

# Ni-Mh & Li-polymer 배터리 모델링 비교

임재관, 김민규, 이상훈, 김재식, 최재호\*  
포스코파워, 충북대학교\*

## Design of bidirectional DC-DC converter controller of Using a supercapacitor energy storage

Jaekwan Im, Minkyu Kim, Sanghoon Lee, Jaesik Kim, Jaeho Choi  
PoscoPower, Chungbuk National University\*

### ABSTRACT

오늘날 스마트 그리드, 하이브리드 자동차 등에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라 에너지 저장장치에 관한 관심이 높아지고 있다. 그 중 연구가 활발히 진행되어지고 있는 배터리인 Ni Mh와 Li polymer의 모델링한 연구에 대하여 시뮬레이션을 하였고 모델링 방법과 성능에 대하여 비교하여 보았다.

### 1. 서론

최근 에너지 저장장치에 관한 연구가 활발히 진행됨에 따라 배터리 모델링에 대한 관심이 증가하고 있다. 배터리중 일반적으로 사용되고 있는 Ni Mh와 리튬 폴리머 배터리에 관한 연구는 많은 산업체와 학교에서도 연구에 대한 중요성을 인식하고 있다.

일반적으로 배터리는 물리 기반의 자세한 모델이 있지만, 본 논문에서는 배터리의 전기화학적 동적 특성은 1개의 전압원과 캐패시터/저항의 조합으로 전기적 등가모델로 나타냈다. 배터리 파라미터는 전기화학적 상태로 결정되며, 배터리에 인가되는 전류의 크기(C rate), SOC 및 온도에 크게 의존하여 변동된다.<sup>[1]</sup>

본 논문에서는 전류의 크기 및 SOC의 변화에 따른 특성을 고려하여 표현하였다.

두 종류의 배터리 모델링 방식은 거의 유사하나 표현되는 등가 회로에서 차이를 가지고 있으며, cftool/Matlab을 이용하여 검증하였다.

### 2. 배터리 모델링<sup>[2]</sup>

#### 2.1 배터리 전기적 모델링

배터리의 전기화학적 동적 특성을 비교하기 위하여 등가 회로를 그림 2과 같이 나타내었다. 등가 회로는 배터리 내부저항  $R_s$ 와 분극 현상을 나타내는 충방전 전류에 의한 손실저항  $R_1, R_2$  및 이중층의 캐패시턴스  $C_1, C_2$ 로 구성된다. 배터리 개회로 전압(open circuit voltage)  $V_{ocv}$ 는 무부하 정상상태에서의 배터리 단자 전압이며, 배터리 내 잔존 에너지 용량 SOC는 비선형 함수로 표현된다.

선형 영역에서  $R_s$ 의 값을 구하기 위하여 사용된 식은 다음과 같다.

$$V_{R_s} = V_{R_{s1}} - V_{R_{s2}} \quad (1a)$$

$$R = \frac{V_{R_s}}{I} \quad (1b)$$

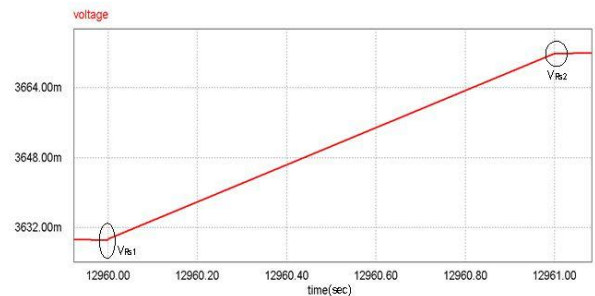


그림 1 실험파형에서의 선형구간

Fig. 1 Linear part of experiment wave

구하여진 선형의 영역은 1초 정도의 매우 짧은 시간 이지만, 배터리의 자기 방전 및 자기 충전에 대한 특성과 초기 전달함수에 큰 영향을 가진다.

#### 2.1.1 개방 회로 전압(Open Circuit Voltage)

개회로 전압( $V_{ocv}$ )는 SOC에 따라 변화되는 것으로 커브 곡선은 그림 2에 나타내었다. 개회로 전압과 SOC는 비선형 관계이며 배터리 모델에 매우 중요한 특성을 가지고 있다.

개회로 전압은 일반적으로 SOC 변화점의 정상 상태의 개회로 터미널 전압에서 측정된다.

#### 2.1.2 제안된 개방회로 전압

##### 2.1.2.1 Ni-Mh 배터리

Ni Mh배터리의 경우 그림 2(a)의 OCV의 히스테리시스 현상을 위하여 Takacs모델을 제안하였다. Takacs모델은 히스테리시스 모델링을 수학을 기반으로 한 것이다.

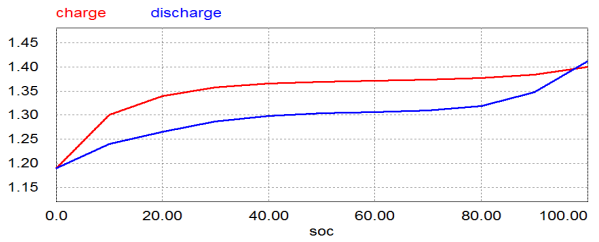
Ni Mh 배터리의 충방전 히스테리시스 곡선의 메이저 루프(major loop)와 마이너 루프(minor loop)로 모델링 할 수 있다. 메이저 루프는 배터리의 OCV와 SOC 사이의 관계에 의하여 히스테리시스 특성을 나타낼 수 있다.

Takacs모델에서, 메이저 루프는 두 개의 지로(Branch)로 나타낼 수 있으며, 이 지로는 상승 지로와 하강 지로로 나타낼 수 있으며, 식 (3)에 나타내었다.

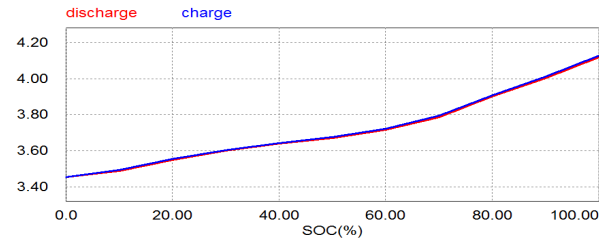
$$f_+(x) = \tanh(x - a_0) + b_1 \quad (3a)$$

$$f_-(x) = \tanh(x + a_0) - b_1 \quad (3b)$$

이때,  $x$ 는 OCV의 변화값이고,  $f_+$ 와  $f_-$ 는 충전과 방전 상태에서 의 SOC,  $a_0$ 는  $f_+(x)$ 가 0일 때, 초기 SOC이고,  $b_1$ 은 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.



(a) Ni-Mh배터리



(b) Li-polymer 배터리

그림 2 충전/방전에 따른 SoC-OCV 히스테리시스 곡선

Fig. 2 SoC-OCV hysteresis curve of charging and discharging in Ni-Mh.

$$b_1 = [\tanh(x_m + a_0) - \tanh(x_m - a_0)]/2 \quad (4)$$

$x_m$ 은  $f_+(x)$ 의 최대 값에서의 SOC이다.

### 2.1.2.1 Li-Polymer 배터리

리튬폴리머 전지의 경우에는 그림 2(b)에서 보이는 바와 같이 히스테리시스 특성이 약하게 나타나기 때문에 충/방전에 따른 개방 회로 전압의 평균값을 사용하여도 무방하다.<sup>[2]</sup> 다항식 함수로 개방 회로 전압의 히스테리시스 곡선의 충/방전 루프를 표현할 수 있으며, 표현된 식은 다음과 같다.

$$1.013x^3 - 1.157x^2 + 0.8687x + 3.426 \quad (2)$$

여기에서,  $x$ 는 SOC이다.

## 2.2 제안된 모델의 등가회로

전지의 과도상태에 대한 특성을 표현하기 위해 사용한 등가회로는 그림 3과 같다. 등가회로는 분극 현상 및 자기 방전/자기 충전 을 나타내는 내부저항  $R_s$ 와 충/방전 전류에 의한 손실저항  $R_1$ ,  $R_2$  및 이중층의 커패시턴스  $C_1$ ,  $C_2$ 로 구성되며, 모든 파라미터 들은 SOC에 따라 각각 다른 값을 적용하였다.<sup>[3]</sup>

선형 영역에서  $R_s$ 의 값을 구하기 위하여 사용된 식은 다음과 같다.

$$V_{R_s}(SOC) = V_{R_2}(SOC) - V_{R_1}(SOC) \quad (1a)$$

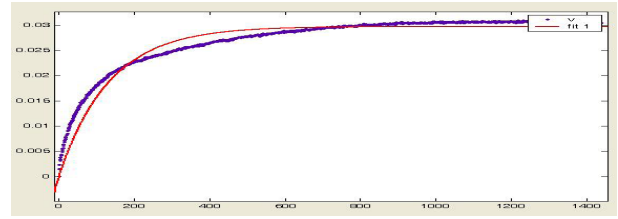
$$R_s(SOC) = \frac{V_{R_s}(SOC)}{I} \quad (1b)$$

여기서,  $V_{R_1}$ 은 전류 투입 직전의 전압이고,  $V_{R_2}$ 는 선형 구간 이 끝날때의 전압으로 약 1초 후의 전압이 되며 이것은 그림 3에 나타내었으며,  $V_{R_s}$ 는 선형 구간에서의 전압차이다.

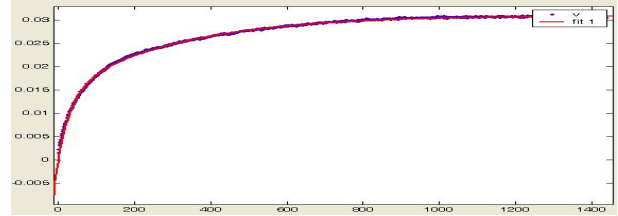
그림 3은 충/방전에 따른 전지의 등가회로로 충전과 방전시의 전 지에 적용되는 회로가 다르다는 것을 표현한 것이다.

## 3. 시뮬레이션 결과

배터리의 한 개의 R C회로를 이용하여 구하여진 커브 피팅 결과는 그림 4에 나타냈다. 그림 4에서 확인할 수 있듯이 리튬 폴리머 전지의 경우에는 신뢰도가 떨어짐을 알 수 있다. 이에 따라 Ni Mh 배터리는 1개의 R C로 표현하였으며, Li polymer 배터리는 2개의 R C회로로 표현하였다.



(a) 1차 R-C Li-polymer 배터리



(b) 2차 R-C Li-polymer 배터리

그림 3 커브피팅 결과

Fig. 3 Result of Curve fit

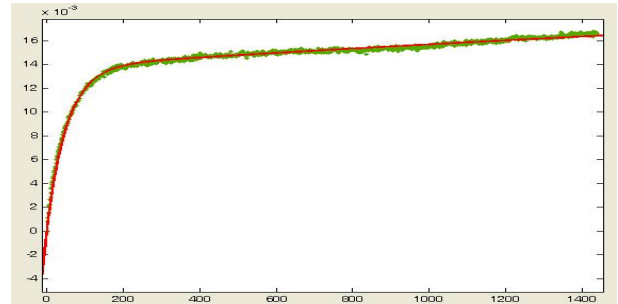


그림 4 Ni-Mh 배터리의 1차 R-C 커브피팅 결과

Fig. 4 Result for Ni-Mh battery Curve fit of first order R-C

## 4. 결 론

본 논문은 Ni Mh와 Li polymer 전지의  $V_{OCV}$ 와 SOC의 히스 테리시스 특성을 고려한 전기적 모델에 대한 차이점을 비교하였 다. 측정된 값을 기반으로 cftool/Matlab을 사용하여 Ni Mh와 Li polymer 전지의 SOC에 따른 개방 회로 전압에 대한 차이점과 표현되는 등가 회로에 대한 차이점을 나타내었다.

시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 Ni Mh배터리의 경우 1 개의 R C회로를 사용할 수 있음을 검증하였고 Li Polymer 배터 리의 경우 1개의 R C회로를 사용할 수 없는 이유에 대하여 검증 하였다. 따라서 Li Polymer배터리의 경우에는 2개의 R C회로를 사용하여야 함을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. C. Hageman, "Simple pspice models let you simulate common battery types," *EDN*, pp. 117-132, Oct. 1993.
- [2] Novie Ayub Windarko and Jaeho Choi, "SOC Estimation Based on OCV for NIMH Batteries Using an Improved Takacs Model," *Journal of Power Electronics*, vol. 10, no. 2, pp. 181-186, 2010.
- [3] Chen Min, Rincon Mora G. A., "An accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I V performance," *IEEE Transactions on Energy conversion*, Vol. 21, No. 2, pp. 104-111, 2005