

연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼

리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드

2025. 4.



과학기술정보통신부



한국생명공학연구원



국가연구안전관리본부

제2판

연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼

리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드

2025. 4.



과학기술정보통신부



한국생명공학연구원



국가연구안전관리본부

배터리 취급 안전 체크리스트



배터리 충·방전 주의사항

- 전용 충전기 사용 여부 ☐
- 배터리 충·방전시 실온 유지 여부 ☐
- 충·방전 장소 주변 인화성 물질 보관 여부 ☐
- 최대 충·방전 전압·전류 이하로 충·방전 여부 ☐
- 배터리의 이상 발열 유무(비정상적으로 뜨거운 경우 등) ☐
- 배터리 팽창, 변형, 변색 여부 ☐
- 충전 중 연기 발생 여부 ☐

배터리 취급·사용 주의사항

- 검증된 제조·공급업체에서 구입 여부 ☐
- 배터리내 보호기능(PCM, BMS) 확보 여부 ☐
- 종류 및 형식이 다른 배터리 혼용 취급·사용 여부 ☐
- 배터리 주변 화기 여부 ☐
- 배터리의 물(수분) 접촉 및 젖음 여부 ☐
- 전도성 물질, 물, 강산화제 등과 배터리 간의 접촉 가능 여부 ☐
- 배터리 주변 정전기 발생 여부 ☐
- 배터리의 (+), (-) 단자의 오염 여부 ☐
- 배터리 외관 손상 및 이상반응 여부 ☐

배터리 운반 주의사항

- 배터리 부분충전(50% 이하) 유지 여부 ☐
- 배터리 단자 보호조치 여부 ☐
- 운송 배터리의 고정 및 외부충격 보호조치 여부 ☐
- 배터리 운반시 실온 유지 여부 ☐
- 위험물질과 혼재 운반 여부 ☐

배터리 보관 주의사항

- 배터리 보호조치 여부(보호가방, 팩, 단자 노출차단 등) ☐
- 배터리의 직사광선 노출 여부 ☐
- 보관장소의 실온상태 유지 여부 ☐
- 보관 배터리의 최소방전전압 이하 여부 ☐
- 전기제품과 배터리 분리 보관 여부 ☐
- 재사용시 최소방전전압 이하 여부 ☐

배터리 폐기 주의사항

- 폐배터리의 단자의 절연테이프 밀봉 여부 ☐
- 폐배터리 방치, 적재 금지 ☐
- 폐배터리의 일반폐기물 배출 금지 ☐
- 폐배터리 소각 금지 ☐

R&D 연구자 주의사항

- 실험전 개인보호구 착용 여부 ☐
- 배터리 특성(전압, 전류 등) 확인 여부 ☐
- 배터리 연구실의 환기상태 점검 ☐
- 배터리 연구공간 주변 화기 존재 여부 ☐
- 연구용 배터리의 전해질 상태 점검 ☐
- 연구용 배터리 외관상태(손상여부 등) 확인 ☐
- 연구용 배터리 성능시험시 화재경보기능이 있는 안전챔버 등 안전이 확보된 장소 또는 상태에서 수행 여부 ☐



연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼
- 리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드 -



CONTENTS

I	서론	7
	1. 배경 및 목적	8
	2. 연구실 내 배터리 관련 안전사고 발생 현황	11
II	배터리 사고발생 매커니즘 및 특징	13
	1. 배터리 사고발생 매커니즘(폭발 및 화재)	14
	2. 배터리 사고의 특징	17
III	배터리 취급 및 관리 주의사항	19
	1. 충·방전 시 주의사항	20
	2. 취급·사용 시 주의사항	21
	3. 보관 시 주의사항	23
	4. 운반 시 주의사항	24
	5. 폐기 시 주의사항	27
	6. 배터리 관련 R&D를 수행하는 연구자 주의사항	29
IV	연구실 내 배터리 관련 사고 발생 시 대처방법	31
	배터리 사고(화재, 폭발 등) 대처방법	32
V	참고자료	35
	1. 리튬이온전지의 주요 사고원인	36
	2. 리튬이온전지의 열폭주(Thermal Runaway)	37
	3. 배터리 소재별 열폭주 실험사례	39

연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼
- 리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드 -



Chapter

I

서론

1. 배경 및 목적
2. 연구실 내 배터리 관련 안전사고 발생 현황



Chapter

I 서론



1 배경 및 목적

- 최근 휴대가 용이하고, 사용 공간의 제약이 없어 편리하게 사용할 수 있는 다양한 무선기기(디지털 디바이스, 드론 등)들이 새로이 개발·출시되고 있으며, 화석 연료 사용에 따른 온실가스 배출을 줄이고 재생 가능한 에너지 사용을 위한 지속적인 노력의 일환으로 우리 생활에서 배터리 보급이 점차 확대
- 무선기기에는 기본적으로 에너지 공급원으로서 '배터리'가 사용되고 있으며, 이러한 배터리의 성능과 효율이 기기의 품질을 결정하는 주요 요소로 작용
- 배터리는 간헐성 특성을 지닌 에너지원(태양광, 풍력, 수력, 지열 등)으로부터 발생한 에너지를 보다 지속적으로 사용할 수 있게 할 뿐 아니라, 자동차 산업에서도 전기 및 하이브리드 차량 보급 확대에 따라 우리 삶 전반에 걸쳐 활용



태양광 발전시설 또는 풍력 발전



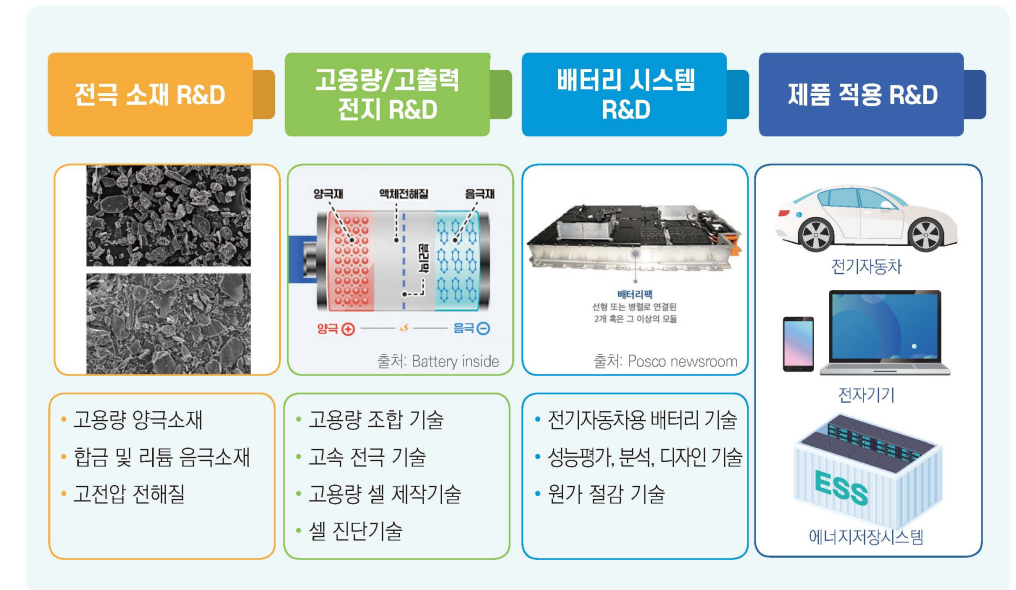
핸드폰 및 전자기기(노트북 등)



전기차

- 요구성능을 충족하는 고성능 배터리를 개발하기 위하여 국내·외에서 활발한 연구개발이 추진되고 있으며, 최근에는 크기는 작고 무게가 가벼우면서 효율은 매우 높은 이차전지(리튬전지)가 가장 광범위하게 취급·사용되는 추세

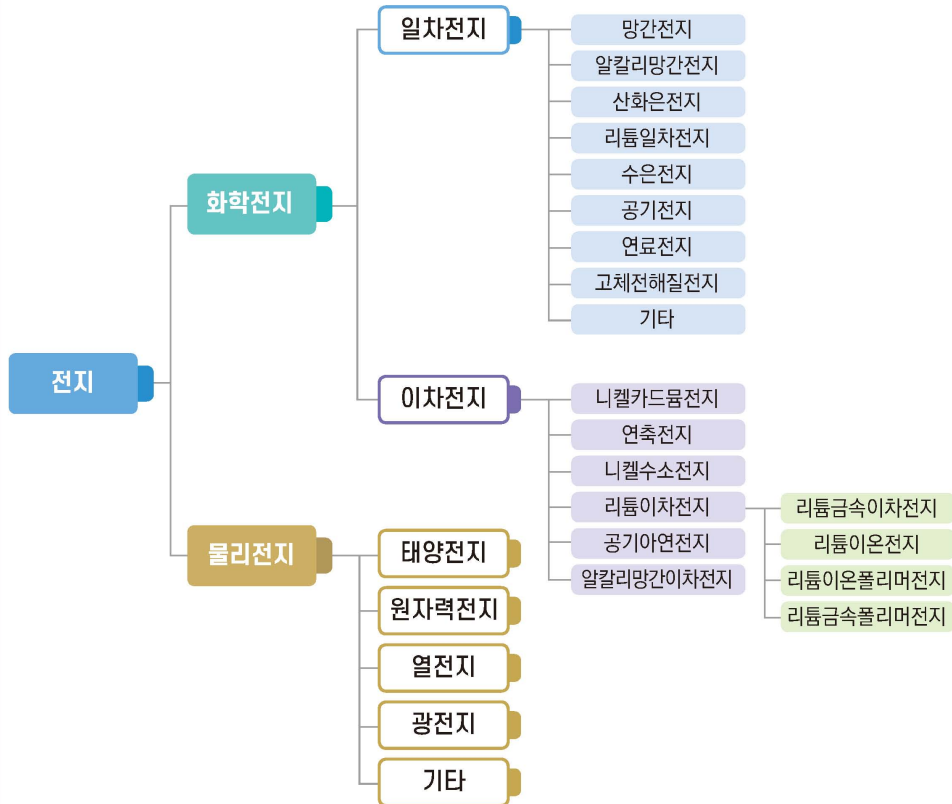
- 리튬이차전지(Lithium ion secondary battery, LiB)는 과학기술 융합연구의 결정체로서 휴대용 기기뿐 아니라 전기자동차(Electric Vehicle)와 에너지 저장 시스템(Energy Storage System)까지 다양한 전자기기의 에너지원으로서 적용이 확대되고 있으며, 고용량의 전력을 필요로 하는 전자기기의 보급에 따라 배터리 성능 향상을 위한 많은 연구개발이 진행 중
- 연구실에서는 원자 단위에서 물질의 이론적 특성을 연구하는 기초연구부터, 전기자동차, 전자기기 등에 적용되는 배터리 시스템 연구까지 다양한 스케일의 연구를 수행하고 있음
- 수십년간 연구개발 성과에 따라 리튬이차전지 연구는 물리화학적 이론치에 근접한 성능까지 도달하는 과학적 성과를 거두었으나, 배터리 취급 상의 안전성 확보는 상대적으로 미흡
- 완제품 형태의 리튬이차전지 상용화 단계 뿐만 아니라 연구개발 단계에서도 사고가 발생하고 있어 이차전지 연구실의 안전사고 예방을 위한 철저한 대비가 요구되고 있음



- 이에, 연구실 내 취급될 수 있는 리튬이차전지의 위험성에 대한 정보 제공과 동시에, 이를 안전하게 취급·관리하기 위한 안전수칙을 제공하기 위하여 본 매뉴얼 제작
- 다만, 리튬이차전지에 대한 연구 및 취급 연구실의 환경이 매우 다양하고, 현재 명확한 안전기준은 정립되지 않은 상태이므로 연구현장에서는 본 매뉴얼을 참고하여 연구실 성격에 맞는 안전기준을 수립할 필요가 있음



참고 배터리의 종류 및 구분



1 전지 구성에 따른 구분

- 전지(Battery) : 케이스, 단자, 마크 및 보호 소자와 같은 필수 소자와 함께 결합된 1개 또는 그 이상으로 구성된 셀로 정의
- 셀(Cell) : 전극, 전해질, 전조(container), 단자 및 분리막 같은 조립체를 구성하는 기초적인 기능 단위로서, 화학적 에너지의 직접 변환을 통해 얻어지는 전기적인 에너지원으로 정의

2 전지 종류에 따른 구분(KS C IEC 60050-482)

- 일차전지 : 전기적으로 재충전되지 않도록 설계된 셀
- 이차전지 : 전기적으로 재충전되도록 설계된 셀

2 연구실 내 배터리 관련 안전사고 발생 현황

- 최근 5년간 배터리로 인한 연구실 사고는 9건으로 화재·폭발에 따른 재산 피해(연구실 및 연구장비 등) 발생 (인명피해 없음)

1 과학기술분야 연구실 배터리 사고 현황('20~'24년)

2020년	2021년	2022년	2023년	2024년
2건	1건	2건	1건	3건

- 실험과정(충방전시험), 폐기물 관리(보관·폐기), 완제품 사용(충전·보관) 등 다양한 유형의 연구과정 중 발생한 것으로 확인

※ 정확한 배터리 발화원인(이상반응, 열폭주 등)은 규명되지 않음

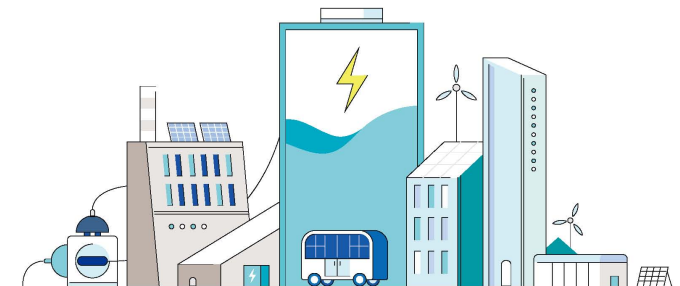
2 연구단계별 사고 발생 현황('20~'24년)

연구단계	실험과정	폐기물 관리	완제품 사용*
사고건수	5건	1건	3건

* 드론, 수중글라이더, DC모터 등 과학기술분야 연구 수행을 위한 배터리 사용중 발생

- 배터리 사고는 한번 발생하면 막대한 인적·물적 피해를 야기할 수 있으며, 직접적인 연구활동 시간 외 연구자가 연구실에 상주하지 않는 시간에도 발생하고 있음

- 만약 연구자 부재 중 배터리 폭발 등으로 인해 화재사고가 날 경우, 연구실 내 취급되는 다양한 가연물에 의해 피해가 쉽게 확산되어 고가의 연구장비 등이 전소되는 등 막대한 물적피해가 발생할 수 있음





참고 배터리 화재사고 예시

배터리 충전 중 화재사고

- 일 시: 2019. 5. 24.(금), AM 01:41
- 인명피해: 화재 진화 중 소방관 2도화상(손) (연구자 피해는 없음)
- 재산피해: 사무실 1개소(50m²) 전소
- 사고개요: 기관 내 입주한 무인선박 개발업체에서 기기에 장착되는 배터리를 충전하던 중 폭발과 함께 화재 발생



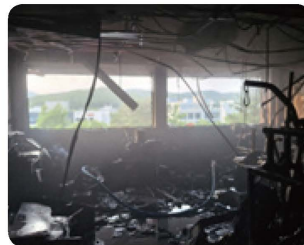
배터리 충전 중 화재사고

- 일 시: 2024. 3. 1.(금), AM 00:30
 - 인명피해: 없음
 - 재산피해: 96백만원(연구장비, 시설 복구 비용)
 - 사고개요: 드론용 리튬배터리 충전 중 화재 발생
- ※ (사고원인) 리튬배터리 과열(과충전) 추정



배터리 보관 중 화재사고

- 일 시: 2024. 5. 16.(목), PM 18:08
 - 인명피해: 없음
 - 재산피해: 5,709백만원(연구장비, 시설 복구 비용)
 - 사고개요: DC모터(12V 배터리 연결) 회전력 측정 실험 종료 후 화재 발생
- ※ (사고원인) 연구실 테이블에 있던 리튬이온배터리의 발화 추정



배터리 연구재료 폐기 중 화재사고

- 일 시: 2024. 9. 10.(화), PM 21:25
 - 인명피해: 없음
 - 재산피해: 4.5백만원(에어컨, 수납장 등)
 - 사고개요: 연구활동 종료 후 배터리 재료의 일부인 나트륨(1g)의 폐기 처리 부주의로 화재 발생
- ※ (사고원인) 충분한 산화 과정을 거치지 않은 나트륨이 공기 중 산소, 수분에 의한 반응 추정



Chapter

II

배터리 사고발생 매커니즘 및 특징

1. 배터리 사고발생 매커니즘(폭발 및 화재)
2. 배터리 사고의 특징

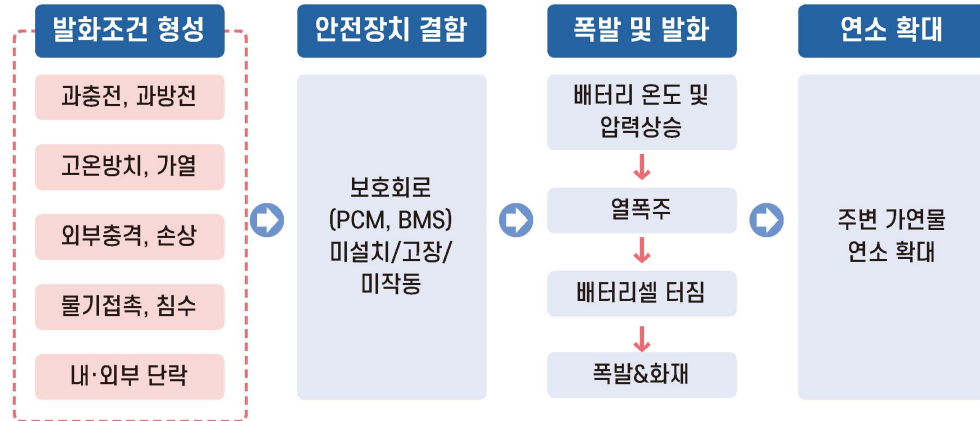
Chapter

II

배터리 사고발생 매커니즘 및 특징



1 배터리 사고발생 매커니즘(폭발 및 화재)



○ 배터리는 과충전·과방전, 가열, 외부충격 등의 외적요인뿐만 아니라 배터리 부품 및 구조적 결함 등 다양한 원인에 의해 발화·폭발이 발생할 수 있음

- (외적요인에 의한 사고) 배터리(특히, 리튬이온으로 구성된 이차전지)는 그 자체로서 발화, 폭발 등을 유발할 수 있는 불안정한 물질로 구성되어 있기 때문에 외부충격에 의해 단락이 되면 내부압력이 급격히 증가하여 폭발
- (내부결함에 의한 사고) 단순 외적요인 외에도 배터리 자체 성능 결함, 구성품 불량 등에 따라 충전상한전압이 초과되거나 보호회로(PCM) 또는 배터리 관리시스템(BMS)이 작동하지 않을 경우, 고온·과충전 등에 의해 쉽게 폭발·발화



참고 배터리 과충전에 따른 화재 재현실험 결과

■ 실험개요: 보호회로(PCM) 제거, 전용충전기 아닌 별도 충전기를 사용하여 배터리 충전 실시



백연분출 및 착화



폭발성 화염



배터리 잔해물

리튬이온배터리(10개셀 1팩 / 36V) 발화실험(30분 충전)



백연분출 및 착화



폭발성 화염



배터리 잔해물

리튬폴리머배터리(8개셀 5팩 / 43V) 발화실험(4시간 9분 충전)

자료: 동작소방서



참고 배터리 가열에 따른 화재 재현실험 결과

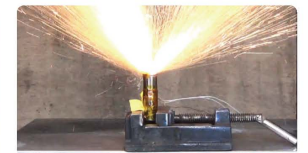
■ 실험개요: 배터리에 인위로 열을 가하여 경과확인



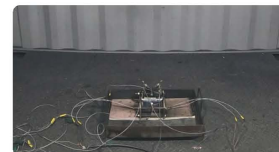
원통형 배터리 외부충격(가열)



내부 압력 방출(Vent) 발생



배터리 열폭주 발생



파우치형 배터리 외부충격(가열)



내부 압력 방출(Vent) 발생



배터리 열폭주 발생

자료: 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원

참고 배터리 충격에 따른 화재 재현실험 결과

■ 실험개요: 배터리에 외력을 가하여 손상을 입힌 후, 경과확인



외부충격(압력)



배터리 손상, 연기발생



배터리 폭발, 화재발생

자료: 일본 동경소방청



외부충격(관통)



배터리 손상, 연기발생



배터리 폭발, 화재발생

자료: 의왕소방서(2차전지 화재위험성과 화재패턴에 관한 연구)



2 배터리 사고의 특징

- 배터리 발화 및 폭발 사고가 발생하게 되면, 외관이 녹아내리는 등 배터리가 훼손되어 대부분 정확한 사고 원인을 규명하기 곤란
- 특히, 내부단락에 의한 발화 및 폭발인 경우에는 배터리 내부의 복잡한 구조와 다양한 발열루트로 인해 사고 후 배터리를 분해하지 않으면 원인을 찾기 어렵고, 분해하더라도 내부 소재, 부품 등의 심한 손상 및 소실로 규명이 어려움
- 또한, 배터리에 비정상적인 온도 상승이나 과충전, 과전류 등을 차단할 수 있는 보호회로(PCM) 또는 배터리 관리시스템(BMS)이 없을 경우, 발화 및 폭발의 위험은 더욱 높아지는 특징이 있음

참고 주요 리튬이온전지의 형태 및 특징

■ 리튬이온전지에서 가장 일반적으로 사용되는 네 가지 셀 유형은 형태에 따라 원통형, 각형, 코인형 및 파우치형 셀이 있으며, 연구 단계에서는 코인형과 파우치형을 주로 활용

- 원통형 셀은 원통형의 캔 내부에 양극, 음극, 분리막으로 구성된 젤리롤을 넣은 형태의 규격화된 배터리 (18650, 21700 등)
- 각형 셀은 캔 내부에 양극, 음극, 분리막으로 구성된 젤리롤을 넣은 형태의 배터리로 외부 충격에 강함
- 코인형 셀은 원통형의 캔 내부에 양극, 음극, 분리막으로 구성된 젤리롤을 넣은 형태의 배터리로 용량이 작고 실험용으로 많이 사용됨
- 파우치 셀은 내부에 양극, 음극, 분리막으로 구성된 젤리롤을 넣은 형태의 배터리로 크기 및 형태가 다양함



원통형
(출처: 엘지에너지솔루션)



각형
(출처: 삼성SDI(주))



코인형
(출처: (주)씨니텍)



파우치형
(출처: 엘지에너지솔루션)

Key Point !

- ✓ 연구개발 단계에서는 코인셀 또는 파우치셀과 같은 프로토타입의 셀을 제조하여 전기화학 성능 테스트를 수행하고 있으나, 완제품 전지와 달리 안전장치의 부재로 화재 사고 발생 가능성이 높음
- 또한 연구개발 단계에서 화학적 구조나 조성이 개선된 새로운 소재를 적용하여 시험할 경우, 오히려 검증되지 않은 위험성을 내재하고 있으므로, 연구활동 과정에서 안전사고 예방을 위한 각별한 주의 필요

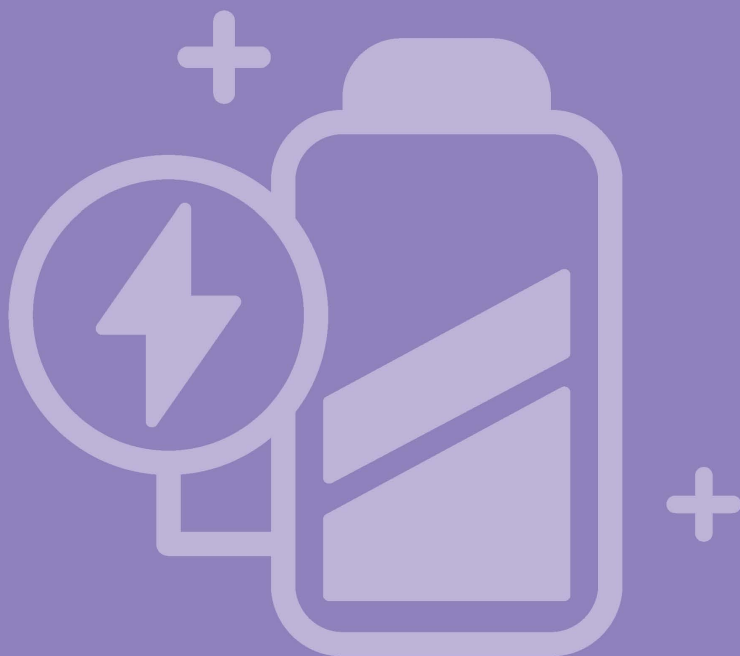


Chapter

III

배터리 취급 및 관리 주의사항

1. 충·방전 시 주의사항
2. 취급·사용 시 주의사항
3. 보관 시 주의사항
4. 운반 시 주의사항
5. 폐기 시 주의사항
6. 배터리 관련 R&D를 수행하는 연구자 주의사항



Chapter

III

배터리 취급 및 관리 주의사항



1 총·방전 시 주의사항



▶ 아래와 같은 현상이 발생하면 바로 충전을 중지하여야 한다.

- 충전 중 연기가 발생하는 경우
- 배터리 내부에 액체가 흐르거나, 냄새가 나는 경우
- 배터리 또는 배터리팩이 팽창, 변형, 변색된 경우
- 배터리 또는 배터리팩이 비정상적으로 뜨거운 경우

※ 충전 중 위와 같은 현상을 보이는 배터리, 배터리팩, 충전기는 즉시 가연성 물질과 이격시키고, 폐기조치 한다.

1. 배터리의 올바른 총·방전방법은 제조사에서 발간한 사용설명서를 참고하여야 하며, 사용설명서는 폐기 전 까지 보관한다.
2. 배터리 총·방전 시에는 전용 충전기만을 사용하여야 한다.
3. 배터리 총·방전은 실온상태의 실내에서 이루어져야 한다.
 - 온도가 높거나 낮은 경우, 또는 습도가 높은 경우에는 배터리가 손상될 수 있다.
4. 총·방전 장소 근처에 점화원 및 가연성·인화성 물질을 두지 말아야 한다.
5. 총·방전 시, 과충전(과전류, 과전압)에 의한 발열반응에 주의하여야 한다.
 - 총·방전전류는 각 제조사에서 지정한 최대 총·방전 전류를 초과해서는 안 된다.
 - 총·방전전압은 각 제조사에서 지정한 최대 총·방전 전압을 초과해서는 안되며, 방전전압은 지정한 최소 방전 전압이하로 하락해서는 안 된다.
6. 배터리의 전압이 최소방전전압 이하일 경우에는 배터리 또는 배터리팩을 충전·사용하지 말아야 한다.
7. 총·방전 중에는 자리 이탈을 삼가고 주변에 머물러 배터리 또는 충전기 고장 등의 이상 징후를 주기적으로 확인하여야 한다.
8. 배터리의 이상반응에 따른 화재, 폭발 사고의 피해 최소화를 위하여 배터리 안전 보관함 내에서 충전을 실시한다.
9. 충전이 완료된 배터리는 과충전 방지를 위하여 즉시 충전기에서 분리하여야 한다.
10. 배터리를 장기간 충전기에 장착한 상태로 보관하지 않는다.

2 취급·사용 시 주의사항



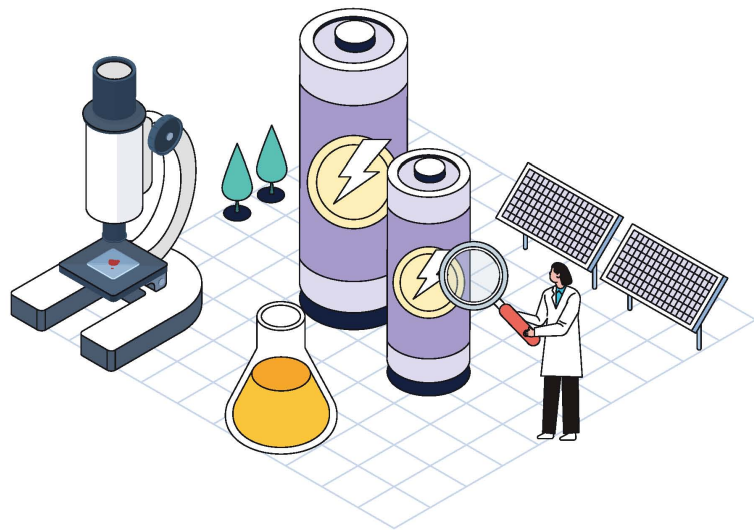
▶ 아래와 같은 현상이 발생하면 바로 취급·사용을 중지하여야 한다.

- 배터리 외부에 손상이 있거나, 내부손상이 의심되는 경우
- 배터리 또는 배터리팩의 외부 커버가 손상되었을 경우
- 배터리가 부풀거나, 전압, 전류 등의 이상이 의심되는 경우

※ 취급·사용 중 위와 같은 현상을 보이는 배터리, 배터리팩, 충전기는 재활용 하여 사용하지 말고, 폐기조치 한다.

1. 배터리는 검증된 제조업체 또는 공급업체를 통해 구입하여야 한다.
2. 내부에 적절한 보호기능이 있는 배터리 제품만을 사용하여야 한다.
3. 배터리는 사용설명서에 따라 의도된 용도로만 사용하여야 한다.
4. 배터리를 해체하여 열거나, 자르는 등 임의로 개조하여 사용하면 안 된다.
5. 종류 및 형식이 다른 배터리(일차전지와 이차전지, 또는 리튬이온배터리와 니켈-금속 배터리 등), 서로 다른 크기의 배터리를 혼용하여 사용하면 안 된다.
6. 배터리를 열이나 화기에 노출시키면 안 된다.
7. 배터리 사용 시에는 (+), (-) 단자를 확인하고 올바르게 사용하여야 한다.
8. 배터리가 물에 젖었을 경우, 즉시 사용을 금지한다.
 - 일시적으로 정상 작동할 수는 있으나, 내부에서 부식이 서서히 진행될 가능성이 있으며 이로 인해 단락, 전해질 누출, 보호회로 오작동 등의 문제가 발생하여 화재 또는 폭발 위험이 증가할 수 있다.
 - 물에 젖은 배터리는 완전히 건조되었더라도 내부 손상 가능성이 높으므로, 제조사의 지침에 따라 안전하게 폐기한다.
9. 배터리를 전도성 물질, 물, 강산화제 또는 강산과 접촉되지 않도록 관리하여야 한다.
10. 취급·사용 전에 항상 배터리에 손상 흔적이 있는지 확인하여야 한다.
 - 정전기는 배터리팩 안의 보호기능을 손상시킬 수 있다.
11. 날카로운 물건으로 배터리를 치거나, 구멍을 내는 행위 등을 하여서는 안 된다.
 - 배터리 내부에서 쇼트가 발생할 경우 발열, 발화, 폭발이 발생할 수 있다.

12. 만약 배터리 내부의 액체가 흘러나와 피부 또는 눈에 묻을 시, 즉시 흐르는 물에 충분히 씻은 후 의사와 상담하여야 한다.
13. 배터리의 (+), (-) 단자가 오염되었으면 깨끗한 마른 천으로 닦아야 한다.
14. 만약, 배터리의 사용시간이 현저히 감소하였다고 판단될 경우에는 새 것으로 교체하여야 한다.
 - 사용시간이 감소했다고 느껴지는 배터리는 충전하기 전, 전압을 확인한다.
15. 손상되거나 부풀어 오른 배터리를 절대 사용하지 말고 즉시 폐기하여야 한다.
16. 작동 또는 충전 중에 이상한 냄새, 열 발생, 비정상적 작동, 형태가 바뀌는 등 이상반응 발생 시에는 즉시 배터리를 분리하여야 한다.



3 보관 시 주의사항



▶ 배터리 보관시에는 아래의 내용에 주의하여야 한다.

- 가연성물질, 생물체(특히 동물)와 떨어진 곳에 보관한다.
- 건조한 실온조건에서 보관하며, 냉장·냉동고에 보관하면 안 된다.

1. 배터리 또는 배터리팩을 사용하기 전까지는 본래의 포장을 제거하지 않고 보관한다.
2. 배터리를 보호조치 없이 주머니, 가방 등에 단독으로 보관하면 안 된다.
 - 배터리가 동전, 키, 클립 등과 같은 금속재질과 접촉 시 화재, 폭발이 발생할 수 있다.
3. 배터리의 노출된 단자 또는 커넥터는 비전도성 캡이나 테이프 또는 유사한 수단으로 보호하여야 한다.
4. 배터리 보관용 안전제품을 활용하여 안전한 장소에 보관한다.
5. 직사광선을 받는 곳에 배터리를 보관하여서는 안 된다.
 - 60℃ 이상의 온도에서 배터리를 보관할 경우, 화재 또는 손상을 유발할 수 있으므로, 실온상태의 적절한 습도가 유지되는 공간에 보관하여야 한다.
6. 다수의 배터리를 한 장소에 보관하지 않도록 하고, 불가피하게 다수의 배터리를 보관하는 경우에는 별도의 전용 구역을 마련하여 보관하며, 배터리를 포개거나 적층하여 보관하지 않는다.
7. 다수의 배터리 보관구역은 연기감지기 및 스프링클러 등 소화설비가 설치된 장소를 선정하여야 한다.
8. 제품을 수 개월 이상 사용하지 않을 경우, 배터리와 배터리팩은 제품에서 분리하여 보관한다.
 - 배터리를 장기간 제품에 장착한 상태로 보관할 경우 누액 등의 문제가 발생할 수 있다.
9. 장시간 배터리를 보관하는 경우 완전방전 상태가 아닌 20~40% 이하로 충전된 상태에서 보관한다.
10. 배터리를 장기간 보관 후 재사용할 경우, 충전하기 전에 전압을 확인한다.
 - 배터리의 전압이 최소방전전압 이하일 경우, 배터리 또는 배터리팩을 충전하거나 사용하지 않아야 한다.
 - 또한, 장기간 사용하지 않은 배터리의 최대 성능을 얻기 위해서는 몇 차례 방전 및 충전할 필요가 있다.

4 운반 시 주의사항



▶ 배터리를 운반할 경우에는, 아래의 내용에 주의하여야 한다.

- 배터리는 50% 이하의 부분 충전상태로 운반한다.
- 배터리 단자를 보호하여 단락을 방지하여야 한다.
- 배터리의 직사광선 노출을 방지하고, 실온 상태에서 운반한다.
- 배터리는 화학물질, 가스 등과 함께 운반하지 않는다

1. 배터리 운반 시에는 50% 이하의 부분 충전상태를 유지한다.
2. 배터리 단자는 절연 테이프, 캡 또는 비전도성 포장재로 보호하여 단락을 방지한다.
3. 운송 중 배터리가 움직이지 않도록 완충재나 스티로폼, 에어백 등을 사용하여 고정하고 외부 충격으로부터 보호한다.
4. 손상된 배터리는 절대 운반하지 않으며, 즉시 폐기처리한다.
5. 배터리를 직사광선이나 고온 환경에 노출을 방지하고, 실온의 일정한 온도를 유지하여 운반한다.
6. 배터리는 다른 위험물질(화학물질, 가스 등)과 함께 보관하거나 같은 용기에 넣어 운반하지 않는다.
7. 장거리 또는 장시간 운반 시에는 온도 및 습도 등 환경 조건을 지속적으로 모니터링하여 이상 징후 발생 시 신속히 대응할 수 있도록 한다.



배터리 충전·보관용 안전 장비 및 시설 예시



배터리 안전 보관함(출처: 제이오텍)



배터리 충전 보관함(출처: 아이솔루션)



배터리 보관 팩(출처: Tenergy Power)



배터리 보관 가방(출처: Tenergy Power)



코인셀 보관함



파우치셀 보관함



참고 배터리 안전 충전 보관함 활용 우수사례

■ 리튬폴리머배터리 충전과정에서 화재가 발생하였으나, 내화성능이 확보된 배터리 안전 충전·보관함 내에서 충전이 이루어짐에 따라, 화재 확산에 따른 인명 및 대규모 재산 피해 예방

※ 배터리 안전 충전·보관함 내부에서 자체 연소하여 피해 최소화 가능

사고내용

- 사고일시: 2025.1.19.(일) 20시 53분경
- 사고장소: ○○대학 전기 및 전자공학과 연구실
- 사고경위: 연구용 드론의 전원공급을 위한 리튬폴리머배터리 (2,200 mAh) 충전 중 화재발생
- 피해현황: 배터리 보관함 소손(인명피해 없음)
- 사고원인: 충전 중이던 리튬폴리머 배터리 발화 추정



배터리 안전 충전·보관함(외부)



배터리 안전 충전·보관함(내부)



연소된 사고 배터리(전극)

5 폐기 시 주의사항



▶ 배터리를 폐기할 경우에는, 아래의 내용에 주의하여야 한다.

- 배터리는 반드시 방전시킨 후 폐기하여야 한다.
- 배터리를 폐기할 때에는 서로 다른 전기화학 시스템을 가진 배터리와 서로 격리한다.

1. 폐기 시, 다른 배터리 또는 금속과의 접촉을 방지하기 위하여 (+), (-) 단자를 절연테이프로 밀봉하여야 한다.
2. 사용이 완료된 배터리를 가방, 서랍, 박스 등 다른 물품과 함께 쌓아서 방치하면 안 된다.
 - 사용 완료된 배터리도 일부 충전상태일 수 있으며, 이러한 배터리를 다른 물품(특히 금속 등)과 함께 보관할 경우 화재가 발생할 수 있다.
3. 배터리를 쓰레기와 함께 보관하거나 일반 쓰레기통에 버리면 안 된다.
4. 배터리는 소각하거나 불 속에 폐기하면 안 된다.
5. 배터리를 임의로 분해하거나 해체하여 폐기하면 안 된다.



참고 알칼리 금속(리튬 등)의 특성 및 취급 방법

■ 알칼리 금속의 위험성

- 알칼리 금속(리튬, 나트륨, 칼륨, 루비듐, 세슘)은 녹는점이 낮으며, 공기와 습기에 쉽게 반응하므로 취급 시 특별한 주의 필요
- 공기와 반응하여 부식성 금속 산화물을 형성할 수 있으며, 무거운 알칼리 금속(루비듐과 세슘)은 실온에서 공기에 노출되면 자연발화
- 물과 반응하여 열, 수소가스 및 해당 금속 수산화물을 생성하는데, 이 반응으로 생성된 열은 수소 또는 금속 자체에 불을 붙여 화재 또는 폭발을 일으킬 수 있음

■ 알칼리 금속 취급(사용·폐기 등)시 보호구 착용

- 보안경 또는 적절한 내화학성을 갖춘 장갑
- 난연성 실험복
- 일반복장 : 긴바지(또는 다리와 발목을 가리는 동등한 옷)와 발을 완전히 가리는 신발(안전화)
- 알칼리 금속 취급시에는 단독 작업 금지



보안경



내화학성 장갑



난연성 실험복



안전화

■ 보관방법

- 산소 및 물과의 접촉을 최소화하기 위해 미네랄 오일 또는 아르곤(Ar)과 같은 불활성 가스 분위기에서 밀폐 용기에 보관

※ (주의) 대표적인 비활성기체인 질소 가스는 리튬에 대한 불활성 분위기를 조성하지 아니하므로, 글러브 박스 등에서는 아르곤 가스를 통한 불활성 분위기 유지 필요

■ 폐기방법

- 알칼리 금속 폐기물(조각)은 미네랄 오일 또는 불활성 분위기에서 보관하고, 전문 업체를 통해 폐기물로 수거
- 리튬(밀도: 0.534g/cm³)은 미네랄 오일(밀도: 0.8g/cm³)에 떠 있으므로, 오일에 보관된 리튬조각이 완전히 담겨져 있는지 확인
- 알칼리 금속 취급시 사용되는 장비와 도구를 세척할 경우, 이소프로판올이나 테르트부탄올(알칼리 금속과 더 느리게 반응)로 행구거나 많은 양의 열음물에 담가서 세척
- 소량의 알칼리 금속으로 오염된 고체 물질(장갑, 종이 타월 또는 킴와이프 등)은 금속 캔에 수거하여 잔류 알칼리 금속과 공기의 자연 반응을 유도하여 화재 위험 방지 필요



미네랄 오일에 보관된 리튬메탈 조각



변색된 리튬메탈 조각



리튬메탈 폐기의 잘못된 사례

리튬 메탈 사고사례

- (배경) 美 OO대학교 연구실의 흡 후드에서 연구원이 물에 리튬 조각을 담금질(dipping)하면서 화재 발생
- (사고 원인) 개별 리튬 조각을 물이 담긴 비커에 옮기는 동안, 금속이 묻혀진 리튬 조각 여러 개(약 15g)가 연구원의 실수로 동시에 비커에 추가됨. 그로 인한 화재로 비커가 깨지고 리튬금속이 담긴 보관백에 물이 쏟아져 추가 화재 발생

6 배터리 관련 R&D를 수행하는 연구자 주의사항



▶ 연구활동 중 배터리를 직접적으로 취급·사용하는 연구자들은 아래의 내용에 주의하며 연구를 수행하여야 한다.

- 가연성물질은 배터리 취급 장소로부터 충분히 떨어진 곳에 분리 보관한다.
- 배터리에 외부충격 또는 스파크 등이 가해지지 않도록 주의한다.

1. 연구활동 중 배터리를 취급(제조, 분석)·사용할 경우에는 개인보호장비를 착용해야 하고, 배터리 근처에 적절한 소화기 등 소화장비·설비를 비치하여야 한다.
 - 특히, 실링 처리되지 않은 납 배터리를 사용할 경우에는 보안경, 보호장갑(고무장갑), 그리고 고무 처리된 앞치마 또는 보호복을 착용해야 한다.
 - 배터리의 충·방전시험 시에는 절연화, 절연장갑, 보안경, 안면보호구, 고무 처리된 앞치마, 보호복 등을 착용해야 한다.
2. 나일론 재질의 옷은 정전기 및 스파크를 일으킬 수 있으므로 입지 말아야 하며, 배터리 단자에 접촉될 수 있는 금속(반지, 목걸이 등)은 착용하지 않는다.
3. 배터리의 사용 전압, 사용 전류 등이 표기된 Data Sheet, Safety Data Sheet 등을 비치하고 배터리 사용 전 Data Sheet에 따른 배터리 특성을 확인 및 숙지한다.
4. 배터리 내부 전해질의 경우, 독성을 지닌 물질이 있으므로 접촉에 대비하여 세안기 및 비상샤워장치를 설치해야 한다.
5. 배터리를 취급·보관·연구하는 연구실(특히 밀폐형 연구실)의 경우 충분한 환기가 필요하다. 환기량은 배터리의 크기, 형태, 온도, 충전전류에 의해 결정된다.
6. 배터리 충전 시험 시, 과충전에 의해 전해액이 폭발하여 가스가 누출될 수 있으므로 충분한 환기와 함께 가연성가스의 발생을 막기 위한 조치가 필요하다.
7. 밀폐된 공간에서 배터리와 근접한 위치에는 스파크를 일으킬 수 있는 부품(릴레이, 스위치 등)을 설치하지 않는다.
8. 퓨즈나 차단기와 같은 보호장치는 가능한 배터리와 가까운 곳에 설치하여야 하고, 과전류 서지*(Surge)를 견딜 수 있는 충분한 배선을 사용해야 한다.

* 전기회로에서 전류나 전압이 순간적으로 크게 증가하는 충격성이 높은 펄스

9. 배터리를 실험(충전 시험 등)하는 영역 근처에는 점화원이 없어야 하며, 가연물은 실험 영역으로부터 분리한다.
10. 배터리 충전시험 전·후에는 전해질의 상태를 항상 점검한다.
11. 배터리 균열에 의해 전해질 또는 겔이 방출되지 않도록 항상 주의하여야 한다.
12. 연구용 배터리 충·방전 및 성능시험(충방전 등)시에는 화재 경보기능(연기 감지기 등)이 있는 안전 챔버 또는 난연성 보관용기 등을 활용하여 안전이 확보된 상태에서 연구활동을 실시하는 것이 바람직하다.
13. 배터리를 제조하는 경우, 양극재, 음극재, 전해질 등 각 재료의 물리·화학적 위험성을 고려하여 안전하게 취급·보관하여야 한다.



Chapter

IV

연구실 내 배터리 관련 사고 발생 시 대처방법

배터리 사고(화재, 폭발 등) 대처방법

Chapter

IV

연구실 내 배터리 관련
사고 발생 시 대처방법

배터리 사고(화재, 폭발 등) 대처방법

- 배터리 내부에서 전해액 또는 화염분출 시에는 주변에 접근하지 않고 즉시 대피 후, 119 신고(대학·연구 기관의 연구실안전환경관리자 등)

사고대응 절차

연구실사고 발생



배터리 화재 또는 폭발, 배터리 내 전해액 누출 등
※ 사고발생지역에서 우선대피 후 대응 조치

화재 및 응급환자 발생

- ○○병원: 02-000-0000
- ○○소방서
: 119, 02-000-0000

최초발견자
(연구실책임자 등)

010-000-0000

초동조치

- 부상자 응급처치
: 누출된 증기, 전해액이 눈 또는 피부에 접촉 시 흐르는 물에 세척하여 긴급조치하거나 즉시 의료기관으로 호송
: 유독가스 흡입 시 환자를 즉시 신선한 공기가 있는 곳으로 옮기고, 의료기관으로 호송

※ 사고발생지역에서 우선대피 후 응급처치 실시

- 피해확산 방지조치
: 배터리 주변 인화성 물질을 화기에서 이격
: 가스발생 시 수소 및 알칼리성 증기이므로 충분한 실내환기 실시

※ 사고발생지역에서 우선 대피 후, 화재 규모를 확인하고 조치

- 현장 출입통제 및 대피

현장상황실 운영

- 현장사고조사반 구성
- 사고조사위원회 운영

방재실 또는 안전관리부서
(연구실안전환경관리자)

010-000-0000

연구주체의 장

010-000-0000

연구실사고 보고 방법

중대 연구실사고



- 사고(상황) 발생 1차보고
(초기 사고대응 후 지체없이)
: 유선보고
(☎ 044-202-4868,
043-240-6456)
- 사고(상황) 발생 2차보고
(사고경위 및 조치현황)
: 서면보고, 연구실 사고조사표
제출(과학기술정보통신부
제출(과학기술안전기반팀))

일반 연구실사고



사고발생일로부터
1개월 이내
연구실 사고조사표
작성·제출

아차사고, 단순·경미사고



자체처리 및 기록유지



참고 과학기술정보통신부 연구실사고 보고 기준

구분	보고시점	보고내용	보고방법
중대 연구실사고	초기대응 후 즉시	• 사고 발생 개요 및 피해 상황 • 사고 조치 내용, 사고 확산 가능성 및 향후조치·대응계획 • 그 밖에 사고 내용·원인 파악 및 대응을 위해 필요한 사항	전화, 팩스, 전자우편 등
일반 연구실사고	사고발생일로부터 1개월 이내	• 연구실안전법 시행규칙 [별지 제6호서식] 연구실사고 조사표 내용	국가연구안전 정보시스템

참고 이동식 침수조를 활용한 초기 소화 방법

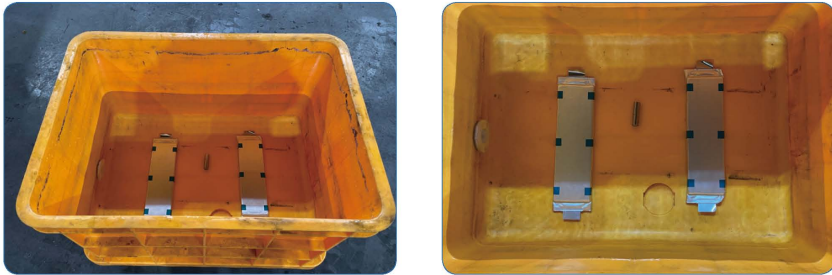
■ 이동식 침수조는 저용량 연구용 배터리(코인셀 및 파우치셀 등) 취급 연구활동 중 연기, 부풀음 등 이상징후가 발생한 경우 화재 예방 및 확산 방지를 위해 활용 가능

■ 소화방법

1. 연구용 배터리에서 연기, 부풀음 등 이상반응 발생
2. KFI 또는 KCs 인증을 받은 집게 및 난연(방열)장갑을 활용하여 안전하게 배터리를 이동식 침수조(수조)로 운반 후, 침수조(수조) 내부에 침지
3. 이동식 침수조(수조)에 침지된 배터리에서 추가적인 화재·폭발이 발생할 수 있으므로 대피(안전거리 확보) 후 관찰(이상반응 발생시 즉시 신고)
4. 배터리가 완전히 소화(반응종료)되었는지 확인하고 적절한 방법으로 폐기

■ 주의사항

- 본 소화방법은 저용량 연구용 배터리에 한정하여 실시하여야 하며, 소화과정에서 화재 및 불꽃 번짐 등의 위험이 있어 연구자에게 부상이 발생할 수 있으므로, 주기적인 소화 훈련을 통해 조치방법 숙지 필요
- 완전 충전 배터리(셀)은 불꽃 번짐 등 사고 위험이 높으므로 각별한 주의 필요
- 침수조의 온도는 상온(25℃) 이하로 유지 권장



이동식 침수조(수조) 예시(※ 가연물이 아닌 재질의 수조 권장)

Chapter

V

참고자료

1. 리튬이온전지의 주요 사고원인
2. 리튬이온전지의 열폭주(Thermal Runaway)
3. 배터리 소재별 열폭주 실험사례

Chapter

V

참고자료



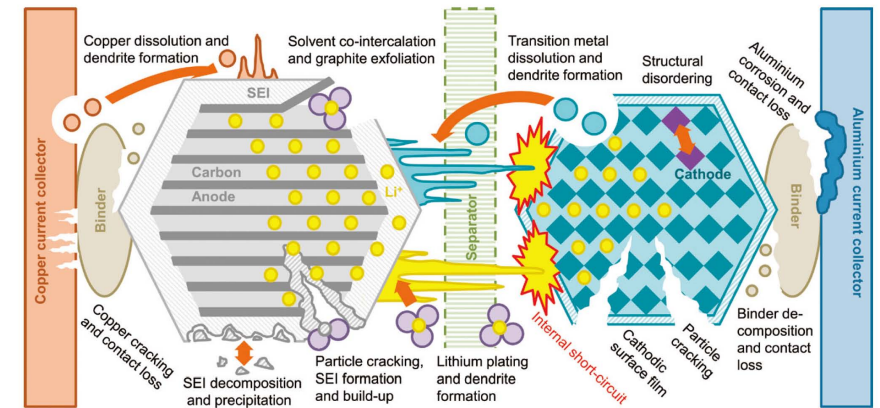
참고자료1 리튬이온전지의 주요 사고원인

- 제조 결함: 조립 단계에서 결함이 발생할 수 있음. 이는 부적절한 재료 사용, 오염물질, 결함이 있는 전극, 조립 또는 취급 중 부품 손상 등에 의해 발생할 수 있음
 - 내부 셀 결함은 보통 첫 충전 중 또는 초기 사용 주기 동안 발생하므로 충방전 시험 단계에서 주의할 필요
- 기계적 오용(Mechanical Abuse): 외부 충격(충돌, 낙하, 관통 등)에 의한 배터리 손상을 포함
 - 손상의 심각도에 따라 셀 오작동, 전해질 누출, 내부 단락, 셀 과열 및 열폭주(Thermal Runaway)에 이를 수 있음
- 전기적 오용(Electrical Abuse): 내부단락, 과충전, 과방전 등 여러 메커니즘이 존재
 - 내부 단락: 여러 유형의 내부 단락이 발생할 수 있으며, 리튬이온전지와 관련된 심각한 사고의 주요 원인이 됨
 - 과충전: 셀이 허용된 전압보다 높은 전압으로 충전될 때 발생
 - 과방전: 과방전은 전극과 집전체에 경미한 손상을 초래
- 열적 오용(Thermal Abuse): 리튬이온전지는 특정 온도 범위 내에서 작동하여야 하나, 고온 환경에서 작동시 위험
 - 특히 시험용 셀은 냉각 시스템이 없으므로 고온 환경에 취약
 - 약 70°C 이상에서 전해질이 분해되어 가스가 발생하고 셀 내부 압력이 증가하기 때문에, 열폭주(Thermal Runaway)와 배터리 파괴로 이어질 수 있음



참고자료2 리튬이온전지의 열폭주(Thermal Runaway)

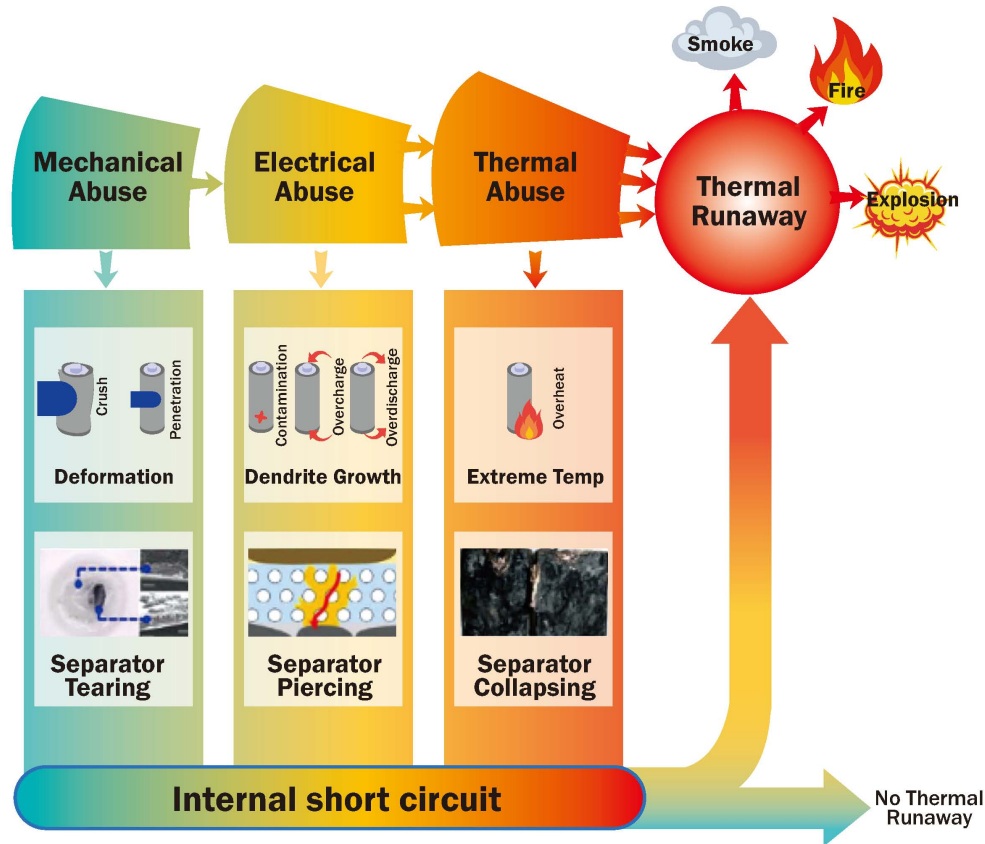
- 리튬이차전지 열폭주의 심각성은 저장된 에너지의 양(충전 상태에 따라 다름), 셀 온도, 셀 크기 및 특성에 따라 달라짐
 - 열폭주는 배터리의 오남용에 의해 발생하는 일련의 연쇄 반응으로 셀 내부 온도와 압력이 급격히 증가하여 발생(온도가 낮아도 발생할 수 있음)
 - 결과적으로 셀이 폭발하고 화재가 발생할 수 있으며, 고용량 셀은 더 많은 에너지를 저장하고 있어 열폭주에 더 취약
 - 높은 에너지 밀도와 가연성 전해질의 존재로 인해, 열폭주는 다른 배터리보다 리튬이온전지에서 더 심각
 - 특히 리튬전지가 여러 셀로 구성된 경우, 열폭주가 인접한 셀로 연쇄적으로 확산되어 심각한 영향을 초래할 수 있으므로, 중대형 전지 연구에서 각별한 주의 필요



리튬이온전지의 내부 열화 메커니즘

(참고문헌) Journal of Power Sources 341 (2017) 373-386구)

- 열폭주의 주요 원인
 - 제어할 수 없는 내부 열 생성으로 인해 양극 물질에서 산소가 방출되어 수많은 부반응이 발생하여 발생
 - 분리막 결함(열 유도 수축 또는 기계적 손상으로 인해)으로 인해 배터리 내부 단락이 발생하고 저장된 에너지가 급속히 방전되어 바람직하지 않은 연쇄 화학 반응과 막대한 열 방출에 의해 발생
 - 높은 상태의 충전(SOC)시 양극 계면에서 전해질 분해가 발생하여 열 축적을 초래하고 결과적으로 양극에서 산소가 방출되고 분리막이 손상되어 발생
 - 리튬전지의 기계적 손상으로 인해 분리막이 손상되어 발생



리튬이온전지의 열폭주 과정

(참고문헌) Applied Thermal Engineering 231 (2023) 121014

○ 열폭주 진행 과정

- 음극 표면 SEI* 분해시작(~69℃) : 가연성 가스발생, 배터리 팽창(Swelling)발생
- 음극 Li과 전해질이 직접 반응(~100℃) : SEI 재생성, 가연성가스 발생 증가
- 분리막 손상(~130℃) : 내부단락 발생 ➡ 열폭주(Thermal Runaway) 차단 불가
- 전해질 분해(~200℃) : 가연성가스 발생, 배터리 팽창비 증가(Swelling) 발생 ➡ 외부 노출시 화재 발생
- 양극재 분해(200~300℃) : 양극재내에 존재하는 산소가 외부로 공급 ➡ 화재 발생

* SEI(Solid Electrolyte Interphase) 배터리 제조 후 처음으로 충전할 때 음극재 표면에 생기는 얇은 막

참고자료3 배터리 소재별 열폭주 실험사례

- 리튬이온전지에 활용되는 다양한 양극소재의 특성에 따라 과충전시 열폭주 전개양상에 차이를 보임
- 연구실에서는 배터리의 성능 개선을 위한 다양한 신규물질을 실험·분석·평가함에 따라, 검증되지 않은 위험성을 보유하고 있으므로 각 소재의 물리·화학적 특성을 고려하여 철저한 안전관리 필요

	0 ~ 471 s 3.65 ~ 5.75 V 15 ~ 30°C	471 ~ 524 s 5.75 ~ 5.8V 30 ~ 35°C	524 ~ 635 s 5.8 ~ 5.9 V 35 ~ 55°C	635 ~ 1001 s 5.9 ~ 21 V 55 ~ 112°C	1001 ~ 1085 s 112 ~ 308°C	> 1085 s
LFP	(a1)	(a2)	(a3)	(a4)	(a5)	(a6)
NCM 811	0 ~ 465 s 4.2 ~ 4.68 V 15 ~ 20°C	465 ~ 680 s 4.68 ~ 5 V 20 ~ 25°C	680 ~ 854 s 5 ~ 5.1 V 25 ~ 32°C	854 ~ 1229 s 5.1 ~ 22 V 32 ~ 93°C	1229 ~ 1280 s 93 ~ 695°C	> 1280 s
NCM 622	0 ~ 1044 s 4.2 ~ 5 V 15 ~ 28°C	1044 ~ 1090 s 5 ~ 5.6 V 28 ~ 30°C	1090 ~ 1249 s 5.6 ~ 6.4 V 30 ~ 46°C	1249 ~ 1450 s 6.4 ~ 35 V 46 ~ 92°C	1450 ~ 1470 s 92 ~ 629°C	> 1470 s
NCM 111	0 ~ 1425 s 4.2 ~ 4.8 V 15 ~ 24°C	1425 ~ 1632 s 4.8 ~ 5 V 24 ~ 27°C	1632 ~ 1809 s 5 ~ 5.1 V 27 ~ 40°C	1809 ~ 1982 s 5.1 ~ 39 V 40 ~ 93°C	1982 ~ 2038 s 93 ~ 589°C	> 2038 s
	No Significant change in shape	Swelling starts	Noticeable swelling	Severe swelling	Thermal runaway occurs	Cooling
	Stage I	Stage II	Stage III	Stage IV	Stage V	

양극재	NCM(니켈, 코발트, 망간으로 구성된 양극소재) ※ 니켈 80%, 코발트 10%, 망간 10% 함량을 가진 배터리를 NCM811로 지칭		LFP(LiFePO ₄ , 리튬인산철)
	NCM811 (Li[Ni _{0.8} Co _{0.1} Mn _{0.1}]O ₂)	NCM622 (Li[Ni _{0.6} Co _{0.2} Mn _{0.2}]O ₂)	
장점	에너지 밀도가 높고 전압과 출력이 우수		구조적 안정성에 따라 발화 위험성이 비교적 낮음
단점	발화 위험성이 비교적 높음		에너지 밀도 및 출력이 낮음

(참고문헌) Journal of Energy Chemistry 55 (2021) 484-498



참고문헌

- 1 KS C IEC 62133: '휴대기기용 밀폐 이차 단전지 및 이로 구성된 전지의 안전 요구사항'(국가기술표준원, 2018)
- 2 삼성SDI 소형 배터리의 충전, 사용, 취급에 관한 가이드(www.samsungsdi.co.kr)
- 3 충전식 소형가전 전지 안전실태조사(소비자원, 2018)
- 4 리튬배터리 화재발생 추이 분석(서울소방재난본부, 2018)
- 5 연구실 특성을 반영한 유형별 안전관리 가이드라인 개발(과기정통부, 2017)
- 6 Lithium Ion Battery Safety Guidance(Massachusetts Institute of Technology, 2017)



- 본 매뉴얼은 배터리 연구실 관련 업무종사자의 사고예방 및 안전관리 수준 향상을 위해 작성된
참고자료일 뿐이며, 법적 효력을 갖고 있지 않습니다.
- 본 매뉴얼 세부 내용은 인용한 법의 법령 개정 등에 따라 추후 일부 변경될 수 있습니다.
- 본 가이드라인은 과학기술정보통신부의 연구실안전환경구축사업의 일환으로 한국생명공학연구원
국가연구안전관리본부에서 발간하였습니다. 가이드라인에 대한 소유권은 발간기관에 있으며,
무단으로 전재·복제하거나 상업적인 목적으로 사용하는 것을 금합니다.

제2판

연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼

리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드

발행일 : 2025년 4월

발행처 : 과학기술정보통신부, 국가연구안전관리본부

본 연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼 내용과 관련된
문의는 아래의 기관으로 연락하여 주시기 바랍니다.

과학기술정보통신부, 국가연구안전관리본부

전 화 : 043-240-6421

(28116) 충북 청주시 청원구 오창읍 연구단지로 30



연구실 내 배터리 취급·관리 매뉴얼

리튬이온전지의 안전한 연구활동 가이드