

전기적 모델링을 통한 리튬이온 전지의 충전 상태 추정

구분하*, 조영민*, 최익*, 이영권**, 조상윤***, 최주엽*
 광운대학교*, 금비전자**, 다한테크***

Electrical Modeling based Lithium-ion Battery SOC Estimation

Bon Ha. Gu*, Yeong Min. Jo*, Ick. Choy*,
 Young Kwoun Lee**, Sang Yoon. Cho***, Ju Yeop. Choi*
 Kwangwoon University*, Keumbee Electronics**, Dahan Tech***

ABSTRACT

본 논문은, 태양광 및 차세대 이동수단에 적용되는 리튬 이온 전지의 전기적 모델링을 수행하였다. 전지의 전기적 모델링을 통하여 충·방전 특성, 용량, 개방 전압, 내부 저항과 같은 전지의 특성을 모의함으로써, 다양한 환경에서 어플리케이션에 적용할 전지를 테스트해 볼 수 있다. 리튬 이온 전지는 LGD 18650 B4(2,600mAh) 모델을 사용하였으며, 실험과 시뮬레이션을 통하여 설계된 모델의 타당성을 검증한다.

리튬 이온 전지는 2차 전지의 일종으로서, 에너지 밀도가 높고 기억 효과가 없기 때문에, 유지 보수 및 장시간 사용을 필요로 하는 어플리케이션에 사용하기 적합하다. Fig. 1은 LG Chemical 사의 리튬 이온 전지의 사양으로써, 제조사의 데이터 시트를 참고하였으며 전지의 전기적 모델링에 사용된다.

2.2 리튬-이온 전지의 SOC 추정

전지의 충전량(SOC, State of Charge)은 전류적산법을 이용하여 추정할 수 있으며, 식 (1)과 같이 정의된다.^[1]

$$SOC = SOC_{\in} - \frac{1}{Q} \int idt \quad (1)$$

1. 서 론

최근 들어 재충전이 가능한 2차 전지의 형태를 시스템에 적용하기 위하여, 정확한 전지 모델의 설계에 관한 연구가 이루어지고 있다. 전지의 모델링에는 전기적 모델과 화학적 모델로 구분할 수 있으며, 전기적 특성의 시스템에 전지 모델을 적용하기 위해서는 전극 감소 등과 같은 화학적 특성에 중점을 둔 모델보다는 전기 회로의 관점에서 모델링을 한 전지 모델을 적용할 필요가 있다. 전기적 특성을 고려하여 중속 전압원, 저항, 커패시터의 조합을 통해 등가회로를 구현하였으며, 전지의 충전량(SOC)과 개방회로 전압(OCV)의 관계를 통해 충전 상태를 추정하였다.

전류적산법은 전지의 초기 충전량(SOCinit)에서 변화되는 전지의 입·출력 전류량을 적산하여 카운팅 함으로써, 잔존용량을 측정하는 방법이다.

2. 본 론

2.1 리튬-이온 전지의 특성

Item	Condition / Note	Specification
2.1 Capacity	Std. charge / discharge	Nominal 2,600mAh (C _{nom}) Minimum 2,500mAh (C _{min})
2.2 Nominal Voltage	Average	3.6V
2.3 Standard Charge (Refer to 4.1.1)	Constant current Constant voltage End current(Cut off)	0.5C(1250mA) 4.2V 50mA
2.4 Max. Charge Voltage		4.2V
2.5 Max. Charge Current		1.0C(2500mA)
2.6 Standard Discharge (Refer to 4.1.2)	Constant current End voltage(Cut off)	0.2C(500mA) 2.75V
2.7 Max. Discharge Current	-20 ~ 5℃ 5 ~ 45℃ 45 ~ 60℃	0.5C(1250mA) 2.0C(5000mA) 1.5C(3750mA)
2.8 Weight	Approx.	Max. 48.0g
2.9 Operating Temperature	Charge Discharge	0 ~ 45℃ -20 ~ 60℃

그림 1 LGC ICR18650 B4 사양
 Fig. 1 LGC ICR18650 B4 Specification

2.3 리튬-이온 전지의 전기적 모델링

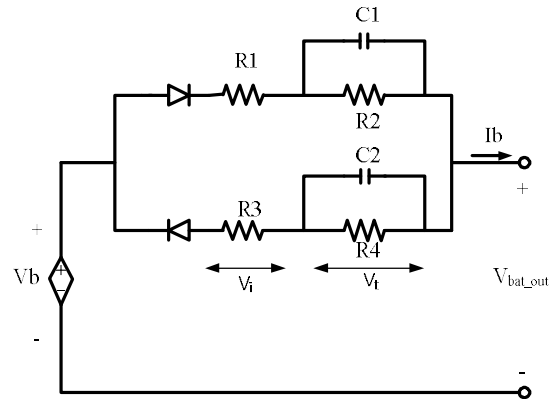


그림 2 리튬-이온 전지의 등가회로
 Fig. 2 Lithium-ion battery of equivalent circuit

Fig. 2는 리튬 이온 전지의 전기적 등가회로 모델이다. Randles 등가회로 모델을 사용하였으며, 전류 Ib의 전류 방향에 따라 충·방전 상태가 결정이 된다. 충·방전 시에는 전지 전압의 히스테리시스 현상에 의해 내부 파라미터가 다른 값을 갖게 되므로, 다이오드를 이용하여 충·방전 루프를 구성하였다.

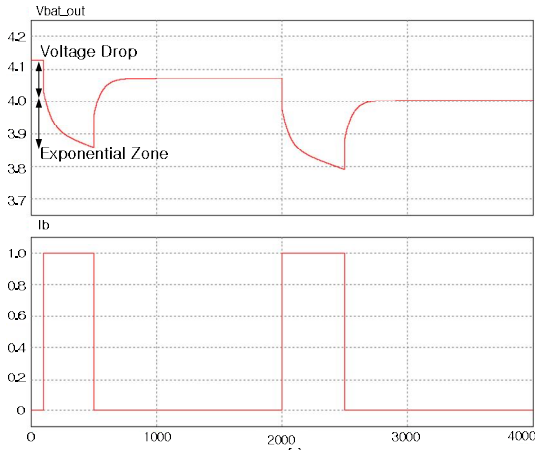


그림 3 리튬-이온 전지의 동특성
Fig. 3 Lithium-ion battery of dynamic characteristic

전지 방전 시의 동특성은 Fig. 3과 같이 표현할 수 있다. 내부 저항(R1)에 경우, 방전이 시작되는 지점에서 순간적으로 감소되는 전압 특성으로 표현된다. RC 병렬 ladder의 경우, 화학적 특성을 갖는 전지의 충·방전 시 확산 현상 및 분극 현상을 표현해 주고 있다.

● Voltage Drop

$$V_i = I_b \times R_1 \quad (2)$$

● Exponential Zone

$$V_i = I_b \times R_2 \times (1 - e^{-t/R_2 \times C_1}) \quad (3)$$

RC ladder에 인가되는 전압은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$V_t = V_b - V_{bat_out} - V_i \quad (4)$$

(2), (3), (4)의 수식들과 동특성 실험 데이터를 이용하여, 단자 전압을 선형 근사화 할 수 있으며, 근사화된 수식과 식 (3)을 비교하게 되면 RC ladder의 변수를 결정할 수 있다.^[2]

2.4. 시뮬레이션 및 결과

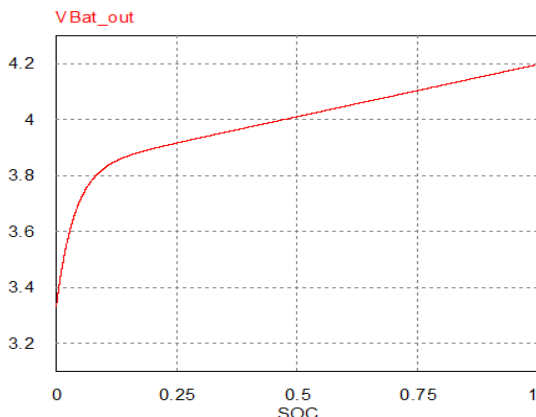


그림 4 리튬-이온 전지의 충전 시뮬레이션
Fig. 4 Lithium-ion battery of Charge Mode simulation

25°C의 Max Charge Current 조건 범위 안의 값인, 1A 정전류원으로 충전 시뮬레이션을 진행하였다. 충전 시에는 전류가 종속 전압원 Vb의 방향으로 흐르도록, 정전류원의 방향을 설정하여 시뮬레이션을 진행하였다.

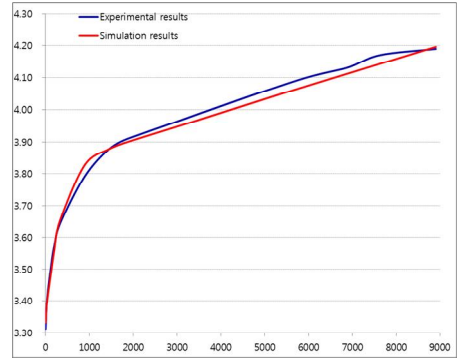


그림 5 실험 및 시뮬레이션 비교 결과
Fig. 5 The result of the comparison

Fig. 5의 비교 결과에서는 SOC 충전 초기의 0~10% 구간에서는 내부 파라미터의 값이 차이가 있기 때문에 최대 1.59%의 오차율을 보이지만, 이외의 구간에서는 평균 오차율 0.49%대의 OCV를 추정하는 것을 확인하였다.

Table 4 Comparison of the results(OCV)

Time (Sec)	SOC (%)	Experiment (V)	Simulation (V)	Error rate (%)
0	0	3.31	3.333	0.63
32	0.4	3.41	3.397	0.23
130	1.5	3.52	3.496	0.60
196	2.2	3.57	3.558	0.38
327	3.5	3.64	3.653	0.26
883	10	3.77	3.826	1.59
1440	16	3.88	3.878	0.01
1865	20	3.91	3.900	0.25
5727	65	4.09	4.063	0.65
6870	77	4.13	4.111	0.46
7626	85	4.17	4.143	0.66
8904	100	4.19	4.196	0.15

3. 결론

본 논문은 리튬 이온 전지의 전기적 특성을 고려한 등가 모델을 이용하여, 실험 결과값에서 추출된 파라미터를 대입한 시뮬레이션을 수행하였다. SOC의 변화에 따른 OCV를 추정하였으며, 평균 오차율 0.4% 이내로, 본 설계 모델을 사용한 기존 논문과 비교 시 동등한 성능의 OCV 추정이 가능하였다. 향후 리튬 전지의 온도 및 용량 보존률을 고려한 모델을 적용할 예정이다.

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력 기술개발사업(No.C0299333)과 구매조건부 신제품개발사업(S2285714)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

[1] K. C. Bae, "OCV Prediction Method for SOC Estimation of Li ion Battery" The Korean Institute of Power Electronics, pp.528-529, July, 2014.
[2] J. H. Lee, "The Impedance Modeling of the Lithium Battery for BESS", The Korean Institute of Power Electronics, pp.109-110, July, 2011.