

방전전류크기 및 SOC 구간별 고용량 및 고방전 리튬-이온 셀 ECMs의 전기적 특성 비교

이현준¹, 박종후¹, 김종훈²
 숭실대학교¹, 조선대학교²

Comparative analysis of electrical characteristics of the high-capacity and high c-rate Lithium-ion cell ECMs according to the discharge current size and SOC range

Hyun-jun Lee¹, Joung-hu Park¹, Jonghoon Kim²
 Soongsil University¹, Chosun University²

ABSTRACT

본 논문에서는 고용량 및 고방전 리튬-이온(LiCoO₂)원통형(cylindrical)셀의 방전전류크기 및 SOC 구간에 따른 등가회로 파라미터의 특성을 비교 분석해보고 SOC 추정시 모델링 및 알고리즘 차별화의 필요성을 제시하고자 한다.

1. 서론

최근 자동차의 연비 개선 및 환경오염에 따른 문제점을 해결하기 위해 환경 친화적인 에너지원으로 사용되고 있는 리튬 계열 배터리에 많은 관심이 집중되고 있다. 특히, 크기 대비 에너지 밀도가 우수한 리튬-이온 배터리는 가장 널리 사용되고 있는 배터리 중 하나이다^[1]. 그러나 리튬-이온 셀의 에너지 밀도를 높이기 위해서는 양극에 저장되는 리튬의 양을 증가시켜야 하는데, 이는 비싼 리튬의 가격과 비례해 리튬-이온 셀의 가격을 상승시킨다. 이런 높은 가격의 리튬-이온 셀을 장기간 효율적으로 사용하기 위해서는 신뢰도 높은 배터리 관리시스템(battery management system; BMS) 구축이 필수적이다^{[1]-[2]}. 그리고 BMS의 구성요소 중 정확한 SOC(State Of Charge)추정은 가장 큰 비중을 차지한다. 리튬-이온 셀은 양극에 저장되는 리튬의 양을 증가시켜 에너지 밀도를 높인 고용량 셀과, 양극의 재료 및 활물질을 개선하여 짧은 시간에 높은 전류로 방전시킬 수 있는 고방전 셀로 나뉜다^[3]. 두 셀의 구성성분이 다르므로, 셀 등가회로모델(Equivalent Circuit Model; ECMs)의 전기적 특성에도 차이가 있다. 이러한 두 셀을 똑같은 ECMs과 알고리즘을 사용해 모델기반의 SOC추정을 한다면 큰 오차를 보일 것이다. 본 논문에서는 고용량과 고방전 셀의 방전전류크기 및 SOC 구간별 ECMs 파라미터값들의 전기적 특성을 비교 분석해 보고 모델 기반의 SOC 추정시 모델링 및 알고리즘 차별화의 필요성을 제시하고자 한다.

2. 전기적 등가회로 모델링

표 1과 2는 실제 실험에 사용된 고용량 및 고방전 리튬-이온 셀에 관한 제원표이다. 용량을 보면 NCR-18650A(고용량) 모델이 3.1Ah, INR-18650-25R(고방전)이 2.5Ah로서 NCR-18650A 모델이 고용량 셀임을 확인할 수 있다. 최대방전 전류를 보면 NCR-18650A 모델이 3A(=1C), INR-18650-25R 모델이 20A(=8C)로서 INR-18650-25R이 고방전 셀임을 확인할 수 있다.

표 1. NCR-18650A(고용량)셀의 제원표

| | |
|--------------------------------------|--------------|
| Capacity | 3.1Ah |
| Voltage range | 4.2V ~ 2.75V |
| Maximum charge current | 1A |
| Maximum continuous discharge current | 3A |

표 2. INR-18650-25R(고방전)셀의 제원표

| | |
|--------------------------------------|-------------|
| Capacity | 2.5Ah |
| Voltage range | 4.2V ~ 2.5V |
| Maximum charge current | 4A |
| Maximum continuous discharge current | 20A |

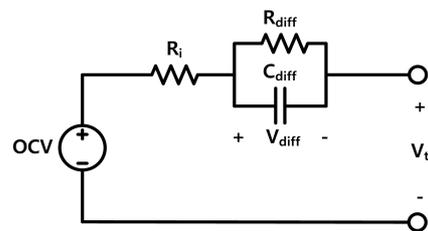


그림 2. 리튬-이온 셀의 전기적 등가회로모델(ECMs)

그림 2는 리튬-이온 셀의 전기적 등가회로모델이다. 모델기반의 SOC 추정을 하기 위해선 그림 2와 같은 셀의 ECMs이 반드시 필요하다. 셀의 ECMs은 기본적으로 OCV(Open Circuit Voltage)와 전하전달현상을 나타내는 R_i, 전기이중층 및 확산현상을 나타내는 RC-ladder의 R_{diff}와 C_{diff}로 이루어져 있다.

4. 셀의 전기적 특성 비교

그림 3과 4는 고용량 및 고방전 리튬-이온 셀의 방전전류크기 및 SOC 구간에 따른 ECMs 파라미터값들의 전기적 특성을 비교한 것이다. 그림 3-(a)와 그림 4-(a)의 OCV의 경우 두 셀 모두 방전전류크기에 따라 거의 차이가 없는 것을 확인할 수 있고, SOC구간별 변화도 거의 일치하는 것을 확인할 수 있다. 따라서, 특별한 모델링 및 알고리즘적인 기법이 필요하지 않다. 그림 3-(b)의 고용량 셀의 R_i의 경우 방전전류의 크기에 상관없이 SOC 구간에 따라 차이가 10~50Ω으로 매우 큰 것을 확인할 수 있다. 이 경우 R_i를 일정 상수값으로 고정하여 SOC 추정을 한다면 큰 오차가 발생한다. 따라서, 고용량의 R_i값의 경우 SOC 구간에 따라 ECMs의 파라미터값을 변경해주는 알고리즘적인 기법이 필요하다.

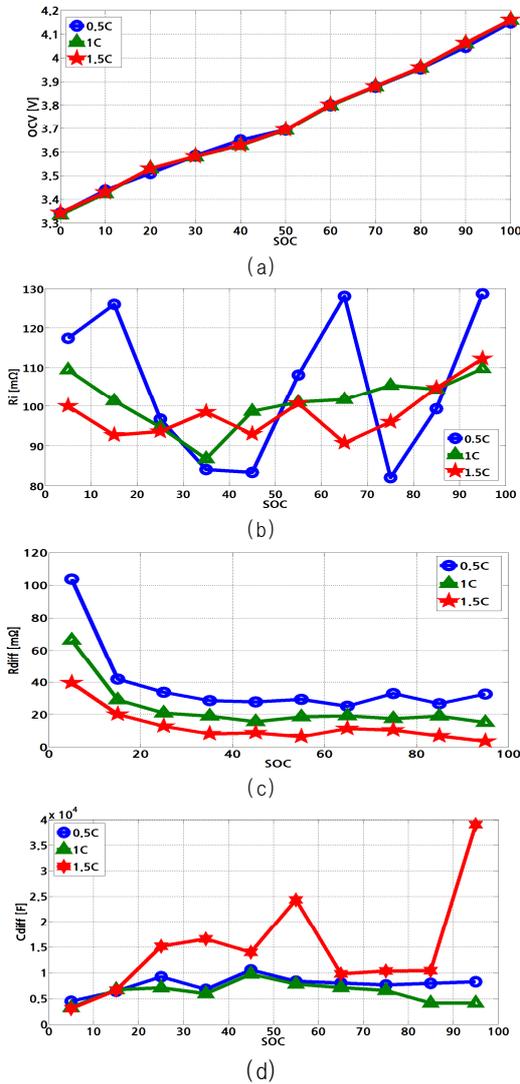


그림 3. 방전전류크기 및 SOC 구간별 고용량 리튬-이온 셀 ECMs의 전기적 특성 비교; (a) 고용량 셀의 OCV, (b) 고용량 셀의 R_i , (c) 고용량 셀의 R_{diff} , (d) 고용량 셀의 C_{diff}

반면에, 그림 4-(b)의 고방전 셀의 R_i 값의 경우 SOC 구간에 따른 차이는 크지 않고 방전전류크기에 따라 약 10Ω 정도의 차이가 존재하므로, 방전전류크기에 따라 ECMs의 파라미터값을 변경해주는 알고리즘적인 기법이 필요하다. 그림 3-(c)의 고용량 셀의 R_{diff} 의 경우 SOC 10%이하의 구간을 제외하면 SOC 구간별 차이는 크지 않고 방전전류크기에 따라 약 5Ω 정도의 차이가 존재한다. 실제 어플리케이션에서 배터리가 사용될 때 주로 SOC 10~90% 범위 안에서 사용이 되므로 10%이하의 구간은 고려하지 않아도 된다. 따라서, 고용량 셀의 R_{diff} 의 경우, 방전전류크기에 관한 알고리즘적인 기법이 필요하다. 그림 4-(c)의 고방전 셀의 R_{diff} 의 경우, 방전전류크기 및 SOC 구간에 따라 약 10~20 Ω 의 차이가 존재한다. 따라서, 고방전 셀의 R_{diff} 는 방전전류크기 및 SOC 구간에 관한 알고리즘적인 기법이 필요하다. 그림 3-(d)의 고용량 셀의 C_{diff} 값의 경우, 방전전류크기 및 SOC 구간에 따라 약 1000~15000F의 차이가 존재한다. 따라서, 방전전류크기 및 SOC 구간에 관한 알고리즘적인 기법이 필요하다. 그림 4-(d)의 고방전 셀의 R_{diff} 값의 경우, 방전전류크기 및 SOC 구간에 따라 약 1000~5000F의 차이가 존재한다.

따라서 방전전류크기 및 SOC 구간에 관한 알고리즘적인 기법이 모두 필요하다.

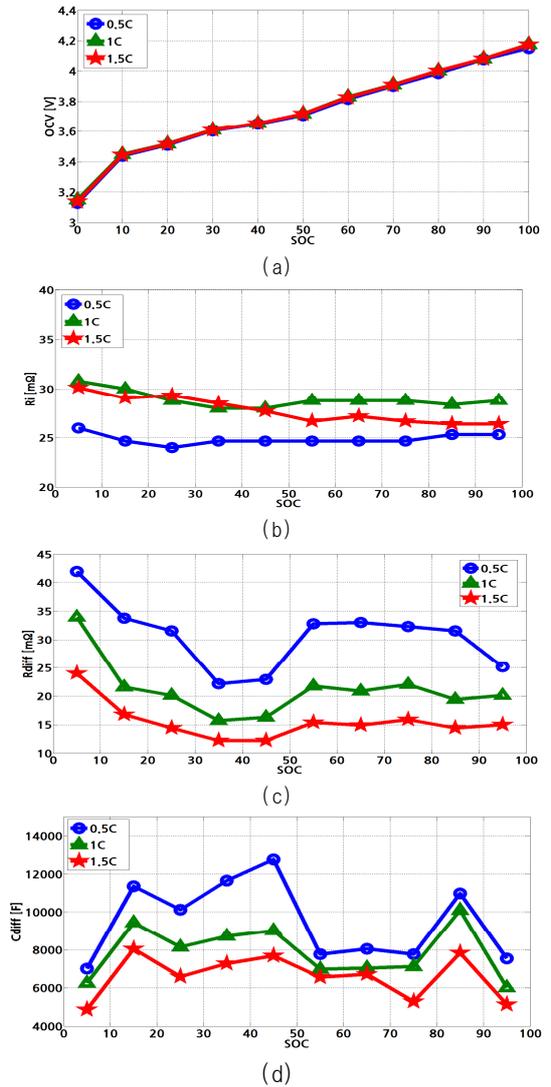


그림 4. 방전전류크기 및 SOC 구간별 고방전 리튬-이온 셀 ECMs의 전기적 특성 비교; (a) 고방전 셀의 OCV, (b) 고방전 셀의 R_i , (c) 고방전 셀의 R_{diff} , (d) 고방전 셀의 C_{diff}

4. 결론

고용량 및 고방전 리튬-이온 셀 ECMs의 전기적 특성 비교 및 분석결과 다양한 차이점이 존재하였고, 각각의 ECMs 파라미터값의 전기적 특성에 맞게 모델링 및 알고리즘의 차별화를 두어야 한다는 것을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] 장기욱, 김혁진, 정교범, “셀 모델링 및 SOC 추정기법 비교 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2010. 07, 87-88
- [2] 이현준, 박종후, 김종훈, “리튬이온 폐배터리의 효율적인 재활용을 위한 발전된 SOC 추정방법의 필요성 연구”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2015. 11, 54-55
- [3] 조만, 나도백, 길상철, 김상우, “전 기자동차용 리튬이온 이차전지 기술동향”, 에너지 공학 제20권 제22호, 2011. 6, 109-122