배터리 시뮬레이터를 위한 동적 배터리 모델링

배경철, 최성촌, 김지환, 정용채*, 원충연
성균관대학교, 남서울대학교*

Dynamic battery modeling for battery simulator

Kyeung cheol Bae, Seong chon Choi, Ji hwan Kim, Yong chae Jung*, Chung yuen Won
Sunkyunkwan University, Namseoul University*

ABSTRACT

In this paper, we propose a dynamic battery equivalent modeling of lithium ion batteries that can be applied to the battery simulator. In order to apply battery model to battery simulator, the profile of battery model should be equal to that of actual battery. Therefore, the equivalent model was selected by considering the transient and steady state characteristics of lithium ion batteries. Also, to obtain transient state behavior of the battery, the RC values of the battery are selected through the lithium ion battery charge/discharge experiments. The validity of proposed battery model is verified from the experimental results.

1. 서론

최근 배터리 관련 연구분야에서는 온실가스 절감과 같은 사회적인 규제와 환경오염문제로 인하여 배터리 활용에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이와 더불어 에너지저장시스템, 휴대장치, 전기 자동차와 같이 배터리를 필수적으로 사용하는 분야에서는 리튬 이온 배터리 활용도가 증가하고 있는 추세이다. 또한 리튬 이온 배터리는 다른 배터리들에 비해 높은 전력 밀도, 에너지 밀도가 좋아 요즘 각광받는 배터리이다. 하지만 배터리는 과충전/과방전시에 폭발에 대한 위험성이 있다. 이에 따라 배터리를 적용한 시스템을 유연성 있고 안정적으로 실험하기 위해 배터리 시뮬레이터에 대한 필요성이 대두되고, 온도와 같은 환경적 요소에서 변화하는 배터리 특성 분석 및 배터리 모델링에 대한 연구가 요구되고 있다.[3]

기존의 배터리 전기적 모델링에는 내부저항 R_i만을 포함한 간단한 배터리 모델과 병렬 R C회로를 포함한 태브닝 배터리 모델이 있다. 간단한 배터리 모델은 과도상태 동적특성을 나타내지 못한다는 단점이 있다. 반면, 태브닝 배터리 모델인 경우에는 배터리의 과도상태 동적특성을 나타낼 수 있다.[1]

본 논문에서는 리튬 이온 배터리의 전기적 기반의 모델을 제시하고 모델의 파라미터 값은 실험 측정값 기반으로 추출하였다. 모델의 개방회로전압은 Shepherd의 비선형식을 이용하여 전류 크기와 배터리 용량 변화에 따른 비선형 전압을 나타내었다.[2] 또한 배터리의 과도상태의 동적특성을 나타내기 위해 태브닝 모델인 병렬 R C회로를 추가하였다.

2. 본론

2.1 제안한 배터리 모델

리튬 이온 배터리는 SOC에 따라 개방 회로 전압(open circuit voltage: OCV)형태가 그림 1과 같이 비선형적으로 변하게 된다. 식 (1)과 같은 Shepherd 모델은 비선형적으로 변하는 OCV 파형을 묘사하기 위해 본 논문에 적용하였다.[2]

$$E = E_0 - K\frac{Q}{Q - \int idt} + Aexp(-B \cdot \int idt) \quad (1)$$

식 (1)을 통해 배터리 용량과 전류 크기 변화에 따라 비선형적으로 변화하는 OCV를 묘사할 수 있고 각각에 대한 파라미터 설명은 표 1과 같다.[2] 또한 배터리의 과도상태에 대한 특성은 내부저항 및 병렬 R C회로를 추가하여 그림 2와같이 모델을 제안했다. 이 모델의 R_i은 자기충전/자기방전을 나타내며 R_{T1}, R_{T2}은 충/방전 전류에 의한 손실저항, C_{T1}, C_{T2}는 이중층의 커패시턴스를 나타낸다.[1]

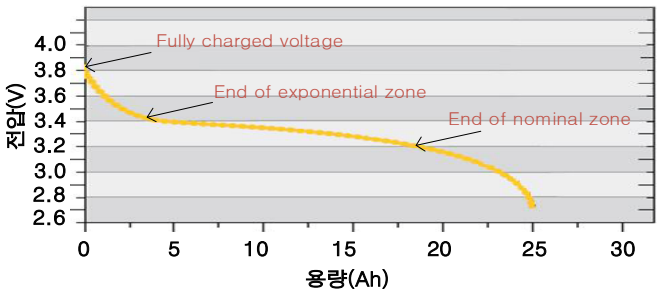

그림 1 충/방전에 따른 SOC-OCV 히스테리시스 곡선
Fig. 1 SOC-OCV hysterysis curve of charging and discharging

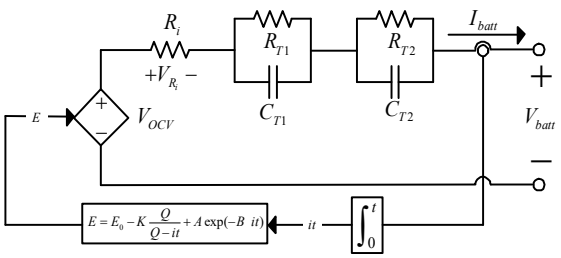

그림 2 제안한 배터리 모델
Fig. 2 Proposed battery model

표 1 파라미터 설명
Table 1 Parameters description

E	개방회로전압 (V)	E_0	배터리 상수 전압 (V)
K	분극전압 (V)	Q	배터리 용량 (Ah)
A	지수영역 진폭 (V)	B	지수영역 시간 상수 역수 (Ah)$^{-1}$

2.2 파라미터 추출

배터리 모델의 파라미터를 추출하기 위해서 리튬 이온 배터리는 4V, 20Ah의 배터리를 사용하였고, 0.5C rate의 방전 전류로 실험을 진행하였다. 배터리 과도상태 동작특성을 알아보기 위해 스텝으로 변동하는 방전전류에서 배터리의 전압응답은 다음 그림 3의 파형과 같다. 그림 4는 그림 3의 한 부분을 확대한 파형이다. 모델의 파라미터들을 구하기 위해서 그림 4를 크게 3부분으로 나뉠 수 있다.

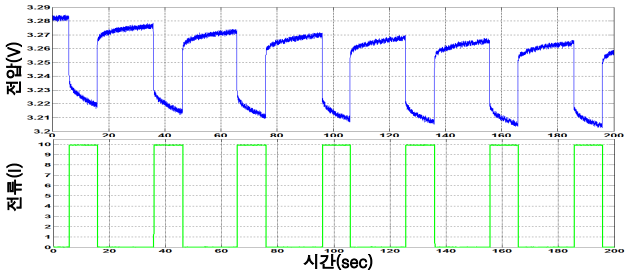

그림 3 리튬-이온 배터리의 방전실험(0.5C-rate)
Fig. 3 Experiment for discharge of Li-ion battery(0.5C-rate)

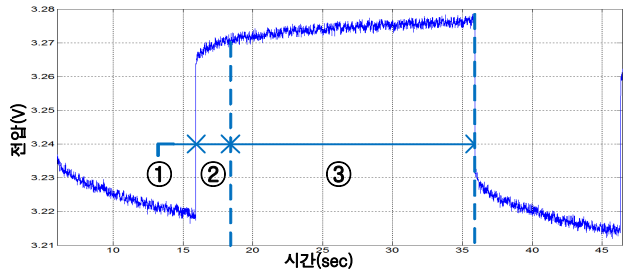

그림 4 리튬-이온 배터리의 방전실험 확대 파형
Fig. 4 Experiment enlarge waveform for discharge of Li-ion battery

①번 구간에서는 전류가 흐르기 시작하는 구간이기 때문에 전류는 모델의 커패시터 C_{T1}, C_{T2}와 내부저항 R_i를 통하여 흐르게 된다. 따라서 ①번 구간에서는 내부저항 R_i를 구할 수 있다. 나머지 ②, ③ 구간에서는 전류가 병렬 R C, R_t를 통하여 흐른다. 따라서 RC 시정수를 이용하여 다음 식 (2)~(4)을 통해 구할 수 있다.[3]

$$R_i = \frac{V_{R_i}}{I_{batt}} \tag{2}$$

$$R_T = \frac{V_{R_T}}{I_{batt}} \tag{3}$$

$$C_T = \frac{\tau_T}{R_T} \tag{4}$$

그리고 E_0, K, Q, A, B는 배터리의 데이터시트에 명시된 값을 통하여 다음 식 (5)~(8)으로 구할 수 있다.[2]

$$A = E_{full} - E_{\exp} \tag{5}$$

$$B = 3/Q_{\exp} \tag{6}$$

$$K = \frac{(E_{full} - E_{nom} + A(\exp(-B \cdot Q_{nom}) - 1)) \cdot (Q - Q_{nom})}{Q_{nom}} \tag{7}$$

$$E_0 = E_{full} + K + Ri - A \tag{8}$$

2.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 추출한 파라미터를 적용하여 실험과 동일한 0.5C rate 방전 전류로 실행하였다. 또한 모델의 타당성을 증명하기 위해서 그림 5와 같이 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 이를 통해 최대 오차는 약 6mV로 매우 유사함을 알 수 있었다.

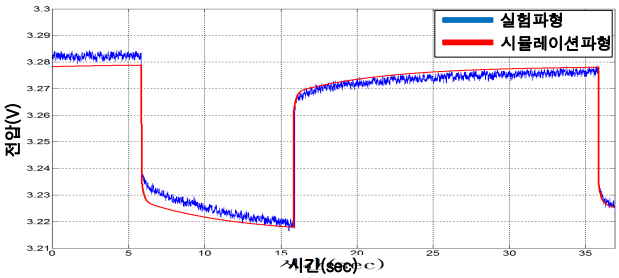

그림 5 실험 결과와 시뮬레이션 결과 비교
Fig 5. Comparing simulation results with experimental results

3. 결론

본 논문은 리튬 이온 배터리의 과도상태 특성을 고려한 전기적 기반의 모델을 제안하였다. 배터리의 SOC에 따라 비선형적으로 변화하는 배터리의 개방회로전압과 과도상태 특성을 모의하기 위해 Shepherd의 비선형식 및 태브냉 배터리 모델을 적용하였다. 또한 추출한 파라미터 기반으로 모델링하여 실험결과와 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 제안한 모델의 타당성을 증명하였다. 제안한 모델은 배터리의 과도상태 동적특성을 모의할 수 있는 배터리 시뮬레이터에 적용이 기대된다.

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2011 0015584)

참 고 문 헌

[1] 임재권, “리튬폴리머 전지의 전기적 모델링”, 전력전자학회 논문지, 제16권 제2호, pp 199 207, 2011, 4.

[2] Tremblay, O, "A Generic Battery Model for the Dynamic Simulation of Hybrid Electric Vehicles", Vehicle Power and Propulsion Conference 2007, IEEE, pp 284 289, 2007, Sept.

[3] Schweighofer, B, "Modeling of High Power Automotive Batteries by the Use of an Automated Test System", Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on, Vol. 52, No. 4, pp. 1087 1091, 2003, Aug.