

배터리 셀 파라미터 추정을 이용한 배터리 팩의 충방전 관리

윤성현, 전창윤, 조보형
서울대학교 전기·정보공학부

Battery Pack Power Management Using Cell Parameter Estimation

Sunghyun Yoon, Chang Yoon Chun, and Bo Hyung Cho

Department of Electrical and Computer Engineering, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 배터리팩의 안전한 충방전 관리를 위해 배터리팩의 전류 제한 지표인 state of power (SOP)를 구하는 알고리즘을 제안한다. 직렬 연결된 배터리 팩의 SOP를 구하기 위해서는 각 셀의 배터리 파라미터 추정 과정이 필수적이다. 이를 구현하기 위해 듀얼 확장 칼만 필터 (DEKF)를 사용하였으며 효율적인 운용을 위해 DEKF의 사용량을 줄이는 방안을 제시한다. 실험을 통해 배터리 파라미터 추정 결과를 확인하였다.

1. 서론

리튬 이온 배터리는 EV, HEV의 사양에 맞춰 고전압, 고전력으로 사용하기 위해 셀을 직, 병렬로 연결하여 팩으로 사용하게 된다. 배터리 팩을 안전하게 사용하기 위해서는 팩을 구성하는 각 셀의 파라미터를 추정하여 최악의 충, 방전 조건을 가진 배터리를 판별하고 충, 방전 전류를 제한하는 과정이 필수적이다. 본 논문에서는 여러 개의 셀로 직렬 구성된 팩에서 전류제한 지표인 state of power (SOP)를 구하기 위해 각 셀의 파라미터를 듀얼 확장 칼만 필터 (DEKF)로 추정하여 이를 운용하는 알고리즘을 제안하였고 실험을 통해 추정성능을 검증하였다.

2. 제안하는 전류 제한 알고리즘

2.1 State-of-Power (SOP)

충, 방전 시 뽑을 수 있는 최대 전류를 나타내기 위해 SOP는 다음과 같이 정의된다.

$$SOP = \left\{ \frac{OCV - V_{\max}}{R} \right.$$

V_{\max} , V_{\min} 은 배터리 양단 전압 V_i 사용범위의 최대값, 최소값이며 R_{tot} 와 OCV 는 각각 그림 1의 배터리 모델에서 R_i , R_d 의 합과 open circuit voltage (OCV)를 나타낸다. R_{tot} 를 SOP 정의에 사용하는 이유는 작은 $R_d C_d$ 시정수 값을 가지는 SOC 영역에서는 유효직렬저항이 거의 R_i , R_d 의 합이 되어 최대 전류를 제한하기 때문이다.

2.2 듀얼 확장 칼만 필터 (DEKF)

본 논문에서는 SOP에 사용될 파라미터를 추정하기 위해서 DEKF를 사용하였다. DEKF는 배터리의 비선형 특성을 고려하기 위해 시스템을 구간 선형화하고 확장 칼만 필터 (EKF)를

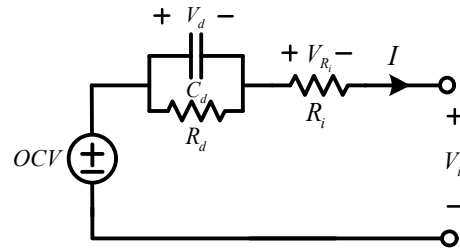


그림 1 배터리 모델

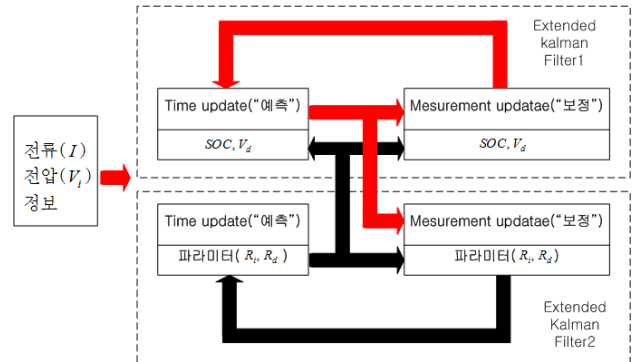


그림 2 듀얼 확장 칼만 필터 모식도

두 개로 나누어 사용한다. 그림 2처럼 내부상태를 state of charge (SOC), V_d 와 R_i , R_d 의 두 부분으로 나누어 두 개의 EKF를 적용하였으며 각각의 EKF의 내부상태는 다른 EKF의 예측 단계와 보정 단계에 영향을 주며 동작한다.

2.3 배터리 팩에서의 SOP와 SOC

배터리 셀이 n 개 직렬로 연결된 배터리 팩에서 SOP는 $\min(SOP_i)$, $i=1,2,\dots,n$ 으로 결정된다. SOP의 결정에서 결정적인 역할을 하는 R_{tot} 는 노화에 따라서 느리게 변하는 값이기 때문에, n 개의 셀 중 최소 SOP값을 가지는 셀이 단기간 동안 팩의 SOP를 결정하게 되는 셀이 된다. 따라서, 본 논문에서는 모든 셀에 DEKF를 적용하지 않고 그림 3과 같이 세 개의 셀에만 DEKF를 적용하는 방법을 제안한다. 처음에는 센싱된 전압정보만을 통해 n 개의 셀 중 방전 전압이 가장 낮고 충전 전압이 가장 높은 i, j 번째 두 셀에만 DEKF를 적용하고 나머지 셀에는 누적 배터리 사용량(cycle)을 기준으로 순차적으로 DEKF를 적용한다. 만약 노화에 의해 다른 셀의 방전 SOP가 i 번째 셀의 방전 SOP보다 작아지게 되면 그 셀을 i 번째 셀로

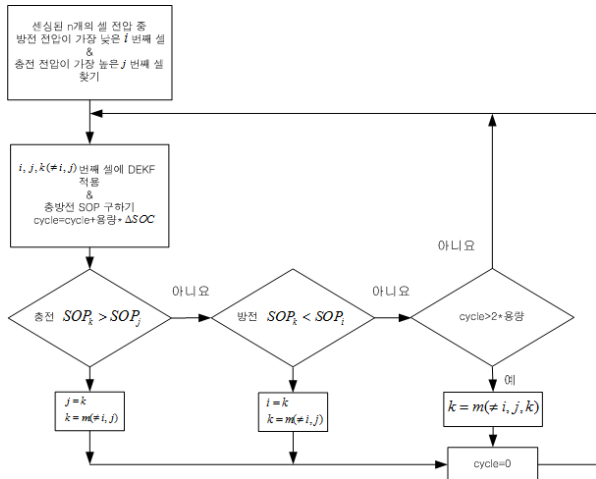


그림 3 DEKF 적용 순서

대체한다. 충전의 경우에도 같은 방식을 적용한다. 한편, 배터리 팩의 SOC는 이렇게 구한 R_{tot} 값을 바탕으로 총방전 기준 전류가 인가되었을 때 V_{max} , V_{min} 에 이르게 하는 OCV를 방전 특성이 가장 좋지 않은 셀에 적용하여 SOC를 추정하는 것으로 구할 수 있다.^[1]

3. 실험 결과

DEKF의 배터리 내부상태 추정 성능을 확인하기 위하여 2600mAh 18650 배터리 7개로 직렬 구성된 배터리 팩으로 그림 4와 같은 실험을 진행하였다. 그림 4 (a)와 같은 구형과 형태의 방전 전류를 인가하고 휴지기를 준 다음 전압을 측정한

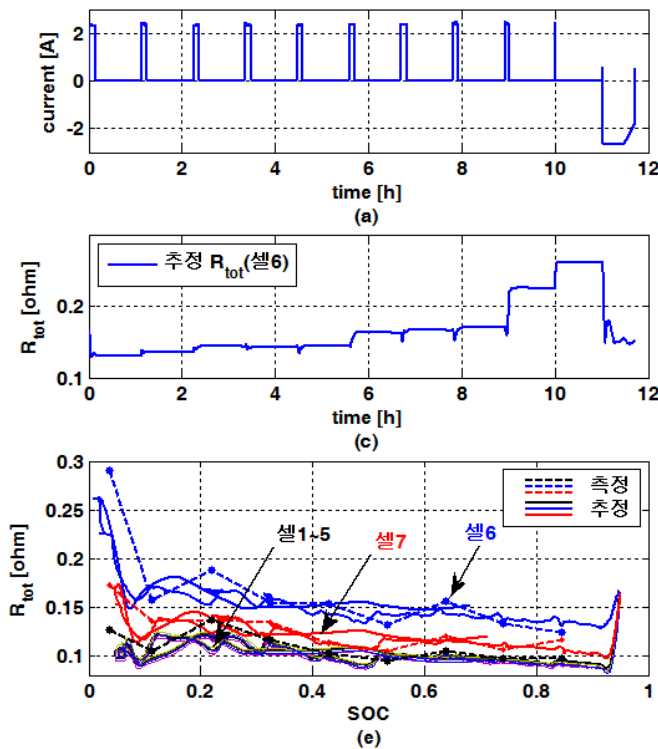


그림 4 (a) 인가한 전류 파형, (b) 측정한 전압 파형(셀1~7), (c) 추정된 R_{tot} (셀6), (d) 셀 6의 기준 SOC와 추정된 SOC, (e) 추정된 R_{tot} 와 측정된 R_{tot} (셀1~7), (f) 추정된 SOP(셀1,6,7) 것이 그림 4 (b)이다. 그림 4 (c), (d)는 각각 DEKF에서 얻은 셀6의 추정결과이다. 방전이 막 끝난 시점과 휴지기 끝 시점의

전압 차를 이용하면 R_{tot} 를 측정할 수 있고 이 값과 DEKF에서 추정된 R_{tot} 를 비교한 것이 그림 4 (e)이다. 그림 4 (b)에서 방전 전압이 가장 낮고 충전 전압이 가장 높았던 6 번째 셀이 그림 4 (e)에서 가장 큰 R_{tot} 값을 가지고 있고 추정값이 측정값을 따라감을 알 수 있다. 그림 4 (f)는 추정된 R_{tot} 을 이용해 계산한 셀의 SOP값이다. 추정된 셀 6의 SOP가 방전 종료 시점에 2.25 A로 그림 4 (b)에서 셀 6의 전압이 V_{min} 에 이를 때 전류 2.45 A보다 약간 작게 추정되어 SOP가 전류제한지표로서 그 기능을 수행함을 확인했다. 그리고 셀 6이 7개의 셀 중 가장 작은 SOP값을 가지므로 팩의 SOP값을 나타낸다.

4. 결론

본 논문에서는 DEKF를 이용하여 배터리 내부상태를 추정하고 그 중 R_{tot} 를 이용해 SOP를 구하고 이를 배터리 팩에 확장하여 적용하는 방안을 제시하였다. 제시한 방법을 통해 DEKF의 사용량을 줄이면서 총방전 전류를 제한하여 배터리를 안전하게 관리할 수 있다.

본 연구는 중소기업청의 기술혁신개발사업의 일환으로 수행하였음. [S2058100, 전기자동차용 10kWh급 하이브리드 에너지저장장치 개발]

참고 문헌

- [1] C.Y. Chun et al., "State of Charge Estimation for Lithium ion Battery Pack Using Reconstructed Open Circuit Voltage Curve", in Proc. IEEE IPEC, 2014, pp. 2272-2276.

