

# 비례적분 관측기를 이용한 실시간 잔존용량 추정 알고리즘

김나리, 안정훈, 이병국<sup>†</sup>  
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

## Online State-of-Charge Estimation Algorithm Using Proportional-Integral Observer

Nari Kim, Jung Hoon Ahn, and Byung Kuk Lee<sup>†</sup>  
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문은 추정 정확도를 높이기 위해 비례적분 관측기를 이용한 실시간 잔존용량 추정 알고리즘을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안하는 알고리즘의 타당성을 검증하였고, 초기 잔존용량이 불명확하거나 배터리 모델 파라미터 값이 실제와 일치하지 않더라도 평균 추정오차는 0.3% 미만으로 확인되었다.

### 1. 서론

전기차의 대중화와 함께 연료 게이지 역할을 하는 배터리 충전 상태 (SOC : State of Charge)를 보다 정확하게 추정하기 위해 관련된 다양한 연구가 진행되어 오고 있다.

전류적산법은 가장 간편하고 널리 이용되는 SOC 추정방법이지만 초기 잔존용량에 따른 오차 및 전류의 누적 센싱오차를 갖는 단점이 있다.<sup>[1,2]</sup> 개방회로전압 방법은 간단하지만 긴 휴지 시간을 필요로 하기 때문에 실시간 추정에 부적합하다. 또한 확장 칼만 필터나 관측기 등을 이용한 모델 기반의 추정법은 높은 정확도를 지니지만 계산량이 많은 편이다.<sup>[1,2]</sup>

한편, 관측기는 외란에 강하고 정확도가 높으면서 구현이 용이하다는 장점 때문에 추정 알고리즘에 이용되어져 왔다.<sup>[2,3]</sup> 비례적분 관측기를 이용한 기존연구는 배터리 특성을 제대로 반영하지 못하는 1차 RC모델을 기반으로 하였으며 SOC에 따른 RC파라미터의 변화를 반영하지 않은 한계가 있었다.<sup>[2]</sup> 게다가 물리적으로 측정 불가능한 출력변수로 인해 제어량이 발산할 수 있는 치명적인 문제를 가지고 있다.

본 논문에서는 이러한 한계를 보완하고 정확도를 향상시킨 비례적분 관측기 기반의 실시간 잔존용량 추정 알고리즘을 제시한다. UDDS (Urban Dynamometer Driving Schedule) 전류 프로파일을 이용한 시뮬레이션을 통해 제안 알고리즘의 타당성 및 정확도 개선 여부를 검증하고, 전류적산법과 비교하여 제안하는 알고리즘의 효용성을 증명한다.

### 2. 본론

#### 1.1 배터리 모델링

본 논문에서는 리튬 배터리의 등가회로로 널리 사용되는 그림 1의 2차 RC회로를 기반으로 배터리를 모델링한다.<sup>[1]</sup> 표 1은 상온에서 Kokam사의 27 Ah 리튬이온 배터리로부터 추출한 SOC에 따른 개방회로전압과 RC 파라미터를 나타내며 쿨롱 효

율은 93%로 측정되었다.

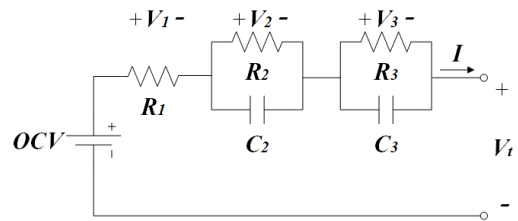


그림 1 2차 RC 배터리 등가회로  
 Fig. 1 2nd RC battery equivalent circuit

표 1 실험 배터리의 추출 파라미터  
 Table 1 Extracted parameters from the experiment battery

SOC [%]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
OCV [V]	2.85	3.42	3.54	3.65	3.74	3.78	3.81	3.89	3.96	4.06	4.18
R1 [mΩ]		3.56	2.52	2.33	2.33	1.89	1.96	1.93	2.00	2.19	
R2 [mΩ]		1.10	0.75	0.45	0.45	0.24	0.29	0.52	0.69	1.02	
C2 [kF]		36.5	47.7	38.1	38.1	54.6	37.7	64.7	41.5	31.8	
R3 [mΩ]		1.05	0.48	0.33	0.33	1.17	1.12	0.26	0.31	0.50	
C3 [kF]		411	681	1309	1309	188	461	3058	1859	813	

#### 1.2 비례적분 관측기 설계

그림 1의 배터리 등가회로를 토대로 비례적분 관측기의 상태 공간식을 식 (1)과 같이 정의하고 그림 2의 추정 알고리즘을 설계하였다. 전류와 단자전압을 각각 입출력변수로 정하고 두 RC에 인가되는 전압과 SOC를 상태변수로 선정함으로써, 기존 1차 RC등가회로보다 배터리 특성을 잘 반영할 수 있도록 하였다.<sup>[1]</sup> 상태변수에 외란을 포함시켜 실제 배터리 동작에 가깝게 배터리를 모사하였고, 개방회로전압 그래프를 이용하여 출력방정식을 구성함으로써 상태변수에 따른 시스템의 출력을 연속적으로 나타냄과 동시에 출력변수를 직관적으로 표현하였다.  $\eta_i$ 와  $C_{batt}$ 은 각각 쿨롱 효율과 배터리 용량을 나타낸다.

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + Bu + w \\ y = f(x, u) = g(x_3) - x_1 - x_2 - R_1 u \end{cases} \quad (1)$$

where

$$x = \begin{bmatrix} \dot{V}_2 \\ V_3 \\ SOC \end{bmatrix}, \quad y = V_t, \quad u = I, \quad g(x_3) = OCV$$

$$A = \begin{bmatrix} -\frac{1}{R_2 C_2} & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{R_3 C_3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, B = \begin{bmatrix} \frac{1}{C_2} \\ \frac{1}{C_3} \\ \eta_i \\ C_{batt} \end{bmatrix}$$

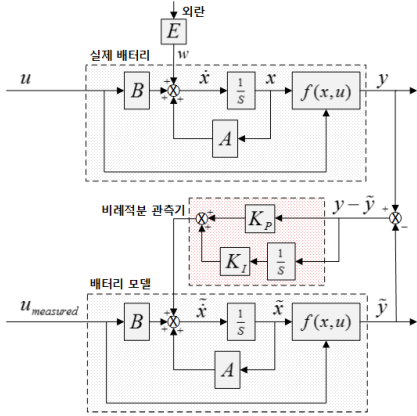


그림 2 비례적분 관측기를 이용한 잔존용량 추정 알고리즘의 블록 다이어그램  
Fig. 2 Block diagram of the SOC estimation algorithm using proportional-integral observer

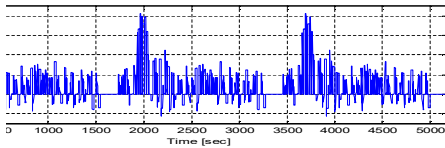


그림 3 도시 동력계 주행계획 전류프로파일  
Fig. 3 UDSS current profile

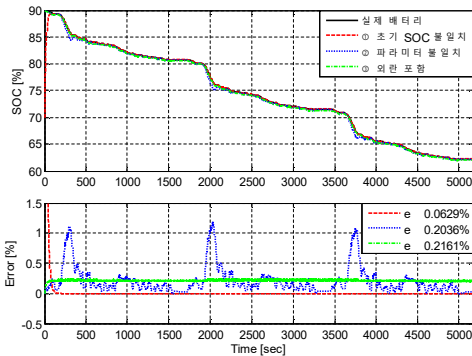


그림 4 제안하는 알고리즘의 추정결과  
Fig. 4 Estimation results of the proposed algorithm

### 1.3 시뮬레이션 결과

그림 3의 UDSS 전류 프로파일을 이용하여 MATLAB / Simulink 상에서 제안하는 잔존용량 추정 알고리즘의 타당성을 검증하였다. 시뮬레이션은 배터리 모델이 실제 배터리의 ① 초기 잔존용량과 일치하지 않을 때 (실제 배터리와 모델의 초기 SOC값이 각각 90%, 70%인 경우)와 ② 파라미터 값이 다를 때 (모델 파라미터 값이 실제와 0.9배 차이 나는 경우)의 두 가지

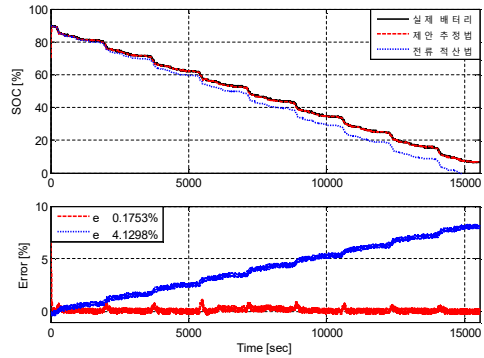


그림 5 제안하는 알고리즘 및 전류적산법의 추정결과 비교  
Fig. 5 Comparison of estimation results between the proposed algorithm and Coulomb-counting method

경우와 ③ 배터리에 사인과 형태의 외란이 존재하는 경우로 나누었다. 그림 4는 그 결과를 나타내며 e는 평균오차를 의미한다. 또한 그림 5는 모델의 초기 잔존용량 및 파라미터 값이 실제와 불일치하고 동시에 배터리에 외란이 포함된 경우 제안 방법과 전류적산법의 추정결과를 보여준다. 이 때 Topstek사의 전류 센서 TN50A의 사양을 기준으로 개인오차와 오프셋을 합하여 전류 센싱오차를 설정하였다. 배터리 사용시간이 길어짐에 따라 전류적산에 따른 오차는 점점 증가하는 반면, 제안하는 알고리즘은 작은 오차를 유지하는 것을 확인할 수 있다.

## 3. 결론

본 논문은 비례적분 관측기를 이용한 높은 정확도의 실시간 배터리 잔존용량 추정 알고리즘을 제안하고 그 타당성을 검증하였다. 제안하는 알고리즘은 초기 잔존용량이 불명확하거나 모델 파라미터 값이 실제와 다르더라도 평균 0.3% 미만의 오차를 가지며 SOC를 추정하였고 강한 외란 특성을 가진다. 비록 모델의 파라미터 값이 정확하지 않으면 전류크기와 함께 오차도 일시적으로 증가하지만, 제안하는 알고리즘은 전류적산법과 달리 배터리 사용시간이 길어져도 높은 정확도를 유지한다.

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

## 참고 문헌

- [1] H. He, "State of Charge Estimation of the Lithium Ion Battery Using an Adaptive Extended Kalman Filter Based on an Improved Thevenin Model", Vehicular Technology, Vol. 60, pp. 1461-1469, 2011, May
- [2] J. Xu, "The State of Charge Estimation of Lithium Ion Batteries Based on a Proportional Integral Observer", Vehicular Technology, Vol. 63, pp. 1614-1621, 2014, May.
- [3] Y. Zhang, "A Comparative Study of Luenberger Observer, Sliding Mode Observer and Extended Kalman Filter for Sensorless Vector Control of Induction Motor Drives", Energy Conversion Congress and Exposition, 2009, September.