

# 배터리 휴지곡선 최적화 분석을 통한 향상된 SOC 리셋 알고리즘

배영찬, 안성필, 이재형, 김재구, 이병국<sup>†</sup>  
 성균관대학교 전기전자공학부

## Enhanced SOC Reset Algorithm Using Optimization Technique of Battery Rest-Curve

Young Chan Bae, Sung Pil An, Jaehyung Lee, Jae Gu Kim, and Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문은 배터리 모델 의존도를 최소화한 SOC 추정 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘은 전류 적산법을 기반으로, 100초 내외의 짧은 휴지시간 동안 측정된 휴지곡선을 함수최적화 기법으로 분석하여 OCV를 추정하고 추정 OCV를 이용하여 누적 SOC 오차를 리셋 한다. 또한 최적화 기법의 발산 위험을 저감하기 위한 초기값 설정 과정을 포함한다. 제안하는 알고리즘의 정확성은 시뮬레이션과 단전지 실험을 통해 검증한다.

### 1. 서론

최근 에너지에 대한 중요성이 높아지면서 친환경적 요소를 가진 전기자동차 산업에 대한 관심이 증가하는 추세이다. 그에 따라 배터리의 잔존용량인 SOC (State of Charge)의 정확하고 신속한 추정은 전기자동차의 동력원인 배터리의 효율적이고 안전한 운용에 매우 중요하고 이와 관련한 연구가 활발하다<sup>[1]</sup>.

기존의 SOC 추정 방법에는 전류 적산법, 모델 기반 추정법, OCV (Open Circuit Voltage)를 이용한 추정법이 있다. 전류 적산법은 측정전류를 적분하여 SOC를 추정하는 방법으로 구현이 쉬우나 전류의 측정오차가 누적되는 단점이 있고 모델 기반 추정법은 모델에 대한 의존도가 높으므로 배터리의 노화에 따른 실시간 모델 갱신이 필요하다. OCV를 이용한 방법은 긴 휴지 시간이 필요하여 SOC의 실시간 추정에 제약이 따른다.

위의 세 가지 알고리즘들의 단점을 보완하여 모델에 대한 의존도를 낮추고 짧은 휴지 시간으로 높은 정확도의 SOC를 추정하는 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 다음의 순서로 구성된다. 먼저 제안하는 알고리즘에 사용되는 배터리 모델과 제안하는 알고리즘의 구성을 제시한다. 그리고 제안하는 알고리즘의 구동에 사용된 최적화 기법에 대한 소개와 상태변수 범위 및 초기값 설정에 대하여 설명한다. 마지막으로 실제 배터리 실험을 통해 제안하는 알고리즘의 타당성을 검증한다.

## 2. 향상된 SOC 리셋 알고리즘

### 2.1 배터리 모델 선정

배터리의 휴지 시간 동안의 전압을 분석하기 위한 배터리 등가 회로 모델이 요구된다. 모델 구조의 복잡성과 모델의 정확도를 고려하여 그림 1의 2차 RC ladder 모델을 선정하였고,

모델의 단자전압은 식 (1)과 같다.

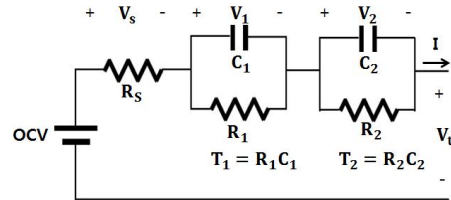


그림 1 2차 RC ladder 모델  
 Fig. 1. 2<sup>nd</sup> RC ladder model.

$$V_t = OCV - V_s - V_1 e^{-t/T_1} - V_2 e^{-t/T_2} \quad (1)$$

### 2.2 알고리즘의 구성

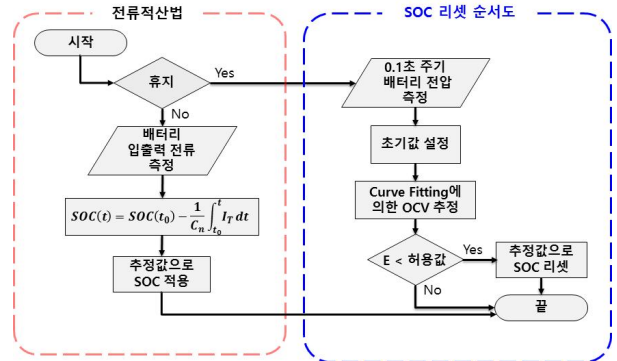


그림 2 알고리즘 순서도  
 Fig. 2. Flow chart of suggested Algorithm.

그림 2에서 보이듯이, 제안하는 알고리즘은 실시간으로 전류 적산법을 통해 SOC를 추정하고, 배터리가 휴지상태로 판단되면, 100초간의 휴지 시간 동안 전압 데이터를 추출하고 Curve fitting을 통해 OCV를 추정하여 전류 적산법의 누적오차를 제거한다. 100초의 휴지 시간 설정은 2009년 '교통운영체계 선진화 방안'에 의해 신호등 대기시간을 100초 내외로 하는 것을 기준으로 하였다<sup>[2]</sup>. 이때 실제 단자전압과 Curve fitting 결과 사이의 오차 (E)가 허용 범위 이내면 추정된 OCV를 이용해 SOC를 리셋한다. 휴지 시간이 끝나면 다음 휴지 시간이 되기 전까지 전류 적산법을 시행한다.

### 2.3 함수 최적화 기법

휴지 시간 동안 측정된 배터리의 전압데이터를 기반으로 식

(1)에 일치하는 변수  $V_1, V_2, T_1, T_2, OCV$ 을 추정해야한다. 실제 휴지시간동안에서는 전류가 0A이기 때문에  $V_s$ 는 고려하지 않는다. 측정한 배터리 단자전압과 Curve fitting 간의 오차를 목적함수로 설정하고 해당 목적함수를 함수 최적화 기법에 적용하여 오차가 최소가 되는 변수조합을 탐색한다. 본 알고리즘에서는 측정한 단자전압과 식 (1) 간의 오차 제곱 합을 의미하는 최소자승법을 목적함수로 식 (2)와 같이 설정하여 오차가 0에 가까운 값을 만족하는 변수를 찾는다.

본 논문에 사용한 함수 최적화 방법은 Gradient Descent와 Gauss Newton의 장점을 결합한 식 (3)의 추정식을 갖는 Levenberg Marquardt 방법을 사용한다<sup>[3]</sup>. 이때 변수  $x$ 는  $[V_1, V_2, T_1, T_2, OCV]^T$ 이고  $J_r$ 은 목적함수의 자코비안 행렬이며  $R(x)$ 는  $V_i - f(t_i, x)$ 이다. 사용한 목적함수는 측정값과 식 (1)의 배터리 추정 모델 간의 관계로 식 (2) 형태의 최소자승법을 이용하였다. 그리고 가중치를  $\lambda$ 로 설정하여 목적함수의 결과가 커지면  $\lambda$ 을 증가시키고 목적함수 결과가 작아지면  $\lambda$ 을 감소시킨다.

$$\sum_{i=1} (V_{ti} - f(t_i, x))^2 \quad (2)$$

$$x_{k+1} = x_k - (J_r^T J_r + \lambda \text{diag}(J_r^T J_r))^{-1} J_r^T R(x_k) \quad (3)$$

### 2.3 상태변수 범위 및 초깃값 설정

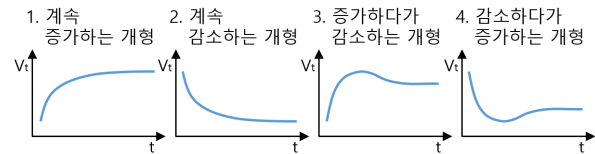


그림 3 4가지의 휴지곡선 개형  
Fig. 3. 4 types of rest-curve.

함수 최적화를 이용한 Curve fitting은 목적함수의 최솟값을 갖는 극소점을 찾기 위해서 변수  $V_1, V_2, T_1, T_2, OCV$ 의 범위 설정과 초깃값 설정이 중요하다. 먼저  $T_1, T_2$ 는 항상 양수이며 배터리 특성에 영향을 받으므로 실험적인 판단에 따라 범위를 설정한다. 반면 휴지곡선은  $V_1, V_2$ 의 부호에 따라서 그림 3과 같이 4가지의 개형으로 구분된다.

100초 동안 측정된 배터리 전압의 처음 값, 중간(60초)값, 마지막 값, 최솟값, 최댓값을 이용하여 휴지 곡선의 4가지의 개형 중 적절한 하나를 판단하고  $V_1, V_2, OCV$ 가 가질 수 있는 범위를 설정한다. 그리고 설정된 변수의 범위를 동일 간격으로 나누어 측정값과 비교하여 오차가 가장 작은 구간의 대푯값을 초깃값으로 설정한다. 이 초깃값을 이용한 Curve fitting의 결과로 하나의 변수 조합과 OCV 추정값을 구하게 된다.

### 2.4 단전지 실험 결과

KOKAM사 NCM계열의 27Ah 리튬이온 배터리를 사용하여 실험을 진행하였다. UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule), HWFET (Highway Fuel Economy Schedule) 그리고 5번의 휴지구간으로 이루어진 그림 4의 전류 프로파일을 배터리에 인가하여 알고리즘을 검증하였다. 그림 5는 제안하는 알고리즘의 추정 SOC와 전류 적산법의 추정 SOC 그리고 기준 SOC를 보여준다. 표 1은 제안하는 알고리즘의 평균 SOC 오차율 및 최대 SOC 오차율이 각각 0.243%, 0.987%로 전류

적산법의 SOC 추정 오차보다 감소된 것을 보여준다.

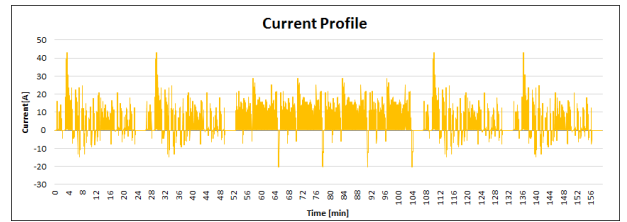


그림 4 실험에 사용된 전류 프로파일  
Fig. 4. The current profile of experiment.

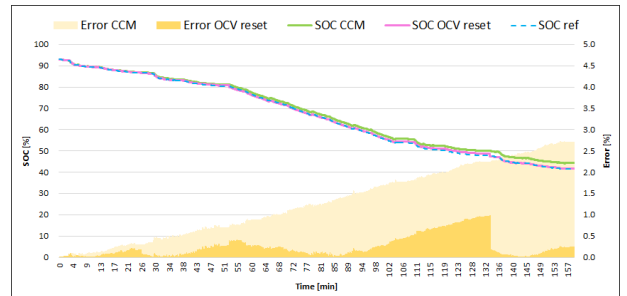


그림 5 배터리 실험 결과  
Fig. 5. Battery experiment result.

표 1 전류 적산법과 향상된 SOC 리셋 알고리즘 오차율

Table 1 The error rates of CCM and Enhanced SOC reset algorithm.

	평균 오차율	최대 오차율
전류 적산법	1.291%	2.732%
향상된 SOC 리셋 알고리즘	0.243%	0.987%

## 3. 결론

본 논문은 100초 내외의 시간동안 측정된 휴지곡선의 최적화 분석을 통해 OCV를 추정하고 추정된 OCV를 이용하여 SOC를 리셋 하는 알고리즘을 제안하고 그 활용성을 증명한다. 제안하는 알고리즘을 실제 배터리에 적용한 결과, SOC 오차가 1%의 미만의 높은 정확도로 SOC를 추정이 가능하고 기존에 전류 적산법의 누적되는 평균 오차를 리셋을 통해 저감하여 높은 정확도를 유지하는 것을 확인하였다.

이 논문은 2015년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가관리원의 지원을 받아 수행한 녹색산업선도형이차전지기술개발 사업(No.10053710)입니다.

## 참고 문헌

- [1] 정도양, “전기자동차용 BMS 기술”, 전력전자학회지, vol. 19, no. 6, pp. 45-54, 2014. December.
- [2] “신호등 대기시간 100초 내외로 단축”, 교통신문, 8월. 2011.
- [3] H. Gavin, “The Levenberg Marquardt method for nonlinear least squares curve fitting problems,” Dept. Civil and Environmental Engineering, Duke Univ., Durham NC. May. 2016.