

# C-rate의 가변성에 따른 고출력 직렬 배터리팩의 셀 간 전압 불균형 비교분석

김승우\*, 이평연\*, 한동호\*, 박진형\*, 김우용\*, 김종훈\*  
 충남대학교\*

## Comparison of Cell-to-Cell Voltage Imbalance of High-Power Serial Battery Pack with Variability of C-rate

Seung-Woo Kim\*, Pyeong-Yeon Lee\*, Dong-Ho Han\*, Jin-Hyeong Park\*, Woo-yong Kim\*,  
 Jong-Hoon Kim\*  
 Chungnam National University\*

### ABSTRACT

본 논문에서는 원통형 NCA 리튬이온 배터리로 제작된 고출력 직렬조합 배터리팩으로 C-rate에 따른 전기적 특성 실험을 수행하였다. 방전 용량 프로파일 실험을 통해 배터리팩의 충/방전 C-rate가 배터리팩의 내부 파라미터에 어떠한 영향을 주는지 비교 분석한다. 실험을 통해 방전 용량과 전압 편차 파라미터를 측정한다. 전압 편차 그래프는 만방 구간과 만방 이후 휴지 구간의 셀 간 전압 편차를 중심으로 관찰하며 두 구간의 전압 편차를 비교한다. 3가지 파라미터를 비교하여 가장 효율적인 C-rate를 알아보았다

### 1. 서론

최근 전 세계적으로 화석 연료의 고갈과 환경오염에 대한 규제가 커지고 있고 이에 따라 친환경 운송 수단의 수요가 증가하고 있다. 전기 자동차(electric vehicle : EV) 및 전기 자전거(E-bike) 등의 어플리케이션의 사용량이 지속적으로 증가하고 있으며 전기차의 에너지를 효율적으로 저장하기 위한 고용량, 고출력 배터리팩의 필요성 또한 증가하고 있는 추세이다. 리튬이온 배터리는 높은 에너지 밀도와 전력 밀도, 가벼움, 친환경성 등의 장점을 가지고 있지만 과충전, 과방전에 매우 민감하여 배터리팩으로 구성 시 셀 간의 불균형으로 인해 과열 및 폭발 등 안전성의 문제를 일으킬 수 있다. 따라서 배터리팩의 성능을 향상 시키는데 셀 간의 불균형을 제어하는 것은 필수적인 과제이다. 셀 간의 불균형을 제어하기 위한 2가지 밸런싱 기법이 있다. 액티브 밸런싱과 패시브 밸런싱, 두 가지로 구분되는데 현재 대부분의 상업적인 배터리팩은 구성이 간단하고 단가가 저렴한 패시브 밸런싱에 중점을 두고 있으며 배터리팩의 효율성을 높이기 위해 셀 간의 전압 편차를 줄이기 위한 여러 가지 해결방안을 모색 중에 있다. 본 논문은 급격한 충/방전이 지속되는 차량용 어플리케이션의 특성상 어떠한 C-rate가 배터리팩의 셀 간 전압 불균형에 영향을 주는지 분석한다.<sup>[1]</sup>

### 2. 전기적 내부 특성 분석

#### 2.1 실험 조건

본 논문에서는 INR-18650 25R로 14S1P 배터리팩을 구성하였다. 배터리 팩의 사양은 정격용량 2.5Ah, 정격전압 3.6V이며 전기적 특성 실험을 상온(25°C)에서 수행 하였다. 방전 C-rate

에 따라 여러 C-rate로 분류하여 실험을 진행하는 이유는 여러 어플리케이션의 특성마다 인가되는 C-rate가 다르기 때문에 각각의 전류의 특성을 파악하기 위해 C-rate에 따른 전기적 특성을 실험한다. 그림 1의 프로파일을 사용하여 실험을 진행하고 충전 C-rate는 공통적으로 0.5C가 인가되며 방전 C-rate는 0.5C, 1C, 1.5C, 2C, 2.5C, 3C, 3.5C, 4C로 진행된다. 표1의 방전 용량은 그림1에서의 방전 구간에서의 전류를 식(1)의 전류적산법을 사용하여 도출한다.

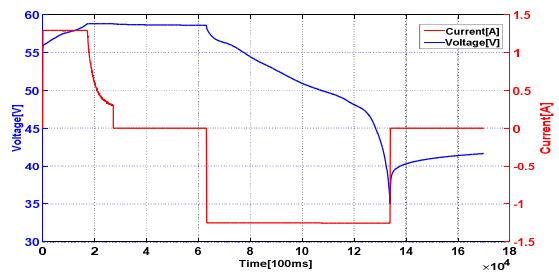


그림 1 방전 용량 프로파일  
 Fig. 1 Discharge capacity profile

$$C_n = \int i dt \tag{1}$$

#### 2.1.1 C-rate별 방전 곡선

14S1P 배터리 팩의 C-rate 따른 방전용량 그래프를 그림 2에서 나타낸다. 그림 2에서 C-rate에 따라 방전이 진행되면서 배터리의 전압은 일정하게 감소하는 경향성을 보이고 있으며 표1에서 배터리팩의 용량 변화는 최대 0.7%의 변화를 보인다. 표 1에서 C-rate에 따른 방전용량은 일정한 경향성을 나타내고 있지 않은 것을 확인 할 수 있다.

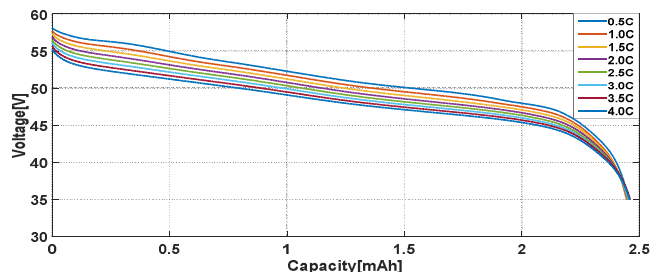


그림 2 C-rate에 따른 배터리팩의 방전 용량  
 Fig. 2 Discharge capacity of battery packs by C-rate

표 1 C-rate에 따른 배터리팩의 용량 변화

Table. 1 Capacity change of battery pack according to C-rate

	용량(Ah)		용량(Ah)	
0.5C	2.454544	2.5C	2.453037	
1C	2.446605	3C	2.455391	
1.5C	2.450694	3.5C	2.461766	
2C	2.451777	4C	2.459804	

### 2.1.2 C-rate 별 온도 변화

그림 3은 C-rate에 따른 방전 용량 실험에서의 온도 변화를 나타내며, 인가하는 C-rate에 따라 배터리팩의 내부 온도는 표 2와 같이 약 5°C씩 상승 하는 것을 볼 수 있다. 그림 3에서 최대 온도의 끝점의 도달 시간이 각 각의 C-rate 마다 일정하지 않은 것을 확인 할 수 있다. 그 이유는 그림 2에서 만방이 진행 되는 시간이 C-rate 마다 각각 다르기 때문에 온도의 끝점의 도달 시간이 다르다는 것을 확인 할 수 있다.<sup>[3]</sup>

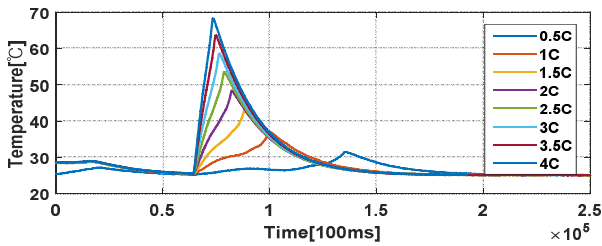


그림 3 C-rate에 따른 배터리팩의 온도 변화  
Fig. 3 Temperature of battery packs by C-rate

### 2.1.3 C-rate별 셀 간 전압 편차

배터리팩의 C-rate의 변화에 따라 그림 4의 전압 편차는 만 방 구간에서만이 일어나는 것이 아닌 만방 후의 휴지 2시간 동안에서도 일어나는 것을 표 2에서 나타내었다. 휴지 2시간 동안의 전압 편차는 그 값이 만방에서의 전압 편차보다는 적으나 지속성을 띄고 있기 때문에 전체적인 배터리팩의 불균형에 영향을 줄 수 있다. 만방에서의 전압 편차는 C-rate가 증가 할수록 평균 3.6%씩 감소하는 경향성을 보이며 휴지 2시간 동안의 셀 간 전압 편차는 0.5C에서 2.5C까지는 0.060 - 0.070[V]까지의 셀 간 편차를 3C에서 4C까지는 0.085 - 0.090[V]로, 3C 이후에서 셀 간 편차가 상승하는 경향성을 보인다. 휴지 2시간 구간의 셀 간 전압 편차에서 2.5C와 3C 사이의 전압 편차가 약 0.02[V] 상승한다.

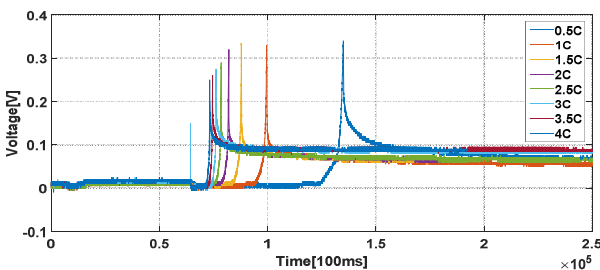


그림 4 C-rate에 따른 배터리팩의 셀 간 전압 편차  
Fig. 4 Cell-to-cell voltage deviation of battery packs by C-rate

표 2 C-rate에 따른 배터리팩의 최대 전압 편차 및 최대 온도  
Table. 2 Maximum voltage deviation and temperature of battery packs by C-rate

	만방[V]	rest 2h[V]	온도[° C]
0.5C	0.3350	0.070	31.4
1C	0.3250	0.060	36.8
1.5C	0.3300	0.065	42.49
2C	0.3200	0.070	47.82
2.5C	0.2900	0.070	53.01
3C	0.2700	0.085	57.96
3.5C	0.2600	0.090	62.90
4C	0.2500	0.090	67.54

## 3. 결론

본 논문에서는 NCA 배터리팩의 C-rate에 따른 전기적 특성의 분석을 위해 방전용량 프로파일 실험에서 셀 간 전압 편차와 방전 용량을 추출 하였다. 배터리의 셀 간 전압 편차는 C-rate에 영향을 받는다는 것을 알 수 있었다. 셀 간 전압 편차는 만방 구간에서 C-rate가 증가 할수록 셀 간 전압편차가 감소하는 것을 확인 하였다. 방전 용량은 C-rate의 변화 보다는 온도에 더 큰 영향을 받는다. 따라서 실제 어플리케이션에 적용하기 위해서는 C-rate에 따른 온도조정 시스템이 필요하다. 본 논문의 데이터 분석을 기반으로 실제 차량 환경에 맞는 EV 프로파일 실험을 진행하여 충, 방전 시에 발생하는 전압 편차에 대해 비교, 분석 할 예정이다.

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

## 참고 문헌

- [1] 공세일, 이종경, 차한주 “C-rate를 고려한 NiMH 배터리 충·방전 특성실험”, 전력전자학회, 전력전자 학술대회 논문집, 2011년
- [2] 이현준, 박종후, 김중훈, 이평연, 이성준, 송현철, 하미립, “대용량 리튬이온 배터리 팩의 셀 간 전압편차를 줄이기 위한 낮은 SOC영역에서의 가용전류 조절” 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2018년
- [3] 강태우, 김재호, 이평연, 하미립, 송현철, 김중훈, “ 온도 및 C-rate에 따른 배터리 팩의 전기적 특성 분석”, 전력전자학회, 전력전자학술대회논문집, 2018년
- [4] Long Zhou, Yuejiu Zheng, Minggao 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.