

실험 전압 데이터를 이용한 리튬 이온 배터리 시뮬레이션 오차 개선

남윤아*, 윤창오*, 김종훈*
충남대학교 전기공학과*

Lithium-Ion Battery Simulation Error Improvement Using Experiment Voltage Data

Y.A. Nam*, C.O. Yoon*, J.H. Kim*,
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University*

ABSTRACT

본 논문에서는 Matlab을 이용하여 배터리의 전기적 모델과 내부 파라미터 추출 통해 시뮬레이션을 하였다. IR drop에 의해 변화한 전압 데이터를 이용하여 부하 전류 변화로 인한 시뮬레이션과 실험 데이터 간의 오차 개선함으로써 배터리 전기적 모델과 실험 전압 데이터를 이용함으로써 확장 칼만 필터(extended kalman filter; EKF) 같은 적응 알고리즘을 사용하지 않고도 오차가 감소된 시뮬레이션이 가능함을 확인하였다.

1. 서론

최근 환경 관련 규제 강화와 전기자동차의 시장 규모의 성장률이 증가하면서 전기자동차의 에너지원인 리튬이온 배터리의 중요성이 증가하고 있으며 리튬이온 배터리의 연구 개발이 활발히 진행되고 있다. 리튬이온 배터리는 인공위성, 에너지 저장 시스템(energy storage system; ESS) 등 다양한 분야에 사용되고 있다. 그러나 리튬이온 배터리는 화석연료와 달리 온도와 진동 등 여러 환경에 의해 잔존용량을 예측하기 힘들어 SOC(state of Charge) 추정에 신뢰성이 떨어지는 문제를 해결해야 한다.

SOC 추정에 신뢰성을 높이기 위해 정확하고 빠른 전압 시뮬레이션이 필요하다. 본 논문에서는 시뮬레이션과 실험 데이터 간 오차를 줄이기 위해 IR drop에 의해 변화한 전압 데이터를 사용하며 전압 추정의 연산 속도를 높이기 위해 적응 알고리즘을 사용하지 않았다.

OCV(open circuit voltage) test를 통해 1C 방전 30분 rest 하여 SOC에 따른 OCV를 추출 하였으며 방전 HPPC(hybrid pulse power characterization) test를 통해 리튬이온 배터리 모델에 필요한 R, C 파라미터를 추출하였다. 정확한 SOC추정을 하기 위해 시험에 사용된 고풍력 배터리를 랜들스 모델을 통해 시뮬레이션 하였다

2. 본론

2.1 배터리 모델링

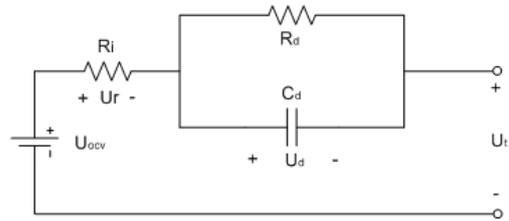


그림 1. 랜들스 등가회로 모델
Fig. 1 Randles equivalent circuit model

시뮬레이션 구현을 위해 사용한 실험 데이터는 0.1s로 샘플링한 이산형 데이터이다. 실험 데이터를 사용한 시뮬레이션을 구현하기 위해 랜들스 등가회로 모델을 수식 (1), (2)와 같이 표현하였다.

$$U_{d,k} = U_{d,k-1} * e^{-\frac{T_s}{C_d * R_d}} + R_d * (1 - e^{-\frac{T_s}{C_d * R_d}}) I_{k-1} \quad (1)$$

$$U_{t,k} = U_{ocv}(SOC_k) - I_k * R_i - U_{d,k} \quad (2)$$

2.2 시뮬레이션

2.2.1 전압 데이터 선정

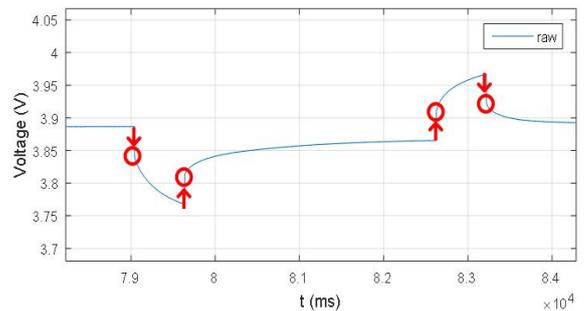


그림 2. 오차 보정에 사용한 전압 데이터
Fig. 2 Experiment voltage data to reduce error

IR drop이 발생하는 부분에서 시뮬레이션과 실험 데이터 간의 오차가 다른 구간에 비해 크게 발생한다. 오차를 보정하기 위해 그림 2와 같이 부하 전류의 변화에 따른 IR drop에 의해 변화한 전압 데이터를 선정한다. 선정된 전압 데이터는 추정 전압을 대체하는 것으로 활용된다.

t = 3600ms에서 IR drop이 발생하였을 경우 추정 전압을 펄스 전류로 인해 변화한 실험 전압 데이터로 대체한다. 실제

전압 데이터로 대체된 $U_{L,3601}$ 를 제외한 나머지 구간에서 추정 전압으로 시물레이션을 구현한다.

2.2.2 $U_{d,k}$ 특성

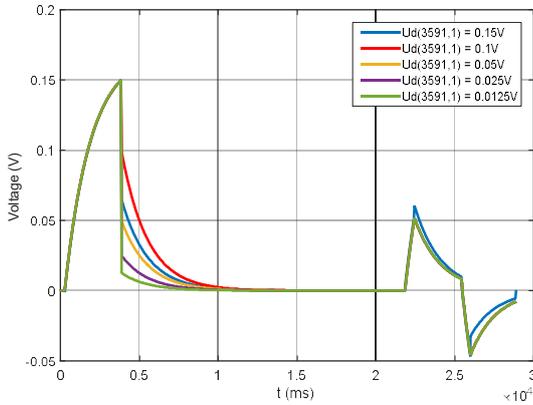


그림 3 $U_{d,3591}$ 전압 설정에 따른 전압 변화
Fig. 3 Voltage variation by Setting $U_{d,3591}$

$U_{d,k}$ 는 IR drop에 의한 전압이 변한 이후 확산 및 분극 현상을 추정한 전압이다. $U_{d,k}$ 의 파악하기 위해, 방전이 끝난 후 Rest 상태가 시작되고 IR drop에 의해 전압 변화 일어난 시점인 $t = 3591\text{ms}$ 에서 $U_{d,3591}$ 에 각각 0.1V, 0.05V, 0.025V, 0.0125V로 설정한 후 다음 IR drop이 발생하는 시점인 $t = 21568\text{ms}$ 까지 $U_{d,k}$ 를 구현하였다. 그림 3과 같이 $U_{d,3591}$ 에 설정한 전압과 관계없이 $t = 21568\text{ms}$ 에 도달할수록 모두 0V로 수렴하였다.

$U_{d,k}$ 시물레이션을 통해 파악한 특성을 이용하여 펄스 전류에 의해 증가한 오차를 줄인다. 수식 (2)를 통해 IR drop에 의해 변화한 전압과 일치하도록 $U_{d,k}$ 를 조정하여 부하 전류의 변화로 인해 증가한 시물레이션과 실험 데이터 간 오차를 크게 줄일 수 있다.

2.3 시물레이션 결과

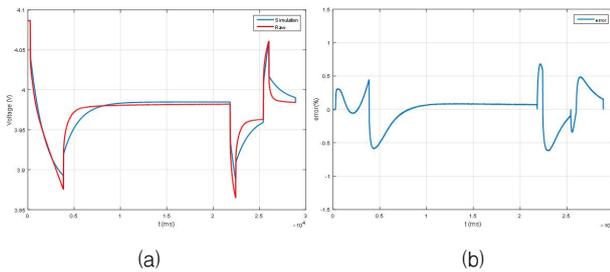


그림 4 (a) HPPC test 시물레이션
(b) HPPC test 시물레이션 오차 (SOC 80%)
Fig. 4 (a) HPPC test simulation
(b) HPPC test simulation error

본 논문에서 제시한 방법과 OCV test, HPPC test를 통해 추출한 파라미터를 통해 그림 4 (a)와 같이 SOC 80%에서 HPPC test 구현을 진행하였다.

SOC 80%에서 HPPC test를 구현한 결과는 그림 4 (b)와 같으며 추정된 전압 그래프와 실험 데이터 간 오차는 $\pm 1\%$ 이내임을 보인다.

시물레이션 검증을 위해 OCV test 시물레이션을 그림 5 (a)와 같이 진행하였다. 추정된 전압 그래프와 실험 데이터 간 오차는 그림 5 (b)과 같이 $\pm 1\%$ 이내임을 볼 수 있다.

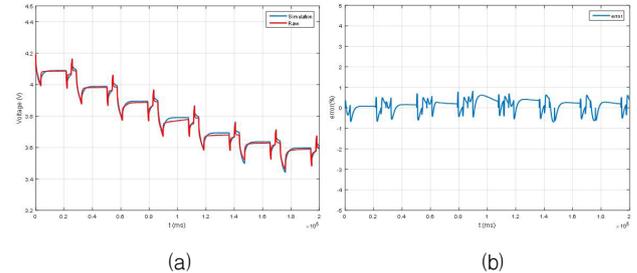


그림 5 (a) OCV test 시물레이션 (b) OCV test 시물레이션 오차
Fig. 5 (a) OCV test simulation (b) OCV test simulation error

3. 결론

실험 전압 데이터를 이용하여 전압 파형을 추정하는 시물레이션을 구현하였고, 확장 칼만 필터, 무향 칼만 필터 (unscented kalman filter; UKF)를 사용하지 않고도 시물레이션 결과와 실험 데이터 간 오차가 $\pm 1\%$ 이내임을 보였다.

위 시물레이션은 실제 전압 측정 후 전압 데이터를 가져올 경우 생기는 Delay의 영향과 온도의 영향을 고려하지 않았으나 확장 칼만 필터(extended kalman filter; EKF)와 같은 추정 알고리즘을 사용하지 않아 짧으면서도 오차가 크지 않은 장점을 보이고 있다. 추후 Delay와 온도의 영향을 반영한 모델링과 시물레이션 구현을 연구할 진행할 것이다.

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원 (17TLRP C135446 01, 택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화)에 의해 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] 이현준, 박종후, 김종훈. “등가회로 모델링 구성에 따른 확장칼만필터(EKF) 기반 SOC 추정성능 비교분석”, 전력전자학회 2014년도 추계학술대회 논문집, PP. 26 27, 2014. 11
- [2] Ahmad Rahmouni Helmuth Biechl, “Modeling of Li ion batteries using equivalent circuit diagrams”, Przegląd Elektrotechniczny, January, 2012 .
- [3] Lijun Zhang, Hui Peng, Zhansheng Ning, Zhongqiang Mu, Changyan Sun, “Comparative Research on Rc Equivalent Circuit Models for Lithium Ion Batteries of Electric Vehicles”, Appl. Sci. 2017, 7, 1002