


2차년도 주요 결과물

(과제명) 대규모 분산 에너지 저장장치 인프라의 안전한 자율운영
및 성능 평가를 위한 지능형 SW 프레임워크 개발
(과제번호) 2021-0-00077

- 결과물명 : 배터리 이상 데이터 명시 및 상황 별 분석 결과
- 작성일자 : 2022년 12월 12일

과학기술정보통신부 SW컴퓨팅산업원천기술개발사업
“2차년도 주요 결과물” 로 제출합니다.

수행기관	성명/직위	확인
충남대학교	김종훈/교수	

정보통신기획평가원장 귀하

사 용 권 한

본 문서에 대한 서명은 한국전자기술연구원 내부에서 본 문서에 대하여
수행 및 유지관리의 책임이 있음을 인정하는 것임.

본 문서는 작성, 검토, 승인하여 승인된 원본을 보관한다.

작성자 :	이미영	일자 :	2022. 12. 06
-------	-----	------	--------------

검토자 :	한동호	일자 :	2022. 12. 07
-------	-----	------	--------------

승인자 :	김중훈	일자 :	2022. 12. 08
-------	-----	------	--------------

제 · 개정 이력

버전	변경일자	제.개정 내용	작성자
1.0	2022-12-06	최초 등록	이미영

목 차

1. 개요	-----	1
2. 배터리 이상 데이터 레퍼런스 조사	-----	2
3. 배터리 이상 데이터 상황별 분석 결과	-----	10

1. 개요

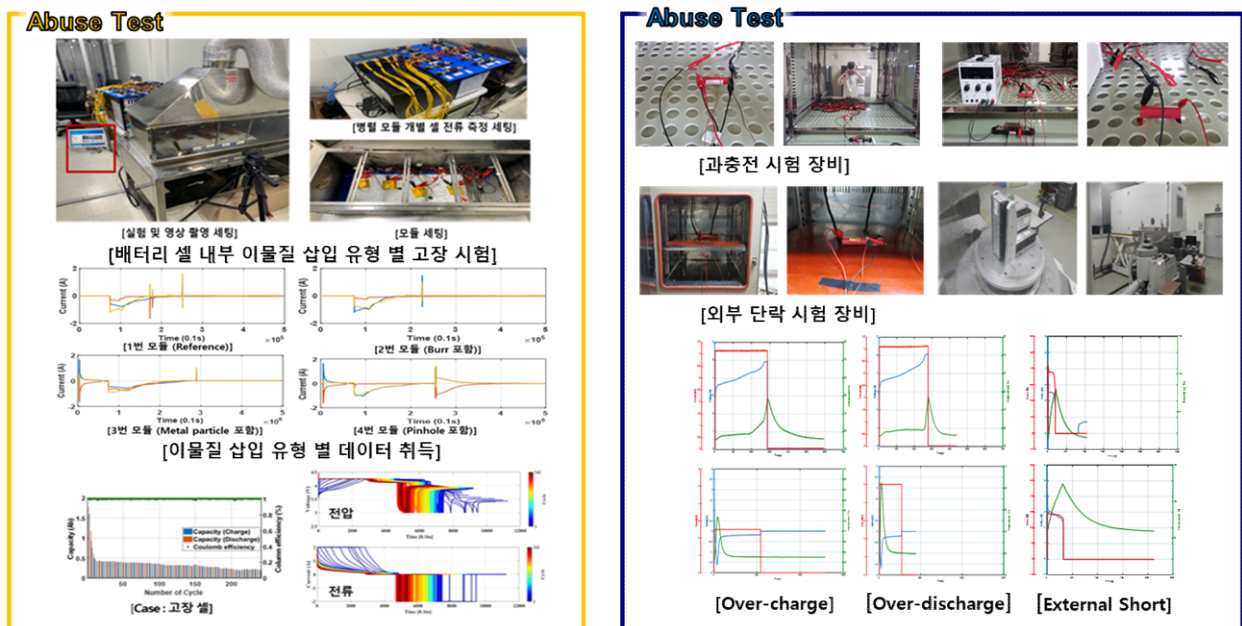
□ 목적

- 본 기술문서의 목적은 현 과제에서 개발 목표로 하는 인공지능 기반 이상 거동 탐지 알고리즘 구축에 필요한 데이터를 수집하고 수집된 이상 상황 별 분석을 실시함. 연구실 내부에서 배터리 모듈 혹은 단일 셀에 발생할 수 있는 모든 상황 별 이상 데이터를 수집하는 것은 안전상, 비용상의 문제로 불가능 하기 때문에 배터리의 이상 상태를 유발할 수 있는 상황에 대한 레퍼런스 조사에 기반하여 이상 거동을 정의한다.

□ 범위

- 연구실 보유 이상 거동 데이터를 수집하고 이를 사전에 조사한 전기화학적/전기적 레퍼런스를 기반으로 정의 및 분석하며 이를 컨소시엄 내 기관에 공유함

□ 시스템 개요



이상 거동 데이터 수집 및 공유

- ESS의 운용 프로파일 조사 및 다양한 특성 조건(SOC/C-rate/Temp.)등을 고려한 데이터 수집
- 데이터 분석을 위한 환경(Chamber/Logger/Charger) 구축 및 특성 데이터 수집
- 분석된 이상 거동 데이터에 패턴 추출을 적용하여 개발되는 클라우드 플랫폼의 전처리 소프트웨어로 적용하며 ESS 운용 사이트에 적용함

2. 배터리 이상 데이터 레퍼런스 조사

□ 1-1 단일 조건 충/방전에 따른 배터리의 열 반응

- 단일 조건에서 충전 및 방전에 따른 배터리의 열 반응을 분석한 결과 과충전 시 내부 단락에 의해 열폭주 현상이 발생하며 높은 외기온도에서 방전시, 온도의 상승 폭이 더 큼을 확인하였다. 높은 SOC 일수록 열폭주 발생 시 온도 상승률이 가파르게 증가하며, 이의 검증을 위해 사이클러와 결합된 ARC를 사용한 레퍼런스를 참조하였다. 각 C-rate 별(0.1, 0.2, 0.5, 1C)로 실험을 진행하며 ARC 실험을 위해 1100mAh 배터리 샘플을 Room temperature에서 시작하여 4개의 방전 실험을 진행하였다. 실험 결과 방전 과정에서 평균 온도 상승률은 43.5°C 로 증가 이후 37.1°C 로 감소하고 충전 단계에서는 온도가 유지된다. 열이 방출 되지 않으면 배터리의 온도는 점점 상승하게 이의 반복에 따라 98°C 이후 대부분의 고장이 발생함을 분석하였으며, 이를 그림 1과 그림 2에 나타내었다.

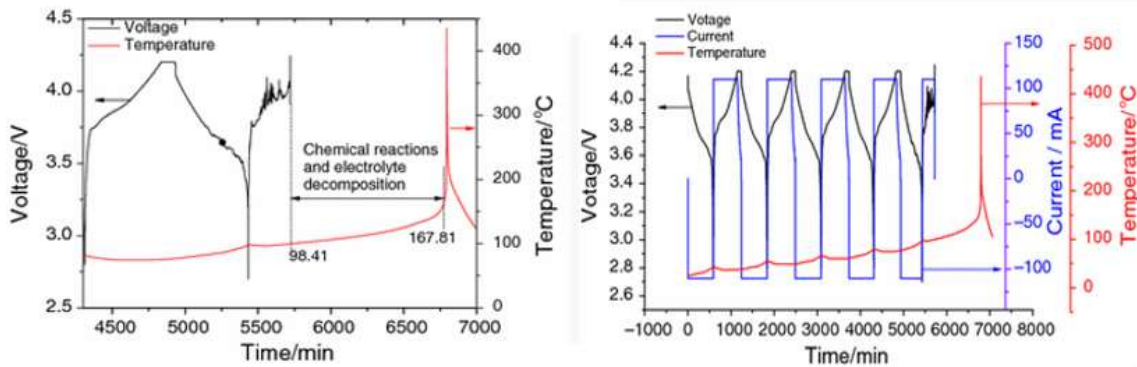


그림 1 셀 샘플에 따른 사이클 곡선 및 온도

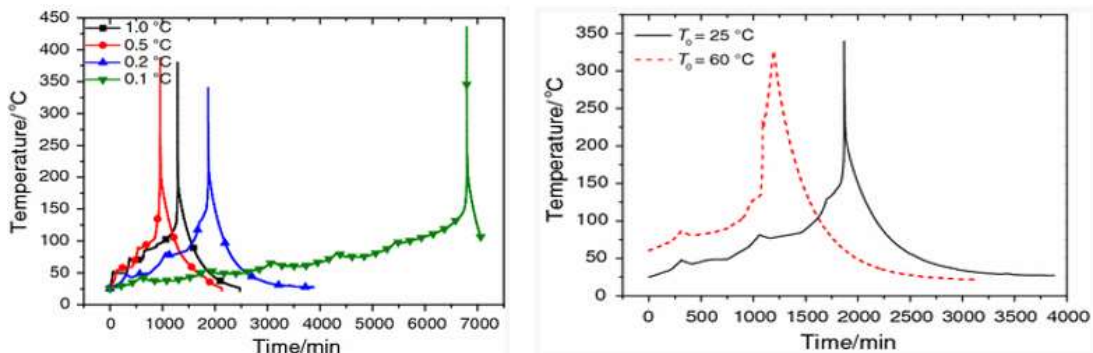


그림 2 C-rate와 과충전에 따른 열 폭주 현상

□ 1-2 External short-circuit 에 따른 영향

- 배터리 모듈에 발생 가능한 외부 단락의 전류 경로는 정상 방전과 매우 유사하며 단락 전류는 전류 경로의 결합 저항에 의해 결정된다. 참고한 레퍼런스의 전압 데이터를 기준으로, 외부 단락 저항에 따라 작은 단락, 중간 단락, 큰 단락의 3가지 그룹으로 분류된다. 작은 단락 저항($0.788\text{m}\Omega$)은 단락이 시작되면 전압이 급격하게

떨어지며 0에 도달 후 에너지 대부분이 열로 방출된다. 중간 단락 저항($24\text{m}\Omega$)은 3.6V 까지 일정한 속도의 전압 강하가 나타나며 큰 단락 저항($236\sim 821\text{ m}\Omega$)은 전압 강하가 발생하지 않음을 확인하였다. 참고한 레퍼런스의 열 반응 분석 결과, 가스의 축적으로 인한 배터리 팽창이 발생하였으며 단락 저항이 낮을수록 온도 상승률과 피크 온도 값이 높음을 확인하였다.

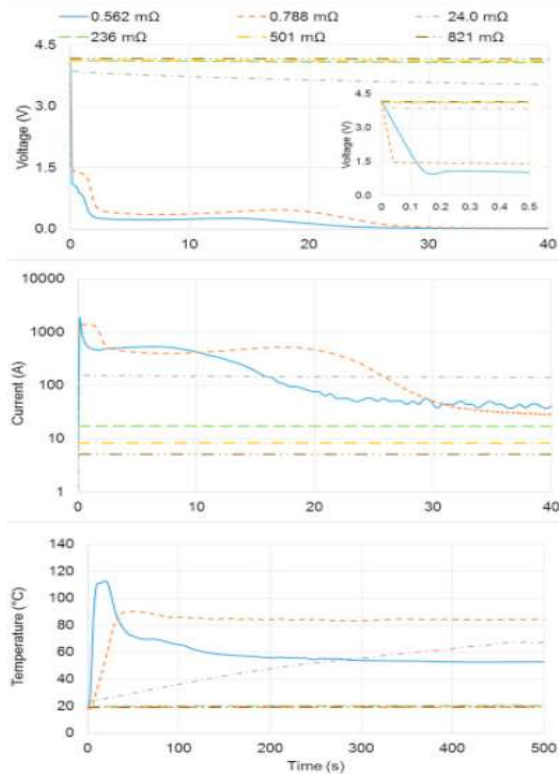


그림 3 외부 단락 저항에 따른 전압, 전류, 온도 프로파일

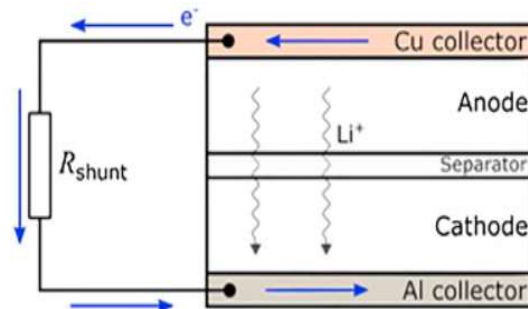


그림 4 외부 단락 중 전자의 흐름도

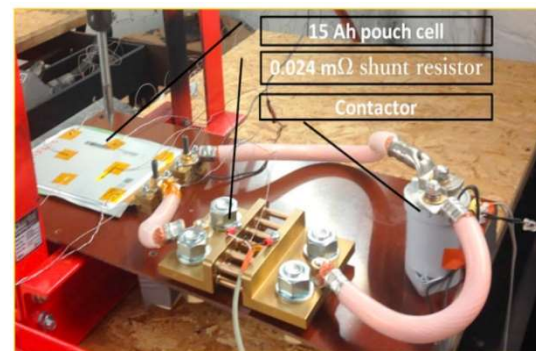


그림 5 외부 단락을 위한 실험

- 외기 온도 20°C , 45°C 에서의 외부 단락 실험의 비교 결과 주변 온도 및 SOC에 따라 고전류의 유지 시간이 달라짐을 확인하였다. 외기 온도와 SOC가 낮을수록 고전류의 지속 시간이 길어지며, 온도 상승률 또한 높다. 배터리 내부 누설이 발생할 경우 전해질 손실에 의해 내부 저항이 증가하므로 고전류 상황에서 전류 곡선이 급격하게 강하하는 현상이 발생한다. 누출이 발생할 확률은 30개의 셀 중에서 8개로 26%로 측정되었으며, 고온 및 높은 SOC 조건에서 누설 발생 확률은 증가한다.

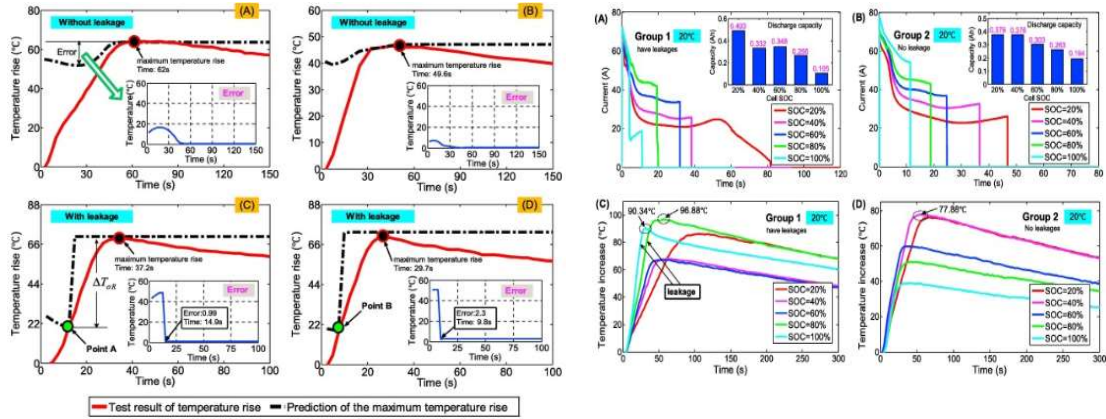


그림 6 Test results of lithium-ion cells under 20° C ambient temperature condition

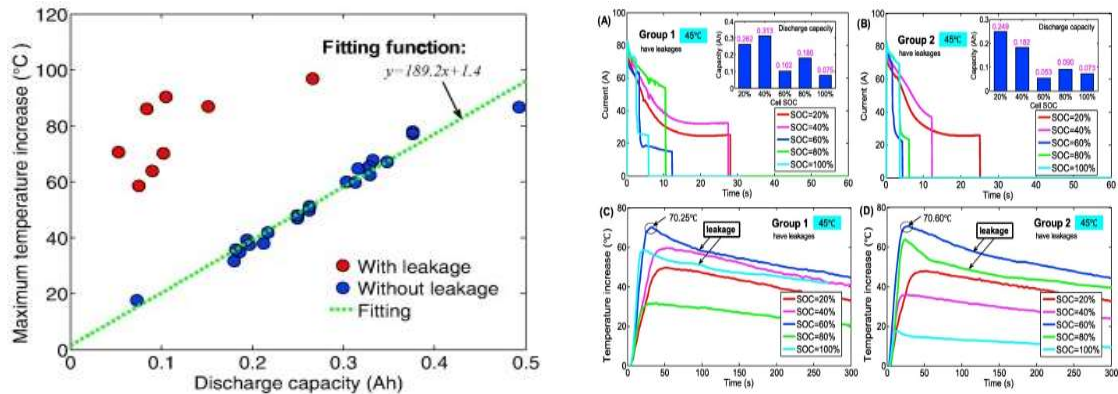


그림 7 Test results of lithium-ion cells under 45° C ambient temperature condition

□ 1-3 Temperature에 따른 영향

- 배터리 모듈에 온도가 미치는 영향은 용량 감소, 열폭주, 성능 저하의 3가지로 분류된다. 두가지 배터리 셀의 음극 용량 변화 연구를 위해 각각 10일 및 6일 동안 75° C 에서 배터리의 열 노화를 진행하였다. 열 노화 실험 도중 열화 가속이 발생하며 용량 손실은 85° C에서 7.5%로 측정되었으며 120° C에서 22%로 측정되었다. 이와 같은 결과로 높은 온도 환경은 순간적으로 배터리의 용량을 증가 시킬 수 있으나 장기적 노화 관점에서 내구성의 저하를 유발하는 것을 확인하였다. 두번째로 리튬 이온 배터리의 높은 온도는 배터리 자체의 발열을 유발하며 배터리의 열 내구성을 초과하면 폭발 및 화재가 발생한다. 배터리 셀의 발열이 200° C를 초과하였을 때, 열폭주 현상이 발생하였으며 동시에 전극의 분해, 내부 구조의 붕괴가 발생하였으며, 이를 그림 2.4-8. 2.4-9에 나타내었다.

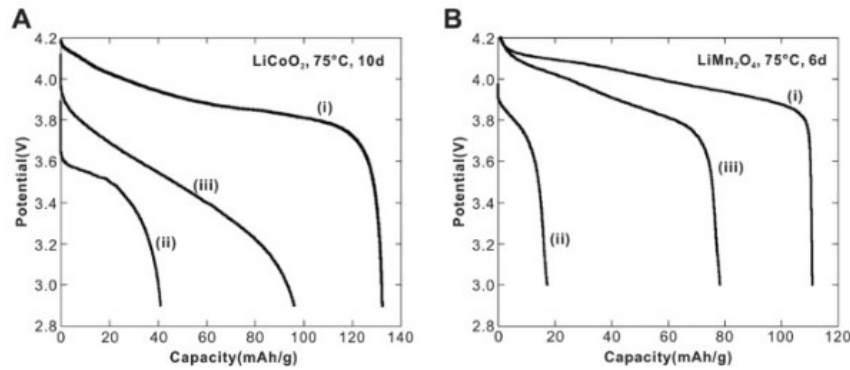


그림 8 75° C 에서 노화에 따른 방전 커브 변화 (A)LCO (B)LMO

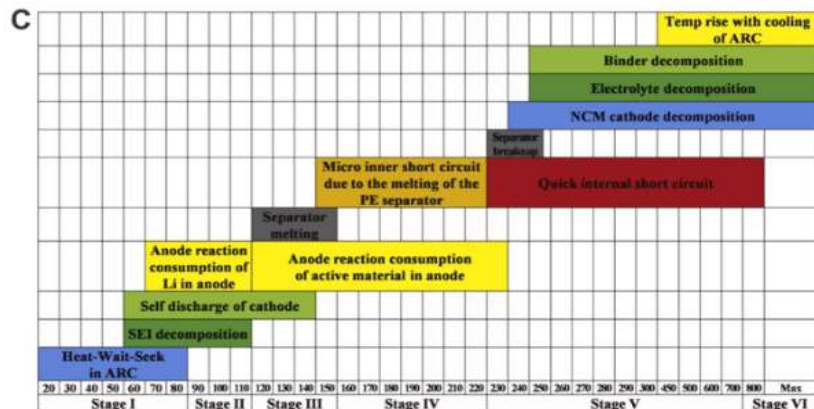


그림 9 온도 범위에 따른 열폭주 메커니즘 분석

- 온도가 배터리에 미치는 세번째 영향으로 배터리의 성능 저하를 선정하였으며, 0° C 미만부터 배터리의 성능 저하가 유발된다. 레퍼런스로는 파나소닉의 셀 분석 결과를 참조하였으며 18650 리튬 이온 셀의 전력 및 에너지 밀도가 0° C 미만에서 98.75%에서 95%까지 감소함을 확인하였다. 0° C미만에서의 배터리 운용은 전해질 특성에 심각한 영향을 주며, 어느점에 가까울수록 이온 전도성이 감소한다. 또한 전하 이동의 저항 증가 측면에서 실온 환경에서 보다 3배 이상 증가하며 방전된 배터리의 충전 저항이 급격히 상승한다.

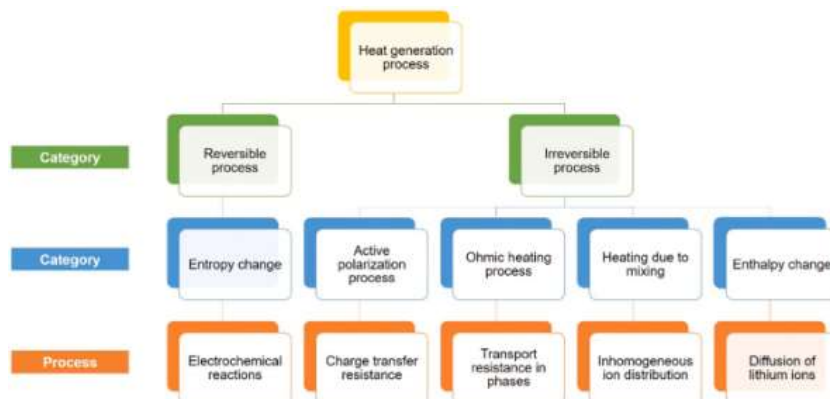


그림 10 리튬 이온 배터리의 열 발생 메커니즘 분석

□ 1-4 Overcharge 에 따른 영향

- o 배터리 모듈의 고장 원인의 하나로 과충전을 선정하였으며 레퍼런스를 참조하여 분석을 진행한다. 단계별 과충전 현상을 분석하기 위해 40Ah 및 2.75V ~ 4.2V를 갖는 프리즘 형 리튬 이온 셀 및 파우치 리튬 이온 셀을 비교 실험에 사용하였다. 실험 결과, 과충전의 영향으로 온도가 천천히 상승하였으나 두 셀의 모양에는 변화가 없음을 확인하였다. 하지만 배터리 내부 부반응이 강화되고, SEI 층을 두껍게 하여 내부 저항이 증가하고 온도가 증가하면서 부반응에 생성된 소량의 가스에 의한 셀이 팽창함을 확인하였다. 과충전이 지속될수록 온도가 빠르게 상승하고 가스가 축적될수록 팽창에 따른 변형이 심화되며, 팽창은 전극 간격을 증가시켜 내부 저항의 증가와 동시에 저항에 따라 발생하는 열을 증가시킨다. 또한 과충전은 분리막의 용해 또한 촉진시키며, 분리막의 파열과 동시에 내부 단락을 유발하며 이를 그림 2.4-11에 나타내었다.

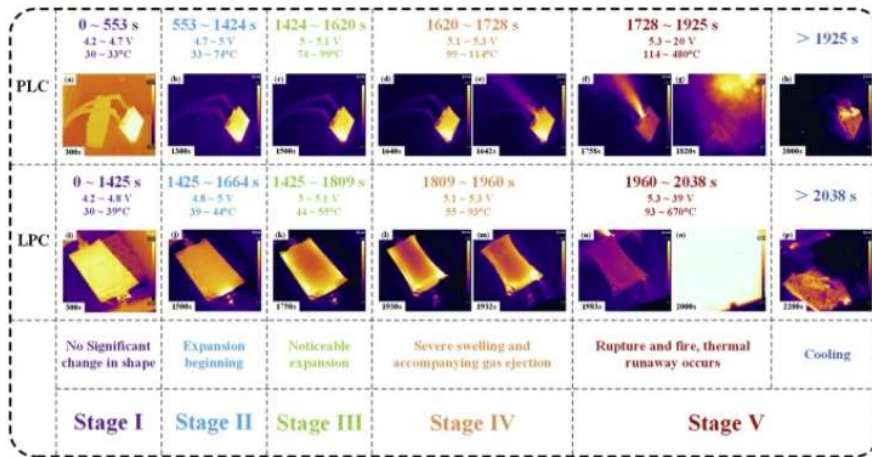


그림 11 단계별 과충전 상태의 지속에 따른 열 발생 현상 분석

- o 결과적으로 3단계의 지속적인 과충전이 인가되었을 때 파우치 셀은 SOC 150%까지 과충전 되었으며, 온도는 55° C까지 상승함을 확인하였다. 프리즘 형 셀은 SOC 145%까지 과충전 되었으며, 온도는 99° C까지 상승함을 분석하고 이를 그림 12에 나타내었다

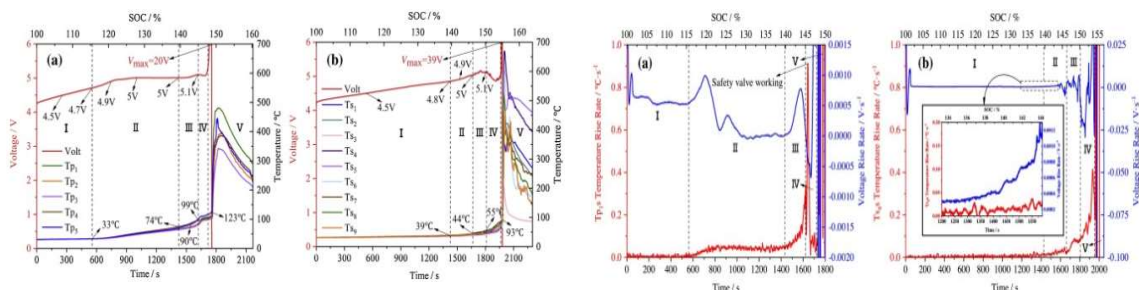


그림 12 파우치 셀에 대한 과충전 결과분석

□ 1-5 진동 및 충격에 따른 영향

- o 배터리에 영향을 줄 수 있는 대표적인 인자로 진동과 충격 상황을 선정하였으며,

진동과 충격에 따른 배터리의 경향성을 레퍼런스를 참조하여 분석하였다. 배터리의 진동에 의한 영향을 분석하기 위하여 UN 38.3 T3 인증 시험을 기준으로 분석하였으며, 최대 가속도 8G에서 200Hz 범위의 사인 진동파를 인가한다. 이에 대한 결과로 용량 측정 및 EIS 커브에서 열화가 발생하지 않았음을 확인하였다. 배터리의 충격에 의한 영향을 분석하기 위하여 UN 38.3 T4의 실험에 대한 분석을 실시하였으며 최대 가속 150G의 반 사인과 충격을 인가한다. 진동 환경과 마찬가지로 용량 측정 및 EIS에서 열화가 감지되지 않았으며 배터리 셀의 기계적 설계 및 내부 구성 요소 또한 셀이 진동 및 충격을 견디는 것의 주요 인자로 작용함을 확인하였다.

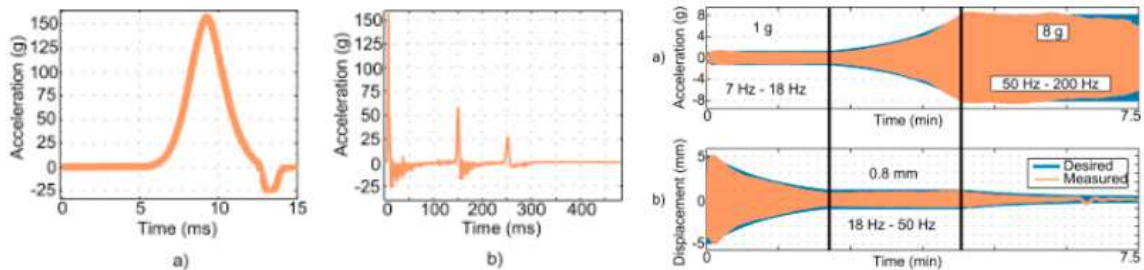


그림 13 진동과 충격 인증 시험에 사용된 프로파일 분석

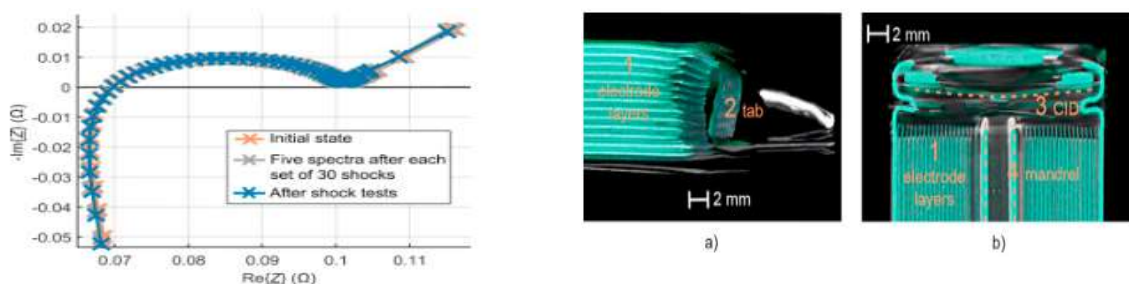


그림 14 진동/충격에 따른 셀의 EIS 커브 변화 분석

□ 1-6 셀 배치에 온도, 전류 불균형 분석

- 배터리 셀의 구성 배치에 따라 모듈의 성능에 대한 다양한 영향을 분석한다. C-rate가 높을수록 셀의 온도 상승률은 증가하며 외기 온도의 상승은 2C 기준으로 20° C 에서 17° C, 32° C 에서 22° C 로 온도에 영향을 주는 다른 변수들 보다는 영향력이 적음을 확인하였다. 1600초 동안 방전 후 팩의 편차를 확인하였을 때 외부 셀의 온도는 내부 셀 보다 낮으며, 셀 온도의 편차는 외부 셀의 내부 저항이 더 크게 나타나기 때문에 온도가 더 높은 내부 셀의 동작 전류가 증가하여 내부 저항에 대한 온도 차이를 상쇄한다. 온도의 불균형은 결과적으로 더 낮은 온도 셀의 방전 전류의 감소를 유발하며 특정 영역에서 더 많은 가열을 발생시켜 온도 불균형을 악화시키며, 이에 따라 셀의 열화가 급속도로 진행된다. 셀 배치에 따른 실험 결과를 바탕으로 분석을 진행하였으며 32° C에서 6개의 셀 편차가 방전 용량 기준 2%, 방전 속도는 12%의 차이를 보이지만, 20° C에서 셀 간 온도 차

이는 1%미만 방전 용량과 방전 속도는 균일함을 확인하였다.

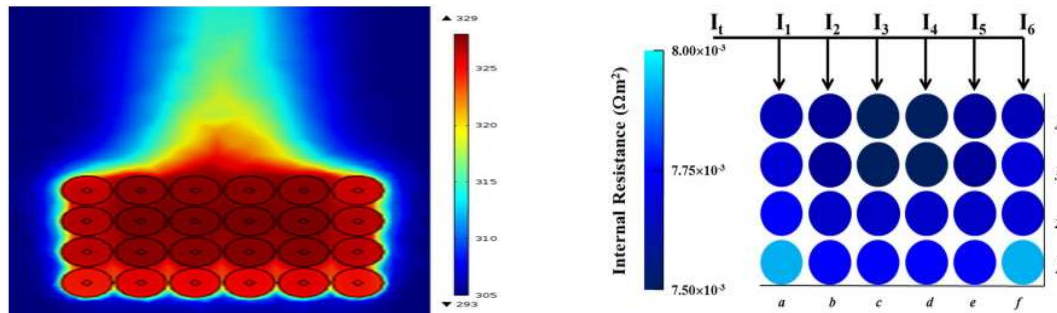


그림 15 배터리 셀의 방전에 따른 온도 불균형 분석

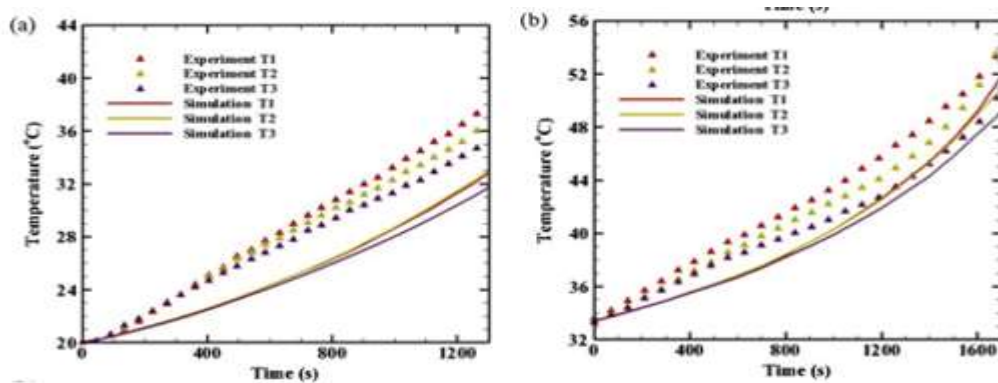


그림 15 배터리 셀의 충전에 따른 외기 온도 변화 분석

□ 1-7 노화에 따른 영향

- 장기간 운용 되는 배터리 팩의 사용환경을 고려했을 때 노화에 따른 영향을 분석하는 것은 필수적이다. 노화의 측면에서 배터리 노화의 원인을 크게 2가지로 분류하며 원자재, 제작 공정 및 디자인에 의한 요인을 첫번째로 선정하였다. 이는 어플리케이션 제작 이전의 요인으로 노화가 진행됨에 따라 열화의 가속에 영향을 준다. 두번째로는 환경 및 작동 조건에 의한 요인을 선정하였으며, 이는 외부 환경과 어플리케이션의 작동 조건에 중점을 둔다. 결과적으로, 배터리의 노화는 제작 공정과 디자인, 어플리케이션의 환경 및 용도에 의해 발생된 부반응의 영향으로 진행된다. 부반응의 결과인 노화는 용량 및 출력 감소 등의 다양한 매커니즘으로 이루어진다. 따라서 노화는 고장의 직접적 요인 보다는 노화에 따라 발생하는 다양한 부반응에 따라 최종 고장 모드의 원인으로 분류한다.

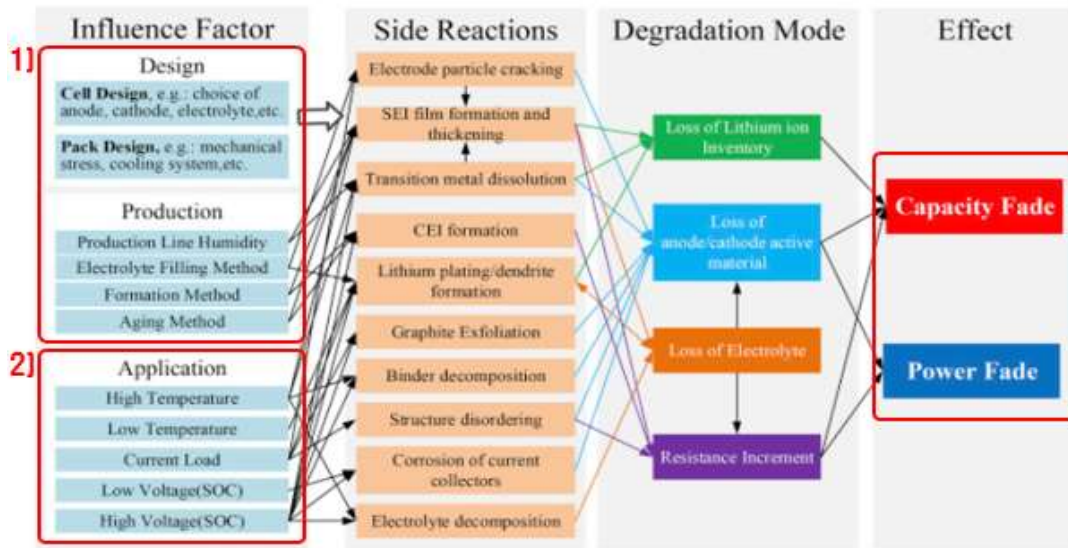


그림 16 노화에 따라 나타나는 다양한 부 반응 메커니즘 분석

□ 1-8 셀 간 불균형에 따른 영향

- 앞서 분석한 장기 운용에 따른 노화가 심화될수록 배터리 팩을 구성하는 각 셀들 끼리의 온도, 전압, 전류에 따른 불균형이 발생한다. 셀 간 불균형은 배터리 팩의 일부 셀의 과충전을 발생시키며, 높은 수준은 불균형은 일부 배터리의 마이크로 내부 단락을 발생 시킨다. 셀 간 불균형에 대한 영향을 분석 하기 위해 실제 실험 결과 레퍼런스를 기반으로 분석을 진행하였으며, 해당 실험은 과충전을 방지 하기 위해 만충 상태에서 SOC 추정을 진행하였으며, 방전 될수록 배터리 간의 SOC 차이가 커짐을 확인하였다. 해당 실험에서 배터리 팩의 전압 제한을 2.2V에서 2.6V로 증가시키면 용량 차이가 최대 4%이내로 감소하는 것을 확인하였으며, 이에 대한 방법으로 초기 제작 단계시 스크리닝을 통해 초기 용량 오차를 최소화 하는 것이 해결책임을 확인하였다.

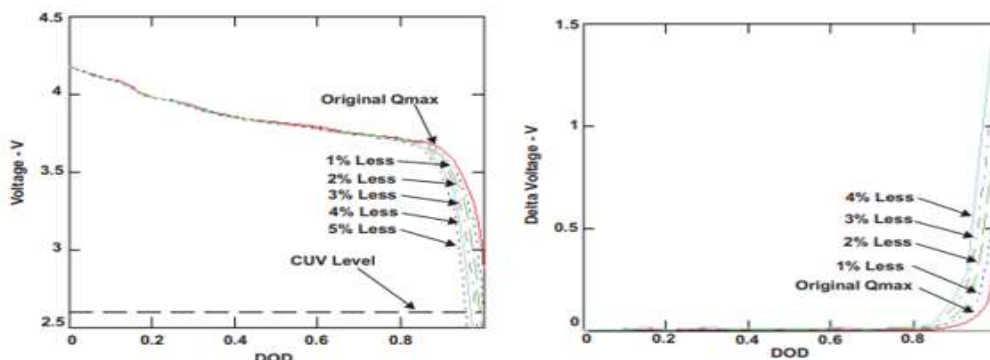


그림 17 셀의 용량에 따른 OCV (좌), 전압(우) 차이 분석

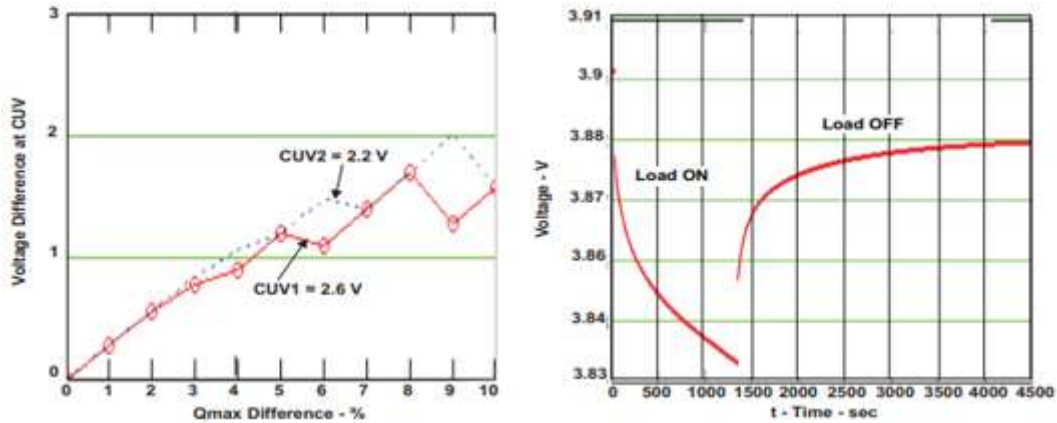


그림 18 전압에 따른 셀 간 전압 차이와 용량 사이의 관계 분석

3. 배터리 이상 데이터 상황별 분석 결과

□ 1-1 성능 프로파일 선정

과방전	C-rate		시간(분)
IEC 62660	1		90
KS C 62133	1		90
KBIA-10104-03	0.5		180
제안 조건	1		90
	국내외 인증 기준 및 해외 업체 기준의 높은 상한 전류 기준 과방전시 안전 소자 동작 조건 및 발화, 누액, 가스, 변형 확인		
과충전	최대 충전전압	SOC	최대충전전류
UL 1642	-	-	3배
UL 2054	-	-	3배
EN 62281	정격전압의 200%	-	2배
KBIA-10104-03	충전상한전압의 120%	200%	-
IEC 62660-2	정격전압의 200%	200%	-
제안 조건	충전상한전압 130%	-	-
	국내외 인증 기준 및 해외 업체 기준보다 높은 상한 전압 기준 과충전시 안전 소자 동작 조건 및 발화, 누액, 가스, 변형 확인		
외부 단락	온도		저항
UN 38.3	55±2℃		(80±20) mΩ
EN 62281	55℃		100 mΩ
UL 2054	20±2℃, 55±2℃		(80±20) mΩ
UL 1642	20±5℃, 55±5℃		(80±20) mΩ
KBIA10104-03	25±5℃		(30±10) mΩ
KS C 8546	55±5℃		(80±20) mΩ
IEC 62133	20±5℃		(80±20) mΩ
IEC 62660-2	25±5℃		5 mΩ
제안 조건	20±2℃, 55±2℃		(80±20) mΩ
	국내외 인증 기준 및 해외 업체 기준의 높은 상한 전압 기준 외부 단락시 안전 소자 동작 조건 및 발화, 누액, 가스, 변형 확인		

표 1 성능 프로파일 선정

□ 1-2 원통형 배터리용 성능 시험 장비 구축

o 한국건설생활환경시험연구원 : short 및 overcharge, over-discharge 시험 의뢰



그림 19 한국건설생활환경시험연구원의 성능 시험 장비

□ 1-3 외부 단락 시험 절차

o 외부 단락 시험은 단전지를 상온에서 방전 후 충전하며 시험 도중 단전지의 전압,

전류, 온도를 기록한다.

- o 단락 회로의 저항으로 인하여 외부 단락을 유발하며 단전지 표면의 온도가 주위 Room temperature 로 복귀 할 때 해당 시험을 종료한다.

외부 단락 시험 절차				
1	단전지를 상온에서 방전 후 충전	인증 기준	Temperature	Resistance
2	단전지의 전압, 전류, 온도를 기록	UN 38.3	55 ± 2 °C	(80 ± 20) mΩ
3	주위 온도 및 단락 회로의 저항(표 참조)	EN 62281	55 °C	100 mΩ
4	단전지 표면 온도가 주위 온도로 복귀 될 때 시험 종료	UL 2054	20 ± 2 °C, 55 ± 2 °C	(80 ± 20) mΩ
		UL 1642	20 ± 5 °C, 55 ± 5 °C	(80 ± 20) mΩ
		KBIA10104	25 ± 5 °C	(30 ± 10) mΩ
		KS C 8546	55 ± 2 °C	(80 ± 20) mΩ
		KS IEC 62133	20 ± 5 °C	(80 ± 20) mΩ
		IEC 62660-2	25 ± 5 °C	5 mΩ

표 2 외부 단락 시험 절차

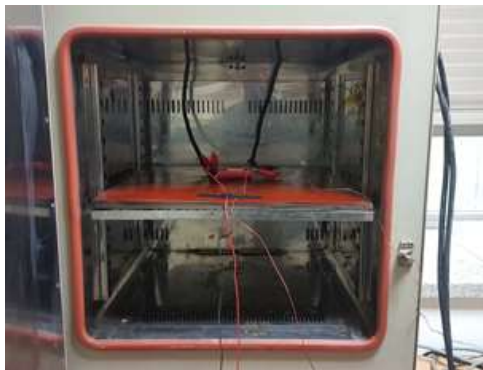
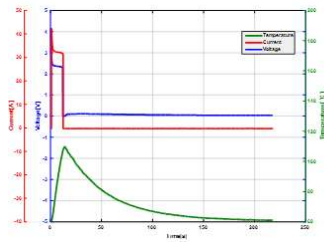
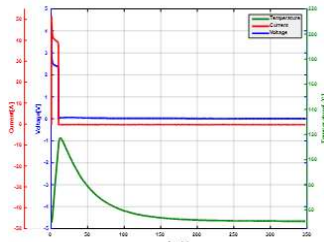


그림 20 외부 단락 시험 사진

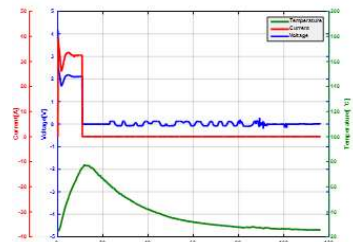
- o 외부 단락 시험을 진행하였을 때, 외부 단락을 유발하는 저항에 따른 최대 온도와 최소 온도를 기록
- o 최대 온도는 124.3도 까지 상승하는 것을 볼 수 있으며, 최소 온도는 14.8도 도출



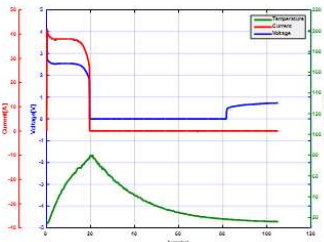
최대 온도 109.9°C
최소 온도 60.3°C
주변 온도 :60°C



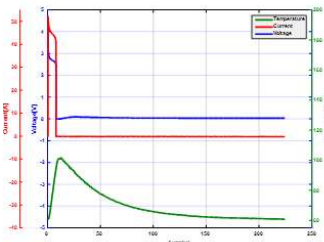
최대 온도 117.9°C
최소 온도 50.1°C
주변 온도 :50°C



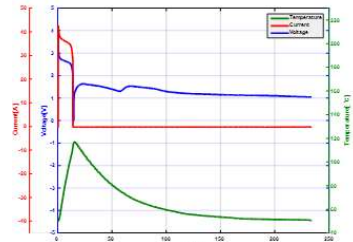
최대 온도 77.5°C
최소 온도 24.7°C
주변 온도 :25°C



최대 온도 109.9°C
최소 온도 60.3°C
주변 온도 :60°C

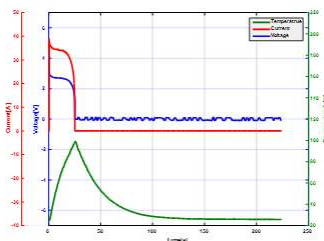


최대 온도 117.9°C
최소 온도 50.1°C
주변 온도 :50°C

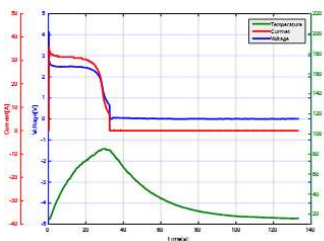


최대 온도 77.5°C
최소 온도 24.7°C
주변 온도 :25°C

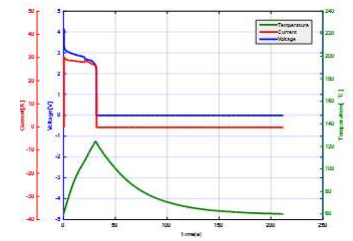
그림 21 18650-HE2 셀의 단락 시험결과 1



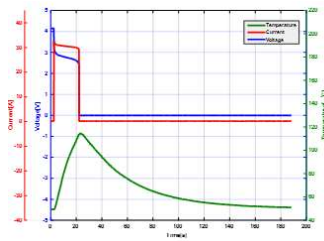
최대 온도 99.05°C
최소 온도 24.8°C
주변 온도 :25°C



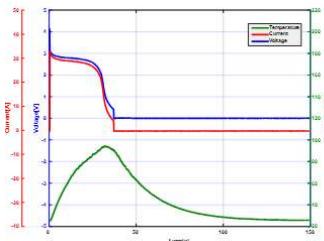
최대 온도 85.45°C
최소 온도 14.8°C
주변 온도 :15°C



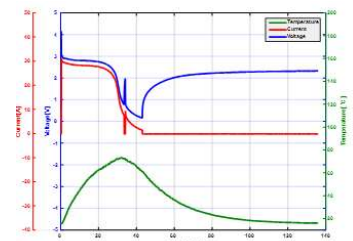
최대 온도 124.3°C
최소 온도 59.95°C
주변 온도 :60°C



최대 온도 114.8°C
최소 온도 49.3°C
주변 온도 :50°C



최대 온도 94.6°C
최소 온도 25.2°C
주변 온도 :25°C



최대 온도 73.2°C
최소 온도 15.5°C
주변 온도 :15°C

그림 22 18650-HE2 셀의 단락 시험결과 2

구 분	최저온도	최고온도	최대 전류 크기
60mΩ & 50℃	50.1 ℃	117.3 ℃	51.6 A
60mΩ & 25℃	24.7 ℃	77.5 ℃	39.5 A
80mΩ & 50℃	50.2 ℃	117.1 ℃	42.7 A
80mΩ & 25℃	24.8 ℃	99.0 ℃	39 A
100mΩ & 50℃	49.3 ℃	114.8 ℃	32.7 A
100mΩ & 25℃	25.2 ℃	94.7 ℃	32.95 A

표 3 단락 시험 결과 저항 및 온도조건에 따른 온도 변화 및 최대 전류 크기

□ 1-4 과충전 시험 절차

- 외부 단락 시험과 동일하게 단전지를 상온(Room temperature)에서 방전 후 열평형 상태 까지 안정화 실시하며 단전지의 전압, 전류, 온도 기록
- 과충전 시험 조건에 따라 충전을 실시하며 단전지의 전압이 제조사가 지정한 상한 충전 전압이 인가되지 않는 시점에서 시험 종료

과충전 시험 절차					
1	단전지를 상온에서 방전 후 상온 에서 열평형 상태까지 안정화	인증 기준	최대 충전전압	SOC	최대 충전전류
2	단전지의 전압, 전류, 온도 기록	UL 1642	-	-	3배
		UL 2054	-	-	3배
		EN 62281	2배	-	2배
3	과충전 시험 조건에 따라 충전	SPS-KBIA	120%	200%	-
		IEC 62660-2	2배	200%	-
4	단전지의 전압이 제조사가 지정한 상한충전 전압의 인가되지 않는 시점에서 시험 종료				

표 4. 과충전 시험 절차

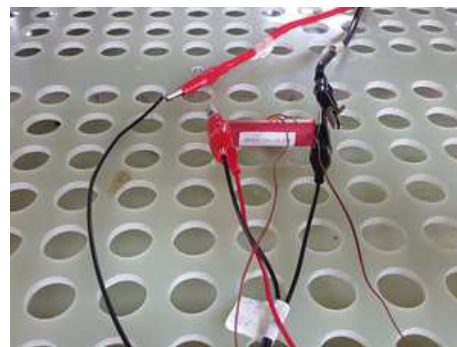
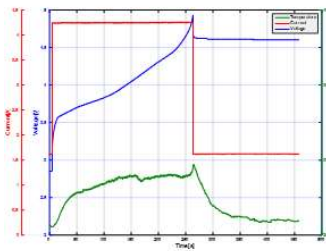
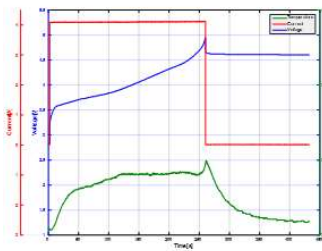


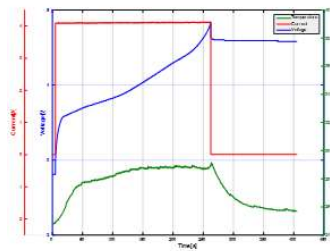
그림 23 과충전 시험 사진



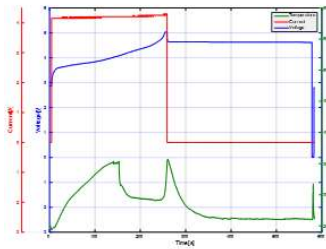
최대 온도 : 29.7°C
최소 온도 : 25.55°C
상한 전압 : 130%



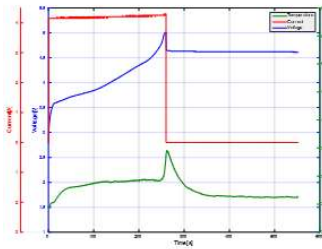
최대 온도 : 29.95°C
최소 온도 : 25.3°C
상한 전압 : 130%



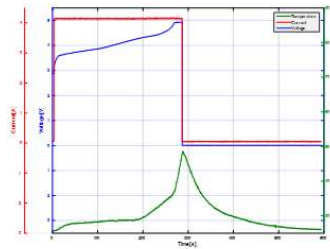
최대 온도 : 29.15°C
최소 온도 : 24.8°C
상한 전압 : 130%



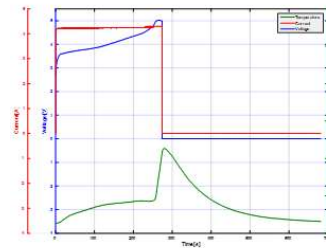
최대 온도 : 35.7°C
최소 온도 : 24.35°C
상한 전압 : 130%



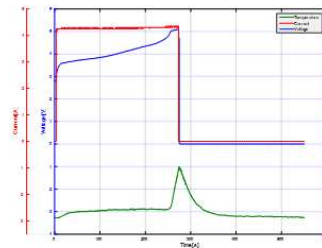
최대 온도 : 34.55°C
최소 온도 : 24.3°C
상한 전압 : 130%



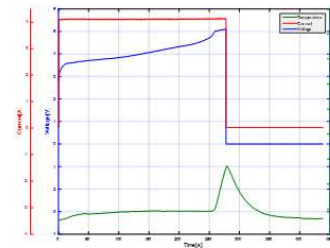
최대 온도 : 48.6°C
최소 온도 : 25.5°C
상한 전압 : 135%



최대 온도 : 65.35°C
최소 온도 : 25.15°C
상한 전압 : 135%



최대 온도 : 43.95°C
최소 온도 : 25.75°C
상한 전압 : 135%



최대 온도 : 47.15°C
최소 온도 : 25.55°C
상한 전압 : 140%

그림 24 18650-HE2 셀의 과충전 시험

- o 130% 기준으로 발화 및 폭발의 해당 사항이 없다면 상한 충전 전압의 140%를 진행하며 발 화 및 폭발에 해당된다면 상한 충전 전압의 120%로 진행
- o 상한 충전 전압의 130% 및 135%, 140% 실험 조건에서 18650-HE2 셀의 모든 발화 및 폭발, 누액, 가스, 변형 해당 사항이 없음 (제시한 과충전 시험 조건 충족)
- o 과충전 시험의 cell qualification 정립을 위해 동일 조건의 시험을 18650-HE2 셀 5 개의 시험 진행 (국내외 배터리 셀 인증 기준 참고)
- o 시험 전후 최대 온도 30°C로 단락 시험보다 낮은 온도에서 종료. 상한 충전 전압의 130% 기준시 시험 후 전압이 안정 범위로 들어감

구 분	충전 상한 전압 130%	충전 상한 전압 135%	충전 상한 전압 140%
최저온도	24.8°C	25.5°C	25.5°C
최고온도	29.2°C	43.9°C	47.15°C

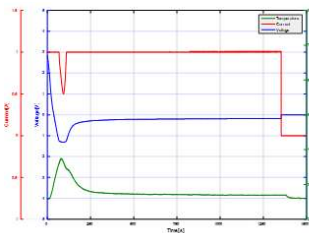
표 5 과충전 시험 결과 충전 상한 전압 조건에 따른 온도 변화

□ 1-5 과방전 시험 절차

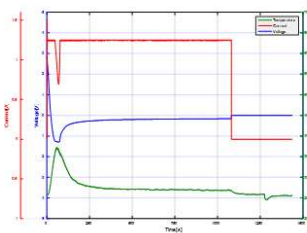
- 외부 단락 시험과 동일하게 단전지를 상온(Room temperature)에서 방전 후 단전지의 전압, 전류, 온도를 기록
- 단전지의 양극과 음극 단자를 반대로 연결 후 제시된 전류로 충전
- 셀의 표면 온도가 주위 온도로 복귀 되거나 충전전류 미인가 시 시험 종료

과방전 시험 절차				
1	단전지를 상온에서 방전	인증 기준	C-rate	Time[min]
2	단전지의 전압, 전류, 온도를 기록	KS C IEC 62660	1	90
3	단전지를 양극과 음극의 단자를 반대로 연결하여 제시된 전류로 충전	KS C 62133	1	90
		SPS-KBIA	0.5	180
4	셀의 표면의 온도가 주위 온도로 복귀되거나 충전전류 미인가 시 시험 종료			

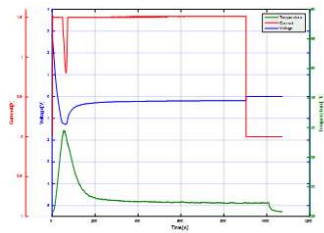
표 6 과방전 시험 절차



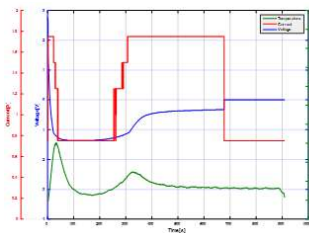
최대 온도 : 37.25°C
최소 온도 : 25.65°C
방전 1A [0.4C]



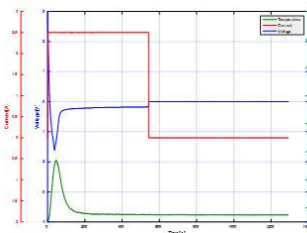
최대 온도 : 37.25°C
최소 온도 : 24.55°C
방전 1.25A [0.5C]



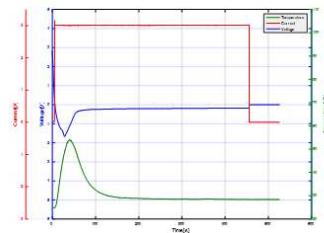
최대 온도 : 39.55°C
최소 온도 : 25.7°C
방전 1.5A [0.6C]



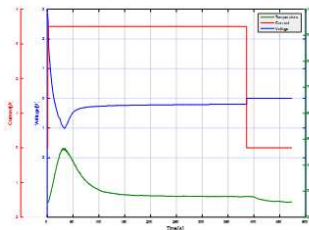
최대 온도 : 40.15°C
최소 온도 : 24.7°C
방전 1A [0.8C]



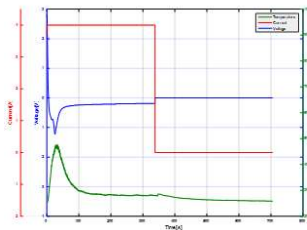
최대 온도 : 46.9°C
최소 온도 : 25.6°C
방전 2.5A [1C]



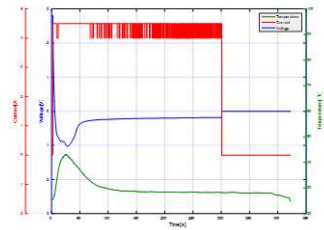
최대 온도 : 54.05°C
최소 온도 : 24.7°C
방전 3A [1.2C]



최대 온도 : 46.55°C
최소 온도 : 25.65°C
방전 3.5A [1.4C]



최대 온도 : 47.6°C
최소 온도 : 25.3°C
방전 4A [1.6C]



최대 온도 : 43.2°C
최소 온도 : 24.85°C
방전 4.5A [1.8C]

그림 25 18650-HE2 셀의 과방전 시험

- 0.4C 및 0.5C, 0.6C, 0.8C, 1C, 1.2C, 1.4C, 1.6C, 2C의 모든 조건에서 발화 및 폭발,

누액, 가스, 변형 해당 사항 없음

- o 과방전 시험시 모든 조건에서 Zero-voltage 도달 2C-rate 조건으로 방전시 40℃의
변화로 최대 온도 도달 후 시험 종료

구 분	0.5C-rate & 180분	1C-rate & 90분	2C-rate & 45분
최저온도	24.5℃	25.6℃	25.2℃
최고온도	37.2℃	46.9℃	62.5℃

표 7 방전 시험 결과 방전 전류 크기 및 방전 시간에 따른 온도 변화