

온도 및 C-rate에 따른 배터리 팩의 전기적 특성 분석

강태우*, 김재호*, 이평연*, 하미림**, 송현철**, 김종훈*
충남대학교*, 한화지상방산**

Analysis of electrical characteristics of 24S1P battery considering temperature and C-rates.

Tae Woo Kang*, Jae Ho Kim*, Pyeong Yeon Lee*, Mi Lim Ha**, Hyun Chul Song**, Jong Hoon Kim*
Chungnam University*, Hanwha Land Systems**

ABSTRACT

본 논문은 충·방전 실험을 통해 온도와 C rate에 따른 24S1P 배터리팩 내부 저항 변화와 용량을 비교분석하였다. 충전 및 방전 전류의 크기와 온도의 변화에 따라 변하는 내부 저항과 용량의 변화를 비교분석하기 위해 다양한 온도 조건(5°C, 25°C, 55°C)에서 SOC별(0.04C, 1/3C) HPPC 테스트를 진행하였다. 실험을 통해 얻은 데이터로 1차 RC 등가모형을 통하여 온도와 C rate에 따른 저항, 용량 변화를 분석하였다

1. 서 론

오늘날 리튬이온 배터리는 큰 용량, 높은 안정성을 가지고 있어 HEV(Hybrid Electric Vehicle)와 EV(Electric Vehicle)등 산업계 및 실생활에 다방면으로 쓰이고 있다^[1]. 따라서 다양한 환경에서 변하는 배터리의 내부 파라미터의 해석과 분석이 요구된다.

리튬이온 배터리의 작동원리는 물리화학적 모델링으로 정확한 묘사가 가능하지만 물리화학적 모델링은 계산량이 많고, 복잡하여 파라미터들의 결과와 실제 어플리케이션의 적용이 어렵다. 하지만 전기적 등가회로 모델의 파라미터를 통해 배터리의 내부 저항과 용량을 통해 특성을 비교적 쉽게 확인할 수 있다. 내부저항은 오믹(Ohmic)저항과 분극저항으로 분류된다.^[2]

본 논문은 NMC(LiNiMnCoO₂) Prismatic 배터리팩의 저항 성분과 용량 분석을 통해 전기적 모델을 제시하였고 정전류, 정전압 실험을 통해 저항을 추출하였다. 마지막으로 서로 다른 온도와 C rate 조건에서 용량과 저항을 측정, 비교분석을 하였다. 배터리 내부 저항은 배터리 열해석이나 수명 연구의 중요한 파라미터로써 이후 관련연구에 적용될 수 있다.

2. 24S1P 배터리 팩 내부 특성 추출 실험 및 분석

2.1 전기적 등가 회로 모델

그림 1은 리튬이온 배터리의 전기적 등가 회로 모델을 나타낸다. 전기적 모델에서 OCV(Open Circuit Voltage)는 전류가 흐르지 않을 때 측정되는 전압이다. Ri는 ohmic저항이고 Rp는 분극저항으로, 본 논문에서는 Ri와 Rp를 분석하였다. 분극 현상은 추가적인 RC 병렬회로로 세부적인 물리화학적 현상을 표현할 수 있다. 하지만 내부 저항은 간단한 1차 RC전기 등가모델에서도 분석이 가능하기 때문에 본 논문에서는 1차 RC병렬회로로 분석하였다.

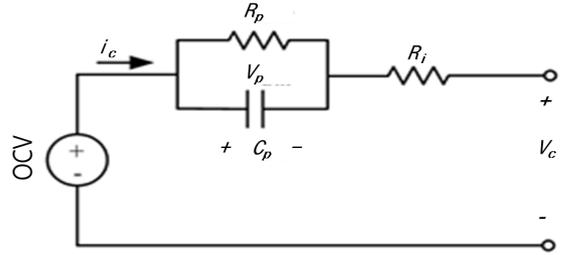


그림 1 배터리 등가 모델^[1]
Fig. 1 Battery equivalent circuit model

2.2 전기적 특성 분석을 위한 실험

2.2.1 방전용량 실험

본 논문에서는 NMC 배터리 셀을 24개 직렬을 연결한 배터리 팩을 사용했으며 완전 충전을 위해 정격 충전 전류로 CC(Constant Current) 충전 후, CV(Constant Voltage)의 조건으로 충전하여 식(1)과 같은 전류적산법을 통하여 방전용량을 도출하였다. 완전 충전 이후 프로파일 사용과 컷오프(Cut off) 셀 전압 2.7V까지 방전하였다.

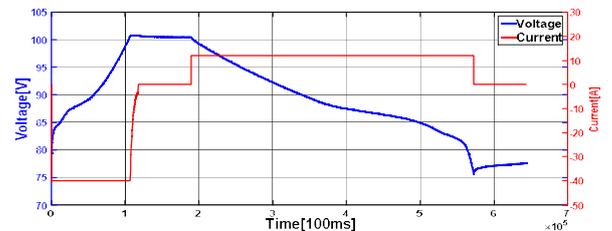


그림 2 방전 용량 프로파일
Fig. 2 Discharge capacity profile

$$\text{Discharge capacity [Ah]} = \int i \, dt \quad (1)$$

2.2.2 HPPC(Hybrid Pulse Power Characterization)

실험에 사용된 배터리팩은 NMC Prismatic 배터리 셀로써 24개의 셀이 직렬 조합으로 구성되어있다. 배터리의 내부 파라미터인 내부 저항을 추출하기 위해 SOC(State Of Charge)별 HPPC 테스트를 진행하였다. 실험은 100[ms]마다 데이터를 측정하였고, 그림3과 같이 완전 충전 이후 각 SOC 5%별 HPPC 테스트를 진행하였다.

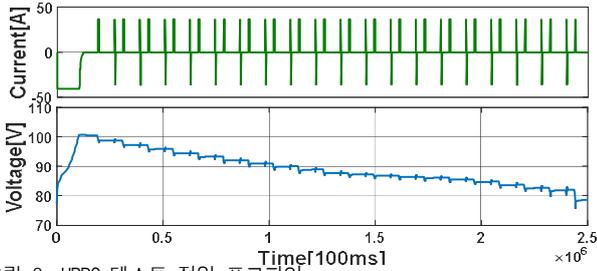


그림 3 HPPC 테스트 전압 프로파일
Fig. 3 Voltage profile of HPPC test

2.2.3 내부저항 추출

OCV는 휴지시간 이후 안정화된 전압 값(V_1)을 의미한다. 그림 4는 HPPC 테스트에서 각 SOC별 저항 산출방법을 그림으로 나타내었다. R_i 는 순간적인 전류의 인입으로 인한 저항으로 V_1 에서 V_2 를 뺀 값에서 전류로 나누어 구할 수 있다. R_p 는 RC 병렬회로의 동적 특성을 나타내기 위한 저항으로 V_2 에서 V_3 를 뺀 전압 변화량을 이용하여 산출하였다.

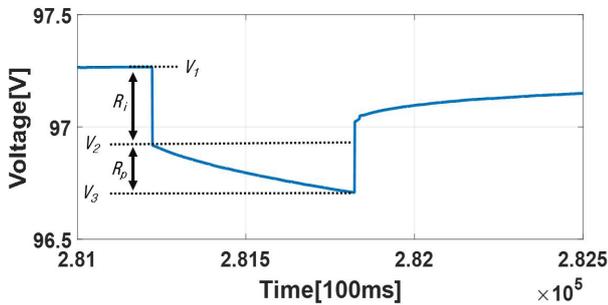
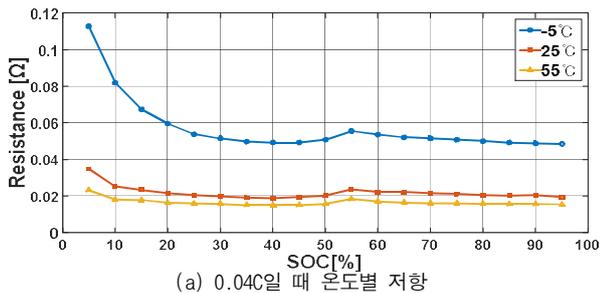


그림 4 HPPC 테스트에서의 내부저항 도출
Fig. 4 Derivation of internal resistance at HPPC test

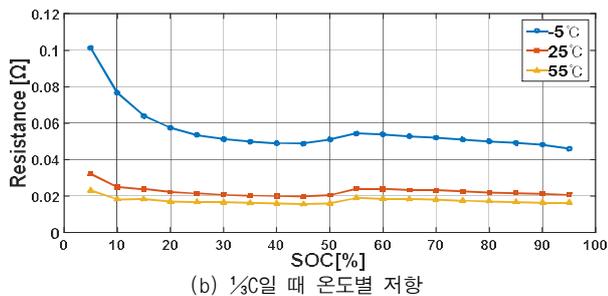
2.3 온도와 C-rate의 변화에 의한 전기적 특성의 변화

2.3.1 내부저항 추출

그림 5는 다양한 온도 조건(5°C, 25°C, 55°C)에서 C rate를 0.04C, 1/3C로 방전하였을 때 추출한 $R=R_i+R_p$ 를 나타낸다. 전류의 C rate와 무관하게 저온에서 내부 저항이 상대적으로 크게 측정된다. 낮은 SOC 영역에서의 내부 저항이 20~80% SOC 영역의 내부저항보다 크게 측정되었다.



(a) 0.04C일 때 온도별 저항

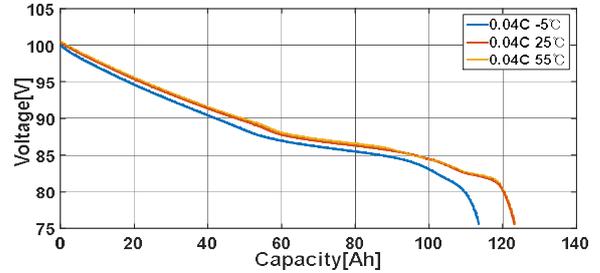


(b) 1/3C일 때 온도별 저항

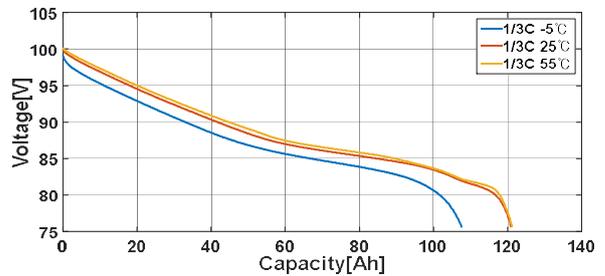
그림 5 온도에 따른 SOC별 저항 비교
Fig. 5 Comparison of resistance according to temperature and C-rates

2.3.2 용량 추출

그림 6 (a)는 5°C, 25°C, 55°C 조건에서 0.04C에서의 용량을 나타낸다. 5°C의 온도조건에선 120Ah 보다 작은 용량이 측정되고, 25°C, 55°C 조건에서는 120Ah 보다 큰 용량이 측정되는 것을 확인할 수 있다. (b)는 1/3C에서의 온도별 용량을 나타낸다. 그림 6에서 보듯이 용량은 온도조건에 영향을 크게 받는 것을 확인할 수 있다. C rate에 관계없이 5°C에서의 용량은 25°C, 55°C와 비교 하였을 때 약 7.9% 감소함을 보인다.



(a) 0.04C 온도별 용량



(b) 1/3C 온도별 용량

그림 6 C-rate에 따른 온도별 용량 비교
Fig. 6 Comparison of capacity according to temperature and C-rates

3. 결 론

본 논문에서는 NMC 배터리팩의 전기적 특성을 분석을 위한 용량실험과 HPPC 테스트 기반으로 각 5%별 SOC에 해당하는 저항을 추출하였다. 배터리의 전기적 특성인 용량과 저항은 C rate와 온도에 영향을 받는 것을 확인하였다. 저항은 저온에서 높은 값을 가지며, 용량은 저온에서 낮은 용량을 보인다. 이는 저온에서 배터리의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. 따라서 실제 어플리케이션에 적용하기 위해선 다른 C rate와 온도조건에서 배터리의 전기적특성을 분석할 필요가 있다.

이 논문은 한화지상방산의 연구비 지원에 의하여 연구되었습

참 고 문 헌

- [1] Gregory L. Plett. "Battery Management Systems: Battery Modeling". Boston: Artech House, 2015
- [2] 이평연, "C rate별 고출력 원통형 리튬이온 원통형 셀의 충격시험 기반 내부 특성 비교 분석: 전력전자학회 2016년도 전력전자학술대회 논문집, 2016. 7, 383 384(2 pages)