

전류적산법을 이용한 SOC 추정 시 오차 발생 요인 분석

조용기, 안정훈, 유승희, 이병국[†]
 성균관대학교 정보통신대학

Error Analysis of SOC Estimation using Coulomb Counting Method

Yong Ki Cho, Jung Hoon Ahn, Seung Hee Ryu and Byoung Kuk Lee[†]
 College of Information & Communication Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문에서는 전류적산법을 이용한 배터리 SOC 추정에 있어 오차를 발생시키는 원인들에 대한 이론적인 분석을 통하여 주요 인자들 중 전류센서, 스케일 변환회로, ADC에서 발생 가능한 오차 발생 요인을 고려한다. 그리고 오차를 반영한 시뮬레이션으로 BMS모형을 구현하여 실제 실험과의 정확성을 판단하고, 오차 발생 비중을 규명한다.

1. 서론

배터리 SOC(State Of Charge)추정을 위해 주로 사용되고 있는 전류적산법(Coulomb Counting Method)은 구현방법이 간단하고, 저비용의 장점을 가지고 있다. 그러나 시간이 지남에 따라 오차율이 증가하는 단점이 존재하므로 정확한 SOC 추정을 위해서 오차가 발생하는 원인에 대한 분석이 필요하다.

본 논문에서는 전류적산법의 각 단계별 오차가 발생하는 지점에 대한 수학적 분석을 기반으로 하여 원인을 파악하고, 발생하는 오차가 전체 SOC 및 측정 전류와 전압 오차에 미치는 영향을 분석한다. 그리고 BMS(Battery Management System) 시뮬레이션 모델을 구성하여 실제 실험과의 비교를 통해 정확성을 검증한 뒤, 주요 인자들에서 발생하는 오차가 전체 시스템에서의 그것에 차지하는 비중을 규명한다.



그림 1. BMS 하드웨어 및 소프트웨어 구성도.
 Fig. 1. Block diagram of BMS hardware and software.

2. BMS 모델링 및 오차 요인 분석

2.1 전류적산법의 단계별 오차 요인 분석

표 1 전류적산법에 사용된 전류센서

Table 1 Current transducer by using coulomb counting method

오차 요인	사용 모델	고려 요소	수학적 분석
순시적 노이즈	LEM사 HAS500 P $I_{PN} = 50 \text{ A}$	10 mV $T = 25 \text{ }^\circ\text{C}$ $V_{OUT \text{ to GND}}$	정규분포함수 ($\pm 3\sigma$ 고려)
선형성(Scale)	$V_{OUT} = \pm 4 \text{ V}$	$< \pm 1\% I_{PN}$	정규분포함수

전류적산법은 그림 1과 같이 구성할 수 있다.^[2] 전류센서를 사용할 때 발생할 수 있는 오차 요인에 대한 정보를 표 1을 이용하여 나타낼 수 있다. 순시적 노이즈는 전류센서 자체의 오프셋 전압과 3σ 의 표준편차를 가지는 확률을 적용한 정규분포함수로 구성하였고, 전압 대비 전류의 스케일 변환 과정에서 결정되는 기울기를 가변범위 $\pm 1\%$ 내의 확률로 결정되도록 구성하였다. 그림 2는 표 1의 사항을 적용한 시뮬레이션 구성도이다.

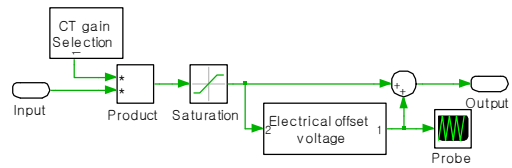


그림 2. 전류센서 구성도.
 Fig. 2. Block diagram of current transducer.

표 2 스케일 변환 회로 고려 사항

Table 2 Consideration of scale transform circuit

오차 요인	사용 모델	고려 요소	수학적 분석
입·출력	Op amp	$V_{IN \text{ OFFSET}} : 2 \text{ mV}$	입·출력
오프셋 전압	LM2904	$V_{OUT \text{ OFFSET}} : 2 \text{ mV}$	전달식 적용
저항 오차	1/4 W	생산 시 결정 ($\pm 1\%$)	정규분포함수

전류센서를 통해 얻은 전압을 DSP의 입력으로 인가하기 위해 스케일 변환과정을 거쳐야 한다. 이러한 과정은 Op amp와 저항을 사용하여 구성할 수 있으며, 위의 표 2에 나타난 사항을 적용하여 그림 3과 같이 시뮬레이션으로 구성할 수 있다. Op amp는 전압을 미 인가 시 자체적으로 가지고 있는 입·출력 오프셋 전압과 저항 생산 시 발생하는 오차를 저항 크기의 $\pm 1\%$ 의 범위에서 발생하도록 정규분포함수로 구현할 수 있다.

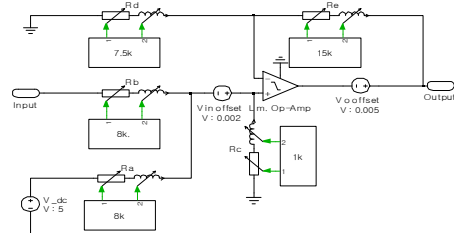


그림 3. 스케일 변환 회로 구성도.
 Fig. 3. Block diagram of scale transform circuit.

마지막으로 ADC에서 발생하는 오차를 고려하기 위하여 레

졸루션에 따른 비트 (Bit)단위 오차확률을 계산한다.^[1] 실제 DSP에 인가되는 순시적인 평균 전압값과 표준편차를 이용하여 ADC 오차확률을 예측할 수 있다.

2.2 시뮬레이션 모델링 구현 및 정상동작 모의 실험

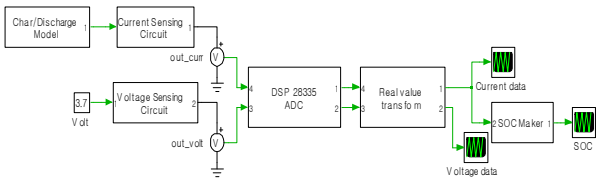


그림 4. BMS 시뮬레이션 구성도.
Fig. 4. Block diagram of BMS simulation.

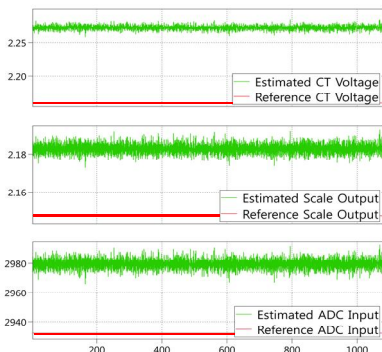
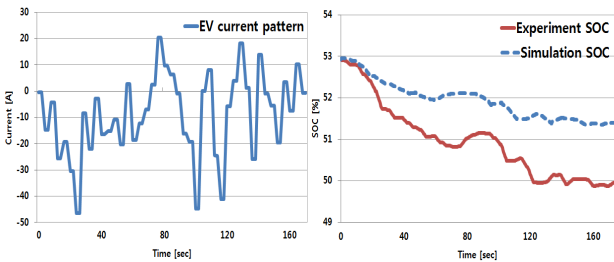


그림 5. BMS 시뮬레이션 구성도.
Fig. 5. Block diagram of BMS simulation.



(a) EV 전류 프로파일 (b)주행 패턴 적용 시 SOC 비교
그림 6. BMS 모델링과 실측 실험 SOC의 비교.
Fig. 6. Comparison of BMS modeling and experiment SOC.

그림 4와 같이 시뮬레이션으로 구성된 BMS 모델에 1C (27 A)를 인가 시 각 단계별 기준전압과 추정값을 그림 5를 통해 확인할 수 있다. 오차 요인을 고려함으로써 오프셋과 순시적인 노이즈에 의해 센싱 전압간에 오차가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 시뮬레이션을 바탕으로 그림 6(a)와 같이 EV 주행 패턴을 적용하여, SOC 추정 시 그림 6(b)와 같이 나타난다. 실험을 통해 얻은 SOC와 시뮬레이션의 오차는 약 1.45%로 나타났는데 오차 발생 요인들은 매 시뮬레이션 동작 시 가변하므로 오차의 크기 또한 고정값으로 나타나지 않는다. 따라서 시뮬레이션은 다양한 모의실험을 통해 결과를 예측할 수 있는 지표로 활용이 가능하다.

2.3 전체 오차발생에 미치는 단계별 오차의 비중 분석

C rate에 따른 단계별 오차율을 비교하면 다음 그림 7과 같다. 전류센서의 오차는 낮은 C rate에서 상대적으로 전압 대비 전류의 비율변화가 크기 때문에 발생확률이 증가하게 되고, 오프셋 전압의 영향 추가 시 증가폭은 더욱 커진다. 반면, 스케일 변환회로는 산술적 평균 오차비중이 약 5.8~8.5%, ADC는 약 0.1~1%로써 전류센서 (약 90.9~94.1%)에 비하여 상대적으로

미미하다는 것을 확인할 수 있다.

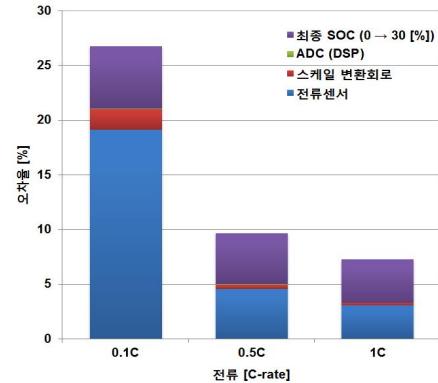


그림 7. 가변 C-rate에서의 각 단계별 오차율 그래프.
Fig. 7. Error ratio graph of stage at variable C-rate.

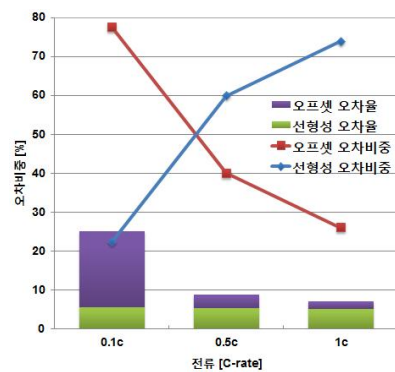


그림 8. 전류센서의 오차발생 요인 비중.
Fig. 8. Error factor weight of current transducer.

3. 결론

본 논문에서는 기존의 전류적산법으로 SOC 추정 시 발생하는 오차에 대한 단계별 원인 분석을 진행하였다. 정확한 분석을 위해 수학적으로 하드웨어 및 소프트웨어를 분석하고, 이를 바탕으로 BMS 모델링을 실시하였다. 낮은 C rate에서 전체적인 오차율은 증가하게 되며 오차발생의 주요 요인은 전류센서로써 그림 8과 같이 오프셋과 선형성의 비중은 전류의 크기에 따라 반비례하게 된다. 따라서 낮은 C rate에서의 오차율을 감소시키기 위해 저전류 정밀 전류센서를 병렬적으로 사용하는 방법이 있다. 이러한 오차요인들을 고려하여 현재 하드웨어 및 소프트웨어적 보상 알고리즘을 연구 진행 중이다.

본 연구는 산업통산자원부 및 방위사업청의 민군겸용기술사업 (Dual Use Technology Program)의 지원을 받아 진행되었음

참고 문헌

[1] Pawel Niewczas, "Error Analysis of an Optical Current Transducer Operating with a Digital Signal Processing System," *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement.*, vol. 49, NO. 6, pp. 1254-1259, Dec. 2000.
[2] Kong Soon Ng, "An enhanced coulomb counting method for estimating state of charge and state of health of lead acid batteries," *Telecommunications Energy Conference*, pp.1-5, Oct. 2009.