

# 확장 칼만 필터를 이용한 전류 적산법 기반의 리튬 폴리머 배터리 SOC 추정

전창윤\*, 조보형\*, 김종훈\*\*  
서울대학교\*, 삼성SDI\*\*

## SOC Estimation Algorithm based on the Coulomb Counting Method and Extended Kalman Filter for a LiFePO<sub>4</sub> Battery

C. Y. Chun\*, B. H. Cho\*, J. H. Kim\*\*  
Seoul National University\*, Samsung SDI\*\*

### ABSTRACT

전류 적산법(Coulomb counting, ampere counting)을 이용한 배터리 SOC(State-of-Charge) 추정 방법은 상용화된 IC를 사용할 수 있기에 구현이 간단하고 SOC 정의를 통해 배터리 사용 가능한 시간을 쉽게 예측할 수도 있다. 하지만 초기 SOC 오류와 누적되는 전류 정보의 오차로 인해 추정이 실패하는 단점이 존재하기 때문에 이를 해결해주는 알고리즘이 필요하다.

본 논문에서는 전류 적산법 기반의 배터리 SOC 추정 회로에 확장 칼만 필터(EKF, Extended Kalman Filter)를 접목하여 전류 적산법을 이용하였을 때 나타날 수 있는 오차 누적을 줄이는 알고리즘을 제안한다. 또한 실험을 통해 제안된 배터리 SOC 추정 회로의 성능을 확인해본다.

### 1. 서론

배터리 SOC(State of Charge) 추정은 배터리의 전압과 인가되는 전류, 그리고 온도 정보를 바탕으로 사용 가능한 에너지량을 예측하는 과정이다. 이 정보는 배터리의 과충전 및 과방전을 막는데 중요한 역할을 하며, 사용가능한 시간을 예측할 수 있게 해주는 척도가 되기에 중요하다.

본 논문에서는 배터리 SOC를 추정하는 방법으로 널리 알려진 전류 적산법과 적응제어(adaptive control)의 한 방법인 EKF 기반의 추정 기법을 간략하게 비교하고 전류적산법 기반의 SOC 추정 회로의 단점을 보완하기 위한 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 두 알고리즘을 통해 얻은 SOC 정보를 바탕으로 전류 적산법의 SOC 값의 오차가 커졌다고 판단되어졌을 때, SOC 값을 초기화 시켜주는 방식이다. 검증은 위해서 HEV 전류 프로파일을 각각의 알고리즘에 인가하여 배터리 SOC 값을 추정해보고 오차를 확인해보기로 한다.

### 2. 배터리 SOC 추정 방법

#### 2.1 전류 적산법을 이용한 배터리 SOC추정

배터리 용량은 전류 적산을 토대로 정의되었으므로, 배터리 SOC는 식 (1)과 같이 초기 SOC인 SOC<sub>0</sub>에서 배터리 용량 C<sub>n</sub> 대비 인가된 전류 적산 값의 비율로 나타낼 수 있다.

$$SOC = SOC_0 - \frac{1}{C_n} \int idt \quad (1)$$

또한, 전류 적산법을 통한 배터리 SOC 추정 방법은 초기 SOC 값을 정확하게 알아야 하고, 적산 과정에서 누적되는 오차를 초기화 시켜주는 알고리즘이 필요하다는 사실을 식으로부터 유추할 수 있다.

#### 2.2 확장 칼만 필터(Extended Kalman Filter)

확장 칼만 필터는 비선형 시스템의 상태 추정에 적합한 알고리즘이다. 식 (2)는 시스템의 상태를 나타내는 진행방정식(dynamic equation)으로, 그림 1의 배터리 모델과 SOC 정의를 이용한 전류 적산법 방법을 토대로 작성된다. 또한 식 (3)의 측정방정식(measurement equation)은 실제 배터리 전압과의 비교를 위해, SOC, V<sub>Diff</sub>값으로부터 추정된 배터리 전압 식이다. 진행방정식과 측정방정식 오차의 분산을 Q<sub>k</sub>, R<sub>k</sub>라 하고 변환계수 H<sub>k</sub>와 오류 공분산을 의미하는 것이 P<sub>k</sub>일 때, 식 (4)의 칼만 게인 K<sub>k</sub>을 계산할 수 있으며, 이를 통해 식 (5)와 같이 실제 배터리 전압과 추정된 배터리 전압의 오차를 줄여나가는 방향으로 시스템의 상태를 추정한다[1].

이러한 과정을 통해서 초기 배터리 SOC 값이 틀리거나 계산을 통해 오차가 발생하게 되더라도 배터리의 SOC 값을 실제 값에 근접한 값으로 얻을 수 있다.

$$x_k = \begin{bmatrix} SOC_{k+1} \\ V_{Diff,k+1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{\Delta t}{R_d C_d} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} SOC_k \\ V_{Diff,k} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\frac{\Delta t}{C_n} \\ \frac{\Delta t}{C_d} \end{bmatrix} i_k \quad (2)$$

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

$$K_k = P_k H_k^T [H_k P_k H_k^T + R_k]^{-1} \quad (4)$$

$$\hat{x}_k(+)=\hat{x}_k(-)+K_k[Z_k-H_k\hat{x}_k(-)] \quad (5)$$

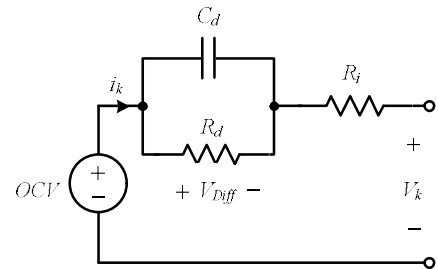


그림 1 랜들스 모델을 이용한 배터리 등가 모델  
Fig. 1 Simplified battery equivalent circuit model

하지만, 지속적으로 시스템의 상태를 추정하는 과정에서 배터리가 방전될 때 SOC가 상승하거나 배터리가 충전될 때 SOC가 하강하는 정보를 배터리 사용자에게 주는 문제점이 존재한다.

### 3. 제안한 SOC 추정 방법 및 검증

#### 3.1 제안한 방법

EKF를 사용한 추정 방법의 경우, 상태 변동으로 인해 SOC 값이 빈번하게 변할 수 있다. 즉, 제안한 알고리즘은 사용자가 이러한 변동을 확인할 수 있게 일정한 차이가 나타났을 때만 SOC 정보를 변경해주는 방식을 사용하였다. 즉 두 가지 방법을 통해 계산한 SOC 값의 차이가 5%이상 차이가 날 때, 전류 적산법을 통해 얻은 SOC 값을 EKF 값으로 변경해주는 방식이다. 그림 2는 제안한 알고리즘을 순서도로 나타낸 것이다.

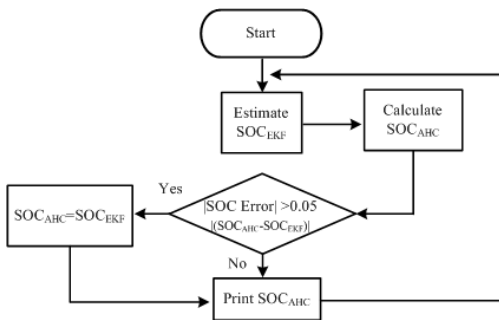


그림 2 제안한 배터리 SOC 순서도  
Fig. 2 Proposed SOC estimation flowchart

#### 3.2 SOC 측정 실험

그림 3과 같은 HEV 전류 프로파일을 인가하였을 나타는 전압 파형을 토대로 그림 4와 같이 각 경우에 따른 SOC 값을 나타내었다. 초기 SOC 오차는 0.05로 설정하였는데, 오차의 크기가 크면, EKF 특징 때문에 더 빠르게, 자주 SOC 정보를 업데이트 하게 된다. 그림 4의 (b)에서 그림 2의 순서도와 같이 오차의 크기가 0.05이상 발생하게 되면 그 값을 초기화 시켜주는 것을 확인할 수 있다. 이를 통해 순간적으로 0.05의 SOC가 급격하게 변하는 것을 확인할 수 있으며, 이 뜻은 보정단계를 거친 것으로 사용자는 이해할 수 있다.

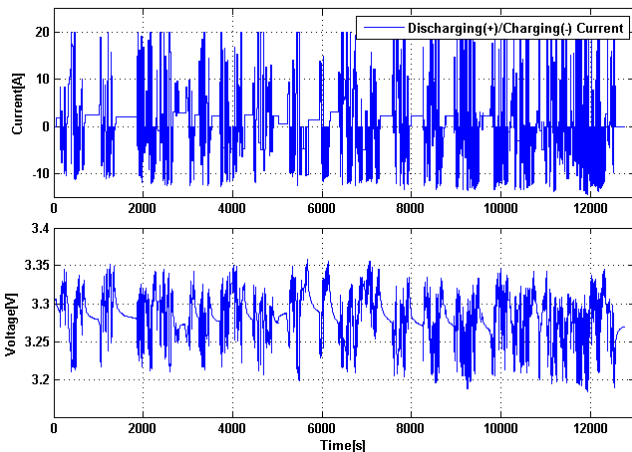


그림 3 배터리에 인가한 HEV 전류 프로파일, 배터리 전압  
Fig. 3 Current profile and battery voltage

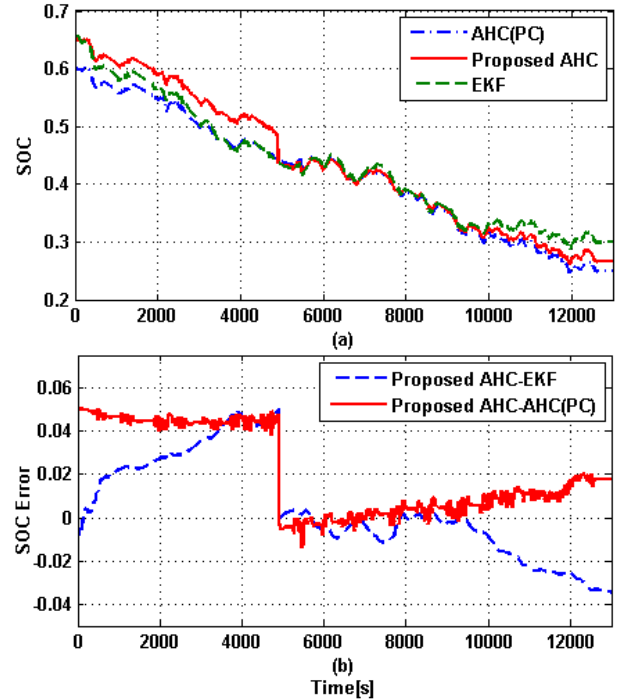


그림 4 (a) 제안한(Proposed), 실제(PC), EKF를 통해 추정  
한 SOC, (b) SOC 차이(EKF와 제안한 방법, 제안한  
방법과 실제)  
Fig. 4 (a) Measurement and estimated SOC, (b) SOC  
error(Proposed-EKF, Proposed-PC)

EKF 알고리즘이 실제 배터리 SOC에 수렴하게 되는 경우에 있어서 5%이내의 오차가 발생하는 경우, 전류 적산법의 SOC 정보가 초기화되기 때문에, 그림 4 (b)의 파형에서 보는 것과 같이 전류 적산법을 통해서 얻은 값은 실제 SOC의 5%이내 값을 가지게 된다.

### 4. 결론

제안한 배터리 SOC 추정 알고리즘은 전류 적산법과 EKF 추정 알고리즘을 접목시킨 것이다. 이러한 과정으로 인해 배터리의 SOC 정보가 급격하게 변하는 경우가 발생하게 되는데, 이는 배터리의 SOC를 보정해주는 과정으로 이해할 수 있다. 본 논문에서는 배터리 SOC 추정 방법을 제안하고 HEV 전류 프로파일을 인가하여 검증하였다.

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다 (No.20104010100490).

### 참고 문헌

[1] Oanyong Nam, Jaemoon Lee, Jaeho Lee, Jonghun Kim, and Bo H. Cho, "Li Ion Battery SOC Estimation Method based on the Reduced Order Extended Kalman Filtering", IECEC, 2006.