

EIS를 이용한 하이브리드 자동차용 리튬 이온 전지 모델링 방법

전지수, 김나리, 임동진, 안정훈, 이병국[†]
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과

Modeling Process of Lithium-Ion Battery for HEV Considering EIS

Jisu Jeon, Nari Kim, Dong Jin Lim, Jung Hoon Ahn, and Byoung Kuk Lee[†]
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

ABSTRACT

본 논문은 Hybrid Electric Vehicle용 리튬이온배터리의 ECM (Equivalent Circuit Model) 선정 방법을 제안한다. 전기 회로를 구성하는 성분들의 특징을 분석하고, 그 결과와 EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) 장비의 측정 결과를 참고하여 배터리를 모델링한다. 다양한 종류의 배터리에 이 방법을 적용하여 각 배터리에 적합한 ECM을 선정하고, 그 임피던스를 EIS 측정 결과에 비교하여 타당성을 검증한다. 또한, 기존에 제시된 ECM과 비교하여 정확도 개선을 평가한다.

1. 서 론

배터리의 SOC (State Of Charge) 추정을 통해 과충전 및 과방전을 방지할 수 있으며, HEV (Hybrid Electric Vehicle)용 배터리의 사용 범위를 최대화 할 수 있기 때문에 정확한 SOC 추정은 중요하다.^[1] 정확한 SOC 추정을 위해서는 배터리를 ECM (Equivalent Circuit Model)으로 모델링하여 내부 임피던스를 예측해야 한다.^[2] 그러나 기존 논문들에서 제안한 모델들은 복잡하거나 정확도가 낮기 때문에 간단하면서도 정확도가 높은 모델을 선정하는 방법이 필요하다.^[2]

본 논문에서는 배터리의 EIS (Electrochemical Impedance Spectroscopy) 데이터와 동일한 임피던스를 갖도록 ECM을 설계하는 과정을 제안한다. 전기회로 소자들이 갖는 주파수 임피던스 특성을 분석하고, 그 특성을 고려하여 ECM을 설계한다. 또한 배터리의 EIS 결과를 기준으로, 기존 모델과 제안 모델의 R^2 지표를 비교하여 정확도 개선을 평가한다.

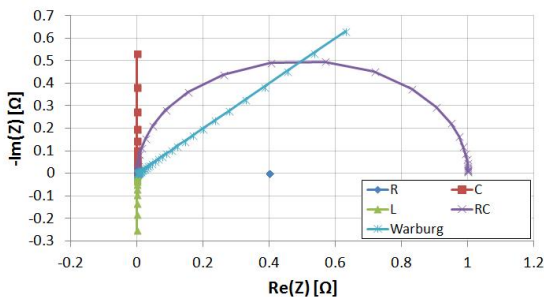


그림 1 기본 블록들의 Nyquist Plot
 Fig. 1 Nyquist plots of basic blocks

2. 본 론

2.1 ECM 설계 과정

전기회로의 기본 소자인 R, C, L과 RC병렬, Warburg 임피던스를 기본 블록으로 이용하여 등가회로를 구성한다. 배터리의 EIS 데이터 그래프에 일반적으로 나타나는 반원과 기울기 1의 직선을 나타내기 위해 RC병렬과 Warburg 임피던스를 기본 블록으로 선정했다.^[2] 그림 1은 기본 블록들의 Nyquist plot이며, 이 다섯 가지 기본 블록들을 조합하여 EIS 데이터에 부합하는 ECM을 설계한다.

2.2 적용 및 평가 과정

그림 2는 [3]에서 참고한 EIS 데이터와 ECM의 임피던스를 비교한 그래프이다. 그림 3(a)는 [3]의 기존 모델이며, 용량성 리액턴스가 감소하는 고주파 부분에서 정확도가 떨어진다. 기존 회로에 인덕터를 연결하여 이를 보완하였고, 그 모델은 그림 3(b)와 같다.

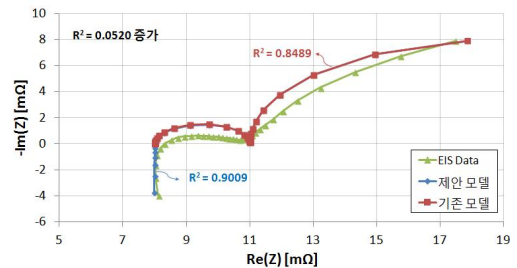
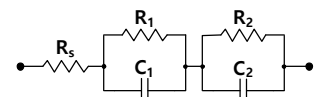
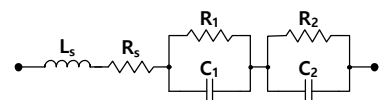


그림 2 EIS Data와 두 ECM의 임피던스 비교
 Fig. 2 Comparison between EIS data and the two ECMs



(a) The previous ECM of [3]



(b) The proposed ECM

그림 3 [3]의 기존 모델과 논문에서 제안한 개선 모델
 Fig. 3 The previous and suggested models for [3]

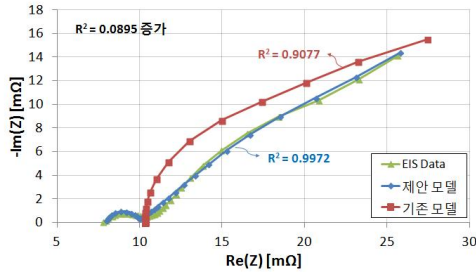


그림 4 EIS Data와 두 ECM의 임피던스 비교
Fig. 4 Comparison between EIS data and the two ECMs

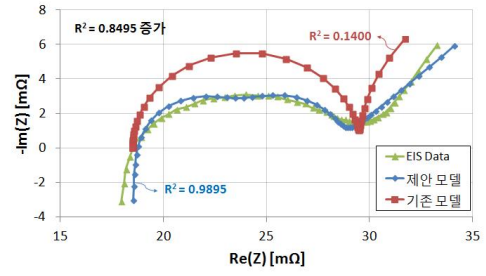


그림 6 EIS Data와 두 ECM의 임피던스 비교
Fig. 6 Comparison between EIS data and the two ECMs

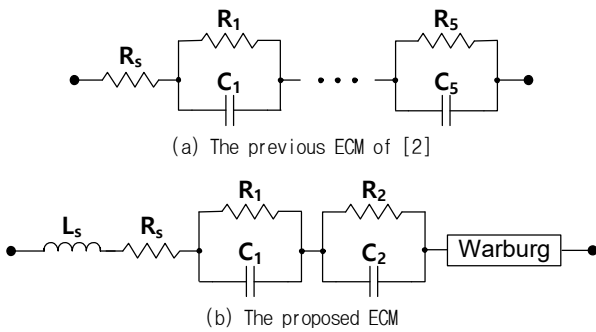


그림 5 [2]의 기존 모델과 논문에서 제안한 개선 모델
Fig. 5 The previous and suggested models for [2]

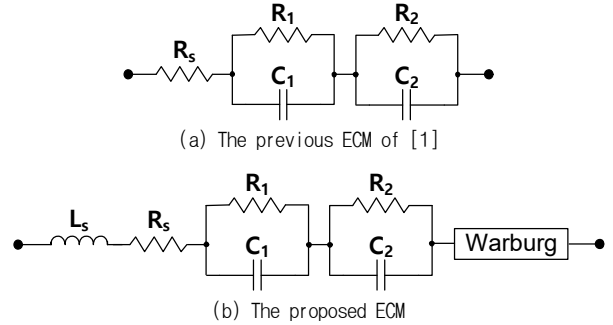


그림 7 [1]의 기존 모델과 논문에서 제안한 개선 모델
Fig. 7 The previous and proposed models for [1]

2.3 적용 사례 1

그림 4는 [2]의 EIS 데이터와 ECM의 임피던스를 비교한 그래프이다. [2]의 기존 ECM은 5차RC회로이며, 그림 5(a)와 같다. 소자가 많이 사용되어 모델이 복잡하지만 정확도가 높지 않다. 본 논문에서 설계한 ECM은 그림 5(b)와 같다. R_s 는 x축 이동, R_1C_1 병렬은 반원, R_2C_2 병렬과 Warburg 임피던스는 굴곡 있는 선을 나타내어 모델의 정확도가 개선되었다.

2.4 적용 사례 2

그림 6은 [1]에서 참고한 EIS 데이터와 ECM의 임피던스를 비교한 그래프이다. 그림 7(a)는 [1]에서 적용한 2차RC회로 모델이다. 2차RC회로의 임피던스 그래프는 두 개의 곡선으로 구성되어 직선형태의 저주파 부분과 용량성 리액턴스가 감소하는 고주파 부분에서 정확도가 떨어진다. 또한 중간 주파수 영역에서 곡선의 곡률에도 큰 차이가 있다.

그림 7(b)와 같이 2차RC회로에 Warburg 임피던스와 인덕터를 직렬로 연결하여 이러한 문제들을 해결할 수 있다. 인덕터는 고주파 영역, Warburg 임피던스는 저주파 영역의 정확도를 높인다. 중간 주파수 영역의 곡선은 두 RC병렬을 조합하는 방법으로 곡률 문제를 해결한다.

2.5 적용 사례 결과 정리

본 논문에서 제안한 방법으로 설계한 ECM이 기존 ECM보다 정확도가 향상된 것은 R^2 비교를 통해 확인하였다. 특히, 사례 1에서는 정확도를 높이면서 동시에 기본 블록의 수를 줄여 모델을 단순화 할 수 있었다. 또한, 사례 2에서는 기본 블록을 추가하여 기존 논문 대비 ECM의 정확도를 크게 향상시켰다.

3. 결론

본 논문에서는 HEV용 배터리 ECM의 정확도를 높이는 설계 방법을 제안하였다. 기본 블록들의 임피던스 특성을 분석하고, 이를 고려하여 배터리의 EIS 결과에 부합하도록 ECM을 설계하였다. 이를 통해 모델을 간소화하고 정확도를 개선했으며, HEV용 프로파일에서도 모델 정확도가 향상되었다. 본 논문에서 제안한 모델과 기존 문헌 ECM의 비교를 통해 정확도 개선을 검증하였고, 이로써 제안하는 모델링 방법의 타당성을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] CR Birkel, "Model identification and parameter estimation for LiFePO4 batteries", Hybrid and Electric Vehicles Conference 2013, IET, pp. 1-6, 2013.
- [2] Dinh Vinh Do, "Impedance Observer for a Li Ion Battery Using Kalman Filter", IEEE Transactions on vehicular technology, Vol. 58, No. 8, pp. 3930-3937, 2009, October.
- [3] E. Prada, "Physics based modelling of LiFePO4 graphite Li ion batteries for Power and Capacity fade predictions: Application to calendar aging of PHEV and EV", IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, pp. 301-308, 2012, October.