

# 배터리 2차 RC Ladder 모델 변수 측정법 개선

김재구, 임동진, 안정훈, 이병국<sup>†</sup>  
 성균관대학교 정보통신대학

## Enhanced Parameter Measurement Method of Battery 2<sup>nd</sup> RC Ladder Model

Jae Gu Kim, Dong Jin Lim, Jung Hoon Ahn, and Byoung Kuk Lee<sup>†</sup>  
 College of Information & Communication Engineering, SungKyunkwan University

### ABSTRACT

본 논문은 리튬 폴리머 배터리 전기적 등가 회로 모델의 정확도 향상을 위하여 내부 파라미터를 결정하는 개선된 방법을 제안한다. 종래의 파라미터 결정 방법이 내부 용량성 임피던스의 영향으로 부정확해지는 현상을 분석하고, 해결방안을 제시한다. 제안하는 방법으로 얻어진 배터리 모델의 정확성은 시뮬레이션 결과 및 단전지의 실험적 결과를 통하여 검증한다.

### 1. 서론

최근 리튬 이온 배터리가 높은 에너지 밀도와 긴 수명 등의 성능에 의해 여러 분야에서 선호되고 있다. 리튬 이온 배터리의 사용량이 증가함에 따라 배터리의 동특성 해석이 필요하고, 배터리의 상태 해석의 오류는 배터리 안정성을 위협하여 안전 문제로 이어질 수 있으므로 정확한 배터리 모델 완성이 요구된다. 다양한 모델 방법 중 직관적으로 이해하기 쉽고 전기 사용자에게 접근성이 용이한 전기적 배터리 모델을 완성시키려는 많은 연구들이 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 리튬 이온 배터리는 전류대비 전압 출력특성에 의해 저항과 커패시터로 모델링되며 배터리의 휴지상태 전압곡선을 커브피팅하여 파라미터를 추출한다. 기존의 커브피팅 결과 해석법은 휴지상태 직전의 배터리의 내부 커패시터가 포화된 것을 가정하지만 배터리 내부의 큰 시정수에 의해 커패시터가 포화되지 않는 경우가 있어서 내부 저항이 실제보다 작게 계산된다.

본 논문에서는 기존의 휴지 곡선 커브피팅 추출법을 개선하는 방법을 제안하였다. 우선 휴지 곡선을 커브피팅하여 1차 계산을 한다. 그 후 과도상태 재현을 통해 파라미터를 반복 계산하여 보정하는 방법으로 보다 정확한 파라미터를 측정 결과를 얻는다. 제안하는 방법을 통한 모델링 결과 개선은 시뮬레이션 결과 및 실제 단전지를 이용한 실험결과를 통해 검증하였다.

### 2. 본문

#### 2.1 기존 파라미터 추출 방법 및 발생 오류

리튬 이온 배터리는 실험적 해석에 의하여 그림 1과 같은 2차 RC Ladder 모델로 해석하는 것이 일반적이다<sup>[1]</sup>. 배터리 모델 파라미터 추출에는 펄스파의 전류로 배터리를 충방전 시킨 뒤 충전상태를 유지하게 되는 휴지기간 동안의 전압곡선을 이용한다. 모델을 기반으로 식(1)의 수식을 수립 후 상수값  $V_1$ ,

$V_2$ ,  $\tau_1$ ,  $\tau_2$ 을 피팅한 뒤 휴지 직전의 배터리 내부 커패시터 포화를 가정하여 R,C 파라미터를 계산한다<sup>[2]</sup>.

$$V_i(t) = OCV + V_s(1-u(t)) + V_1 e^{-\frac{t}{\tau_1}} + V_2 e^{-\frac{t}{\tau_2}} \quad (1)$$

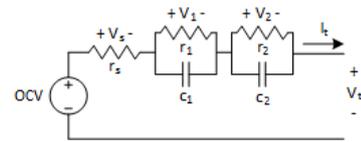


그림 1 2차 RC Ladder 모델.  
 Fig. 1 secondary RC Ladder Model.

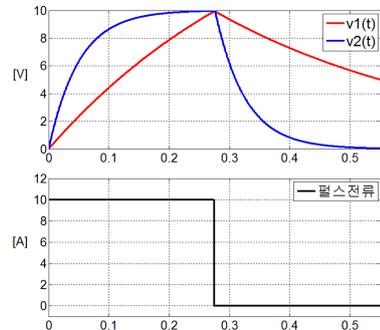


그림 2 내부 커패시터 상태의 영향 결과 차이.  
 (실제값  $r_{1a}=2\Omega$ ,  $r_{1b}=1\Omega$ , 추출 결과  $r_{1a}=r_{1b}=1\Omega$ )  
 Fig. 2 Analysis of inner capacitor saturation.

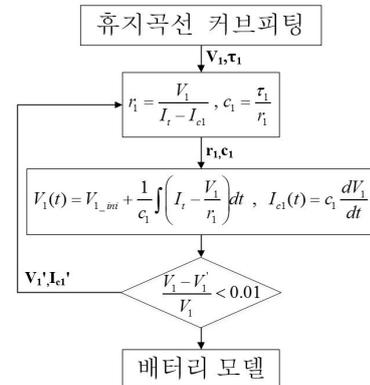
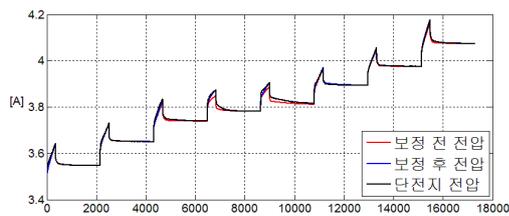


그림 3 파라미터 계산 보완 알고리즘.  
 Fig. 3 Algorithm of parameter calculation complement.

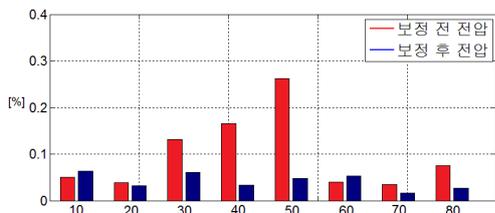
RC Ladder가 가지는 시정수가 짧을 경우 전류 투입 시간 동안 포화가 일어나지만, 시정수가 긴 경우 포화상태에 도달하지 못하게 되어 그림 2와 같이  $V_{1a}$ ,  $V_{1b}$ 의 값이 같은 값으로 측정되면  $r_{1a}$ ,  $r_{1b}$ 가 다른 값임에도 같게 계산 된다.

### 2.2 파라미터 계산 보정 방법

파라미터 추출의 보정은 그림 3의 과정으로 진행된다. 우선 휴지상태 전압곡선을 커브피팅하고 1차적으로 내부 파라미터를 계산한다. 그 후 충전과정의 전압과 일치하는 값을 가지도록 파라미터를 반복 계산한다. 보정 전후의 결과는 그림 4과 같으며 추정 전 최대 오차를 기준 1/5으로 감소하였다.



a) 단전지 실험 결과 및 시뮬레이션 과정



b) 보정 전후 오차율 비교

그림 4 파라미터 계산 보완 결과.

Fig. 4 Result of parameter calculation complement.

### 2.3 배터리 모델링 결과 검증

#### 2.3.1 시뮬레이션 결과 검증

검증을 위해 시뮬레이션 플랫폼을 구축하고 배터리 모델의 내부 파라미터값을 가상으로 입력한 뒤 보정 전후의 방법으로 각각 파라미터를 재추정한다. 재추정 결과는 표 1과 그림 5와 같으며 최대 평균오차율이 107.59%에서 3.68%로 감소했다.

표 1 가상 시뮬레이션 재추정 결과 오차율.

Table 1 Reestimation error rate of virtual simulation.

[%]	$r_s$	$r_1$	$r_2$	$C_1$	$C_2$
보정 전	0.49	7.21	46.12	6.63	107.59
보정 후	0.49	0.75	3.68	0.72	3.28

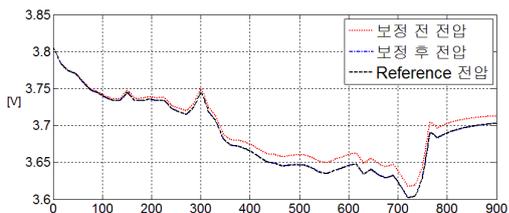
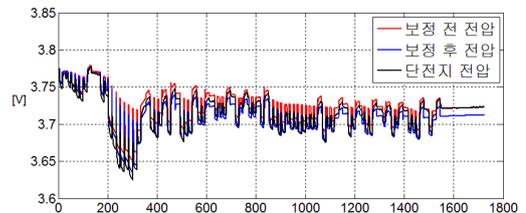


그림 5 가상 시뮬레이션 재추정 실험 결과.

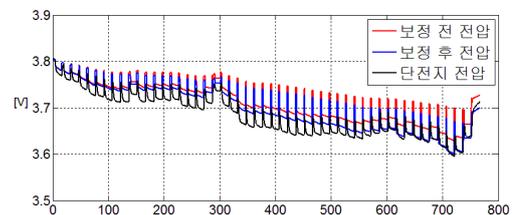
Fig. 5 Reestimation result of virtual simulation.

#### 2.3.2 단전지 실험 검증

단전지 검증에는 배터리 평가를 위하여 가장 보편적으로 쓰이는 UDSS (Urban Dynamometer Driving Schedule) 및 HWFET (HighWay Fuel Economy Test) 전류 프로파일을 사용한다. 실험 결과는 그림 6과 표 2와 같으며 실험 결과 오차율 및 RMSE(Root Mean Square Error)값이 보정 전보다 감소하여 제안방법의 우수성이 검증되었다.



a) UDSS 프로파일 이용 시뮬레이션 결과



b) HWFET 프로파일 이용 시뮬레이션 결과

그림 6 단전지 실험 결과.

Fig. 6 Result of single cell experiment.

표 2 단전지 실험 결과 평균오차율, RMSE.

Table 2 Average error rate & RMSE of single cell experiment.

	UDSS 오차율[%]	UDSS RMSE	HWFET 오차율[%]	HWFET RMSE
보정 전	0.0026	0.0133	0.8635	0.0356
보정 후	0.0020	0.0102	0.5407	0.0249

### 3. 결론

본 논문에서는 기존의 배터리 2차 RC Ladder 모델의 내부 파라미터 추출법을 보완하는 방법을 제시하였다. 배터리의 휴지 전압곡선 커브피팅 결과에 배터리 내부 커패시터 성분의 과도상태를 계산한 뒤 보정하여 배터리 모델의 정확도를 높였다. 이 연구를 통하여 보다 높은 수준의 배터리 동특성 해석 및 안정성 확보를 기대할 수 있다.

### 참고 문헌

- [1] J.M. Lee, J.H. Lee, O.Y. Nam, J.H. Kim, B.H. Cho, H.S. Yun, S.S. Choi, K.H. Kim, J.H. Kim, and S.N. Jun, "Modeling and Real Time Estimation of Lumped Equivalent Circuit Model of a Lithium Ion Battery", *Power Electronics and Motion Control Conf.*, pp.1536 1540, Aug. 2006.
- [2] J. Hafsaoui, J. Scordia, F. Sellier, and P. Aubret, "Development of an electrochemical battery model and its parameters identification tool", *Int. J. of Automotive Engineering*, vol. 3, no. 1, pp.27 33, Feb. 2012.