

스크리닝에 기반한 배터리 팩의 SOC 추정연구

김중훈, 신종원, 전창윤, 조보형
서울대학교 전기. 컴퓨터공학부

The State of Charge Estimation of Li-Ion Battery Pack based on Screening Process

J. H Kim, J. S. Shin, C. Y. Chun and B. H. Cho
School of Electrical Engineering and Computer Science, Seoul National University

ABSTRACT

본 논문에서는 스크리닝에 기반한 리튬이온 배터리 팩의 state of charge (SOC) 추정방법을 연구하였다. 전기화학적 특성이 서로 유사한 셀들을 미리 선별하는 스크리닝 방법을 통해 직렬, 병렬, 직/병렬팩이 구성될 때, 이러한 팩의 전기화학적 등가회로 모델은 단위 셀 대비 일정한 경향성을 보이는 용량, open circuit voltage (OCV) 등의 파라미터 정보를 토대로 기존 단위 셀 모델과 동일한 모델 구축이 가능하다. 이를 통하여 extended kalman filter (EKF)를 이용한 배터리 팩의 SOC 추정이 가능함을 보인다.

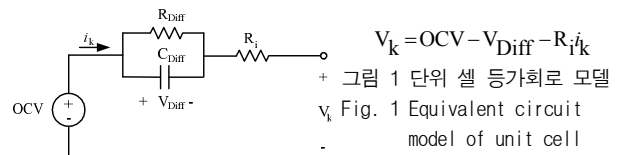
1. 서 론

하이브리드 차량 어플리케이션으로 많이 사용되는 리튬이온 배터리 팩은 용도에 따라 단위 셀들의 직렬, 병렬, 직/병렬혼합의 조합으로 구성된다. 하지만, 팩을 구성하는 단위 셀들의 서로 상이한 전기화학적 특성이 존재할 때, 이는 팩의 노화 및 성능저하를 야기한다. 그러므로, 전기화학적 특성이 서로 유사한 셀들을 미리 선별하는 스크리닝[1]이 수반된다면 팩의 전반적인 효율이 증대되며, 특히 성능지표인 SOC 추정도 용이하다. 따라서, 이 논문에서는 스크리닝에 기반한 리튬이온 배터리 팩의 SOC 추정방법을 제안하였다. 팩의 전기화학적 등가회로 모델은 단위 셀 대비 일정한 경향성을 보이는 용량, OCV 등의 파라미터 정보를 토대로 기존 단위 셀 모델과 동일하게 구축되며, EKF를 이용한 SOC 추정알고리즘에 적용된다.

2. 배터리팩 등가회로 모델

2.1 스크리닝 (Screening)

전기화학적 특성이 서로 유사한 셀들을 미리 선별하는 작업을 스크리닝(Screening)이라 하며 용량과 모델파라미터의 정보를 순차적으로 이용하여 정확도를 높인다. 용량은 전류적산법, 모델파라미터는 등가회로모델[1]의 두 저항 R_i 와 R_{Diff} 로 얻어진다. 이를 토대로 2.2Ah 단위 셀 집단군(30개)중 전기화학적 특성이 가장 유사한 8개 셀이 선별되었다. 스크리닝된 5개 셀의 평균용량은 2.1989Ah, 모델파라미터 R_i 와 R_{Diff} 각각의 평균값은 SOC 50% 기준으로 0.09327Ω, 0.01336Ω의 값을 가진다. 이들 정보는 추후 SOC 추정 시 단위 셀의 정보로 이용된다.



팩의 등가회로 모델 구현을 위해서는 팩의 용량과 모델파라미터의 정보가 주어져야 한다. 이를 위해 전류적산법을 이용하여 용량을 측정하였고, 펄스전류(10s;4A)에 따른 전압의 변화를 측정하고 이를 이용하여 모델파라미터를 구하였다. 이와 더불어 SOC 추정을 위해 모든 팩의 OCV를 측정하였고 5개 스크리닝된 셀의 평균값과 비교하여 경향성을 판단하였다.

2.2 직렬팩(Series) 등가회로 모델

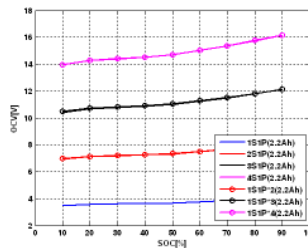
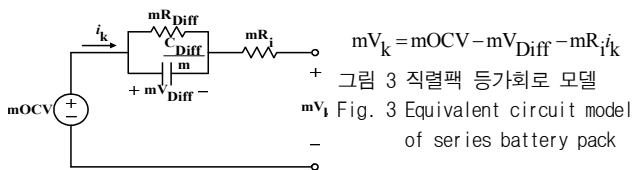


표 1 직렬팩 파라미터
Table. 1 Parameters of series battery pack

	용량[Ah]	R_i [Ω]	R_{Diff} [Ω]
1S1P(평)	2.1989	0.09327	0.01336
2S1P	2.1983	0.19376	0.02885
3S1P	2.1979	0.27832	0.04195
4S1P	2.1981	0.37128	0.05317

그림 2 직렬팩(1S1P~4S1P) OCV

Fig. 2 OCVs of series battery pack(1S1P~4S1P)



스크리닝된 4개의 셀을 이용하여 직렬팩 구성 후 OCV, 용량, 모델파라미터의 정보를 그림 2와 표 1에 나타내었다. 측정된 결과 용량은 일정하고 OCV와 모델파라미터는 단위 셀(1S1P)대비 팩을 구성하는 개수에 따라 비례적(m배)으로 증가한다. 단위 셀의 OCV를 2~4배 증가했을 때 실제 팩의 OCV와 거의 동일하다. 따라서 직렬팩의 등가회로 모델은 단위 셀 등가회로 모델과 동일하게 구축이 가능하다. 이를 토대로 직렬팩의 등가회로 모델을 그림 3에 나타내었다.

2.3 병렬팩(Parallel) 등가회로 모델

동일한 방법으로 병렬팩을 구성 후 그림 4와 표 2에 측정된 OCV, 용량, 모델파라미터의 정보를 나타내었다. 측정된 결과 병렬팩의 용량은 단위 셀 대비 팩을 구성하는 개수에 따라 비례

적으로 증가하고 반면 모델파라미터는 단위 셀 대비 비례적 (1/n)으로 감소한다. 병렬팩의 모든 OCV는 단의 셀의 OCV와 동일하다. 그림 5는 병렬팩의 등가회로 모델이다.

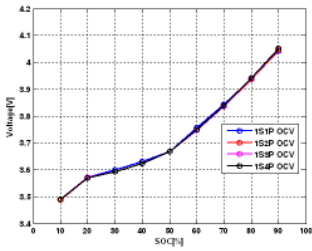


그림 4 병렬팩(1S1P~1S4P) OCV

Fig. 4 OCVs of parallel battery pack(1S1P~4S1P)

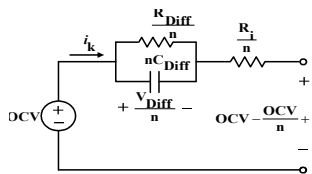


표 2 병렬팩 파라미터
Table. 2 Parameters of parallel battery pack

	용량[Ah]	R_i [Ω]	R_{Diff} [Ω]
1S1P(평)	2.1989	0.09327	0.01336
2S1P	4.3912	0.04835	0.06776
3S1P	6.5723	0.03209	0.04413
4S1P	8.7652	0.02360	0.03421

그림 5 병렬팩 등가회로 모델
Fig. 5 Equivalent circuit model of parallel battery pack

2. 4 직/병렬 혼합팩(Series-Parallel) 등가회로 모델

직렬팩과 병렬팩의 실험결과를 토대로 직/병렬 혼합팩의 등가회로 모델을 그림 6(a)에 나타내었다. 단위 셀 대비 팩을 구성하는 셀의 직렬개수(m)와 병렬개수(n)에 따라 팩의 OCV와 모델파라미터, 용량을 구할 수 있다. 특히, m=n인 경우 그림 6(b)처럼 단위 셀 모델과 대체적으로 유사함을 알 수 있다.

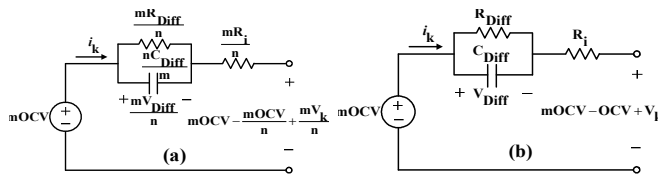


그림 6 직/병렬 혼합팩 등가회로 모델

Fig. 6 Equivalent circuit model of series-parallel battery pack

3. SOC 추정알고리즘

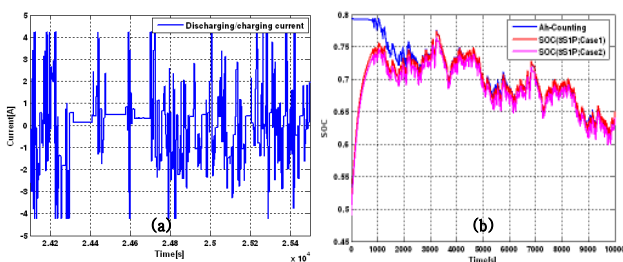


그림 7 (a) 전류프로파일, (b) 직렬팩 SOC 추정결과

Fig. 7 (a) Current profile, (b) SOC estimation (series)

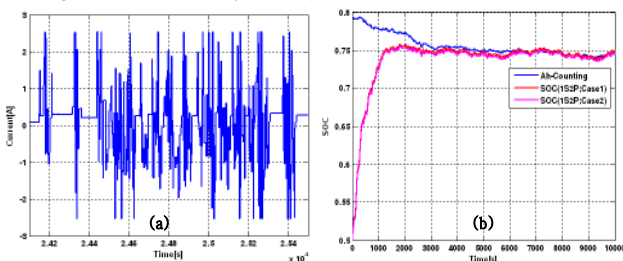


그림 8 (a) 전류프로파일, (b) 병렬팩 SOC 추정결과

Fig. 8 (a) Current profile, (b) SOC estimation (parallel)

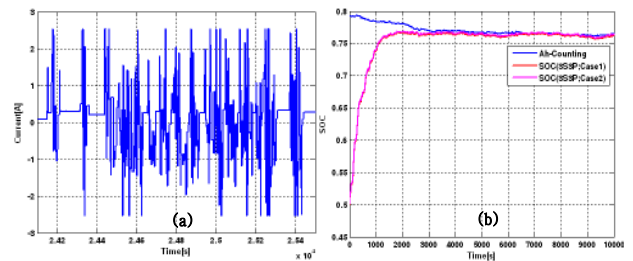


그림 9 (a) 전류프로파일, (b) 직/병렬 혼합팩 SOC 추정결과
Fig. 9 (a) Current profile, (b) SOC estimation (series-parallel)

SOC 추정을 위해 앞에서 구한 직렬팩, 병렬팩, 직/병렬 혼합팩의 등가회로 모델을 기반으로 EKF 알고리즘을 이용한다. 제안한 SOC 추정알고리즘을 확립하기 위하여 두 경우(Case1 : 실제데이터, Case2 : 단위 셀 파라미터)를 적용하였다. 직렬팩(3S1P)의 충방전 전류프로파일과 SOC 추정결과를 그림 7(a)-(b)에 나타내었다. 또한, 그림 8(a)-(b)는 병렬팩(1S2P)의 충방전 전류프로파일과 SOC 추정결과를 나타낸다. 그림 9(a)-(b)는 직/병렬 혼합팩(3S3P)을 구성하는 직렬과 병렬개수가 같을 때의 충방전 전류프로파일에 따른 SOC 추정결과이다. 결국, 스크리닝된 셀을 이용하여 팩 구성 시 기존 단위 셀의 등가회로모델을 이용하여 팩의 등가회로 모델을 만들 수 있고 이를 토대로 EKF를 이용하여 SOC 추정이 이루어진다. 그림 10은 제안된 방법의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

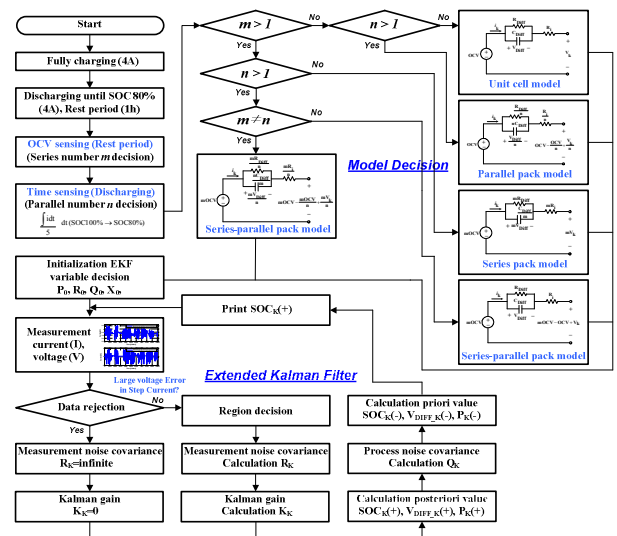


그림 10 제안된 방법의 흐름도

Fig. 10 Flow chart of proposed method

4. 결론

본 논문에서는 스크리닝된 단위 셀들을 이용하여 팩을 구성하고 등가회로모델을 완성하여 SOC 추정방법에 적용하였다.

이 논문은 교육과학기술부/한국과학재단(R11-2002-102-00000-0)의 ERC 프로그램 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참고 문헌

[1] Jong-Hoon Kim, Jong-Won Shin, Chang-Yoon Jeon, and Bo-Hyung Cho, "Screening Processes of Li-Ion Series Battery Pack for Improved Voltage/SOC Balancing", IPEC, 2010.