

# PI 상태관측기를 이용한 리튬폴리머 배터리 SOC 추정

이준원, 신규범, 차한주  
충남대학교 전기공학과

## The State of Charge Estimation for Lithium-Polymer Battery using PI Observer

Junwon Lee, Gyubeom Shin, Hanju Cha  
Department of Electrical Engineering, Chungnam National University

### ABSTRACT

본 논문에서는 비례 적분(PI) 제어의 상태관측기를 구성하여 리튬폴리머 배터리의 충전량(SOC)을 추정하는 기법에 대해 설계한 뒤 실험을 통하여 검증하였다. 리튬폴리머 배터리는 1차 R C 등가모델로 단순화하여 표현하였고, PI상태관측기를 Matlab/Simulink에서 설계하였다. 상온(25°C)에서 양방향 DC DC 컨버터를 이용하여 리튬폴리머 배터리에 FTP 72 충·방전 사이클의 전류패턴을 인가한 뒤 SOC 추정기법을 검증하였다. PI상태관측기는 임의의 초기 SOC 상태에서도 오차를 2% 이내로 SOC를 추정하여 모델링 에러나 외란에도 강인한 특성이 있는 것을 확인하였다.

### 1. 서 론

세계적으로 환경오염이 사회적 문제로 대두되면서 친환경차 시장 규모가 증가하고 자동차 업체에서는 HEV/EV 기술개발에 각축을 벌이고 있다. 내연기관 자동차와 다르게 전기차는 배터리가 내재되어 있기 때문에 배터리의 충전량(SOC)과 유효출력을 예측하는 배터리관리시스템(BMS)이 중요한 개발 요소라고 할 수 있다. 배터리의 충전량을 추정하는 방법은 여러 문헌에 소개되어 있다<sup>[1]</sup>. 그 중 구현하기 간편한 전류적산법은 초기 SOC와 센서의 노이즈로 인한 오차가 누적되는 문제가 있다. OCV방법은 긴 휴지 시간이 필요하며, 확장 칼만 필터 방식도 상태변수의 증가에 따라 계산시간이 증가하는 단점이 있다. 본 논문에서는 신뢰성 있게 SOC를 추정하고 연산시간도 길지 않아 실제 구현에도 적합한 PI 상태관측기를 설계하였다. PI상태관측기의 배터리는 단순화 모델로 등가화 하여 상태방정식 형태로 표현하였고 PI 계인을 통하여 단자전압과 추정된 전압과의 에러를 보상하는 피드백 방법으로 SOC를 추정하였다.

### 2. 배터리 모델링

#### 2.1 배터리 모델

배터리의 동적거동을 표현하기 위하여 배터리 내부에서 발생하는 화학적 변화를 나타내는 전기적 등가회로는 그림 1과 같다. 배터리는 내부저항  $R_i$ , 분극현상을 나타내는 충·방전 전류에 의한 이온화 손실저항  $R_d$ , 이중층 커패시턴스  $C_d$ 와 SOC에 따른 비선형 함수로 나타나는 개방회로전압( $V_{OC}$ )로 구성된다.

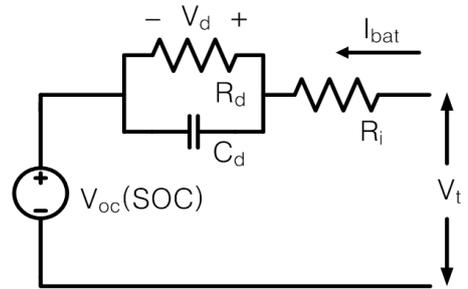


그림 1 1차 R-C 등가회로  
Fig. 1 The 1st order R-C equivalent circuit

등가모델로부터 단자전압  $V_t$ 는 다음과 같다.

$$V_t = V_{oc}(SOC) + V_d + R_i \cdot I_{bat} \quad (1)$$

여기서 분극전압  $V_d$ 와 SOC는 다음과 같이 주어진다. 식 (2)에서  $C_p$ 와  $k$ 는 Peukert용량과 계수이다<sup>[2]</sup>.

$$\begin{cases} \dot{V}_d = -\frac{1}{R_d C_d} V_d + \frac{1}{C_d} I_{bat} \\ \dot{SOC} = \frac{1}{C_p} I_{bat}^k \end{cases} \quad (2)$$

#### 2.2 OCV-SOC 관계

OCV는 SOC에 따라 비선형의 함수로 나타나기 때문에 PI상태관측기를 설계하기 위하여 식 (3)과 같이 선형화하였다.

$$OCV_i = a_i \cdot SOC_i + b_i \quad (3)$$

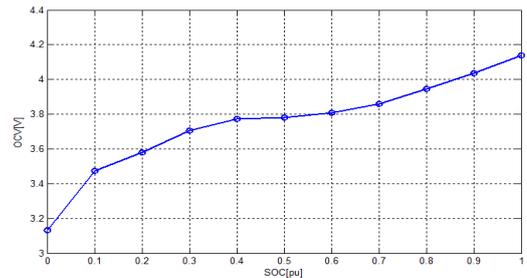


그림 2 리튬폴리머 배터리의 개방회로전압 대비 SOC 커브(25°C)  
Fig. 1 OCV versus SOC curve of LiPB(25°C)

$OCV_i$ 는  $(i-1) \cdot 0.1pu \leq SOC_i \leq i \cdot 0.1pu, 1 \leq i \leq 10$  구간에서의 개방회로전압을 나타낸다.

### 2.3 상태 방정식 표현

상태변수  $x = [V_d \ SOC]^T$  입력  $u = [I_{bat} \ I_{bat}^k]^T$ , 출력  $y = V_t - b_i$  인 상태방정식으로 표현하면 다음과 같다.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu \\ y = Cx + Du \end{cases} \quad (4)$$

여기서

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_d C_d} & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_d} & 0 \\ 0 & \frac{1}{C_p} \end{bmatrix}, C = [1 \ a_i], D = [R_i \ 0]$$

### 3. PI상태 관측기 설계

배터리 동적모델 식 (4)를 이용하여 PI상태관측기를 설계하면 식 (5)과 같다.  $\tilde{x}$ 는 상태변수의 추정치를 의미하며  $w$ 는 배터리 단자전압과 추정된 단자전압 차의 적분으로 정의된다.

$$\begin{cases} \dot{\tilde{x}} = A\tilde{x} + Bu + K_p(y - C\tilde{x} + Nd) + K_i w \\ \dot{w} = y - C\tilde{x} + Nd \end{cases} \quad (5)$$

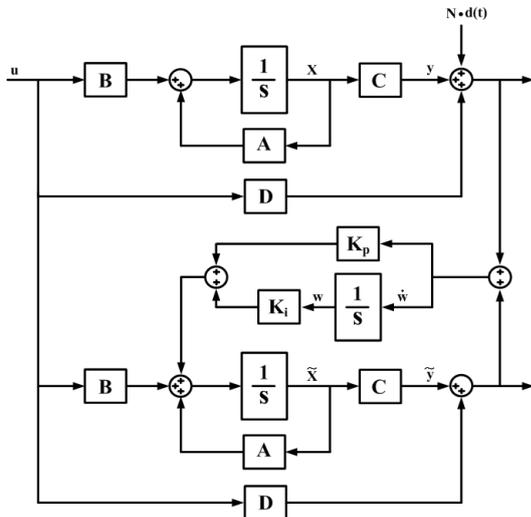


그림 3 PI 상태관측기 블록다이어그램  
Fig. 3 PI Observer block diagram

추정오차를  $e = x - \tilde{x}$ 라 정의하면 오차는 다음의 식 (6)과 같은 오차 동적방정식을 갖는다.

$$\begin{bmatrix} \dot{e} \\ \dot{w} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A - K_p C & -K_i \\ C & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e \\ w \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -K_p N \\ N \end{bmatrix} d \quad (6)$$

여기서  $d$ 는 외부로부터 들어오는 외란을 의미하고 이 외란은 오차에 영향을 미쳐 오차 동적방정식을 안정하게 만드는  $K_p, K_i$ 를 설정해야 한다. 이 때 응답성을 높이기 위해  $K_p$ 를

높게 설정하면 외란의 영향이 상태변수의 추정 오차에 크게 작용하여 SOC 추정능력을 저하시킨다.

### 4. 실험 및 검증

PI상태관측기의 SOC 추정성능을 검증하기 위하여 FTP 72 전류 레퍼런스 5 Cycle을 인가하여 실험을 진행하였고 이 전류 레퍼런스는 양방향 DC DC컨버터를 이용하여 구현하였다<sup>[3]</sup>. 그림 4는 실험으로 취득한 전압, 전류 데이터를 Matlab/Simulink에 구현된 PI상태관측기의 실제전압과 입력으로 적용하여 나타내었을 때 SOC를 추정한 실험 결과이다.

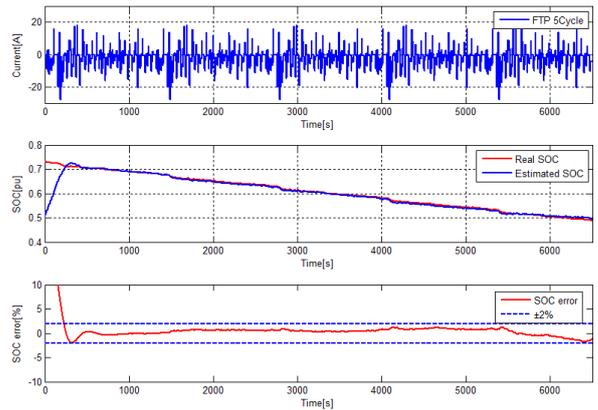


그림 4 PI 상태관측기를 사용한 SOC 추정 결과  
Fig. 4 Estimated SOC using PI Observer

### 5. 결론

본 논문에서는 리튬폴리머 배터리를 1차 R C 등가모델로 단순화하여 표현하였고, PI상태관측기를 Matlab/Simulink에서 설계하였다. 개방회로전압과 SOC의 관계를 0.1pu 간격으로 선형화하여 표현하였으며, 정전류 펄스방전으로 구한 파라미터를 이용하여 상태방정식을 구성하였다. 설계과정을 검증하기 위하여 상온(25°C)에서 양방향 DC DC 컨버터를 이용하여 리튬폴리머 배터리에 FTP 72 충·방전 사이클의 전류패턴을 인가한 뒤 SOC 추정능력을 비교 및 분석하였다. PI상태관측기는 임의의 초기 SOC 상태(0.5pu)에서도 300s 이내에 오차율 2% 안으로 SOC를 추정하였다. 이는 본 논문에서 설계한 PI상태관측기가 모델링 에러나 외란에도 강인한 SOC 추정성능이 있는 것으로 확인된다.

### 참고 문헌

- [1] S. Piller, M. Perrin, and A. Jossen, "Methods for state of charge determination and their applications," J. Power Sources, vol. 96, pp. 113–120, 2001.
- [2] D. Doerffel and S. A. Sharkh. (2006, Apr.). A critical review of using the Peukert equation for determining the remaining capacity of lead acid and lithium ion batteries. J. Power Sources. [Online]. 155(2), pp395–400.
- [3] 이준원, 박치형, 차한주, "온도변화에 따른 리튬폴리머 배터리 모델 검증 및 분석", 전력전자학술대회논문집, 2014.7, pp413~414