

확장칼만필터 알고리즘 기반 고용량 각형셀 SOC 추정 연구

윤창오*, 이평연*, 김종훈*, 이성준**, 하미림***, 송현철***
충남대학교*, 조선대학교**, 한화지상방산***

The SOC Estimation of Large-Capacity Prismatic Cell Based on Extended Kalman Filter

C.O. Yoon*, P.Y. Lee*, J.H. Kim*, S.J. Lee**, M.R. Ha***, H.C. Song***
Chungnam National University*, Chosun University**, Hanwha Land Sysyems***

ABSTRACT

본 논문에서는 각형 형태의 120Ah 고용량 배터리 ($LiNiMnCoO_2$; NMC)의 내부 파라미터 추출을 통해 배터리 관리 시스템(battery management system:BMS)에 중요한 팩터로 0.1C 및 0.25C 방전 조건에서 확장칼만필터(extended Kalman filter:EKF) 기반으로 SOC(state of charge)를 추정하였다.

1. 서론

리튬 이온 배터리는 전 세계적인 환경 문제와 석유 자원의 고갈로 인해 큰 관심과 연구가 이루어지고 있다. 리튬 이온 배터리는 풍력, 태양광 등 신재생 에너지원의 저장 매체로 우주 발사체, 전기자동차(electric vehicle:EV), 에너지저장시스템(energy storage system:ESS)많은 종류의 어플리케이션에도 적용이 되고 있다. 2차 전지는 전기화학적 매체로 전기적, 화학적, 기계적 분석을 병합하여 정확한 분석과 실제에 가까운 추정을 할 수 있다. 이중 전기적 실험과 분석이 여타 실험과 비교하였을 때 간편하고 소요되는 시간이 적다.

배터리 기술 중 중요시 되는 SOC(state of charge) 및 SOH(state of health) 추정 알고리즘을 적용하여 배터리 관리 시스템(battery management system:BMS)에 배터리 충전 상태와 수명 상태를 추정해주는 SOC 및 SOH는 배터리를 효율적으로 관리 및 사용하기 위해 필요불가결하다.

2. 본론

2.1 사전 실험

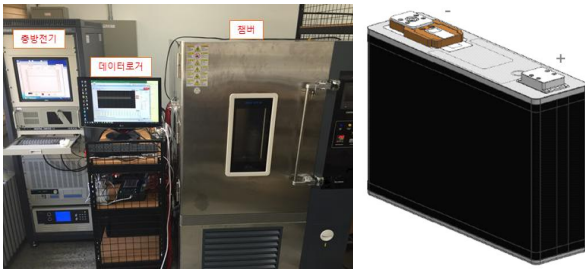


그림 1 실험 셋업 및 120Ah cell
Fig. 1 Experimental set up and 120Ah cell

그림 1은 실험에 사용된 실험 장비 셋업 사진과 120Ah 셀로 왼쪽부터 충방전기, 데이터로거, 항온항습챔버 순으로 이루어져있다. SOC 추정 알고리즘에 적용하기 위한 배터리 내부 파라미터는 그림 2와 같은 실험 방법으로 추출하였다. 방전 용량 파라미터는 0.25 C rate의 CC 조건 후 4.2V, 1/50 C rate의 CV 조건으로 충전 후 2.7V cut 조건까지 0.1C와 0.25 C rate로 방전하여 측정 및 추출하였다. 0.1C 및 0.25C의 조건의 SOC 10% 별 OCV(open circuit voltage) 및 방전 저항을 구하기 위해 방전 용량 실험과 동일하게 CC CV(constant current constant voltage) 조건 충전 후 0.1C 조건은 60분의 방전 후 HPPC(hybrid pulse power characterization) 조건을 통해 추출하였다. 0.25C 조건은 0.1C와 SOC 10% 방전에서 24분 방전을 제외하고 동일하게 진행하였다. 실험 환경은 항온항습챔버 내부 상온(25℃) 조건에서 진행하였다.

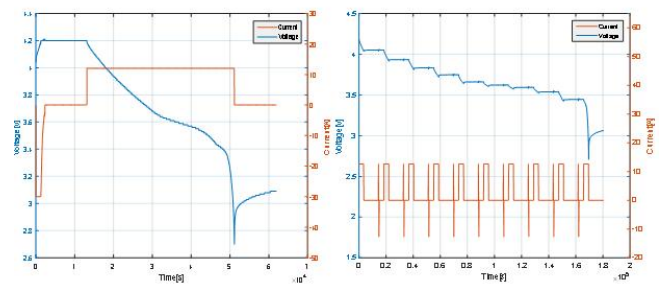


그림 2 방전용량 및 OCV 실험
Fig. 2 Experiment of discharged capacity and OCV

$$i = i_0 \cdot \left[\exp\left(\frac{(1-\alpha)F}{RT}\eta\right) - \exp\left(\frac{-\alpha F}{RT}\eta\right) \right]$$

(1)

그림 2의 실험 조건을 통해 120Ah 셀의 내부 파라미터를 표 1에 표기하였다. 실제 측정된 방전 용량에서 0.1C 방전 조건 조건에서 0.25C 방전 조건보다 높게 측정된 것은 식 (1)인 Butler Volmer 식을 통해 증명되었다. 그림 3은 SOC 10%별 OCV이다. 저항과 OCV 파라미터에서 low SOC(0~10%)에서의 파라미터 분산으로 SOC 추정시 이를 보상 기법을 통해 보정 해주어야 한다.^[1]

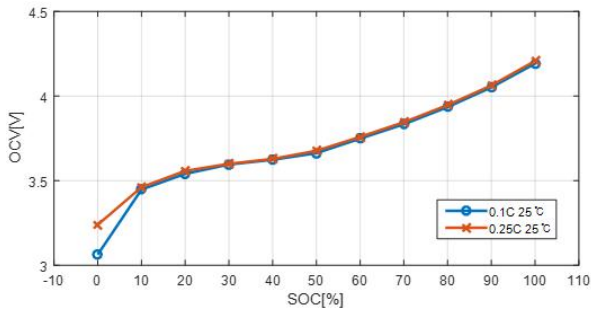


그림 3 0.1C 및 0.25C 방전 조건에서의 SOC vs. OCV
Fig. 3 SOC vs. OCV at 0.1C and 0.25C discharge conditions.

표 1 120Ah 셀 용량 및 SOC별 방전저항

Table 1 120Ah cell capacity and discharge resistance by SOC

discharge 0.1C, 25°C			discharge 0.25C, 25°C		
용량[Ah]	127.9799		용량[Ah]	126.1083	
SOC별 저항[Ω]	10%	0.00134	SOC별 저항[Ω]	10%	0.00163
	20%	0.00111		20%	0.00147
	30%	0.00103		30%	0.00134
	40%	0.00095		40%	0.00131
	50%	0.00103		50%	0.00147
	60%	0.00119		60%	0.0016
	70%	0.00126		70%	0.00154
	80%	0.00119		80%	0.0015
	90%	0.00111		90%	0.00147

2.2 확장칼만필터(Extended Kalman Filter)

배터리 모델링에서 RC ladder의 개수에 따라 확산 영역의 추정 능력이 증가하는 반면 연산 시간과 구현 비용이 증가한다. 이를 보정하기 위해 간략화된 배터리 등가 회로에서 방전 용량 및 SOC 10%별 OCV, 방전 저항 파라미터를 적응 방법 중 한 가지 방법인 확장칼만필터(extended Kalman filter; EKF)에 적용한다. 식(2)는 확장칼만필터의 상태 방정식(state equation)을 나타내고, 식(3)은 확장칼만필터의 측정 방정식(measurement equation)을 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} SOC_k \\ V_{diff,k} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{\Delta t}{C_{diff} \cdot R_{diff}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_{k-1} \\ V_{diff,k-1} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{\Delta t}{C_n} \\ \frac{\Delta t}{C_{diff}} \end{bmatrix} i_{k-1} \quad (2)$$

$$V_k = h_k(OCV, V_{diff}) - R_i i_k = OCV - V_{diff} - R_i i_k \quad (3)$$

2.3 추정 결과

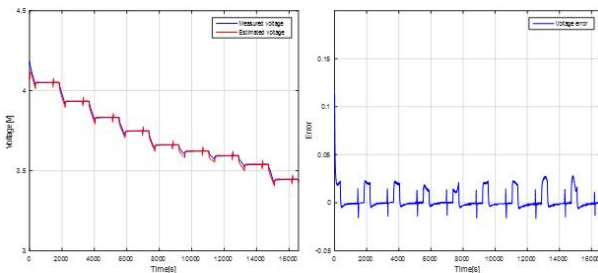


그림 4 0.1C 방전 조건에서 전압 추정 및 에러
Fig. 4 Voltage estimation and voltage error at 0.1C

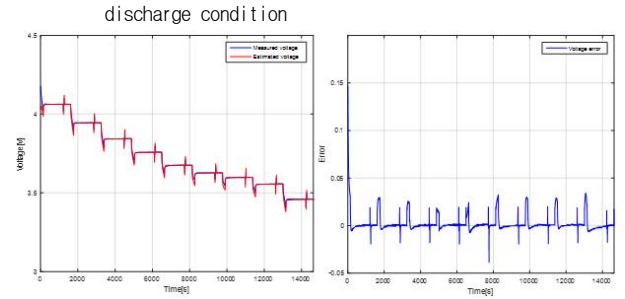


그림 5 0.25C 방전 조건에서의 전압 추정 및 전압 에러
Fig. 5 Voltage estimation and voltage error at 0.25C discharge condition

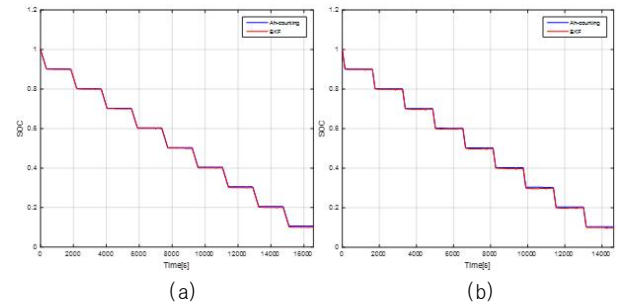


그림 6 (a) 0.1C 방전 조건에서의 SOC 추정 결과 (전류적산법-확장칼만필터)
(a) 0.25C 방전 조건에서의 SOC 추정 결과 (전류적산법-확장칼만필터)
Fig. 6 (b) Result of SOC estimation at 0.1C discharge condition(Ah counting-EKF)
(b) Result of SOC estimation at 0.25C discharge condition(Ah counting-EKF)

그림 4와 그림 5에서 0.1C 및 0.25C 방전 조건에서의 EKF 전압 추정과 전압 에러를 볼 수 있다. 실제 전압과 추정 전압의 에러율은 1% 내로 추정 성능이 뛰어나다는 것을 알 수 있다. 그림 6은 전류적산법을 기준으로 EKF와 SOC 추정을 비교하였다. SOC 추정 능력 또한 최대 0.006의 SOC 차이로 추정 성능이 뛰어나다.

3. 결론

본 논문에서는 상온(25°C) 조건 및 0.1C, 0.25C 방전 조건에서의 고용량(120Ah) 각형 배터리에 적응 방법인 확장 칼만 필터(extended Kalman filter; EKF)를 적용하여 전압 추정 및 SOC 추정을 하였다. 기존 18650 배터리의 추정 성능과 같이 성능면에서 우수하다.

추후 저온 조건과 고온 조건에서의 SOC 추정과 저전류일 때의 추정 성능을 검증하고, 배터리 팩 모델링을 통해 배터리 단일 셀과의 추정 성능 비교 및 검증한다.

이 논문은 한화지상방산의 연구비 지원을 받아 수행된 연구임

참 고 문 헌

- [1] 이현준, 박종후, 김종훈. (2015). EKF를 이용한 SOC 구간별 개별 Minor loop에 따른 LiFePO₄ 셀의 SOC 추정 성능 비교분석. 전력전자학술대회논문집, , 397-398.