

# 지그 단자대와 배터리 터미널 접촉 면적에 따른 발열 특성 및 성능 분석

한태경\*, 진태환\*, 이인준\*, 김경화\*, 조경철\*, 심재술\*\*

\*한국섬유기계융합연구원

\*\*영남대학교 기계공학부

e-mail:tkhan@kotmi.re.kr

## Analysis of Thermal Characteristics and Performance Based on Contact Area between Jig Terminal and Battery Terminal

Tae-Gyeong Han\*, In-Jun Lee\*, Tae-Hwan Jin\*, Kyung-Hwa Kim\*, Kyung-Chul Cho\*,  
Jae-Sool Shim\*\*

\*Korea Textile Machinery Convergence Research Institute

\*\*School of Mechanical Engineering, Yeungnam University

### 요 약

본 논문에서는 배터리 터미널(terminal)과 전류 공급 지그 단자대의 접촉 면적 비율에 따른 배터리 발열 분석을 수행하였다. 지그 단자대와 배터리 터미널 사이의 접촉 면적 비율이 배터리 발열에 얼마나 영향을 미치는지 분석하기 위해, 배터리 자체의 전기화학반응으로 인한 발열과 단자대 사이의 접촉 면적에 따른 추가 발열을 전산해석하였다. 실험에서 외기 온도 조건은 23°C~27°C 사이로 유지되었으며, 배터리 온도는 열화상카메라와 써모커플(Thermocouple)을 이용하여 측정하였다. 또한 실험과 해석 결과의 비교를 위해, 실험 중 배터리에 인가된 전류 데이터를 초(s) 단위로 수집하여 온도와 전류 데이터를 해석 시뮬레이션의 입력 조건으로 동일하게 적용하였다. 접촉 면적 비율에 따른 발열 분석 결과, 접촉 면적이 클수록 전기적 접촉 저항(Electrical Contact Resistance, ECR)이 감소하고, 이에 따라 발열 또한 줄어드는 경향을 확인하였다. 본 연구 결과를 바탕으로, 배터리 발열을 최소화하기 위한 지그 단자대와 배터리 터미널 간 효율적인 접촉 설계 가이드라인을 제시할 수 있었다.

## 1. 서론

리튬이온 배터리(Lithium-ion Battery)는 높은 에너지 밀도, 우수한 출력 특성, 경량화 이점으로 스마트폰, 노트북과 같은 전자기기뿐만 아니라 자동차, 항공기 등 대형 기기에까지 널리 적용되고 있다. 특히 내연기관 차량의 온실가스 배출과 석유 연료 가격 변동성 등으로 전기자동차의 수요가 빠르게 증가하고 있다.

리튬이온 배터리 운용에서 가장 중요한 요소 중 하나는 온도 관리이다. 충방전 반복 과정에서 발생하는 발열은 배터리의 온도를 상승시키며, 이로 인해 배터리 사용 가능 용량 감소, 수명 저하, 심할 경우 열폭주(thermal runaway)로 이어질 수 있다. 특히 각형(Prismatic) 배터리는 금속 케이스를 사용하여 외부 온도에 민감하며, 열 방출이 상대적으로 어려워 더욱 정교한 열 관리가 요구된다.

하지만 리튬이온 배터리는 충방전 과정에서 자가 발열(self-heating) 외에도, 지그 단자와의 접촉 불량으로 인한 추가적인 발열이 발생할 수 있다. 지그 단자와 배터리 터미널(terminal)이 완전 접촉하지 않을 경우, 부분 접촉

이 발생하여 실제 전기적 연결 면적이 감소하게 된다. 이에 따라 전기적 접촉 저항(Electrical Contact Resistance, ECR)이 증가하고, 전류 집중(Current Crowding) 현상이 유발되어 접촉부의 온도가 국부적으로 급격히 상승한다. 이러한 온도 상승은 배터리의 추가 발열과 내부 열화를 가속화시켜, 장기적인 성능 저하를 초래할 수 있다.

이에 본 연구에서는 지그 단자대와 배터리 터미널 간 접촉 면적에 따른 발열 특성을 정량적으로 분석하고, 이로 인한 배터리의 열적 거동 변화를 평가하고자 한다. 실험에서는 열화상 카메라와 써모커플(Thermocouple)을 이용하여 온도 분포를 계측하였으며, 배터리 발열 해석은 COMSOL Multiphysics를 이용한 시뮬레이션을 통해 수행하였다. 최종적으로 실험 결과와 시뮬레이션 결과를 비교 분석함으로써 열 해석의 타당성을 검증하고자 한다.

## 2. 연구방법 및 연구 결과

## 2.1 연구방법

본 연구에서는 표 1에 제시된 사양을 갖는 배터리 Cell을 실험 대상으로 선정하여 충방전 실험과 해석 시뮬레이션을 진행하였다. 실험은 표 2과 같이 50% 충전상태인 배터리를 CC 방전 모드에서 0.5 C-rate로 완전 방전 후, CCCV 충전 모드에서 0.5 C-rate로 완전 충전하였다. 이후 다시 CC 방전 모드에서 0.5 C-rate로 완전 방전 후, 마지막으로 CCCV 충전 모드에서 0.5 C-rate로 50% 충전 상태로 실험을 종료한다. 실험 중 배터리 표면 온도는 그림 1, 그림2와 같이 열화상 카메라와 배터리에 부착한 6개 써모커플을 통해 데이터를 확보하였다.

해석 시뮬레이션은 배터리 내부 구조를 정확히 알 수 없는 점을 고려하여, 전기화학적 해석을 위한 Lumped Battery 모델과 발열 해석을 위한 Heat Transfer in Solids 모델을 적용하여 해석 시뮬레이션을 진행하였다. 또한 실험과 해석의 비교 분석을 위해 충방전 실험 중 측정된 외기온도를  $T_{air}$ 로, 배터리에 인가된 전류는  $I_{app}$ 으로 동일하게 적용하였다.

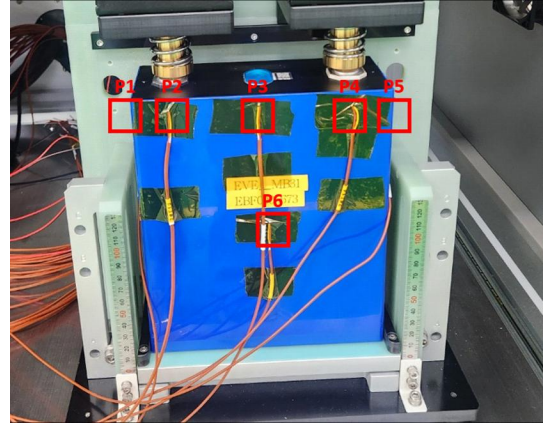
[표 1] 배터리 사양

| 배터리 타입   | 각형 LFP Battery Cell   |
|----------|-----------------------|
| 크기       | 173 * 207 * 71.7 (mm) |
| 정격 용량    | 314Ah                 |
| 정격 전압    | 3.2V                  |
| 최대 충전 전압 | 3.65V                 |
| 최대 방전 전압 | 2.5V                  |

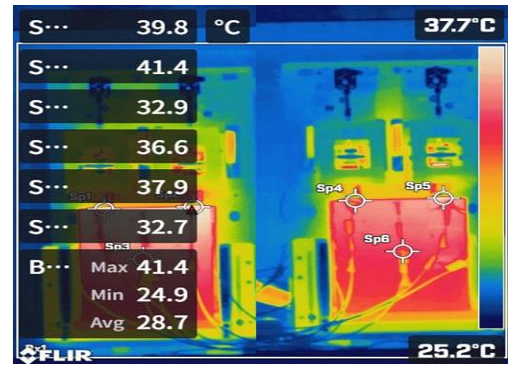
[표 2] 실험 충방전 조건

| 구분    | 작동 모드   | 작동 조건             | 종료 조건    |
|-------|---------|-------------------|----------|
| 1. 휴지 | -       | -                 | 10 Min   |
| 2. 방전 | CC 모드   | 0.5 C-rate (157A) | 0% SOC   |
| 3. 휴지 | -       | -                 | 30 Min   |
| 4. 충전 | CCCV 모드 | 0.5 C-rate (157A) | 100% SOC |
| 5. 휴지 | -       | -                 | 30 Min   |
| 6. 방전 | CC 모드   | 0.5 C-rate (157A) | 0% SOC   |
| 7. 휴지 | -       | -                 | 30 Min   |
| 8. 충전 | CCCV 모드 | 0.5 C-rate (157A) | 50% SOC  |
| 9. 휴지 | -       | -                 | 30 Min   |

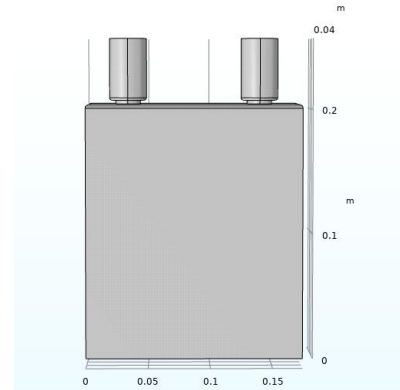
한편 지그 단자대와 배터리 터미널 사이 접촉 면적에 따른 발열 분석을 위해, 모델링은 그림 3 같이 하며 접촉 면적은 100%, 90%, 80%로 구분하여 해석 시뮬레이션을 진행하였다. 터미널 접촉 면적 감소는 전류 흐름이 가능한 유효 면적을 접촉 비율에 따라 설정하여 구현하였으며, 이에 따라 접촉 저항 증가 및 발열 특성 현상을 분석하였다.



[그림 1] 배터리 충방전 실험 세팅



[그림 2] 배터리 충방전 열화상카메라



[그림 3] 각형 배터리와 지그 단자대 모델링

## 2.2 연구결과

본 연구에서는 지그 단자대와 배터리 터미널 간 접촉 면적을 100%, 90%, 80%로 구분하여 발열 특성을 분석하였다. 그 결과, 접촉 면적이 감소할수록 접촉 저항이 증가하고 발열 또한 뚜렷하게 증가하였다. 특히 접촉 면적이 80%로 감소한 경우, 발열이 현저히 증가하였으며, 이는 접촉 부위에서 국부적인 열 집중을 유발하는 것으로 나타났다. 이러한 접촉부 발열은 배터리 셀의 온도 분포를 불균일하게 만들었고, 열적 스트레스를 증가시켜 셀의 성능 저하 및 수명 단축에 부정적인 영향을 미칠 수 있음을 확인하였다.

본 연구를 통해 지그 단자대와 배터리 터미널 간의 접촉 상태가 배터리 전체 열 관리 및 성능 유지에 매우 중요한 요소임을 규명하였으며, 이에 따라 지그 설계 시 충분한 접촉 면적 확보가 필수적임을 제시할 수 있었다.

#### 참고문헌

- [1] 최창기, “고용량 21700 리튬이온 배터리에 대한 전기적 특성 실험기반 열 해석 모델 개발 연구”, 전력전자학회 2020년도 전력전자기술대회 논문집, pp. 40–42, 8월, 2020년.
- [2] 이민행, “중대형 배터리의 형태에 따른 열화 패턴분석에 관한 연구”, 한국산화기술학회 논문집, 제 24권 6호, pp. 9–18, 6월, 2023년.
- [3] Peyman Taheri, “Investigating electrical contact resistance losses in lithium-ion battery assemblies for hybrid and electric vehicles”, Journal of Power Sources, 제 196권 15호, pp. 6525–6533, 8월, 2011년.