

온도변화에 따른 리튬폴리머 배터리 모델 검증 및 분석

이준원, 박치형, 차한주
충남대학교 전기공학과

Analysis and Verification of a LiPB Model for Temperature Variation

Junwon Lee, Chihyoung Park, Hanju Cha
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

ABSTRACT

본 논문에서는 온도변화에 따른 리튬폴리머 배터리 모델에 대해 검증 및 분석을 진행하였다. 리튬폴리머 배터리의 전기적 모델은 1차 R C 등가회로를 기반으로 구성하였고, Matlab/Simulink를 이용하여 배터리 모델을 구현하였다. FTP 72 충·방전 사이클의 전류패턴을 이용하여 0°C, 25°C, 40°C 온도 변화에 따른 실제 리튬폴리머 배터리와 배터리 모델의 단자전압을 비교 분석하였다. 최대오차율은 0°C에서 5.24%, 25°C에서 1.23%, 40°C에서 0.77%로 나타났으며, 이를 통해 여러 온도 환경에서도 제안한 배터리 모델이 높은 정확도를 갖는 것을 검증하였다.

1. 서 론

리튬이온 배터리는 에너지 밀도가 높고, 메모리 효과가 없으며, 라이프사이클이 길다. 이에 휴대폰, 전기 자동차, 하이브리드 자동차 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 특히 하이브리드 전기자동차(HEV) 전기모터의 동력원인 배터리는 주행 중 운전전략에 따라 전류 및 출력이 순시적으로 변동하는 동적 부하를 받게 된다. 배터리의 입출력 전류는 순시 최대 $\pm 20C$ rate 또는 그 이상 도달할 수 있으며, 사용온도는 $30^{\circ}C \sim 50^{\circ}C$ 범위에 이른다.^[1] 이와 같은 운전 조건 및 환경에서 과 충/방전에 의한 배터리의 손상을 방지하고 향상된 주행전략을 도모하기 위하여, 배터리의 상태를 정확하게 추정해야 한다. 본 논문에서는 온도변화에 따른 리튬폴리머 배터리를 전기적 등가회로로 모델링하고, 모델링을 FTP 72 충·방전 사이클의 전류패턴을 이용하여 실제 배터리와 0°C, 25°C, 40°C 환경에서 비교 분석하였다.

2. 배터리 모델링 및 파라미터 추출

2.1 배터리 전기적 등가모델

그림 1은 모델링 검증에 적용된 배터리의 전기적 등가회로이다. 일반적으로 많이 쓰이는 배터리 모델은 1차 R C 모델, 2차 R C 모델, PNGV 모델이 있다.^[2] 1차 R C 모델은 배터리 내부저항 R_i , 분극현상을 나타내는 충/방전 전류에 의한 이온화 손실저항 R_p , 이중층 커패시턴스 C_p 로 구성된다. 2차 R C 모델은 1차 R C 모델에서 R C 병렬회로가 하나 더 추가된 형태로 보다 정확하게 배터리를 모사할 수 있지만, 이로 인해 파라미터의 증가에 따른 계산이 복잡해지고 시뮬레이션 모델 적

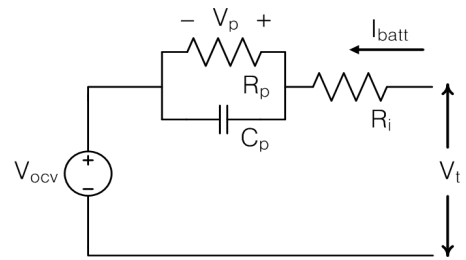


그림 1 1차 R C 등가회로
Fig. 1 The primary R C equivalent circuit

용에 어려운 단점이 있다.

2.2 배터리 파라미터 추출

배터리 모델의 파라미터는 충/방전 전류의 크기, 잔존용량, 충/방전모드 뿐만 아니라 온도에 따라 변한다. 따라서 위의 조건들을 고려하여 정전류 펄스 방법으로 파라미터들을 추출하게 된다.^[3] 그림 2는 정전류 펄스 방전으로 구한 리튬폴리머 배터리의 내부저항이다. 온도가 높아지면 배터리 내부의 화학물질의 반응을 촉진시켜 배터리 내부저항이 감소하는 것을 확인할 수 있다.

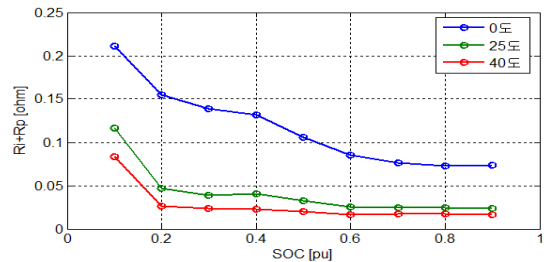


그림 2 온도변화에 따른 배터리 내부저항(1C rate)
Fig. 2 Internal resistance with respect to temperature

2.3 Matlab/Simulink 모델

그림 3은 Matlab/Simulink에서 구현한 리튬폴리머 배터리 모델이다. 계산된 잔존용량과 전류가 입력되어 단자전압을 계산하며, 충/방전에 따라 배터리의 파라미터가 다르므로 이를 보상하기 위해 충전모드와 방전모드를 분리하여 구현하였다. 또한 온도 조건까지 고려하여 파라미터를 룩업테이블로 구성한 뒤 임피던스 전압을 계산하였다. 단자전압은 개로전압에서 임피던스 전압을 뺀 값으로 계산된다.

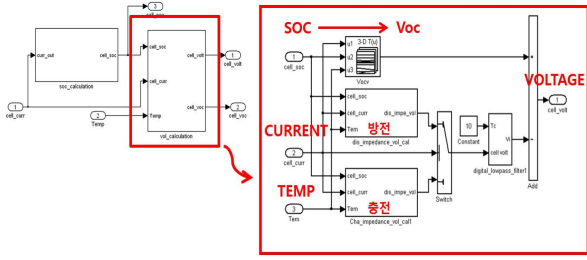


그림 3 단자전압 계산 모델
Fig. 3 Terminal voltage calculation model

3. 온도에 따른 배터리 모델 검증

3.1 FTP-72 운전패턴에 따른 전류 기준

1cell에 해당하는 배터리 모델 검증에는 FTP 72 전류패턴을 1/30 scale down하여 기준치로 사용하였다. 최대 전류 5A, 4338개의 데이터 배열을 적용하여 300ms 간격으로 총 1301.4s 동안의 전류 패턴을 양방향 DC DC 컨버터를 이용하여 구현하였다.

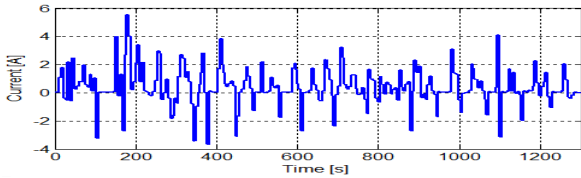


그림 4 모델 검증에 적용된 전류 패턴
Fig. 4 Current reference for validation of model

3.2 실험 결과

그림 5는 0°C, 25°C, 40°C 온도 환경에서 FTP 72 충/방전 사이클의 전류패턴을 이용하여 실측 단자 전압과 시뮬레이션 단자 전압을 비교한 그래프이다. 0°C, 25°C, 40°C 온도 환경에서도 제안한 배터리 모델의 단자전압과 실측전압이 비슷한 패턴으로 나타나는 것을 확인할 수 있다.

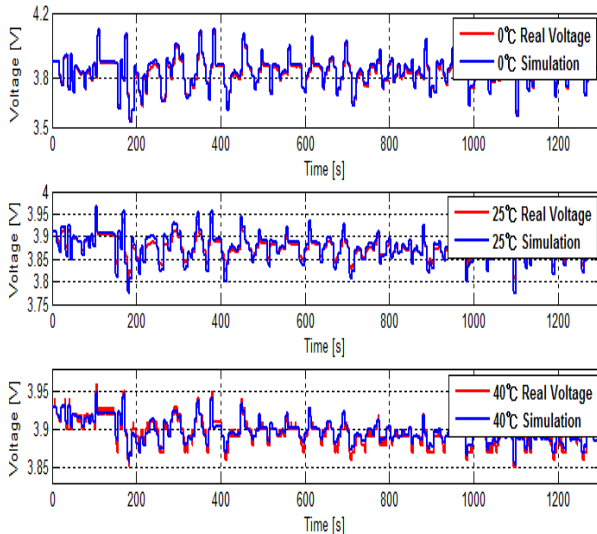


그림 5 온도에 따른 실측전압과 시뮬레이션 전압비교
Fig. 5 comparison of voltages at various temperature

그림 6은 실측 배터리 단자 전압(V_{real})과 시뮬레이션 단자 전압(V_{vir})의 상대오차율(V_{err})을 나타낸다. 상대오차율은 식 (1)과 같이 구할 수 있다.

$$V_{err} = \frac{|V_{real} - V_{vir}|}{|V_{real}|} \times 100 \quad (1)$$

0°C 환경에서 최대 상대오차율은 5.24%, 25°C 환경에서는 1.23%, 40°C 환경에서는 0.77%로 나타났다. 온도가 감소하면 배터리 내부저항이 증가하기 때문에 오차율이 증가하지만 전반적으로 낮은 온도에서도 오차율이 낮은 것을 확인할 수 있다.

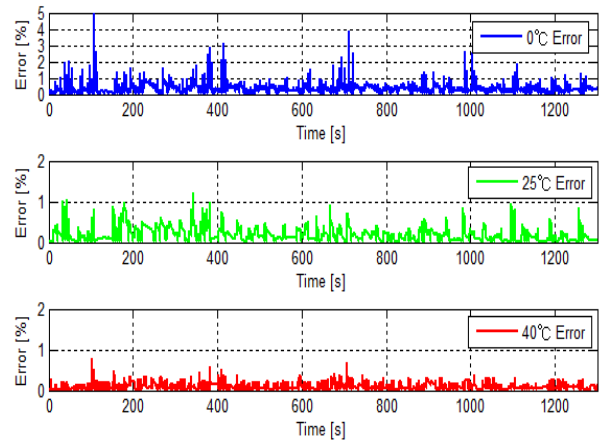


그림 6 온도에 따른 상대오차율
Fig. 6 Percent relative error with respect to temperature

4. 결론

본 논문에서는 리튬폴리머 배터리(SLPB8043128H5)를 전기적 등가회로로 모델링 하고, 정전류 펄스 방전으로 구한 파라미터를 적용하여 MATLAB/ SIMULINK에서 배터리 모델을 구현하였다. 이러한 배터리 모델을 검증하기 위하여 FTP 72 충-방전 사이클의 전류패턴을 이용하여 0°C, 25°C, 40°C 온도 환경에서 실제 리튬폴리머 배터리와 MATLAB/SIMULINK 배터리 모델의 단자전압을 비교 분석하였다. 실측 전압과의 최대 오차율은 0°C에서 5.24%, 25°C에서 1.23%, 40°C에서 0.77%로 나타났으며, 제안한 배터리 모델은 여러 온도 및 전류 환경에서도 실제 배터리와 유사한 동특성 나타내 온도 변화에도 높은 정확도를 갖는 것을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] S. Buller, "Impedance Based Simulation Models for Energy Storage Devices in advanced Automotive Power Systems", ph. D. Dissertation, RWTH Aachen, 2002.
- [2] Mohamed Daowd, Noshin Omar, Bavo Verbrugge, Peter Van Den Bossche, and Joeri Van Mierlo, "Battery Models Parameter Estimation based on MATLAB/Simulink®," EVS 25 Shenzhen, China, Nov. 2010.
- [3] 공세일, 김대식, 차한주, "C rate, 온도, SOC를 고려한 NiMH 배터리 모델링 및 실험", 전력전자학회논문집, 2012.7, pp413~414