

HEV 시스템을 위한 확장 칼만 필터(EKF)를 이용한 배터리(LiPB)의 충전 상태(SOC) 추정

강태규*, 임상민*, 최재호*, Novie Ayub Windarko**
충북대*, Polytechnic Institute of Surabaya, Indonesia**

Battery SOC Estimation Using Extended Kalman Filter for HEV System

Taekyu Kang*, Sangmin Lim*, Jeaho Choi*, Novie Ayub Windarko**
Chungbuk National University*, Polytechnic Institute of Surabaya, Indonesia**

ABSTRACT

본 논문은 확장 칼만 필터(EKF)를 이용하여 배터리의 SOC(State of Charge) 추정 방법을 제안하였다. EKF는 정확한 모델에서만 제대로 동작 할 수 있다. 따라서, 본 논문은 EKF의 적용을 위해 높은 정확도를 가진 전기적 배터리 모델에 대해 설명한다. 배터리는 Bulk 커패시터, 두 개의 RC회로, 직렬 저항을 사용하여 모델링하였다. EKF를 모델에 적용하기 위해 커패시터 전압은 개방 회로 전압(OCV)을 나타내는데 사용된다. EKF는 충/방전 기기인 Maccor 8500에 의해 얻은 실험 데이터로 테스트하였다. 테스트 결과에서 추정의 오차가 최대 5% 정도로 줄일 수 있다는 것을 보여준다.

1. 서 론

최근 화석 연료의 고갈과 고유가로 인하여 친환경적으로 높은 연비를 가진 전기 자동차 및 하이브리드 자동차에 대한 관심이 증대되고 있다. 이에 따라 리튬 배터리의 수요도 증가 추세에 있다. 자동차에 사용되는 전기 모터 등의 부하가 필요로 하는 전력량은 배터리의 방전 가능 출력과 관련이 깊다.

배터리의 이용 가능한 출력은 배터리 충전량인 SOC(State of Charge)로부터 얻어지기 때문에 정확한 SOC 추정이 필요하다.

본 논문은 SOC를 추정하기 위해 확장 칼만 필터(EKF)를 제안한다. EKF는 개방 회로 전압(Open Circuit Voltage)를 추정하는 다음에 SOC로 변환 시키는 방법을 제안한다. 모델은 대용량을 커패시터와 2개의 RC회로, 직렬 저항으로 구성되어 있다. EKF의 성능은 배터리 모델링에 많은 영향을 주는 우세한 파라미터 하나를 선택함으로써 향상되어진다. 본 논문에서는 대용량 커패시터는 배터리 전압에 크게 영향을 미치게 된다. 따라서 대용량 커패시터를 SOC 값에 따라서 변화하는 파라미터로 선택하였다. 또한, EKF 알고리즘은 전체 영역의 SOC와 다양한 충/방전 C rate에서 테스트 되었다.^[1]

2. 배터리의 전기적 모델링

실험에 사용된 리튬 폴리머 전지는 4.2V, 40Ah의 전지를 사용 하였다. 실험은 30°C의 온도조건에서 수행되었다. 제안된 전지의 전기적 등가회로는 OCV, 내부 저항, 2개의 RC회로로

구성되어있다. 그리고 실험 데이터를 기반으로 파라미터 값을 결정하였다.^{[2][3]}

개방 회로 전압은 10%간격의 SOC를 일정한 펄스 전류를 적용함으로써 측정되었다. 개방 회로 전압 곡선은 충/방전 C rate에 의해 거의 영향을 받지 않는다는 것을 테스트를 통해 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 리튬 타입의 전지에 대해서만 고려 할 수 있다.

제안된 배터리 모델을 시뮬레이션에 적용하였을 때 시뮬레이션과 실험 데이터의 오차는 최대 5%이내 이며 최대 절대 평균 오차는 5.5mV까지 줄일 수 있다.

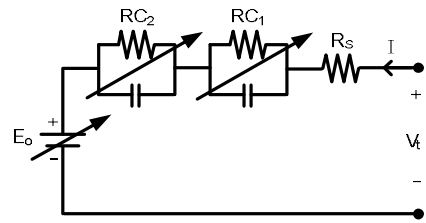


그림 1 배터리의 등가회로 모델
Fig. 1 Proposed RC network for Li-Ion Polymer

3. 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 추정

칼만 필터(KF)는 과거의 측정데이터와 새로운 측정데이터를 사용하여 데이터에 포함된 노이즈를 제거시켜 새로운 결과를 추정하는데 사용하는 알고리즘이다. 이러한 칼만 필터(KF)와 확장 칼만 필터(EKF) 알고리즘은 참고 문헌을 참고 한다.^{[1][4]}

EKF를 적용하기 위한 전기적 모델은 그림 2와 같다. 모델은 OCV를 나타내는 Bulk 커패시터, 과도 응답을 나타내는 2개의 RC회로, 선형응답을 나타내는 내부 저항으로 구성되어 있다.

EKF는 재귀적 연산을 하는 비선형 시스템을 위한 최적 상태 추정 알고리즘이다. 재귀적 연산을 하기 위해서는 EKF는 이산 시간 상태 공간 방정식의 형태로 적용해야한다. 따라서 방정식은 이산 시간 형태로 변환되어야 한다. 2개의 RC회로의 전압 방정식과 Bulk 커패시터의 이산 시간 형태는 아래와 같다.

$$V_{C1(k+1)} = V_{C1(k)} \left(1 - \frac{T}{R_1 C_1} \right) + \frac{T I_k}{C_1} \quad (1)$$

$$V_{c_2(k+1)} = V_{c_2(k)} \left(1 - \frac{T}{R_2 C_2} \right) + \frac{T^* I_k}{C_2} \quad (2)$$

$$V_{c_b(k+1)} = V_{c_b(k)} + \frac{T^* I_k}{C_b} \quad (3)$$

여기서, T는 샘플링 시간이다.

EKF의 형태를 따름으로써, 시스템의 상태 방정식은 $x_1=V_{c_1}$, $x_2=V_{c_2}$, $x_3=V_{c_b}$ 로 나타낼 수 있다. 배터리의 모든 상태는 직접적으로 측정할 수 없다. 그러나 입력 I와 측정된 출력 V_t 는 직접적으로 측정할 수 있다. 배터리의 상태 공간 방정식과 측정 방정식은 아래와 같다.

$$\begin{bmatrix} x_{1(k+1)} \\ x_{2(k+1)} \\ x_{3(k+1)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 - \frac{T}{R_1 C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 1 - \frac{T}{R_2 C_2} & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{1(k)} \\ x_{2(k)} \\ x_{3(k)} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \frac{T}{C_1} \\ \frac{T}{C_2} \\ \frac{T}{C_b} \end{bmatrix} I_k \quad (4)$$

$$m_k = V_{t(k)} = x_{1(k)} + x_{2(k)} + x_{3(k)} + i_k^* R_s \quad (5)$$

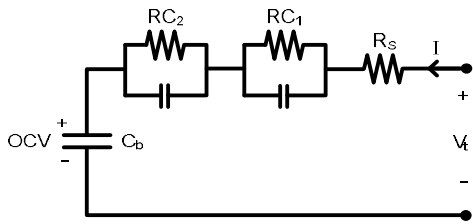


그림 2 EKF 적용을 위해 제안된 모델
Fig. 2 Battery model with RC network

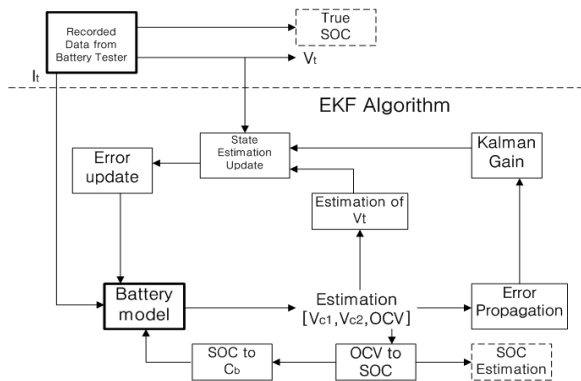


그림 3 확장 칼만 필터(EKF) 알고리즘
Fig. 3 EKF Algorithm with single dominant varying parameter of bulk capacitance

4. 결 과

실제적인 조건에서 확장 칼만 필터의 성능을 증명하기 위해, 다양한 충/방전 전류 사이클에서 테스트 되었다. 그림 4는 시뮬레이션 결과를 보여준다. 결과로부터 다양한 전류에서도 잘 추정한다는 것을 확인 할 수 있다. SOC 추정 에러는 최대 5% 이내의 오차가 발생하였다.

5. 결 론

배터리의 SOC를 추정하기위해, 배터리의 전기적 모델링을 기반으로 확장 칼만 필터를 제안하였다. 배터리의 전기적 모델은 내부저항, 2개의 RC 회로, Bulk 커패시터로 구성되어있다. 대용량 커패시터는 OCV의 전압을 나타낸다. SOC는 OCV를 OCV SOC의 관계에 의해서 변환함으로써 추정 할 수 있다. EKF는 배터리에 가장 큰 영향을 주는 파라미터 하나를 선택함으로써 EKF의 정확도를 더욱 높이게 되었다.

다양한 전류와 모든 SOC 영역에 걸친 테스트에 의해 제안된 모델을 증명하였다. 따라서, 제안된 방법은 풍력 발전과 같은 역동적인 동작과 광범위한 SOC영역을 포함하는 에너지 저장 시스템에 적용 할 수 있다. 그러나 추정 성능을 유지하기 위해서는 과워플한 파라미터를 선택해야 할 것이다.

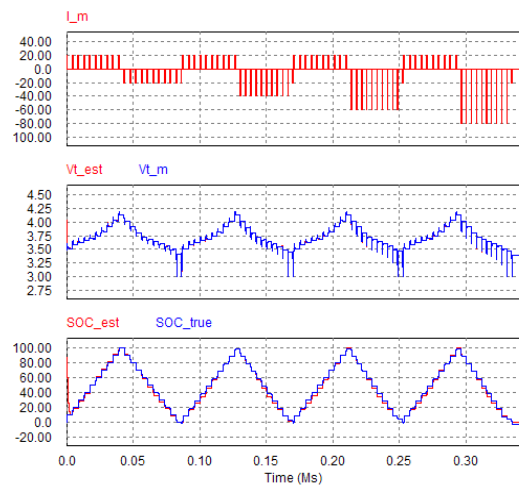


그림 4 실험 및 시뮬레이션 결과 비교(0.5C-rate)
Fig. 4 Experimental data and estimation from EKF with 0.5C charging rates and various discharging rates

참 고 문 헌

- [1] Novie Ayub Windarko, Jaeho Choi, Gyo Bum Chung, "Battery SOC Estimation Using Extended Kalman Filter based on high accuracy electrical model", ICPE 2011 ECCE Asia, pp. 2015-2022, 2011.
- [2] Suleiman Abu Sharkh, and Dennis Doerffel, "Rapid test and non linear model characterisation of solid state lithium ion batteries," Journal Power Sources, vol. 130, pp. 266-274, 2004.
- [3] V. Pop, H. J. Bergveld, J. H. G. Ophet Veld, P. P. L. Regtien, D. Danilov, and P. H. L. Notten, "Modeling Battery Behavior for Accurate State of Charge Indication," Journal of The Electrochemical Society, 153 (11), A2013-A2022, 2006.
- [4] J. Lee, O. Nam, and B.H. Cho, "Li ion battery SOC estimation method based on the reduced order extended Kalman filtering," Journal of Power Sources, Vol. 174, pp. 9-15, 2007.