

배터리 관리를 위한 이중 확장 칼만 필터(Dual EKF)를 이용한 배터리(LiPB)의 충전 상태(SOC) 및 건강 상태(SOH) 추정

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

Battery SOC and SOH Estimation Using Dual Extended Kalman Filter for Battery Management

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

ABSTRACT

본 논문은 리튬 폴리머 배터리의 수명 감소에 대한 경향성 테스트를 토대로 이중 확장 칼만 필터(Dual EKF)를 이용하여 배터리의 SOC(State of Charge) 및 SOH(State of Charge) 방법을 제안하였다. 배터리에 수명에 따른 임피던스 변화를 테스트를 수행함으로써 등가회로 모델상에서 수명에 따른 변화가 가장 큰 내부 저항을 선택함으로써 배터리의 SOH 추정을 위해 선택하였다. 배터리 모델은 4.2V, 1440mAh의 리튬폴리머 전지에서 추출되었다. 배터리는 Bulk 커패시터, 두 개의 RC회로, 직렬 저항을 사용하여 모델링하였다. Dual EKF를 모델에 적용하기 위해 커패시터 전압은 개방 회로 전압(OCV)을 나타내는데 사용된다. Dual EKF는 충/방전 기기인 TOSCAT 5200에 의해 얻은 실험 데이터로 테스트하였다.

1. 서 론

최근 화석 에너지의 고갈, 환경오염 문제로 인한 대책으로 환경 친화적인 에너지원에 대한 필요성이 증가하고 있다. 전기 에너지를 저장하여 사용할 수 있는 배터리는 휴대폰, 전기 자동차(EV : Electric Vehicle), 하이브리드 자동차(HEV : Hybrid Electric Vehicle), 배터리 에너지 저장 시스템(BESS : Battery Energy Storage System) 등 다양한 분야에서 사용되고 있다. 배터리를 사용하고 있는 대부분의 시스템에서 배터리의 충·방전에 대한 정보는 중요하다. 최근 연구개발이 활발히 진행되는 전지자동차, 하이브리드 자동차, 스마트 그리드 분야에서는 효율적인 관리를 위해서 충전 상태(SOC : State of Charge) 및 건강 상태(SOH : State of Charge)의 정확한 추정이 중요한 문제이다.

본 논문은 SOC와 SOH를 추정하기 위해 이중 확장 칼만 필터(Dual EKF)를 제안한다. Dual EKF는 개방 회로 전압(Open Circuit Voltage)를 추정한 다음에 SOC로 변환시키는 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. 또한, SOH 추정을 위해 선행 테스트를 통해 경향성 테스트를 통해 수명에 따라 변화가 큰 내부 저항을 하나 선택함으로써 Dual EKF를 통해 추정하였다.^[1]

2. 배터리의 전기적 모델링

실험에 사용된 리튬 폴리머 전지는 4.2V, 1440mAh의 전지를 사용하였다. 제안된 전지의 전기적 등가회로는 OCV, 내부 저항, 2개의 RC회로로 구성되어있다. 그리고 실험 데이터를 기반으로 파라미터 값을 결정하였다.^{[2][3]}

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%이내이며 최대 절대 평균 오차는 5.5mV까지 줄일 수 있다.

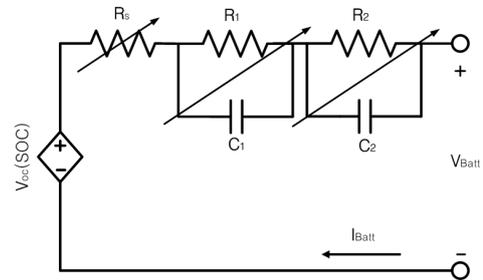


그림 1 배터리의 등가회로 모델
Fig. 1 Proposed RC network for Li-Ion Polymer

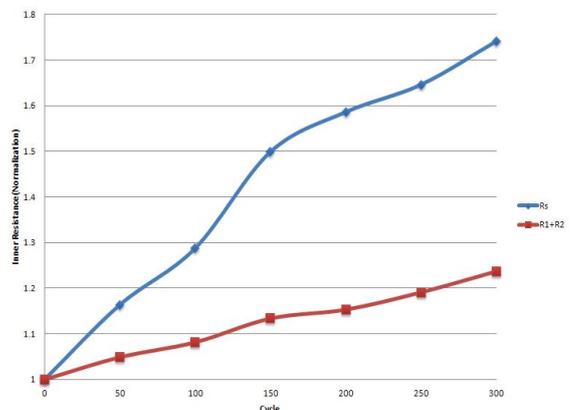


그림 2 수명에 따른 내부저항의 변화
Fig. 2 The changing trend of internal resistance

3. 배터리의 내부 저항 특성

배터리의 수명에 따라 내부 임피던스의 변화를 살펴보기 위해 경향성 테스트를 진행하였다. 단 cell 상태의 리튬 폴리머 배터리를 완전 충전과 완전 방전을 수행하면서 매 50사이클마다 그림 1의 등가회로 모델에서의 R_s , R_1+R_2 저항 값을 추출하였다. 가장 안정적인 SOC 영역이 40%~60% SOC 구간에서 내부 저항의 값을 추출하였다. 그림 2와 같이 300사이클의 테스트 동안 R_s 의 값이 변화가 상대적으로 크기 때문에 SOH 추정을 위한 파라미터로 선정하였다.

4. Dual 확장 칼만 필터를 이용한 SOC 및 SOH 추정

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

EKF를 적용하기 위한 전기적 모델은 그림 3과 같다. 모델은 OCV를 나타내는 Bulk 커패시터, 과도 응답을 나타내는 2개의 RC회로, 선형응답을 나타내는 내부 저항으로 구성되어 있다. 추가적으로, SOH를 추정하기 위해 weight filter는 R_s 값을 추정한다. 이중 확장 칼만 필터(Dual EKF) 알고리즘은 그림 4와 같다.

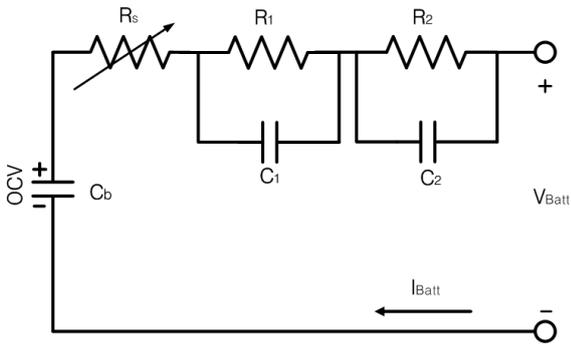


그림 3 Dual EKF 적용을 위해 제안된 모델
Fig. 3 Battery model with RC network

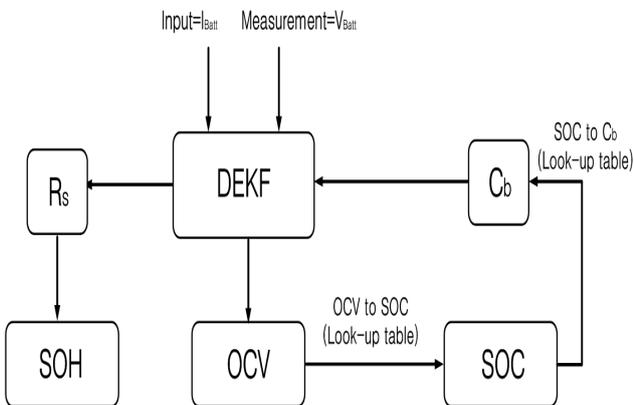


그림 4 이중 확장 칼만 필터(Dual EKF) 알고리즘
Fig. 4 Schematic of SOC and SOH Estimation

5. 결론

배터리의 SOC 및 SOH를 추정하기 위해, 배터리의 전기적 모델링을 기반으로 이중 확장 칼만 필터를 제안하였다. 배터리의 전기적 모델은 내부저항, 2개의 RC 회로, Bulk 커패시터로 구성되어 있다. 대용량 커패시터는 OCV의 전압을 나타낸다. SOC는 OCV를 OCV SOC의 관계에 의해서 변환함으로써 추정할 수 있다. SOH는 R_s 값을 추정함으로써 예측되어질 수 있다. 하지만 SOH 추정을 위해서는 충·방전시 임피던스 측정에 관한 다양한 실험과 또 그와 관련된 데이터의 확보와 많은 연구가 필요하다.

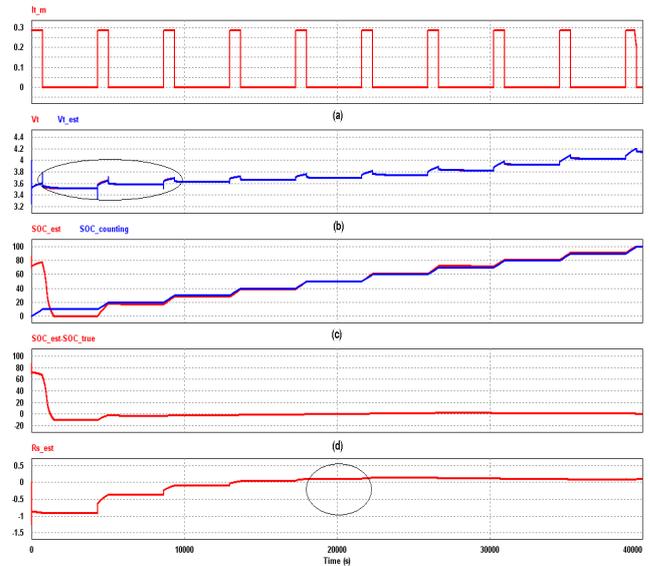


그림 5 실험 및 시뮬레이션 결과 비교
Fig. 5 Experimental data and estimation

참고 문헌

- [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] S. J. Lee, J. H. Kim, J. M. Lee, et al., "The State and Parameter Estimation of an Li Ion Battery Using a New OCV SOC Concept," in Proc. of IEEE Power Electronics Specialists Conference, 2007.