

E-mobility 어플리케이션에 적합한 고용량 배터리의 온도 특성 분석

김민혁*, 이평연*, 이성준**, 김종훈*
 충남대학교*, 조선대학교**

Study of temperature characteristics of high energy battery pack for E-mobility application

Minhyuk Kim*, Pyeong-Yeon Lee*, Jonghoon Kim*
 Chungnam National University*, Chosun University**

ABSTRACT

E-mobility 어플리케이션의 구동 전원 사용되는 리튬이온 배터리의 온도 특성 반영은 필수적이다. 본 논문에서는 고용량 배터리팩의 온도에 따른 전기적 특성을 확인하기 위해 전기적 특성 실험을 수행하였다. 또한, 고용량 배터리팩의 안전성 및 최적 운용을 위해 전기적 특성 실험 기반 온도에 따른 특성 인자인 셀 간 전압 편차, 용량, SOC별 내부저항의 비교분석을 수행하였다.

1. 서론

최근 전 세계적으로 화석 연료의 고갈과 환경오염에 대한 규제가 커지고 있다. 이에 따라 친환경 운송 수단의 수요가 증가하고 있다. 전기 자동차(Electric Vehicle; EV) 및 전기 자전거(E-bike) 등의 어플리케이션의 사용량이 지속적으로 증가하고 있으며 전기자동차의 에너지를 효율적으로 저장하기 위한 고용량 배터리 팩의 필요성 또한 증가하는 추세이다.

리튬이온 배터리는 높은 에너지 밀도와 전력 밀도, 가벼움, 친환경성 등의 장점이 있어 전기자동차 및 신재생 에너지의 에너지 저장장치에 많이 사용되고 있다. 이러한 어플리케이션은 운용 중 혹은 운용하지 않을 때도 온도 변화에 대한 영향을 받게 된다. 또한, 배터리는 충전상태에 따라서 내부 전기화학적 특성이 달라진다.^[1] 따라서 온도 변화와 같은 외부 환경 요인들이 배터리의 상태에 따라 내부 특성이 달라지는 점에 주목해야 한다. 배터리팩을 구동 전원으로 사용되는 어플리케이션에 적용하기 위해서는 온도에 따른 배터리팩의 내부 온도별 셀 간 전압 편차, 용량 변화, 충전 상태(State Of Charge; SOC)에 따른 내부저항 변화 차이에 대한 비교분석을 수행하였다.

E-mobility 어플리케이션에 적합한 고용량 배터리의 온도 특성 분석

2. 전기적 특성 실험

본 논문에서는 고용량 원통형 배터리 셀(INR 18650-32E)을 10S3P로 연결한 배터리 팩을 사용했다. 그림 2는 실험에 사용된 배터리팩이다. 배터리의 SOC에 따라 변하는 내부 파라미터를 측정하기 위하여 방전용량 측정을 위한 실험 프로파일은 그림 1과 같이 진행하였다. 전기적 특성 실험프로파일은 그림 1에 나타내었으며, 배터리의 충전은 CC-CV(Constant Current-Constant Voltage) 방식을 사용하여 완전히 충전시켰

다. 완충된 셀을 방전 중지 전압까지 0.5C(11.56A)로 방전시킨 뒤 셀 안정화를 위해 3시간의 휴지 시간을 적용하였다. 개방회로전압(Open Circuit Voltage; OCV)는 그림 1에 나타난 전기적 특성 실험 프로파일을 통해 측정하였으며, 배터리 모듈의 내부 저항 및 캐패시터를 계산하였다.

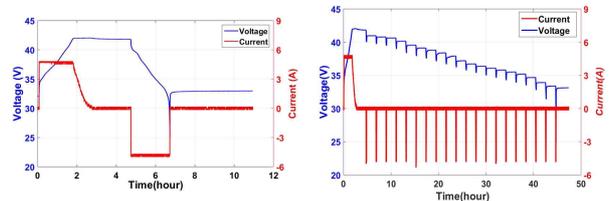


그림 1 방전 용량 프로파일(좌), OCV 측정 프로파일(우)
 Fig. 1 Discharge capacity profile(left), OCV test profile(right)

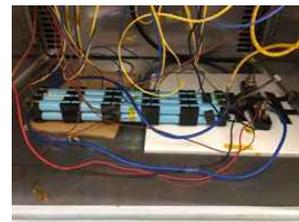


그림 2 전기적 특성 실험을 위한 배터리 팩
 Fig. 2 Battery pack used for experiments

3. 배터리팩의 온도 변화에 따른 특성 비교 및 분석

3.1 배터리팩 내부의 온도별 셀 간 전압 편차

실제 어플리케이션에서 배터리를 사용할 경우, 여러 개의 단일 셀이 직·병렬로 연결되어, 요구하는 전압, 전류 및 용량에 적합하도록 배터리 팩으로 구성하게 된다. 그러나 다수의 셀을 배터리 팩으로 구성하면, 셀 간의 전압 및 SOC 불균형이 발생하게 된다. 배터리 팩의 장기간 구동 시, 셀 간의 온도 편차, 셀과 셀을 연결하는 연결 부위에 존재하는 기생 저항 성분, 단위 셀의 노화 등에 의해 셀 간 전압 편차가 발생한다. 이 편차는 배터리의 특성이 가장 불안정한 낮은 SOC 영역 및 저온의 환경에서 크게 발생하고, 충전과 방전이 반복됨에 따라 증가한다. 이러한 셀 간의 전압 편차 증가는 배터리의 모듈의 방전 가능 용량 효율을 떨어뜨리며, 과충전 및 과방전 등의 운용 안전성을 저하시킨다.

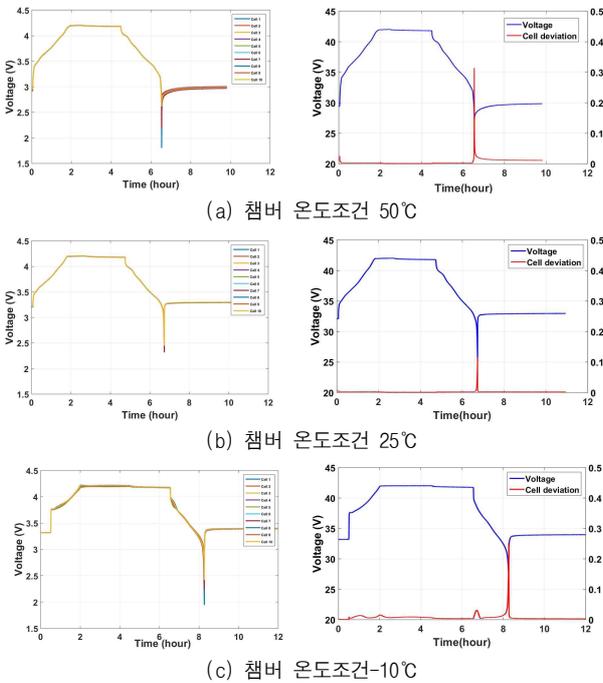


그림 3 배터리 모듈의 온도에 따른 셀간 전압 편차
Fig. 3 Deviation between cells according to the temperature of the battery pack

배터리 모듈의 셀 간 불균형에는 대표적으로 전압과 SOC 불균형이 있으며, 이 두 가지의 불균형으로 인해 배터리의 제한된 운용범위가 요구되며, 실제 배터리가 가지고 있는 최대 방전용량을 사용하기 어렵다. 따라서 배터리 모듈을 효율적으로 운용하기 위해 배터리 모듈의 셀 간 불균형을 완화를 위한 내부 파라미터 분석이 필요하다. 본 논문에서 사용된 배터리 팩은 30개의 단위 셀이 직렬, 병렬 조합으로 구성되어 있어, 각각의 단위 셀 간 전압 편차를 확인하기 위해 데이터로거를 사용하여 직렬단의 전압을 측정하였다. 그림 3은 온도별 최대 셀간 전압 편차를 나타내었으며, 외기 온도와 무관하게 직렬 조합의 배터리 모듈의 단위 셀 간 전압 편차는 상온 대비 저온과 고온에서 약 32.8% 증가하였고, 저온에서 급격하게 셀 간 전압 편차가 증가하는 것을 확인하였다.

3.2 온도에 따른 용량 분석

단위 셀의 내부 상태를 나타내는 방전 용량을 측정하기 위해 기본적으로 전류적산법 기반 방전용량을 산출하였다. 각 방전과 충전 사이 휴지 시간은 3시간으로 적용하였다. 다양한 온도를 고려하기 위해 온도 챔버를 사용하여 고온(50°C), 상온(25°C), 저온(-10°C)을 적용하였다. 외기온도와 단위 셀의 고른 열평형 상태를 위해 온도의 안정화 시간은 상온에서 12시간 이상 고온과 저온에서는 24시간 이상 적용하였다. 각 온도에서 방전용량 변화를 확인하였다. 그림 4는 온도별 방전 곡선을 나타낸다. 상온과 고온에서는 정격 용량인 9.6Ah 이상의 용량이 측정되었다. 저온에서는 나머지 온도 조건에서보다 방전용량이 정격 용량보다 낮게 산출됨을 확인하였다. 이는 상온과 고온 대비 저온에서 단위 셀 내부의 전기화학적 반응이 축소되었음을 의미한다. 또한, 온도에 따른 방전용량의 변화 비교 시 저온은 상온과 고온의 감소율보다 크며, 저온에서 급격한 배터리 내부 상태가 변화함에 따라 배터리 상태 추정 알고리즘 설계 시 저온의 배터리 특성 변화의 반응이 요구된다.

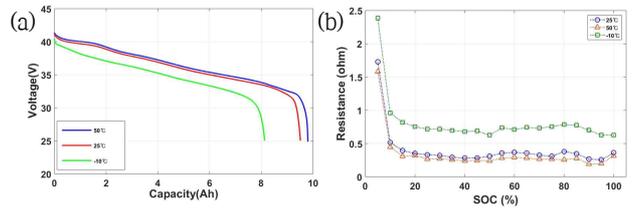


그림 4 온도별 용량 및 저항 비교
Fig. 4 Comparison of capacity according to temperature

3.3 SOC에 따른 내부 저항 변화 분석

그림 4-(a)는 온도에 따른 단자 전압의 경향성을 나타낸다. 방전 용량을 통해 온도에 따른 배터리 전압 특성을 분석하였다. 배터리의 단자전압은 OCV, 저항과 전류의 관계로 나타난다. 고온으로 갈수록 내부저항이 감소하여 그림 4-(a)와 같이 단자 전압이 상온보다 증가함을 나타내며 저온에서는 감소함을 나타낸다. 온도에 따른 배터리 모듈의 출력이 달라지므로 온도에 따른 출력 변화를 고려한 운용이 요구된다.

그림 4-(b)는 온도에 따른 SOC-저항 관계를 나타내는 그래프이다. 상온을 기준으로 SOC 0% 구간의 최대 저항 편차를 비교하였을 때 -10°C에서 가장 큰 편차를 보였으며 편차 값은 상온기준 14.92% 증가하였고, 최소 저항 편차는 상온을 기준으로 50°C에서 8.16% 감소하였습니다.

앞의 OCV-SOC 관계와 유사하게 낮은 SOC 영역(SOC 10%)에서 방전저항이 현저히 큼을 볼 수 있다. 이는 셀 및 이의 직렬조합인 배터리 모듈의 충전 및 방전동작 영역에서 SOC 10% 이하의 영역이 운용에 있어 좋지 않음을 보여주는 결과이다. 고정된 C-rate를 기준 시 상온과 고온에서의 방전저항은 대체로 유사하나 저온에서 상대적으로 방전저항이 크게 증가함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 E-mobility 배터리팩의 전기적 특성을 분석을 위한 용량 실험과 전기적 내부 파라미터를 각 SOC 5%별로 실험하여 추출하였다. 배터리의 전기적 특성인 용량과 내부 저항은 온도에 영향을 받는 것을 확인하였다. 내부 저항은 저온에서 상대적으로 크며, 용량은 저온에서 낮은 용량을 보인다. 이는 저온에서 배터리의 성능이 저하되는 것을 확인할 수 있다. E-mobility 배터리팩은 온도에 따른 용량 안정성 및 신뢰성 확보를 위해 저온에서의 운영 시 이의 특성을 반영하여 배터리 상태를 판단해야한다.

본 연구는 국토교통부 교통물류연구사업의 연구비지원 (17TLRP-C135446-01, 택배차량용 디젤 트럭의 하이브리드 개조기술 개발 및 실용화)에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] 임태호, 신민호, 김준모, 이정, 김영렬, 원충연. (2016). 리튬이온 배터리의 온도에 따른 내부저항 분석. 한국조명·전기설비학회 학술대회논문집, (), 136-136.
- [2] Long Zhou, Yuejiu Zheng, Mingguo Ouyang, Languang Lu, "A study on parameter variation effects on battery packs for electric vehicles", Journal of Power Sources Volume 364, 1 October 2017, Page 242-252