

# 리튬-이온 배터리의 SOC 추정을 위한 OCV 예측방법

배경철\*, 최성춘\*, 신민호\*, 김영렬\*\*, 원충연\*  
성균관대학교\*, 안양대학교\*\*

## OCV Prediction Method for SOC Estimation of Li-ion Battery

Kyeung cheol Bae\*, Seong chon Choi\*, Min ho Shin\*, Young real Kim\*\*, Chung yuen Won\*  
Sungkyunkwan University\*, Anyang University\*\*

### ABSTRACT

본 논문은 리튬 이온 배터리의 OCV 예측기법에 대해서 제안하였다. OCV는 배터리의 SOC를 추정할 때 중요한 정보이다. 하지만, 정확한 OCV를 측정하기 위해서는 최소 30분 이상의 휴지시간이 소요된다는 단점을 가지고 있다. 따라서 본 논문은 이런 단점을 해결하기 위해 OCV 예측기법에 대해서 제안하였다. 제안한 OCV 예측기법의 타당성은 배터리 모델의 OCV와 예측된 OCV를 비교하는 시뮬레이션 통해 검증하였다.

### 1. 서론

최근 화석 에너지의 고갈 및 온실가스 절감 등의 문제로 전기 자동차에 대한 관심이 증가하고 있는 추세이다. 전기 자동차가 주행함에 있어서 배터리 SOC(State of Charge) 추정은 매우 중요한 부분이다. 이로 인해, 정확한 SOC 추정기법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다.

배터리의 SOC 추정기법은 주로 전류적산법과 전류적산법의 단점을 해결하고자 배터리의 OCV(Open Circuit Voltage)를 적용하여 사용된다. 하지만 정확한 OCV를 구하기 위해서는 긴 휴지시간(Rest time)이 필요하다는 단점을 가지고 있어 온 라인(On line)시스템과 같은 전기자동차에 직접적으로 적용이 어렵다는 문제점이 있다.<sup>[1]</sup>

따라서 본 논문에서는 전기 자동차가 정차시 짧은 시간내 OCV를 구할 수 있도록 OCV 예측기법에 대해서 제안하였다. 제안한 OCV 예측기법은 시뮬레이션을 통해 묘사된 OCV와 예측된 OCV를 비교하여 타당성을 검증하였다.

### 2. 본론

#### 2.1 SOC 추정 기법

##### 2.1.1 전류적산법

전류적산법은 SOC 정의를 이용한 방법으로써 다음 식 (1)과 같이 나타낸다.<sup>[1]</sup>

$$SOC = SOC_0 - \frac{\text{사용한전하량}(\int idt)}{\text{배터리용량}(Q)} \quad (1)$$

SOC의 정의는 배터리에서 사용 가능한 잔량을 배터리 용량과의 비율로 나타내는 값이다. 이 기법은 식 (1)과 같이 간단히

이루어져 있어 구현이 간단하다는 장점을 가지고 있다. 또한 초기값 및 측정되는 전류의 값이 정확하다면 가장 빠르게 SOC를 추정할 수 있는 기법이다. 하지만 식 (1)과 같이 적분 부분을 포함하고 있기 때문에 전류 측정에 있어 센서의 오차 및 노이즈가 있을 시에는 그림 1과 같이 누적 오차가 발생한다는 단점을 가지고 있다. 이러한 단점을 보완하고자 전류적산법을 사용할 때에는 누적 오차 부분을 리셋 시켜주는 리셋 알고리즘이 추가적으로 필요하게 된다.

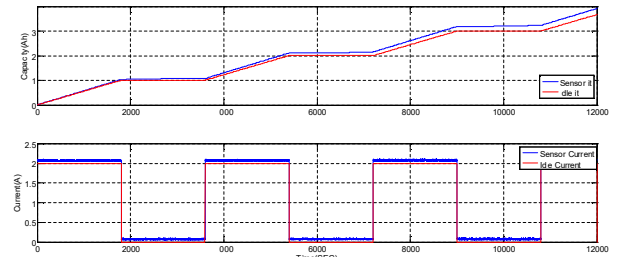


그림 1 전류적산법의 누적 오차  
Fig. 1 Cumulative error of coulomb counting method

##### 2.1.2 OCV를 통한 SOC 추정 기법

앞 절에 설명한 리셋 알고리즘은 주로 OCV 측정을 통해서 수행된다. OCV를 통한 SOC 추정 기법은 다음 식 (2)와 같이 넌스트 식(Nernst Equation)에 의하면 같은 온도와 압력의 조건에서 배터리가 안정화된 상태에 있다면 배터리 양단에 형성되는 전위(Potential)는 배터리 내부 반응 물질의 농도에 비례한다는 식으로 이 원리를 이용한 SOC 추정 기법이다.<sup>[1]</sup>

$$E = E^0 + \frac{RT}{nF} \ln \frac{a_0}{a_R} \quad (2)$$

( $E$  : 유기 전압,  $a$  : 반응에 참여하는 물질의 활동도,  $T$  : 온도,  $n, F, R$  : 상수)

이처럼 OCV는 SOC와 매우 밀접한 관계에 있다. 그러나 정확한 OCV를 측정하기 위해서는 최소 30분 이상의 휴지시간이 필요하기 때문에 전기 자동차와 같은 온 라인(On line) 시스템에서는 적용이 힘들다는 단점을 가지고 있다. 따라서 온 라인 시스템에 적용하기 위해서는 짧은 시간에도 OCV를 측정할 수 있는 OCV 예측 기법이 필요하게 된다.

## 2.2 제안하는 OCV 예측 기법

### 2.2.1 OCV 예측 모델

본 논문에서 제안한 OCV 예측 기법은 배터리 모델을 이용하여 예측하였다. 사용된 배터리 모델은 그림 2와 같은 테브냉(Thevenin) 배터리 모델을 사용하였다.

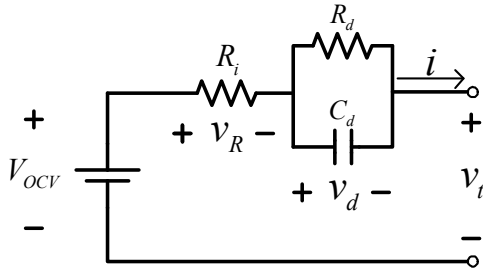


그림 2 테브냉 배터리 모델  
Fig. 2 Thevenin battery model

위 그림 2의 테브냉 배터리 모델에 대해서 전압 및 전류 방정식은 다음 식 (3)~(5)와 같다.

$$V_{OCV} = v_t + v_{R_i} + v_d \quad (3)$$

$$v_R = i \cdot R_i \quad (4)$$

$$i = \frac{v_d}{R_d} + C_d \frac{dv_d}{dt} \quad (5)$$

배터리 모델을 예측 모델로 변환하기 위해서는 이산시간 모델로 변환해야한다. 이산시간 모델로 변환하기 위해서 다음 식 (6)과 같은 전향구형 적분식을 식 (3)~(5)에 적용하였다. 적용하여 변환된 식은 다음 식 (7), (8)과 같다.<sup>[2]</sup>

$$\frac{dv_d}{dt} = \frac{v_d(k+1) - v_d(k)}{T_s} \quad (6)$$

$$i(k) = \frac{1}{R_d} v_d(k) + \frac{C_d}{T_s} v_d(k+1) - v_d(k) \quad (7)$$

$$v_d(k+1) = \frac{T_s}{C_d} i(k) + \left(1 - \frac{T_s}{R_d C_d}\right) v_d(k) \quad (8)$$

식 (8)을 통해 그림 2와 같은 테브냉 모델의 병렬 RC 전압을 예측하게 되면 식 (3)을 통해 OCV를 예측 할 수 있다.

### 2.3 시뮬레이션 결과

시뮬레이션은 본 논문에서 제안한 OCV 예측 기법의 타당성을 검증하기 위해 배터리 모델을 적용하여 PSIM을 통해 수행하였다. 배터리 모델을 이용하여 4.2V, 10Ah 리튬 이온 배터리를 구현하였다.

배터리의 OCV를 묘사하기 위해서 0.2C rate의 방전 전류로 다음 그림 3과 같이 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 빠른 시뮬레이션 수행을 위해서 10시간을 1초로 모의하였다. 묘사된 OCV를 기준으로 제안한 OCV 예측 기법을 적용하였다. 도로 교통법 제2조23에 의거하면 정차 기준시간이 5분으로 정해져있기 때문에 OCV 예측은 전류가 흐르지 않을 때 약 5분간 수행하였다. 수행 결과 다음 그림 4와 같이 OCV가 예측되었다.

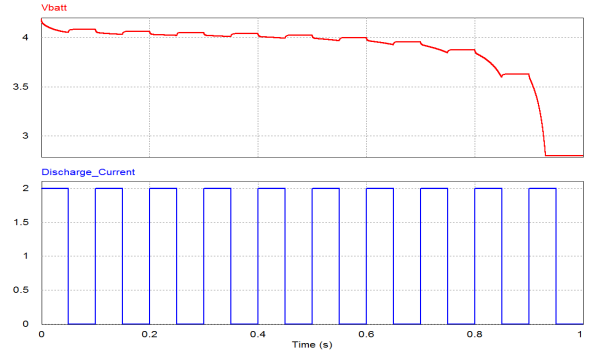


그림 3 묘사된 배터리 전압 전류 파형  
Fig. 3 Depicted battery's voltage current waveform

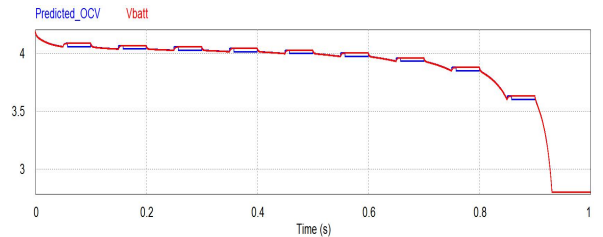


그림 4 예측된 OCV 시뮬레이션 결과  
Fig. 4 Predicted OCV simulation result

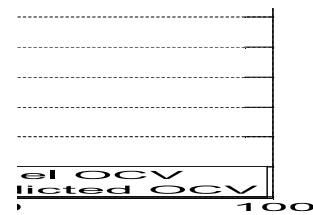


그림 5 묘사된 OCV와 예측된 OCV의 비교  
Fig. 5 Comparison between depicted OCV and predicted OCV

그림 5를 통해 묘사된 OCV와 예측된 OCV를 비교한 결과 약 0.003%의 오차율로 제안한 OCV 예측 기법의 타당성을 증명하였다.

## 4. 결론

본 논문은 배터리 모델을 통한 OCV 예측기법을 제안하였다. 제안한 OCV 예측기법은 예측 모델을 통해 수행되며, 예측 모델은 배터리 모델을 통해 구하였다. 또한 제안한 기법의 타당성은 시뮬레이션을 통해 증명하였다. 향후 제안한 OCV 예측 기법을 통해 짧은 시간 내에 OCV를 예측함으로써 전기 자동차와 같은 온 라인 시스템에 적용이 기대된다.

본 연구는 2012년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(No. 20124010203300)의 지원을 받아 수행한 연구과제입니다.

## 참고 문헌

- [1] Mark Verbrugge, "Adaptive state of charge algorithm for nickel metal hydride batteries including hysteresis phenomena", Journal of Power Sources, Vol. 126, Iss. 1 2, pp. 236 249, Feb., 2004.
- [2] Cortes, P., "Predictive Control in Power Electronics and Drives", IEEE Trans., Ind. Electron., Vol. 55, Iss. 12, pp. 4312 4324, Dec., 2008.