

# 최적의 전압 밸런싱을 위한 배터리 스크리닝의 방법 연구

김종훈, 신종원, 전창윤, 김우섭, 조보형  
서울대학교 전기·컴퓨터공학부

## The Basic Research of Screening for Optimal Voltage Balancing of a Li-Ion Battery

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

### ABSTRACT

일반적으로, 단위 배터리간의 직/병렬 연결을 통해 구성되는 팩은 이를 구성하는 각 배터리간의 상이한 전기화학적 특성으로 인해 전압 불균형이 존재한다. 이러한 전압 불균형은 팩의 노화 및 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 전압불균형을 없애기 위해 전압과 State of Charge(SOC)를 이용한 밸런싱 회로가 폭넓게 연구되고 있다. 하지만, 이러한 연구는 대체적으로, 다른 특성을 가지는 단위 배터리로 구성되는 팩의 밸런싱 방법이다. 따라서, 동일하고 균일한 특성을 갖는 배터리들을 미리 선별하여 팩을 구성한다면, 밸런싱의 전반적인 효율증대가 기대된다. 본 논문에서는 최적의 전압 밸런싱을 위한 스크리닝(Screening)의 새로운 방법을 연구하였다. 용량과 모델 파라미터(Lumped resistance:  $R_{Dff}$ )를 스크리닝의 척도로 고려하였고, 전압 불균형을 최대한 줄이기 위해 용량, 모델 파라미터의 순으로 스크리닝을 진행하였다. 또한, 전압패턴인식을 이용한 판별법을 통해 제안된 스크리닝 방법을 검증하였다.

### 1. 서론

리튬이온 배터리는 에너지보존, 친환경적인 미래의 대체 에너지원으로서 큰 각광을 받고 있다[1]. 특히 하이브리드 차량의 어플리케이션으로 많이 사용되고 있다. 이러한 하이브리드 차량의 배터리는 단위 배터리가 아닌, 배터리간의 직/병렬 연결을 통해 구성된 팩이 사용된다. 직/병렬 연결방식, 배터리의 개수는 팩의 전압, 전류 및 용량범위를 결정하며 이는 팩의 사양을 결정하는 중요 고려요소가 된다.

일반적인, 팩은 이를 구성하는 각 배터리간의 상이한 전기화학적 특성으로 인해 모두가 동일한 용량을 가질 수 없다. 이는 각 배터리간의 전압차를 발생시키는 원인이 된다. 그 결과, 전압이 높은/낮은 배터리에는 과충전/과방전이 각각 가해지며, 이는 팩의 노화 및 성능을 저하시키는 원인이 된다. 이러한 단점을 해결하기 위해, 배터리의 전압과 SOC를 이용한 밸런싱 회로가 폭넓게 연구되고 있다[2]. 하지만, 이러한 연구는 대체적으로, 서로 다른 전기화학적 특성을 가지는 배터리로 구성되는 팩을 밸런싱하는 방법이다. 따라서, 동일하고 균일한 특성을 갖는 배터리들을 미리 선별하여 팩을 구성한다면, 회로구성, 비용 및 안전성 측면에서 밸런싱의 전반적인 효율증대를 얻을 수 있다.

본 논문에서는, 최적의 전압 밸런싱을 위한 스크리닝의 새로운 방법을 연구하였다. 기존 문헌[3]에서는 리튬이온 배터리의 스크리닝을 위해 배터리 구성물질을 화학적으로 분석하였지만, 본 논문에서는, 전기적 분석을 더하기 위해 배터리의 용량과 모델 파라미터( $R_{Dff}$ )를 배터리 구성물질의 전기화학적 반응물, 즉, 스크리닝의 척도로 고려하였다. 각 배터리의 전기화학적 특성이 다르므로 특정 SOC에서의 모델 파라미터 값도 다르다. 이러한 점을 착안하여 용량, 모델 파라미터의 순으로 스크리닝을 진행하였다. 특정 SOC에서의 모델 파라미터 정보를 얻기 위해서 배터리의 용량정보를 이용하여 1차 스크리닝을 진행한다. 만충(Fully charged) 상태에서 특정 SOC까지 비슷한 양이 방전될 때, 펄스전류를 이용하여 전압변화 정보, 즉, 모델 파라미터의 정보를 얻는 2차 스크리닝을 진행한다. 3개의 SOC에서의 과정을 되풀이하여 제안된 방법의 타당성을 증명하였고, 전압패턴인식을 이용한 판별법[4]을 통해 제안된 스크리닝 방법을 검증하였다. 검증을 위해 25°C의 조건에서 1.3Ah 18650type 프레스 배터리(3.7V) 20개를 이용하였다.

### 2. 제안된 스크리닝 방법

#### 2.1 1차 스크리닝(용량;Capacity)

배터리의 용량은 만충 상태에서 만방상태까지 일정한 전류로 방전했을 때의 방전 전하의 총량으로 정의된다. 용량은 간단히 식(1)과 같이 전류적산법으로 구할 수 있다. ( $I$  : 전류)

$$C_n = \int I dt \quad (1)$$

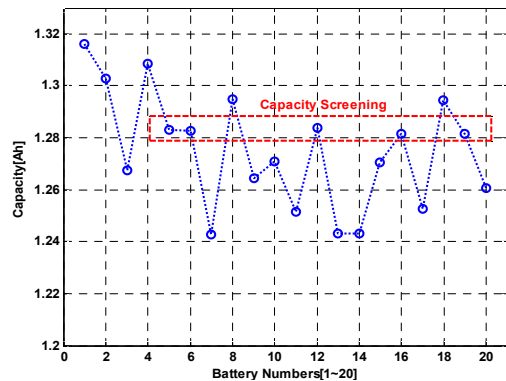


그림 1 20개 프레스 배터리 용량  
Fig. 1 Capacities of 20 fresh batteries

그림 1은 상온에서 20개 프레스 배터리 용량을 나타내었다. 같은 프레스 배터리라 하더라도 전기화학적 특성 때문에 서로 다른 용량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 정교한 스크리닝을 위해 그림에서 보듯 이번 논문에서는 1.2815~1.2840Ah의 매우 작은 용량범위를 가지는 배터리들을 대상으로 1차 스크리닝을 실시하였다. 표 1은 스크리닝된 5개 배터리의 용량을 나타낸다.

표 1 스크리닝된 5개 배터리 용량  
Table. 1 The capacities of 5 batteries screened.

[Ah]	No.5	No.6	No.12	No.16	No.19
Capacity	1.2832	1.2827	1.2840	1.2815	1.2816

2. 1 2차 스크리닝(모델 파라미터; 전압변화 정보)

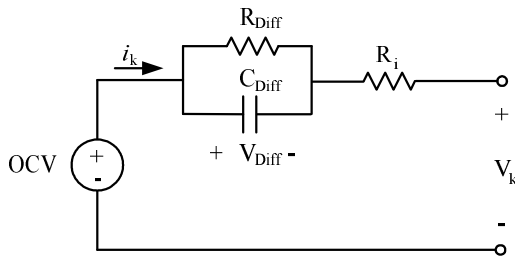


그림 2 등가저항 모델  
Fig. 2 Lumped parameter battery model

그림 2는 일반적인 배터리의 등가저항 모델을 나타낸다. 배터리 모델링은 간단히 한 개의 저항과 한 개의 RC-ladder로 구성된다. Series 저항  $R_i$ 와 달리 RC-ladder의  $R_{Diff}$ 는 배터리의 전기화학적 상태, 노화에 민감한 요소로서 2차 스크리닝에서 전압 변화정보를 볼 때 중요하게 고려되는 요소이다.

2차 스크리닝을 위해서는 1차 스크리닝이 이루어진 상태에서 진행되어야 한다. 식(2)는 배터리의 SOC를 나타내며 이는 배터리의 충전지표를 의미한다. 식(2)에서 보듯, 용량을 이용한 1차 스크리닝이 잘 진행된다면 동일한 전류와 SOC 초기값이 적용될 때, 충분한 방전 후 동일한 특정 SOC를 얻을 수 있다. 만충상태에서 방전을 적용하므로 초기 SOC는 1로 정하였다.

$$SOC = SOC_0 - \frac{\int Idt}{C_n} \quad (2)$$

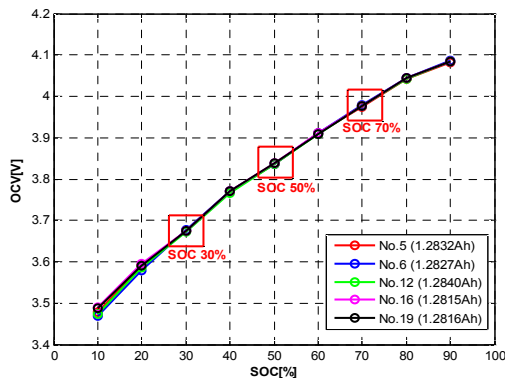


그림 3 스크리닝된 5개 배터리 OCV  
Fig. 3 The OCVs of 5 fresh batteries screened

그림 3은 스크리닝된 5개 배터리의 Open circuit voltage(OCV)를 나타내었다. 스크리닝된 배터리의 용량을 이용하여 만충상태에서 4A의 전류로 특정 SOC에 이르기까지 동일한 시간 방전하였을 때, 모두 SOC 30, 50, 70%에 이르게 되고, 이때의 OCV가 거의 같음을 알 수 있다. 3개의 SOC에서 충전/방전 펄스 전류를 주었을 때, 전류에 따른 전압의 증가/감소를

확인하여 2차 스크리닝을 진행할 수 있다. 그림 4는 특정 SOC에서 전압변화 정보를 얻기 위한 전류프로파일을 나타낸다. OCV 상태에서 충전/방전 전류를 10s간 각각 주어질 때 이 때 전압의 변화를 이용하여 2차 스크리닝을 진행한다. 이 전압변화 정보는 배터리의 펄스과위를 이용한 State of health (SOH) 정의 시, 중요한 정보로서 전압패턴인식을 이용한 판별법에도 사용된다[6]. 그림 5는 그림 4의 실제 실험과형으로서 SOC 70%에서 충전/방전 전류에 대한 전압변화를 나타낸다.

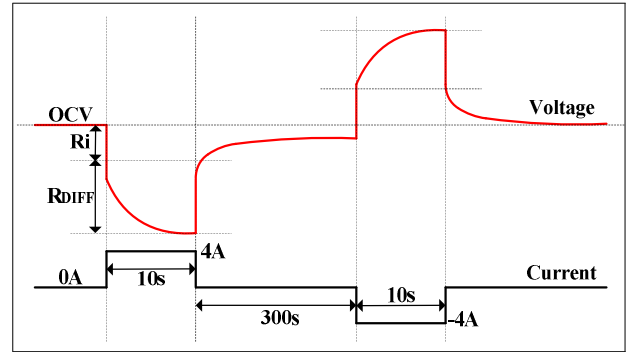


그림 4 특정 SOC에서의 펄스 충전 전류프로파일 및 전압  
Fig. 4 D/C pulse current profile & voltage at a certain SOC

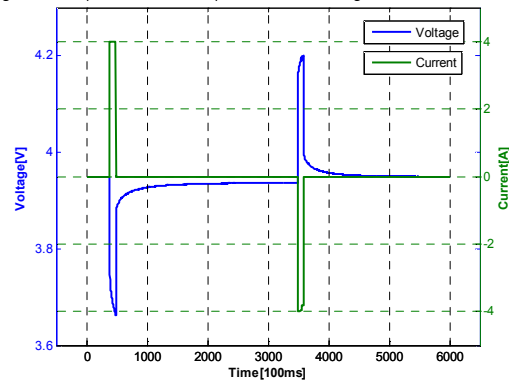


그림 5 2차 스크리닝을 위한 충전/방전 전류 및 전압  
Fig. 5 Discharging/charging currents & voltages for 2nd Screening

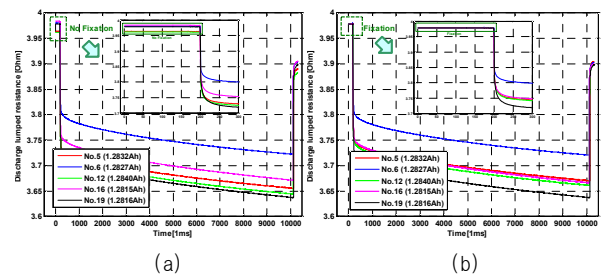


그림 6 방전전압을 이용한 2차 스크리닝 (SOC 70%)  
Fig. 6 2nd Screening using discharging voltages (SOC 70%)

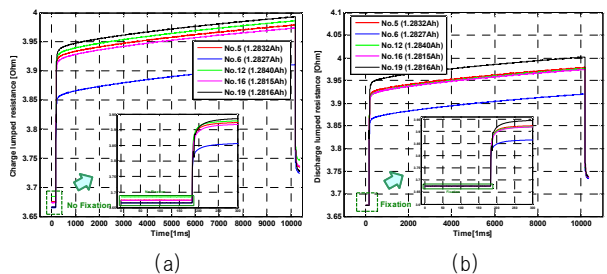


그림 7 충전전압을 이용한 2차 스크리닝 (SOC 30%)  
Fig. 7 2nd Screening using charging voltages (SOC 30%)

2차 스크리닝을 위해 SOC 70%에서 방전전류에 따른 방전 전압을 그림 6에 나타내었다. 방전전류를 주었을 때 전압이 감소함을 알 수 있다. 하지만, 그림 6(a)와 같이, 방전전류에 따른 방전전압의 시작점이 일치하지 않으므로 2차 스크리닝, 즉, 모델 파라미터를 비교하는데 어려움이 존재한다. 이러한 점을 해결하기 위하여 그림 6(b)처럼 방전전압의 시작점을 일치한다. 방전전압의 시작점이 일치하였을 때 1차 스크리닝된 5개 배터리 중 3개의 배터리(5, 12, 16)의 모델 파라미터가 일치함을 알 수 있다. 같은 방법으로 SOC 30%에서 충전전류에 따른 충전 전압을 그림 7에 나타내었다. 방전전압을 이용한 모델 파라미터 결과와 마찬가지로 충전전압을 이용 시 3개의 배터리(5, 12, 16)의 모델 파라미터와 일치함을 보인다. 또한, Direct current internal resistance(DCIR)방법을 이용하여 스크리닝된 3개 배터리의 DCIR 값을 표 2에 나타내었다.

위의 결과를 바탕으로, 3개의 배터리(5, 12, 16) 이용 시 최적의 전압 밸런싱이 이루어질 수 있다. 그림 8은 제안된 스크리닝 방법의 흐름도를 나타낸다.

표 2 3개 배터리의 Direct current internal resistance  
Table. 2 Direct current internal resistance of 3 batteries

DCIR[ $\Omega$ ]	SOC 70%	SOC 50%	SOC 30%
No. 5	0.07789	0.07427	0.07775
No. 12	0.07802	0.07418	0.07796
No. 16	0.07812	0.07462	0.07757

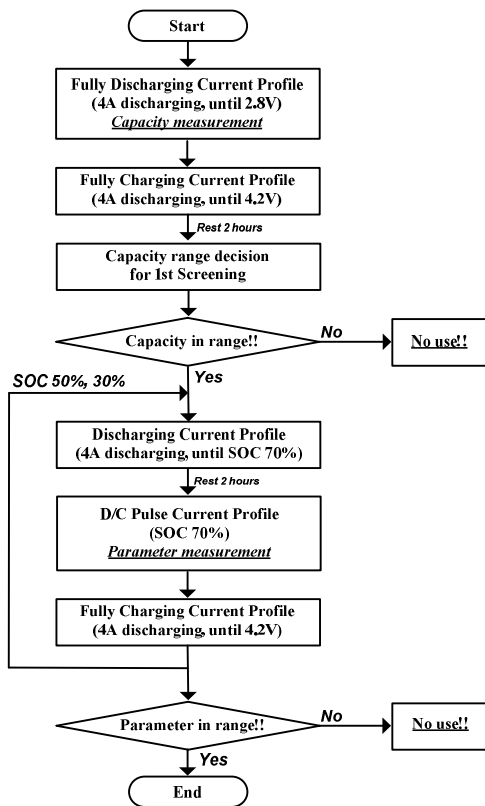


그림 8 제안된 방법의 흐름도  
Fig. 8 Flow chart of proposed method

### 3. 실험결과

제안된 방법의 검증을 위해, 전압패턴인식을 이용한 판별법을 이용하였다. 검증을 위해 25°C의 조건에서 1.3Ah 18650type 프레스 배터리(3.7V) 20개를 이용하였다. 전압패턴인식을 위해

스크리닝 하고자 하는 용량과 모델 파라미터의 값을 임의의 입력으로 적용하였다. 이해를 돕기 위해, 이번 논문에서는 용량(1.28Ah~1.285Ah), 모델 파라미터(0.073~0.079 $\Omega$ )를 사용하였다. 그림 9는 전압패턴인식 판별법의 전압보정 전과 후의 결과를 나타내는 것으로서, 전압보정 후 5, 6, 12번 배터리의 모델 파라미터의 값이 거의 일치함을 알 수 있다. 그림 10은 전압패턴인식의 feedforward/recurrent layer의 출력결과를 나타낸다. 0이 아닌 출력값을 가지는 12번 배터리가 스크리닝 하고자 하는 용량, 모델 파라미터의 값과 가장 유사한 특성을 나타냄을 알 수 있다.

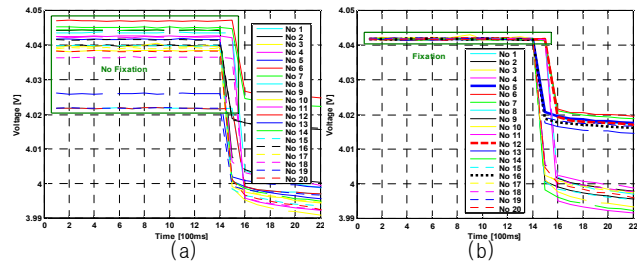


그림 9 전압패턴인식 판별법 (a) 전압보정전 (b) 전압보정후  
Fig. 9 Voltage pattern recognition

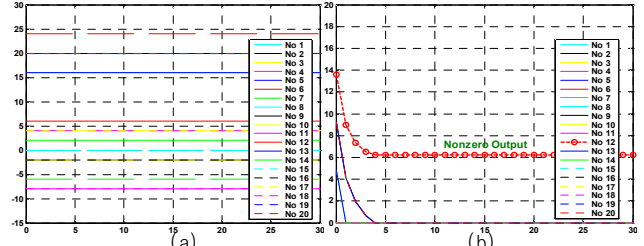


그림 10 전압패턴인식 출력결과 (a) feedforward (b) recurrent  
Fig. 10 Two outputs of voltage pattern recognition

### 4. 결론

본 논문에서는 최적의 전압 밸런싱을 위한 스크리닝의 새로운 방법을 제안하였다. 용량과 모델 파라미터(Lumped resistance;  $R_{Dff}$ )를 스크리닝의 척도로 고려하였고, 전압 불균형을 최대한 줄이기 위해 용량, 모델 파라미터의 순으로 스크리닝을 진행하였다. 또한, 전압패턴인식을 이용한 판별법을 통해 제안된 스크리닝 방법을 검증하였다.

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

### 참고문헌

- [1] Eberhard Meissner, Gerolf Richter, "Battery Monitoring and Electrical Energy Management Precondition for future vehicle electric power systems", J. Power Source 116 (2003), 79-98
- [2] Hong-Sun Park, Chong-Eun Kim, Chol-Ho Kim, Gun-Woo Moon, Joong-Hui Lee, "A Modularized Charge Equalization Converter for a Hybrid Electric Vehicle Lithium-Ion Battery Stack", J. Power Electronics, vol. 7, no. 4, pp. 343-352, 2007
- [3] J. Liu, A. Kahaian, I. Belharouak, S. Kang, S. Oliver, G. Henriksen, and K. Amine, "Screening Report on Cell Materials for High-Power Li-Ion HEV Batteries", ANL-03/16, Apr, 2003
- [4] Jonghoon Kim, Seongjun Lee, Bohyung Cho, "Discrimination of Battery Characteristics Using Discharging/Charging Voltage Pattern Recognition", 1st IEEE Energy Conversion Congress & Exposition, San Jose, Sep, 2009