환경적이며, 효율적인 에너지 사용이 점차 중요시되고 있으며, 이로 인하여 배터리는 점점 더 많은 곳에서 사용되고 있다[1].

배터리의 효율적인 사용과 배터리 손상 보호를 위해서는 배터리의 잔존 용량(State of Charge, SOC)에 대한 정보가 매우 중요하다[2, 3]. 이는 배터리의 과충전, 과방전이 배터리 셀의 손상을 유발하며, 각각의 배터리 셀에서의 충전량 차이는 배터리 사용 효율을 낮추기 때문이다[4]. 결국, 배터리 SOC 모니터링 시스템의 구축은 배터리 사용의 효율성 증대 및 배터리 손상 보호를 위해 필

*This work was supported by the ICT R&D program of MSIT/IITP[Grant 2017-0-00830].
*Corresponding Author : Hyun-Tak Kim(htkim@etri.re.kr)
Received March 24, 2020 Revised May 21, 2020
Accepted June 20, 2020 Published June 28, 2020

수적이다.

본 논문에서는 확장 칼만 필터를 이용하여 실시간 SOC 추정이 가능한 배터리 모니터링 시스템(Battery Monitoring System)을 제작하였다. 먼저 확장 칼만 필터를 이용한 배터리 각각의 셀의 SOC 측정과 배터리 보호 스위치가 포함된 배터리 모니터링 디바이스(Battery Monitoring Device)를 제작하였으며, 다중 배터리 모니터링 디바이스를 제어하는 모니터링 서버(Monitoring Server)와 관리자가 실시간으로 상태 확인 및 통계 확인이 가능한 웹 서비스(Web Service)를 구현하였다. 또한, 모니터링 서버의 부하량 감소를 위해 배터리 모니터링 디바이스에서 확장 칼만 필터 계산을 진행하고 결과값만 모니터링 서버로 전송하도록 제작하였다.

2. 배터리 모니터링 시스템

2.1 기존 방법에 의한 배터리 모니터링 시스템

Table 1은 현재 배터리 모니터링 시스템에 적용되고 있는 SOC 추정방법으로, 전류 적산법(Ampere-hour counting, Ah counting), 개회로 전압법(Open-Circuit Voltage, OCV), 전기화학 임피던스 분광법(Electrochemical Impedance Spectroscopy, EIS), 전기화학법(Electrochemical method), 모델 베이스 방법(Model-based method)이 있다[5-7].

Ah counting 방법은 전류 적산을 통해 쉽게 SOC 추정이 가능하다는 장점이 있다. 그러나 부정확한 초기 SOC 값으로 인해 큰 오차가 발생하며, 시간이 지날수록 전류 센서의 측정오차가 누적되어 SOC 추정값의 오차가 커지는 문제점이 있다[5, 6]. OCV를 이용한 배터리 SOC 추정의 경우 OCV와 SOC 사이의 선형적 관계를 이용하여 SOC를 추정하므로 쉽게 추정할 수 있나 셀 안정화된 상태에서 측정해야 하므로 배터리 셀 안정화 시간이 필요하다. 이로 인하여 배터리 셀의 실시간 SOC 추정이 불가능하다는 단점이 있다[5]. EIS 방법은 직접 SOC 측정이 가능하다는 장점이 있으나 사인파의 AC 전류를 이용하여 측정해야 하므로 배터리 사용 중 측정이 불가능하다[6]. 전기화학법은 전기화학적 모델링을 통해 배터리 SOC를 직접 계산하므로 높은 정확도를 가지나, 배터리 셀 사용 중 복잡한 화학적 상태로 인해 셀의 모델링이 힘들고 이 문제로 인하여 배터리 사용 상태에서 SOC 추정이 힘들다[6, 7]. 모델베이스 SOC 추정방법은 높은 정확도를 나타내나 모델의 높은 정확도가 필요하며, 높은 컴퓨팅 파워(Computing power)가 필요하다는 단점이 있다[5, 6].

Table 1. Summary of methods for the SOC estimation

Method	Description
Ampere-hour counting Method (Ah counting)	- easy to implement - accurate initial SOC is needed - Current sensor error accumulated
Open Circuit Voltage Method (OCV)	- a linear relationship between OCV and SOC - long relaxation time needed
Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)	- a direct relationship between impedance and SOC - sinusoidal alternating current be required
Electrochemical method	- SOC can be calculated directly - too difficult to use for online SOC estimation
Model-based method	- High accuracy - Rely on modeling accuracy - High computing power

2.2 제안하는 배터리 모니터링 시스템

본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 실시간 배터리 셀 SOC 추정이 가능하며, 높은 정확성을 가지는 분산형 EKF 배터리 모니터링 시스템을 제안한다.

확장 칼만 필터는 측정 잡신호를 고려하여 상태를 추정하는 재귀필터로, 측정 오차를 계산하여 상태를 추정하므로 높은 정확성을 보장한다[8]. 이러한 확장 칼만 필터의 특징을 이용하면 SOC 추정시 측정 오차 제거가 가능하므로 높은 정확성을 보장한다. 또한 확장 칼만 필터는 실시간 SOC 추정이 가능하며, 배터리 모델링 한계에서 오는 오차를 확장 칼만 필터가 바로잡아 줌으로써 높은 정확도의 SOC 추정이 가능하다는 장점이 있다[9].

본 논문에서 제안하는 배터리 모니터링 시스템은 확장 칼만 필터를 이용하여 SOC를 추정함으로써 높은 정확도와 실시간 추정이 가능하며, 확장 칼만 필터 계산 시 발생하는 부하를 분산하기 위해 각각의 마이크로컨트롤러(Micro Controller Unit, MCU)에서 확장 칼만 필터를 계산함으로써 계산량을 분산시키는 시스템이다. 이는 기존 시스템이 모든 확장 칼만 필터 계산을 서버에서 하는 것과는 다르게, 확장 칼만 필터를 각각의 디바이스에서 분산하여 계산함으로써 부하를 분산하고자 한다.

3. 확장 칼만 필터 SOC 추정 알고리즘

3.1 배터리 모델링

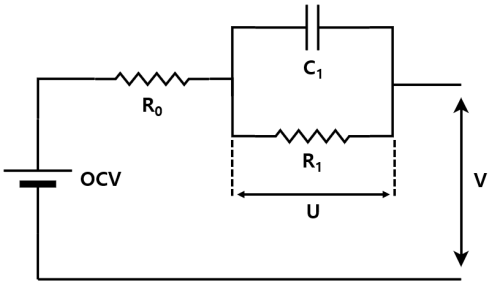

Fig. 1. Thevenin equivalent model for lithium-ion batteries

배터리 셀의 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정을 위해서는 배터리 셀의 전기적 동작 특성을 모사하기 위한 모델링(Modeling)이 필요한데, 일반적으로 Rint 모델, 테브닌(Thevenin) 모델, PNGV 모델, GNL 모델 등을 이용하여 배터리 셀을 모델링한다[10].

Rint 모델의 경우 단순 직렬 저항만으로 배터리를 모델링하기 때문에 동적인 특성이 모사되어 있지 않고[10], 이로 인해 SOC 추정값의 오차가 크다. 테브닌 모델은 Fig. 1과 같이 직렬 저항 R_0와 동적 특성을 나타내는 분극 저항 R_1, 분극 커패시터 C_1으로 이루어져 있어, 배터리의 정적 특성과 동적 특성이 모두 모델링 되어 있는 가장 간단한 모델이다. PNGV 모델과 GNL 모델의 경우 테브닌 모델에 벌크 커패시터(Bulk Capacitor)의 특성을 표현하기 위해 추가적인 커패시터(Capacitor)가 추가되어 좀 더 정확한 모델링이 가능하나, 확장 칼만 필터 계산 시 계산량이 많아지는 문제가 있다.

본 논문에서는 배터리의 정적, 동적인 특성 모두를 표현하는 가장 간단한 테브닌 모델을 도입하였다. 이를 통해 마이크로컨트롤러를 이용한 확장 칼만 필터 계산 시 계산량을 최소화하였으며, 배터리 셀의 정적인 특성과 동적인 특성 모두를 반영하도록 하여 정확한 SOC 추정이 가능하도록 하였다.

3.2 모델 파라미터 추정

본 연구에서 사용한 리튬-이온 배터리 셀의 공칭용량(Nominal Capacity)은 3000mAh, 공칭전압(Nominal Voltage) 3.7V인 삼성SDI사의 ICR18650-30A 배터리를 사용하였다.

배터리 셀의 SOC 추정을 위해서는 OCV와 SOC 사이의 상관관계 및 테브닌 모델에서의 R_0, R_1, C_1의 파라미터가 필요하다[11]. 이를 위하여 본 연구에서는 0.1

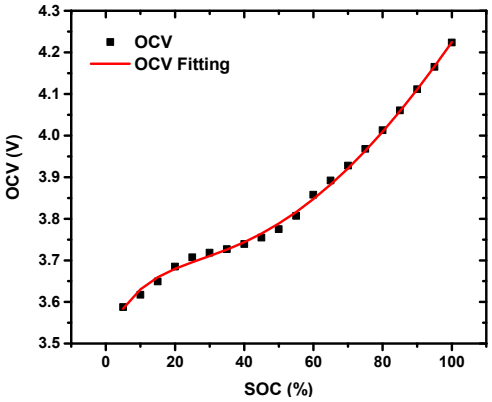

Fig. 2. Experimental OCV-SOC curve for lithium-ion battery at 25℃

C-rate로 방전 및 휴지를 20번 반복하면서 파라미터를 측정하였다.

Fig. 2는 25℃에서의 리튬-이온 배터리 셀의 OCV-SOC를 측정한 결과이다. 이 그래프를 최소자승법(least-squares method)으로 피팅(Fitting)한 결과는 아래와 같다.

$$OCV = 2.58SOC + 3.81e^{-0.84SOC} - 0.3e^{-8.3SOC}$$

Fig. 3은 배터리 셀의 직렬 저항 R_0를 SOC에 따라 측정한 그래프이다. 이를 최소자승법으로 피팅한 결과는 아래와 같다.

$$R_0 = 0.38e^{-18SOC} + 0.14$$

분극 저항 R_1, 분극 커패시터 C_1은 평균 낸 값을 사용하였으며, 그 결과 분극 저항 R_1의 평균은 0.025 Ω, 분극 커패시터 C_1의 평균은 3200 F 이다.

3.3 확장 칼만 필터

확장 칼만 필터 적용을 위해서는 배터리 셀의 상태 공간 방정식이 필요한데, 배터리 셀의 상태 공간 방정식은 아래와 같다[12, 13].

$$\begin{pmatrix} SOC_{k+1} \\ U_{k+1} \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & \exp(-\delta t/C_1R_1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_k \\ U_k \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\delta t/Q_{\max} \\ R_1 \quad (1-\exp(-\delta t/C_1R_1) \end{bmatrix} I_k + \begin{bmatrix} w1_k \\ w2_k \end{bmatrix}$$

$$V_{k+1} = \begin{bmatrix} \dfrac{\delta OCV(SOC)}{\delta SOC} & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_k \\ U_k \end{bmatrix} - R_0 I_k + [v_{k+1}]$$

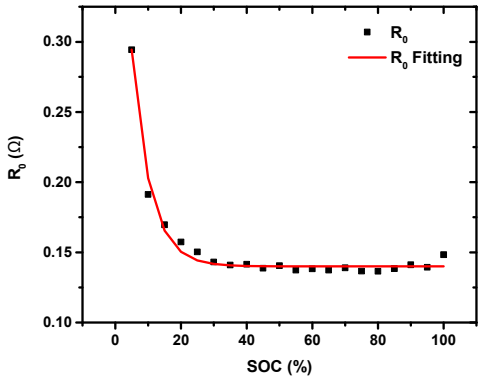

Fig. 3. Experimental R0-SOC curve for lithium-ion battery at 25℃

Fig. 4는 배터리 셀의 상태 공간 방정식을 이용하여 확장 칼만 필터를 진행하는 방법이다[14].

먼저 상태 변수 $\widehat{x_k}$와 오차 공분산 P_k를 초기화한다. 이렇게 초기화한 변수를 이용하여 1단계에서는 추정값과 오차 공분산을 예측한다. Fig. 4에서 $\widehat{x^-}_k$와 $P^-{}_k$는 각각 추정값과 예측 오차 공분산이다. 이후 2단계에서는 칼만 이득(K_k)을 계산한다. 이때 H와 R은 아래와 같다.

$$H=\left[\frac{\delta OCV}{\delta SOC} \quad -1\right],\quad R=1000$$

이후 3단계에서는 입력된 측정값인 전류 및 전압을 기반으로 추정값을 계산한다. 이때, $h(\widehat{x_k^-})$은 아래와 같다.

$$h(\widehat{x_k^-}) = OCV - U_k$$

다음 단계에서는 오차 공분산을 업데이트한다. 이러한 확장 칼만 필터 과정을 통해 배터리 셀의 SOC를 정확히 추정할 수 있다.

3.4 확장 칼만 필터 결과

Fig. 5는 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정 결과이다. Fig. 5의 (a)는 일정한 전류로 방전을 반복하면서 SOC를 측정한 결과로 검은색은 실제 SOC 결과이며 붉은색은 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정 결과이다. Fig. 5의 (b)는 실제 SOC 값과 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정 사이의 오차를 표시한 그래프로써 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정 시 최대 오차는 5% 이하인 것을 확인할 수 있다. 배터리 사용 시 시간이 흐름에 따라 오차가 증가하지만, 확장 칼만 필터에 의한 보정으로 오차는 최대 5% 이내인 것을 확인할 수 있다.

4. 배터리 모니터링 시스템 시제품

4.1 배터리 모니터링 디바이스

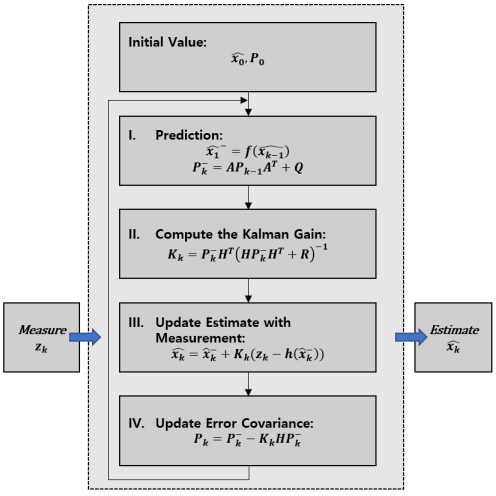

Fig. 4. Flow chart of the Extend Kalman Filter for battery SOC estimation

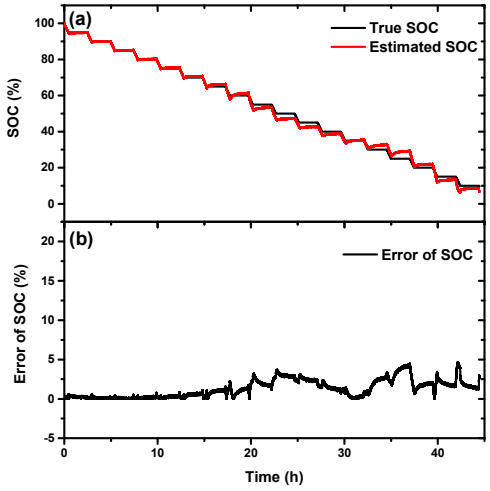

Fig. 5. (a) SOC estimation results by EKF and True SOC (b) Error of SOC estimation by EKF

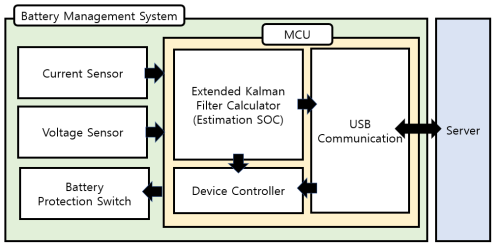

Fig. 6. Block diagram of the Battery Management System

본 논문에서는 확장 칼만 필터를 이용한 다중 셀의 SOC 추정이 가능한 배터리 모니터링 디바이스를 설계하였다.

Fig. 6은 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정이 가능한 배터리 모니터링 디바이스의 블록 다이어그램으로, 크게 전류 측정부, 전압 측정부, 마이크로프로세서, 배터리 보호 스위치로 구성되어 있다.

마이크로프로세서는 실시간 운영체계(Real-time operating system)를 기반으로 실시간으로 데이터 처리를 진행하는데, 크게 확장 칼만 필터 처리를 통해 SOC를 추정하는 확장 칼만 필터 태스크(Task), USB 통신을 담당하는 통신 태스크, 배터리 프로텍션 스위치를 제어하는 스위치 제어 태스크로 구성되어 있다.

확장 칼만 필터 태스크는 실시간으로 데이터를 읽어들여 최대 4개의 직렬로 연결된 배터리 셀의 SOC를 추정할 수 있는 태스크로, 전류센서의 전류와 전압 측정부의 전압을 100 ms의 간격으로 읽어 들이고, 실시간으로 확장 칼만 필터 처리를 통해 SOC를 추정한다.

통신 태스크는 확장 칼만 필터를 통해 측정된 값을 서버에 전송하는 태스크로, 데이터 처리가 완료될 때마다 서버로 데이터 패킷을 전송한다. 또한, 서버에서 전송받은 명령을 실시간으로 해석, 디바이스 컨트롤러 및 SOC 추정을 제어한다.

스위치 제어 태스크는 배터리 보호를 위한 스위치를 실시간으로 제어할 수 있고, 그 처리 결과를 통신부에 전송하여 실시간으로 서버에 처리 결과를 전송할 수 있다.

특히 디바이스 단계에서 확장 칼만 필터를 통해 SOC를 추정하고, 이 결과값만 서버로 전송하도록 설계하여 서버의 계산량을 줄이도록 하였다.

Fig. 7은 실제 제작된 디바이스의 사진으로, 전류 측정부의 전류센서는 Bidirectional, Precision Current-Sense Amplifier를 이용하여 제작되었으며, Gain은 25 V/V, Offset Voltage 는 최대 ± 15 uV, Gain drift는 최대 7 ppm/℃, Gain error는 ±0.2%인

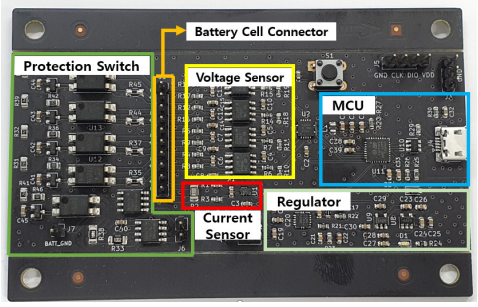

Fig. 7. Prototype of the proposed Battery Management System.

소자를 사용하여 전류 측정 시 오차를 최소화하였다.

전압 측정부는 배터리 셀이 최대 4개까지 동시에 측정할 수 있도록 설계되었으며, Gain Error는 최대 0.075%, Gain drift는 10 ppm/℃, nonlinearity는 최대 ±0.002%인 소자를 사용하였으며, 패시브 필터를 이용하여 1 kHz 이상의 노이즈를 제거하도록 설계하였다. 배터리 보호 스위치부는 배터리 셀 보호를 위해 금속 산화막 반도체 전계효과 트랜지스터(MOSFET)를 이용하도록 설계하였다.

전력 공급부는 공급 전압의 노이즈 최소화를 위해 low-dropout voltage regulator를 사용하였으며 이때 노이즈는 최대 21 uVrms 이다.

마이크로프로세서는 ST마이크로일렉트로닉스(STMicroelectronics)의 STM32L4 저전력 시리즈를 사용하여 저전압 및 저전력으로 설계되었고, 아날로그와 디지털 회로를 분리하여 측정 노이즈를 최소화하였다고 USB 통신이 가능하도록 제작되어 고속 통신을 통해 실시간 제어가 가능하다.

4.2 모니터링 서버

모니터링 서버는 웹 서비스 응답 및 배터리 모니터링 디바이스 제어를 할 수 있다.

Fig. 8은 모니터링 서버의 배터리 모니터링 디바이스 제어 플로차트(Flow chart)이다. 먼저 모니터링 서버에 디바이스가 연결되면 모니터링 서버는 디바이스 인증을 요청한다. 만약 디바이스가 인증되지 않는다면 연결은 끊어 버린다. 배터리 모니터링 디바이스가 인증된 경우 디바이스는 모니터링 서버의 요청에 따라 주기적으로 배터리 셀의 상태인 배터리 전류, 전압, SOC 등 배터리의 모든 상태를 모니터링 서버에 전송한다. 전송된 데이터는 모니터링 서버에서 데이터베이스에 실시간으로 저장된다.

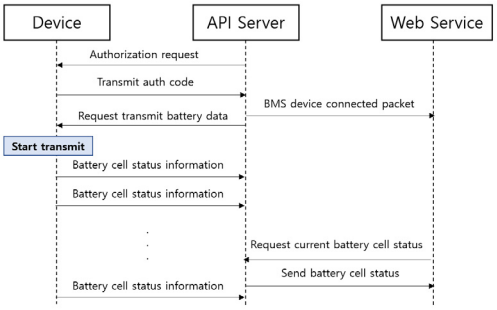

Fig. 8. Flow chart of data acquisition and battery monitoring

Fig. 9는 모니터링 서버의 구동 모습으로 REST API를 통해 통신 가능하다. REST API의 앤드포인트(Endpoint)는 총 7개로 구성되어 있으며, /v1/devicelist는 연결된 전체 배터리 모니터링 디바이스의 리스트를 조회할 수 있다. /v1/device는 POST 메소드를 사용하며 배터리 모니터링 디바이스를 컨트롤을 할 수 있으며 배터리 상태 요청, 스위치 제어, 디바이스 연결 제어 등을 할 수 있다. /v1/info의 GET 메소드는 배터리 모니터링 디바이스의 UID 및 연결 정보 조회에 사용되며 PATCH 메소드를 사용하는 경우 디바이스의 정보 업데이트 할 수 있다. /v1/log는 연결된 디바이스들의 로그 정보를 조회 할 수 있고, /v1/state는 연결된 배터리 모니터링 디바이스의 현재 상태를 조회 할 수 있다. /v1/batt은 배터리 모니터링 디바이스에 연결된 배터리 상태를 반환한다. /v1/day는 연결된 배터리들의 날짜별 통계를 반환한다.

4.3 웹 서비스

본 연구에서는 모니터링 서버와 웹 서비스 사이의 통신을 Ajax(Asynchronnous Javascript And Xml)를 이용하여 구현하였는데, Ajax는 비동기 통신을 지원하는 라이브러리로, 실시간 통신이 가능하다는 장점이 있다 [15].

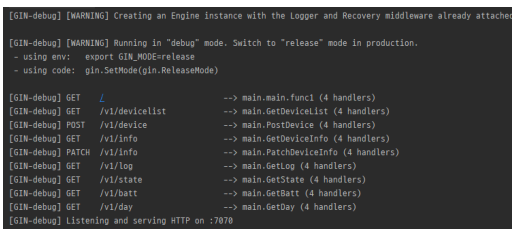

Fig. 9. Monitoring Server

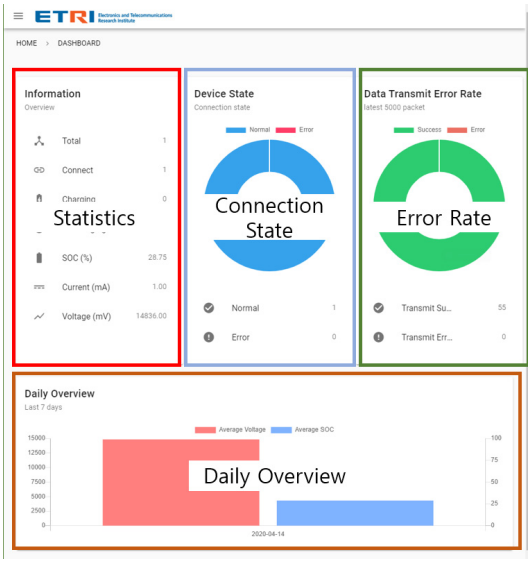

Fig. 10. Dashboard for BMS device statistics

Fig. 10, Fig. 11은 본 연구에서 구현한 웹 서비스이다. Fig. 10은 배터리 모니터링 대쉬보드(Dashboard)로 연결된 배터리 모니터링 디바이스 및 배터리들의 당일 통계를 나타낸 페이지이다. 대쉬보드의 통계표에서는 연결된 디바이스, 연결이 끊어진 디바이스, 전체 배터리의 SOC 평균, 전류 상태, 평균 전압등을 한눈에 볼 수 있도록 제작되었다. 연결 상태와 디바이스 오류율, 일별 배터

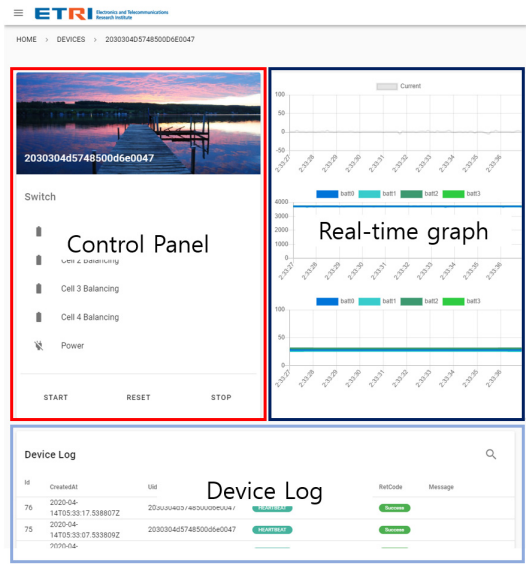

Fig. 11. Real time Battery Cell status

리 평균 전압 및 평균 SOC 등은 그래프로 표시하여 관리자가 한 눈에 파악할 수 있도록 제작하였다.

Fig. 11은 개별 배터리 모니터링 디바이스의 상태를 한눈에 볼 수 있는 페이지이다. 이 페이지는 크게 컨트롤 패널, 실시간 그래프, 디바이스 로그로 구성되어 있는데, 컨트롤 페널은 배터리 모니터링 디바이스에 부착된 프로텍션 스위치를 제어할 수 있도록 제작되었다. 실시간 그래프의 경우 배터리 셀의 개별 전압, 측정 전류, SOC를 실시간으로 확인할 수 있도록 제작되었으며, 디바이스 로그의 경우 배터리 모니터링 디바이스에서 전송받은 로그를 한 눈에 볼 수 있도록 제작하였다.

5. 결론

본 논문에서는 확장 칼만 필터를 활용한 배터리 모니터링 시스템을 제작하였다. 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정을 배터리 모니터링 디바이스에서 계산하여 최종 결과만 모니터링 서버에 전달함으로써 모니터링 서버에 인가되는 부하를 분산시킬 수 있었다. 또한, 배터리 셀의 정적 특성과 동적 특성을 모두 포함하고 있는 1차 테브닌 모델을 사용함으로써 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정 시 최대 5% 이내의 오차로 SOC를 추정할 수 있었다. 다중 배터리 모니터링 디바이스를 제어할 수 있는 모니터링 서버를 제작하였으며, 관리자가 사용자 인터페이스를 통해 제어할 수 있도록 웹 서비스를 제작하여, 관리자가 편리하게 다중 배터리의 셀 상태를 확인할 수 있었다.

REFERENCES

[1] Y. H. You, C. S. Leem & D. S. Choi. (2018). Assessing the accuracy of electric energy monitoring system. *Journal of the Korea Convergence Society, 9(9),* 53-60.
DOI : 10.15207/JKCS.2018.9.9.053

[2] H. K. Lee & G. T. Kim. (2019). Battery Monitoring System for High Capacity Uninterruptible Power Supply. *Journal of IKEEE, 23(2),* 580-585.
DOI : 10.7471/ikeee.2019.23.2.580

[3] G. L. Plett. (2004). Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 1. Background. *Journal of Power Sources, 134(2),* 252-261.
DOI : 10.1016/j.jpowsour.2004.02.031

[4] G. L. Plett. (2004). Extended Kalman filtering for battery management systems of LiPB-based HEV battery packs: Part 3. State and parameter estimation. *Journal of Power Sources, 134(2),* 277-292.
DOI : 10.1016/j.jpowsour.2004.02.033

[5] J. Meng et al. (2018). An Overview and Comparison of Online Implementable SOC Estimation Methods for Lithium-Ion Battery. *IEEE Transactions on Industry Applications, 54(2),* 1583-1591.
DOI : 10.1109/TIA.2017.2775179

[6] R. Zhang et al. (2018). State of the Art of Lithium-Ion Battery SOC Estimation for Electrical Vehicles. *Energies, 11(7),* 1820.
DOI : 10.3390/en11071820

[7] Y. Zheng, M. Ouyang, X. Han, L. Lu & J. Li. (2018). Investigating the error sources of the online state of charge estimation methods for lithium-ion batteries in electric vehicles. *Journal of Power Sources, 377,* 161-188.
DOI : 10.1016/j.jpowsour.2017.11.094

[8] J. H. Seung, J. K. Park & S. G. Yoo. (2018). Unknown-Parameter Identification for Accurate Control of 2-Link Manipulator using Dual Extended Kalman Filter. *Journal of the Korea Convergence Society, 9(6),* 53-60.
DOI : 10.15207/JKCS.2018.9.6.053

[9] K. W. Jang & G. B. Chung. (2012). A SOC Estimation using Kalman Filter for Lithium-Polymer Battery. *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics, 17(3),* 222-229.
DOI : 10.6113/TKPE.2012.17.3.222

[10] J. Meng, G. Luo, M. Ricco, M. Swierczynski, D. I. Stroe & R. Teodorescu. (2018). Overview of Lithium-Ion Battery Modeling Methods for State-of-Charge Estimation in Electrical Vehicles. *Applied Sciences, 8(5),* 659.
DOI : 10.3390/app8050659

[11] S. Jung. (2017). EKF Based SOH State Estimation Algorithm for UAV Li-Po Battery Pack. *Journal of the Korea Convergence Society, 8(6),* 237-243.
DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.6.237

[12] P. Shrivastava, T. K. Soon, M. Y. I. B. Idris & S. Mekhilef. (2019). Overview of model-based online state-of-charge estimation using Kalman filter family for lithium-ion batteries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 113,* 109233.
DOI : 10.1016/j.rser.2019.06.040

[13] L. Zhi, Z. Peng, W. Zhifu, S. Qiang & R. Yinan. (2017). State of Charge Estimation for Li-ion Battery Based on Extended Kalman Filter. *Energy Procedia, 105,* 3515-3520.
DOI : 10.1016/j.egypro.2017.03.806

[14] P. Kim. (2011). *Kalman Filter for Beginners: with MATLAB Examples.* South Carolina : CreateSpace Independent Publishing Platform.

[15] J. H. Seo, K. R. Park & M. S. Yoon. (2017). Design and Implementation of web-based production monitoring system for small manufacturers. *Journal of the Korea Convergence Society, 8(8),* 89-94.
DOI : 10.15207/JKCS.2017.8.8.089

조 성 우(Sung-Woo Jo) [정회원]

· 2012년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학사)
· 2015년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학석사)
· 2015년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원
· 관심분야 : 배터리 상태예측, 신호처리
· E-Mail : swjo@etri.re.kr

정 순 규(Sun-Kyu Jung) [정회원]

· 2012년 8월 : 울산대학교 물리학과(이학사)
· 2013년 4월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 연구원
· 관심분야 : 배터리 상태예측, 신호처리
· E-Mail : skjung@etri.re.kr

김 현 탁(Hyun-Tak Kim) [정회원]

· 1982년 2월 : 부산대학교 물리학과(이학사)
· 1984년 2월 : 서울대학교 물리학과(이학석사)
· 1995년 3월 : 츠쿠바 대학교 물리학과(공학박사)
· 1998년 11월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 책임연구원
· 관심분야 : 금속-절연체 전이 현상, 스위칭 소자, 배터리
· E-Mail : htkim@etri.re.kr