

# 리튬-이온 파우치형 배터리 셀의 불량 검출을 위한 기본 쿨링 지그 시험 및 시뮬레이션 활용 연구

윤태호\*, 김하용\*\*, 이정구\*

\*한국과학기술정보연구원

\*\*(주)온테스트

e-mail:thyoon@kisti.re.kr

## A Study on the Use of Basic Cooling Jig Testing and Simulation for Defect Detection in Lithium-Ion Pouch-Type Battery Cells

Tae Ho Yoon\*, Hayong Kim\*\*, Jeong-Gu Lee\*

\*Korea Institute of Science and Technology Information

\*\*ONTEST Co., Ltd.

### 요약

자동차 배터리 등에서 많이 사용되고 있는 파우치형 리튬-이온 배터리 셀의 충전이나 방전 작용 없이 불량 검출이 가능한 시험 장비를 개발하기 위해 본 논문에서는 기본적인 쿨링 시험 장치의 제작 및 이의 테스트와 복합열전달해석으로 기본 설계 검증 및 적정한 냉각 판 내의 유로 설계 최적화 확보를 위한 준비 단계로의 연구를 수행하였다. 4개의 배터리 셀을 동시에 측정 가능하도록 칠러를 통한 온도 조절 물이 매니폴드를 통해 5개의 쿨링패드를 거쳐 순환하도록 구성시켰다. 쿨링패드와 배터리 셀을 열계면체(TIM)와 밀착시켜 열전달이 제대로 이뤄지도록 기본 쿨링 지그 시험 장치를 구성하였다. 총 9곳의 구역으로 구분한 배터리 셀의 온도를 확인하기 위해 각 구역 중심에 써모커플을 장착하였다. 기본 테스트에서는 일정 유압으로 작동하는 칠러를 통해 약 5도의 온도 하강(25도에서 20도)이 배터리 셀 전면에서 균일하게 작동되는데에 약 20분이 소요되었으며, 이와 반대로 온도 5도 상승(20도에서 25도)에는 약 15분이 필요함을 확인하였다. 배터리 셀의 직접적인 발열량이 없는 상태에서의 표면의 온도를 일정하게 올리고 내리면서 배터리 셀의 전압 및 전류 상태를 변화를 측정하여 전류값의 비교 가능 수준을 확인하였다. 본 시험장비에 맞춰 CFD 해석 모델링을 구성하였으며, 칠러 온도 변화에 맞춰 과도해석을 통해 시험결과에 대한 정합성을 우선적으로 확보해가는 중이다. 이를 통해 쿨링 패드 유로에 대한 패턴을 변경해 가장 빠른 시간에 배터리 셀의 표면 온도가 균일하게 적용될 수 있는 패턴을 찾아 제안할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 칠러 온도 조절에 따른 불량 셀에 대한 검출 시간을 단축시키는 데 중요 역할을 할 것이다. 추가로 배터리 셀의 불량에 대한 측정 전류값으로부터의 불량 셀에 대한 일정 패턴을 찾을 수 있는 알고리즘이 적용된다면 파우치형 배터리 셀의 불량 검출 시험 장비로서 제 기능을 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 1. 서론

전기자동차 배터리는 최근 파우치형 리튬-이온 배터리 셀의 집합체 놓은 팩으로 구성하여 사용되고 있다. 이러한 리튬 이온 배터리는 내부 온도 상승으로 인해 주로 25 °C ~ 40 °C의 온도에서 작동하는 것이 적정하다.[1]

배터리 셀에 대한 직접적인 충전이나 방전 작용 없이도 불량 검출이 가능하다면 제작 공정에서 큰 도움이 될 것이다. 이러한 불량 검출 알고리즘을 확보하는 시간을 단축하기 위한 지원 방법으로 배터리 셀 표면에 일정한 온도 변화를 주어 나타나는 전류와 전압을 체크하고 불량과 양품의 일정 패턴을 분석해 알고리듬에 적용하는 것이다. 이에 따라 배터리 셀 표면의 빠른 온도 균일화를 위한 쿨링 패드 내의 적절한 유로 설계가 요구된다.

본 연구에서는 기본적인 쿨링 시험 장치의 제작 및 이의 테스트와 CFD를 활용한 복합열전달해석으로 기본 설계 검증 및 적정한 냉각 판 내의 유로 설계 최적화 확보를 위한 준비 단계로의 연구

를 수행하고자 하였다.

### 2. 기본 쿨링 지그 시험

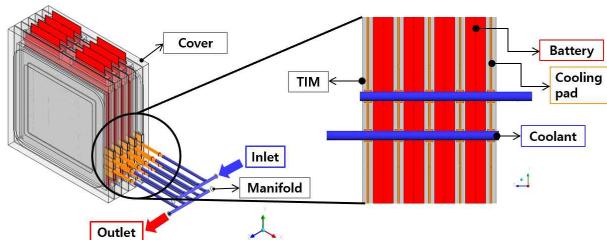
#### 2.1 기본 쿨링 지그 시험 장치

[그림 1]과 [그림 2]에서 기본 쿨링 지그 시험 장치를 보여주고 있다. 4개의 배터리 셀을 동시에 측정 가능하도록 칠러를 통한 온도 조절 물이 매니폴드를 통해 5개의 쿨링패드를 거쳐 순환하도록 구성시켰다. 쿨링패드와 배터리 셀을 열계면체(TIM)와 밀착시켜 열전달이 제대로 이뤄지도록 기본 쿨링 지그 시험 장치를 구성하였다. 총 9곳의 구역으로 구분한 배터리 셀의 온도를 확인하기 위해 각 구역 중심에 써모커플을 장착하였다.



(a) (b)

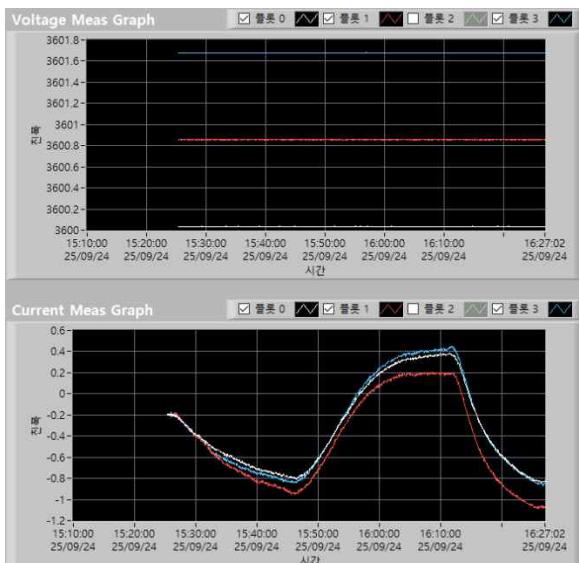
[그림 1] 기본 쿨링 지그 시험 장치 (a) 기본 쿨링 지그 (b) 쿨링 패드



[그림 2] 기본 쿨링 지그의 세부 구성도

## 2.2 시험 결과

기본 테스트에서는 일정 유압으로 작동하는 칠러를 통해 약 5도의 온도 하강(25도에서 20도)이 배터리 셀 전면에서 균일하게 작동되는데 약 20분이 소요되었으며, 이와 반대로 온도 5도 상승(20도에서 25도)에는 약 15분이 필요함을 확인하였다. 배터리 셀의 직접적인 발열량이 없는 상태에서의 표면의 온도를 일정하게 올리고 내리면서 [그림 3]에서와 같이 배터리 셀의 전압 및 전류 상태를 변화를 측정하여 전류값의 비교 가능 수준을 확인하였다.

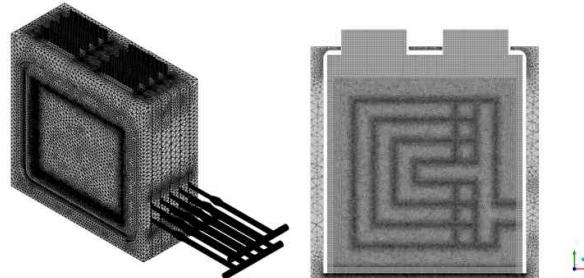


[그림 3] 배터리 셀에서 측정된 전압 및 전류

## 3. 복합열 전달해석

### 3.1 CFD 해석 모델링

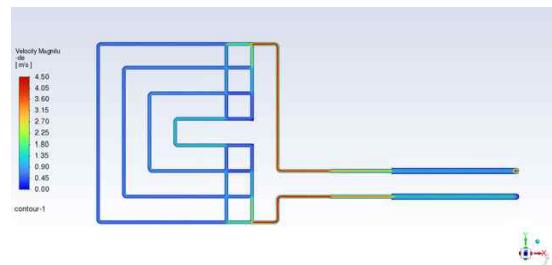
본 기본 시험장비에 맞춰 CFD 해석 격자 모델링을 [그림 4]와 같이 구성하였다. 격자수 기준으로 약 3,640만개로 배터리는 프리즘 격자, 그 외는 사면체 격자로 생성하였고 냉각수 벽면은 inflation 격자로 반영하였다.



[그림 4] 기본 쿨링 지그의 CFD 격자 모델링

### 3.1 CFD 해석 결과

현재 칠러로부터 온도 제어 변화에 맞춰 과도해석을 통해 기본 쿨링 지그 시험 결과에 대한 시뮬레이션 정합성을 우선적으로 확보해가는 중이다. 이를 통해 쿨링 패드 유로에 대한 패턴을 변경해 가장 빠른 시간에 배터리 셀의 표면 온도가 균일하게 적용될 수 있는 패턴을 찾아 제안할 수 있을 것으로 판단된다.



[그림 5] CFD해석 결과

## 4. 결론

본 연구를 통해 기본 시험 장비를 통한 연구 결과로부터 충전이나 방전이 없는 상태에서의 칠러를 통한 쿨링 지그로부터의 배터리 셀의 전압과 전류 변동 사항을 파악하였다. 칠러를 통한 온도 조절 시 셀 표면 온도의 균일한 온도를 확보하기 위한 시간이 불량 검증 장비로서 중요 항목일 것으로 이의 시간을 줄이기 위한 쿨링 패드의 적합 유로 설계가 꼭 필요함을 확인하였다. 또한 이에 대한 가장 적합한 설계 검토 방법으로 CFD를 활용한 복합열 전달해석으로 가능함을 제시하였다.

본 시험장비에 맞춰 CFD 해석 모델링을 구성하였으며, 현재 칠러 온도 변화에 맞춰 과도해석을 통해 시험 결과에 대한 정합성을 우선적으로 확보해가는 중이다. 이를 통해 쿨링 패드 유로에 대한 패턴을 변경해 가장 빠른 시간에 배터리 셀의 표면 온도가 균일하게 적용될 수 있는 패턴을 찾아 제안할 수 있을 것으로 판단된다. 이는 칠러 온도 조절에 따른 불량 셀에 대한 검출 시간을 단축시키는 데 중요 역할을 할 것이다.

추가로 배터리 셀의 불량에 대한 측정 전류값으로부터의 불량 셀에 대한 일정 패턴을 찾을 수 있는 알고리즘이 적용된다면 파우치형 배터리 셀의 불량 검출 시험 장비로서 제 기능을 할 수 있을 것으로 기대된다.

후기

이 논문은 2025년도 한국과학기술정보연구원(KISTI)의 민간수탁과제로 수행된 연구입니다.(과제번호: S25SS011-25)

참고문헌

- [1] S. Arora., "Selection of thermal management system of modular battery packs of electric vehicles: A review of existing and emerging technologies", *Journal of Power Sources*, Vol. 400, pp. 621–640. (2018).