

배터리 모델링 및 SOC 추정기법 비교 연구

장기욱, 김혁진, 정교범
홍익대학교 대학원 전기공학과

Comparison of Battery Modelings and SOC Estimation Methods

Kiwook Jang, Hyeokjin Kim, Gyo-Bum Chung

Department of Electrical Engineering, Graduate School, Hongik University

ABSTRACT

주위 온도, 사용연한 및 운전점 등에 의해서 동작특성이 변화되는 배터리의 SOC(State of Charge)를 정확하게 추정하는 것은 매우 어려운 과제이다. SOC를 추정하기 위해서는 배터리의 복잡한 비선형적인 특성을 고려한 등가 모델의 개발이 필요하다. 본 논문은 SOC 추정을 위해 최근까지 수행되었던 연구를 검토하고, SOC 추정을 위해 개발된 배터리 모델 및 추정기법을 비교·분석하고, PSIM 시뮬레이션 연구 결과를 제시한다.

1. Introduction

최근 화석 에너지의 고갈, 환경 오염 문제로 인한 대책으로 환경 친화적인 에너지원에 대한 필요성이 증가하고 있다. 전기 에너지를 저장하여 사용할 수 있는 배터리는 UPS(Uninterrupt Power System), 휴대폰, 전기 자동차, 하이브리드 자동차 등 다양한 분야에서 사용되고 있다.^[1]

배터리를 사용하고 있는 대부분의 시스템에서 배터리의 충전방전에 대한 정보를 아는 것은 중요한 과제이다. 특히, 하이브리드 자동차에 사용되고 있는 BMS(Battery Management System)는 주행 중에도 수시로 충전과 방전을 수행하여 배터리의 SOC에 대한 정보를 사용자에게 정확하게 전달해야만 한다.^[6] 현재 배터리의 SOC를 추정하기 위한 다수의 연구가 진행되고 있는 실정이다.^{[7],[8]}

따라서 본 논문에서는 최근까지 SOC 추정을 위해 개발된 배터리 모델 및 추정기법의 장·단점을 비교 및 분석하여 향후 배터리 모델 개발 및 추정기법 적용, 연구에 활용하고자 한다.

2. Battery Modeling

배터리의 고유특성 및 동작특성에 영향을 주는 요소들을 고려한 배터리 모델링에 관한 연구가 활발히 진행되어 왔다.^{[3],[4]}

2.1 Thevenin Model

그림 1은 Thevenin Model^[3]을 나타낸다. Thevenin Model은 내부 저항 R_i , 배터리 내부의 전기화학적 반응에 의한 비선형적인 동작특성을 나타내는 R_d 와 C_d , 그리고 부하가 연결되지 않은 상태에서의 전압 V_{ocv} 로 구성된다. 기본적인 형태의 Thevenin Model은 R 과 C 로 구성된 파라미터들이 온도, SOC

와 같은 배터리 상태에 영향을 받음에도 불구하고, 상수로만 표현되는 문제점이 있다.

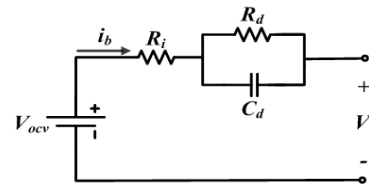


그림 1 Thevenin Model

2.2 Resistive Thevenin Model

그림 2는 Resistive Thevenin Model^[4]을 나타낸다. Resistive Thevenin Model의 파라미터 R_c , R_d 는 배터리의 충전 과정 및 방전 과정에서의 다른 에너지 손실 특성을 나타낸다. 그러나 Resistive Thevenin Model은 Capacitance 성분에 의한 과도상태를 표현하지 못하는 문제점이 있다.

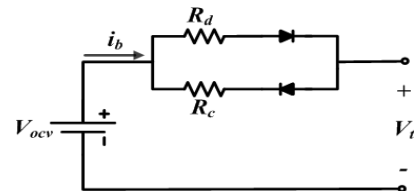


그림 2 Resistive Thevenin Model

2.3 Impedance based Model

그림 3은 Impedance based Model^[6]을 나타낸다. Impedance based Model은 파라미터 R_{series} , L_{series} , 그리고 배터리의 전기적 특성을 나타내기 위한 RC성분의 임피던스 Z_{AC} 로 구성된다. RLC 소자를 이용한 등가회로를 이용하여 비교적 정확한 배터리의 비선형적인 동작특성을 나타낼 수 있지만, DC응답 및 과도상태 응답은 제한되며, 특정 SOC와 온도에서의 배터리 동작특성을 반영한다.

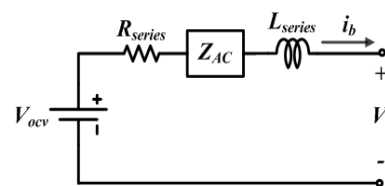


그림 3 Impedance based Model

3. SOC Estimation Methods

3.1 Coulomb Counting Method

Coulomb Counting Method^[1]은 식 (1)과 같으며, 배터리의 충·방전 전류를 적분하여 현재 충전상태를 계산하는 방법이다.

$$SOC_t = SOC_{t_0} + \frac{1}{C_n} \cdot \int_{t_0}^t I \cdot dt \quad (1)$$

여기서 SOC_t 는 시간 t 에서의 SOC, SOC_{t_0} 는 시간 t_0 에서의 SOC, C_n 은 배터리 정격용량, I 는 배터리 전류를 나타낸다.

Coulomb Counting Method는 측정이 쉽고 비교적 정확하지만, 전기자동차나 하이브리드자동차와 같은 순간적인 충·방전이 일어나는 동적 시스템에는 누적오차가 커져 적합하지 못하다.

3.2 Open Circuit Voltage Method

OCV Method^[2]는 측정이 쉽고 비교적 신뢰할 수 있는 결과를 얻을 수 있지만, OCV를 측정하기 위해 배터리가 안정 상태에 도달하기 위해서는 충분한 휴식시간이 필요하므로 실시간 측정이 불가능하다. 일반적으로 OCV Method는 다른 SOC 추정기법들과 결합되어 사용된다. 충방전과정에서 OCV는 히스테리시스 특성을 가지므로, Takacs model을 사용하여 SOC를 추정하기도 한다.^[8]

3.3 Kalman Filter Estimation Method

Kalman Filter Estimation Method^{[5],[7]}는 추정하고자 하는 시스템에 대한 수학적 모델과 실제 측정된 계측치를 이용하여 상태변수를 추정하는 방법이다. 측정에러에 강인하지만, 신뢰할 수 있는 추정을 위해서 시스템에 대한 적절한 모델링이 요구되며, 상태변수가 많아질수록 계산량이 많아지는 문제가 있다.

3.4 Electrochemical Impedance Spectroscopy Method

EIS(Electrochemical Impedance Spectroscopy) Method^[6]는 측정대상에 대한 임피던스 스펙트럼 결과를 물리적인 의미를 지닌 등가 임피던스 모델을 표현하고, 얻어진 모델 파라미터로부터 배터리의 SOC를 추정하는 방법이다. 비교적 정확한 추정 결과를 얻을 수 있지만, 온도에 민감하고 실시간 사용이 불가능하며 고가의 측정 장비가 필요하다.

4. Simulation Using Kalman Filter

본 논문에서 제안한 여러 가지 배터리 모델링 및 SOC 추정

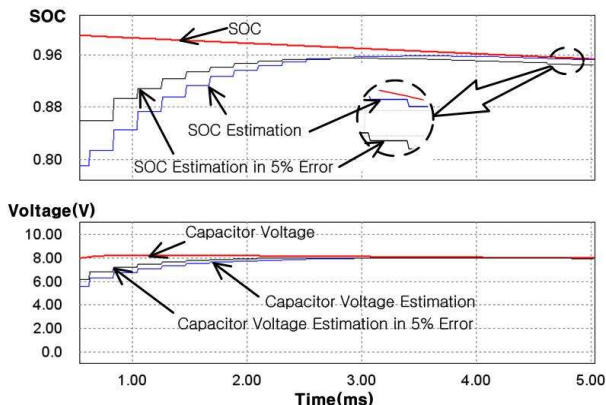


그림 4 SOC 추정을 위한 PSIM 시뮬레이션 결과

기법을 비교/평가하기 위하여 PSIM 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4는 그림 1의 Thevenin Model과 Kalman Filter Estimation Method를 이용하여 SOC를 추정하기 위해서 PSIM 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 배터리 모델은 $R_i=1\pm 10\%$, $\Omega R_d=10\Omega$, $C_d=10\mu F$ 으로 설정하였고, V_{ocv} 는 0~10V 영역에서 SOC와 선형적인 관계로 설정하였다. Kalman Filter의 Sampling Time은 200 μs 이고, Covariance는 $R_0=0.001$, $Q_0=0.001$ 로 설정하였으며, Kalman Filter는 배터리 모델링에 10%정도의 오차를 가진 경우에 SOC를 1% 오차범위 내에서 추정하고, Capacitor 전압에 대해서는 오차 없이 추정하였다.

5. 결론

배터리 SOC 추정을 위해 최근까지 개발된 배터리 모델 및 SOC 추정기법을 비교·분석하였다. 검토된 배터리 모델들은 R-L-C 파라미터를 이용하여 배터리의 비선형적인 동작특성을 반영하였다.

본 논문에서 검토한 배터리 모델 및 SOC 추정기법들은 온도, 사용연한 등과 같은 외부조건에 영향을 받는다. 따라서 좀 더 다양한 환경에서 사용될 수 있는 배터리 모델 및 SOC 추정기법의 개발이 필요하다.

“본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음” (NIPA-2009-(C1090-0904-0007))

참고 문헌

- [1] S. Piller, M. Perrin, A. Jossen, "Methods for State-of-charge Determination and Their Applications", Journal of Power Sources, Vol. 96, pp.113-120, Jun. 2001
- [2] I. Snihir, W. Rey, E. Verbitsky, A. B. Ayeb, P. H. L. Notten, "Battery Open-Circuit Voltage Estimation by a Method of Statistical Analysis", Journal of Power Sources, Vol. 159, pp.1484-1487, Sep. 2005
- [3] Min Chen, Gabriel A. Rincon-Mora, "Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I_V Performance", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 21, No. 2, pp.504-511, June, 2006
- [4] H. L. Chan, D. Sutanto, "A New Battery Model for Use with Battery Energy Storage Systems and Electric Vehicles Power Systems", Proceeding of IEEE/PES Winter Meeting, vol. 1, pp.470-475, Jan. 2000
- [5] G. Plett. et. al, "Extended Kalman Filtering for Battery Management Systems of LiPB-based HEV Battery Packs Part1: Background." Journal of Power Sources, Vol. 134, pp.252-261, Aug. 2004
- [6] S. Buller, M. Thele, E. Karden, R. W. D. Doncker, "Impedance-based Non-linear Dynamic Battery Modeling for Automotive Applications", Journal of Power Sources, vol. 113, pp.422-430, Jan. 2003
- [7] J. Lee, O. Nam, B.H. Cho, "Li-ion Battery SOC Estimation Method Based On The Reduced Order Extended Kalman Filtering", Journal of Power Source, Vol. 174, pp.9-15, Sep. 2007
- [8] N. A. Windarko, J. Choi, "SOC Estimation Based On OCV For NiMH Batteries Using An Improved Takacs Model," Journal of Power Electronics, Vol. 10, No. 2, pp.181-186, Mar. 2010