

2 0 2 3

전기자동차 화재 대응 가이드

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

2023. 3.



국립소방연구원
NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

목차

CONTENTS

01	전기자동차 관련 통계	5
no1	전기차 화재 통계	6
no2	최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황	7
02	전기자동차 구조	9
no1	전기자동차(승용차) 구조	10
no2	전기자동차(트럭) 구조	13
no3	전기자동차(버스) 구조	14
03	전기자동차 화재특성	15
no1	전기자동차 화재전이 특성	16
no2	폭발위험성	26
no3	지향성 화염	30
no4	리튬이온배터리 소화방법	33
no5	불산위험성	38



2023 전기자동차 화재대응 가이드

04 전기자동차화재 대응장비

41

no1	상방향 방사장치	42
no2	질식소화덮개	43
no3	이동식 소화수조	46
no4	이동식 컨테이너	47
no5	보호장비	48

05 전기자동차화재 대응방법

49

no1	전기자동차 화재진압 실증실험	50
no2	지상에서 충전중 발생한 전기차 화재 대응	57
no3	지하에서 충전중 발생한 전기차 화재 대응	61
no4	전기버스 화재대응 유의사항	65

참고문헌

73



2023 전기자동차 화재대응 가이드

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

01

전기자동차 관련 통계

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE



01 전기차 관련 통계

no1 전기차 화재 통계⁰¹⁾

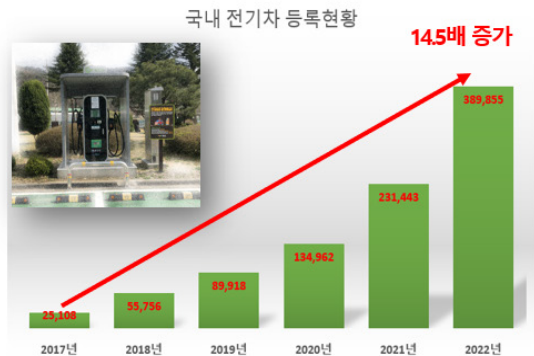
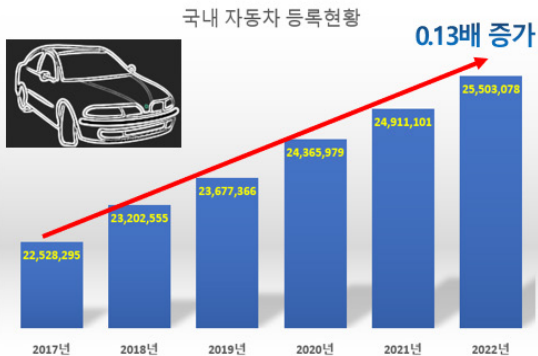
국내 전기차 화재는 2017년 1건을 시작으로 2022년 44건으로 증가

구분	차량등록			화재건수 (1만대당 발생비율)		
	계	내연기관	전기차	계	내연 기관화재	전기차 화재
2017년	22,528,295	22,503,187	25,108	4,971 (2.20)	4,971 (2.20)	1 (0.40)
2018년	23,202,555	23,146,799	55,756	5,067 (2.18)	5,065 (2.18)	2 (0.36)
2019년	23,677,366	23,587,448	89,918	4,710 (1.98)	4,707 (1.98)	3 (0.33)
2020년	24,365,979	24,231,017	134,962	4,558 (1.87)	4,547 (1.87)	11 (0.82)
2021년	24,911,101	24,679,658	231,443	4,530 (1.81)	4,506 (1.83)	24 (1.04)
2022년	25,503,078	25,113,223	389,855	4,669 (1.83)	4,625 (1.84)	44 (1.12)

※ 화재통계는 취합하는 방법 등에 따라 일부 다를 수 있음.

국내 자동차 등록현황

- ‘17년~’22년동안 국내 자동차는 약13% 증가한 반면, 전기차는 약 1,450%의 폭발적 증가로 보급 및 확대됨.



01) 소방청(화재정보통계시스템), 국토부(국내 자동차 등록현황)

no 2 최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황⁰²⁾

01

■ 최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황

구분	화재 건수	인명 피해(명)			재산피해액 (천원)
		계	사망	부상	
계	79	5	1	4	2,145,878
2020년	11	0	0	0	360,740
2021년	24	1	0	1	878,084
2022년	44	4	1	3	907,054

■ 최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황(제조사별)

구분	제조사	화재 건수 (79건)
국내	○○	35
	□□	20
	XX	7
	☆☆	5
	기타	6
국외	◇◇	5
	기타	1

■ 최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황(발화요인별)

구분	교통 사고	기계적 요인	전기적 요인	화학적 요인	제품 결함	부주의	미상	기타
건수	9	4	18	2	2	15	24	5

■ 최근 3년간('20년~'22년) 전기차 화재 현황(차량장소별)

구분	일반도로	고속도로	기타도로	주차장	공지
건수	34	6	3	29	7

02) 소방청(국회 제출자료)



2023 전기자동차 화재대응 가이드

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

02

전기자동차 구조

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

02 전기차 관련 구조

no1 전기자동차(승용차) 구조

■ 전기자동차: 코나EV

⊕ 전기자동차 배터리팩 위치: 자동차 하부



출처: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyundai_kona_front-side.jpg

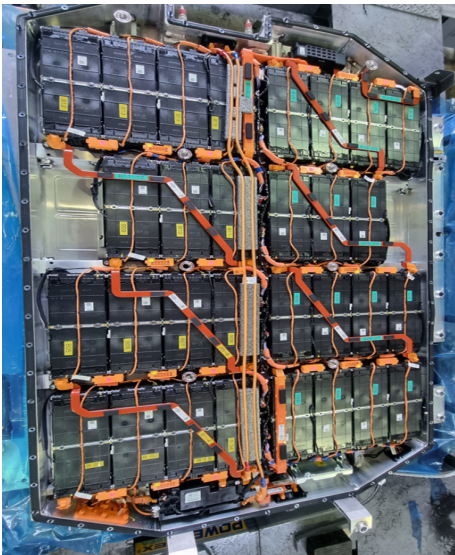
	<table> <tr> <td>배터리</td><td>LGES E63b</td></tr> <tr> <td>셀 수</td><td>294개</td></tr> <tr> <td>용량</td><td>180[Ah]</td></tr> <tr> <td>전압</td><td>356[V]</td></tr> <tr> <td>작동범위</td><td>330 ~ 410[V]</td></tr> <tr> <td>정격에너지</td><td>64[kWh]</td></tr> <tr> <td>작동온도범위</td><td>-35 ~ 60[℃]</td></tr> <tr> <td>냉각방식</td><td>수냉식</td></tr> </table>	배터리	LGES E63b	셀 수	294개	용량	180[Ah]	전압	356[V]	작동범위	330 ~ 410[V]	정격에너지	64[kWh]	작동온도범위	-35 ~ 60[℃]	냉각방식	수냉식
배터리	LGES E63b																
셀 수	294개																
용량	180[Ah]																
전압	356[V]																
작동범위	330 ~ 410[V]																
정격에너지	64[kWh]																
작동온도범위	-35 ~ 60[℃]																
냉각방식	수냉식																
[코나EV 배터리팩 내부]	[코나EV 배터리팩 규격]																

■ 전기자동차: 아이오닉5

⊕ 전기자동차 배터리팩 위치: 자동차 하부



출처: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyundai_IONIQ_5_NE_black_%283%29.jpg



[아이오닉5 배터리팩 내부]

배터리	SK ON
셀 수	360개
용량	약 105[Ah]
공칭전압	680[V]
작동범위	612 ~ 756[V]
정격에너지	72[kWh]
작동온도범위	-35 ~ 60[°C]
냉각방식	수냉식

[아이오닉5 배터리팩 규격]

02 전기자동차 구조

■ 전기자동차: 테슬라 모델3

⊕ 전기자동차 배터리팩 위치: 자동차 하부



출처: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_model_3_white_%281%29.jpg

	<table> <tr> <th>배터리</th><th>Tesla or Panasonic</th></tr> <tr> <td>셀 수</td><td>4,416개</td></tr> <tr> <td>용량</td><td>204[Ah]</td></tr> <tr> <td>전압</td><td>362[V]</td></tr> <tr> <td>작동범위</td><td>326 ~ 403[V]</td></tr> <tr> <td>정격에너지</td><td>74[kWh]</td></tr> <tr> <td>작동온도범위</td><td>-35 ~ 60[℃]</td></tr> <tr> <td>냉각방식</td><td>수냉식</td></tr> </table>	배터리	Tesla or Panasonic	셀 수	4,416개	용량	204[Ah]	전압	362[V]	작동범위	326 ~ 403[V]	정격에너지	74[kWh]	작동온도범위	-35 ~ 60[℃]	냉각방식	수냉식
배터리	Tesla or Panasonic																
셀 수	4,416개																
용량	204[Ah]																
전압	362[V]																
작동범위	326 ~ 403[V]																
정격에너지	74[kWh]																
작동온도범위	-35 ~ 60[℃]																
냉각방식	수냉식																
[테슬라 모델3 배터리팩 내부]	[테슬라 모델3 배터리팩 규격] ³⁾																

03) <https://electrek.co/2017/08/24/tesla-model-3-exclusive-battery-pack-architecture/>

no2 전기자동차(트럭) 구조

■ 전기자동차: 봉고 EV

+ 전기자동차 배터리팩 위치: 자동차 하부

출처: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:00_KIA_BONGO3_EV_1.jpg

	항목	제원
	셀구성	270개(90 x 3)
	용량	180[Ah]
	정격전압	327[V]
	작동범위	240~378[V]
	정격에너지	58.8[kWh]
	작동온도범위	-35~60[°C]
	냉각방식	수냉식
[봉고EV 배터리팩 내부] ⁴⁾	[봉고EV 배터리팩 규격]	

04) <https://m.post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=27324198&memberNo=982757>

02 전기자동차 구조

no3

전기자동차(버스) 구조

전기자동차: 현대일렉트릭시티

⊕ 전기자동차 배터리팩 위치: 자동차 상부



출처: <https://www-trucknbus.hyundai.com/kr/products/bus/elec-city>

일렉시티 전기 버스 구조도

- 1 수냉식 배터리 냉각 시스템
- 2 리튬이온 폴리머 배터리 64kWh x 4개
- 3 에어컨
- 4 구동모터



[현대일렉시티 배터리팩 내부]⁵⁾

항목	제원
셀구성	1,176개([98 x 3]x4팩)
용량	180[Ah] x 2
정격전압	362[V] x 2
작동범위	666~823[V]
정격에너지	64[kWh] x 4
작동온도범위	-35~60[°C]
냉각방식	수냉식

[현대일렉시티 배터리팩 규격]

05) <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hydrogen-or-batteries-that-is-the-question-hyundai-elec-city-bus/>

03

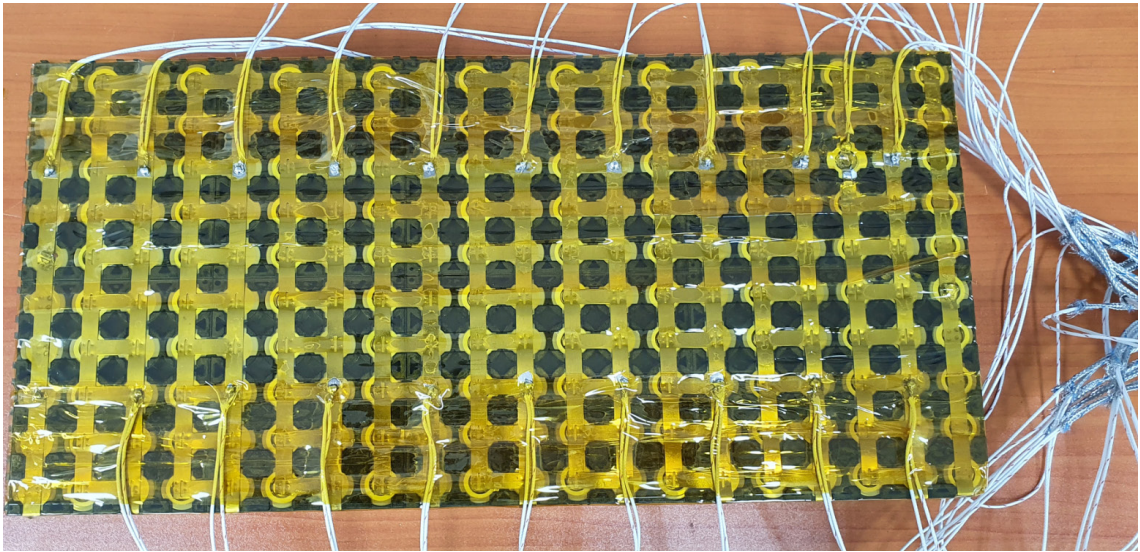
전기자동차 화재특성

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

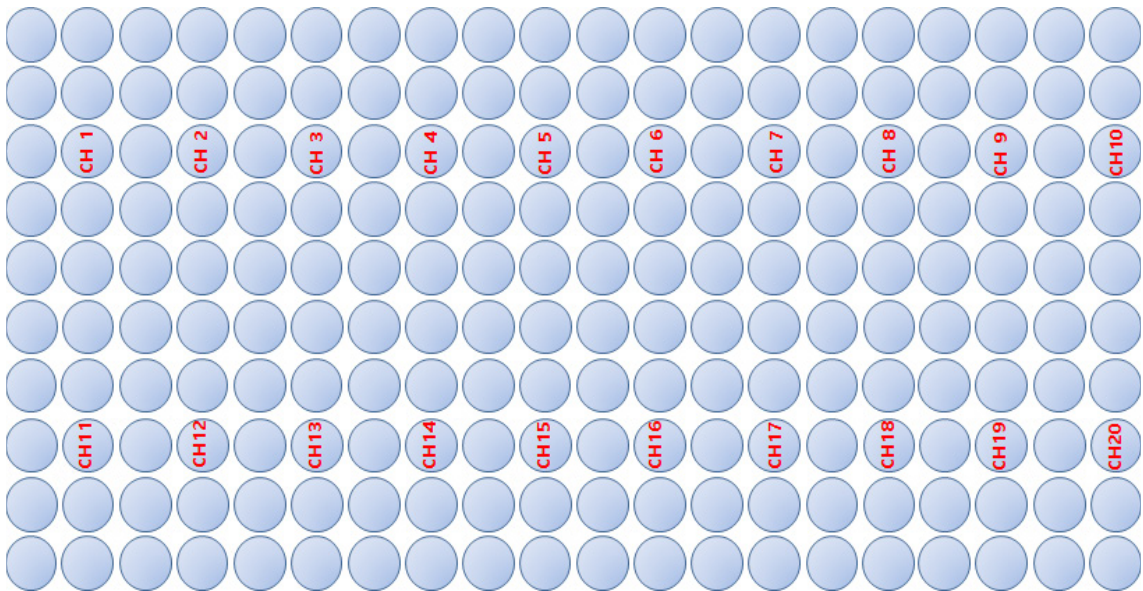


배터리 열폭주 화재전이 특성⁰⁶⁾

⊕ 직·병렬 연결된 원통형 배터리(18650) 열폭주 전이 실험(CH11 최초 열폭주)

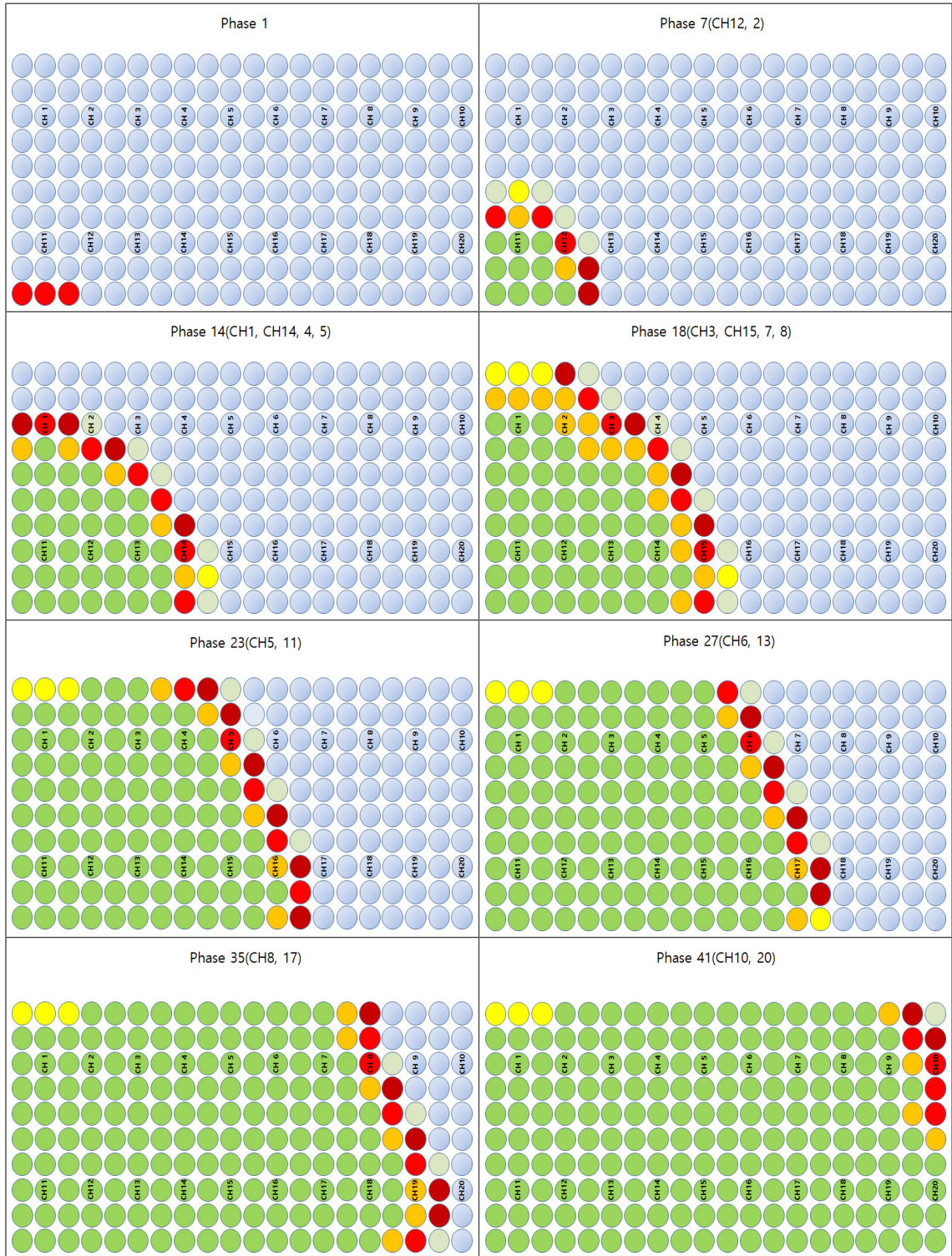


[18650배터리팩 온도센서 설치]



[18650배터리팩 모듈 구조도]

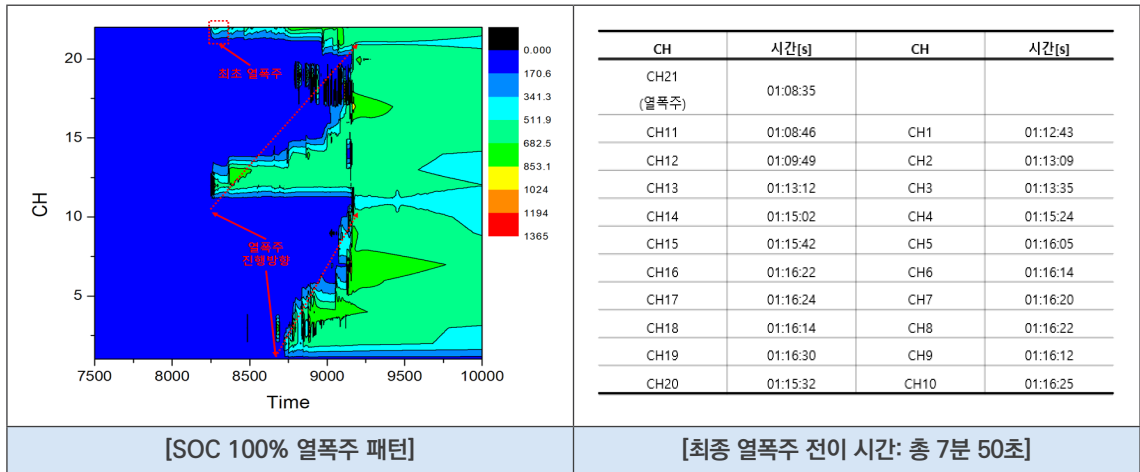
06) 『ESS 배터리 화재전이 특성 분석을 통한 모듈 내부 온도센서 설치 가이드 연구』(나용운, 국립소방연구원(2020))



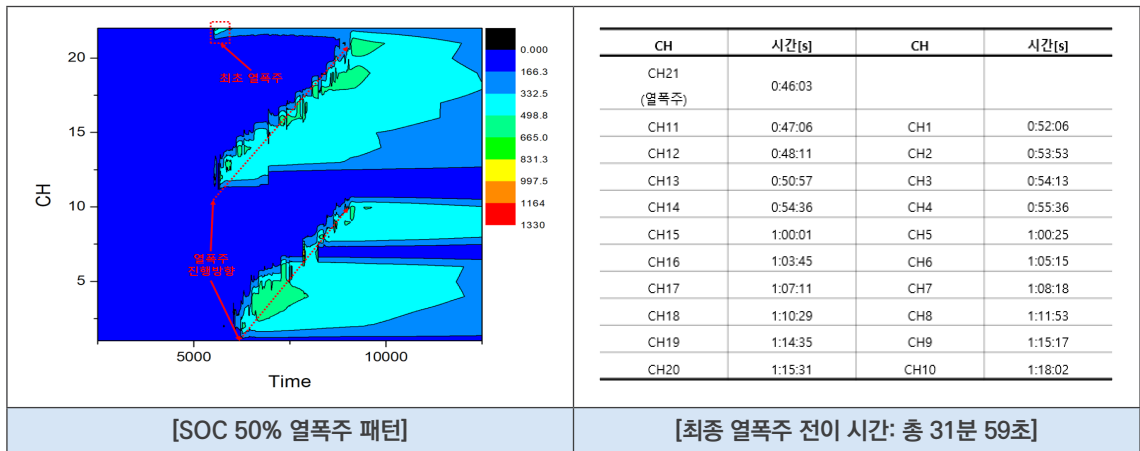
[배터리팩 화재전이 성상]

03 전기자동차 화재특성

+ [SOC 100%] 열폭주 패턴 및 열폭주 전이 시간



+ [SOC 50%] 열폭주 패턴 및 열폭주 전이 시간

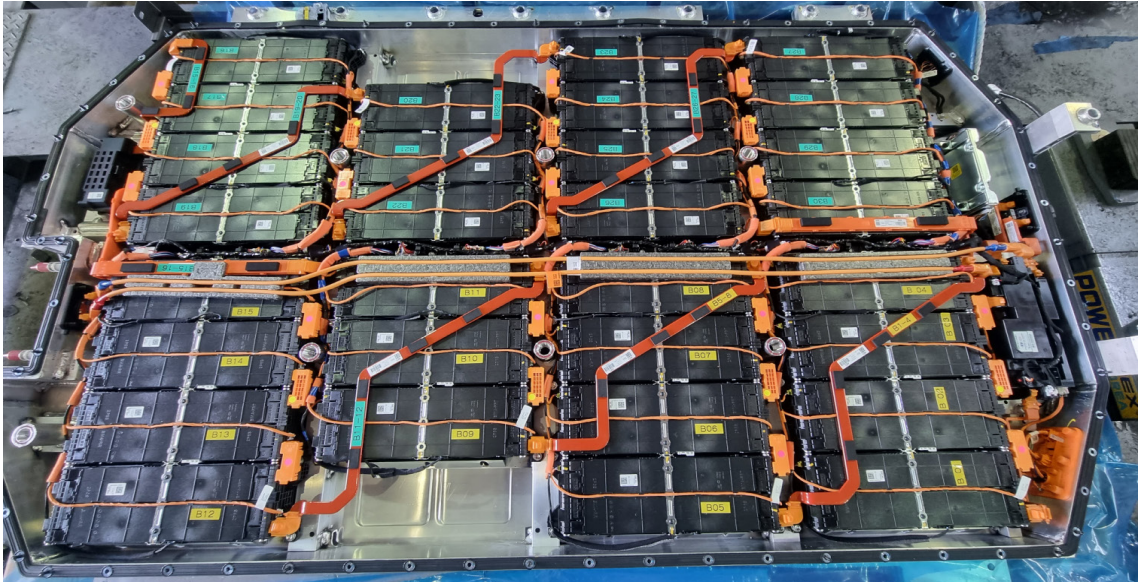


■ 결론(배터리 열폭주 화재 전이 특성)

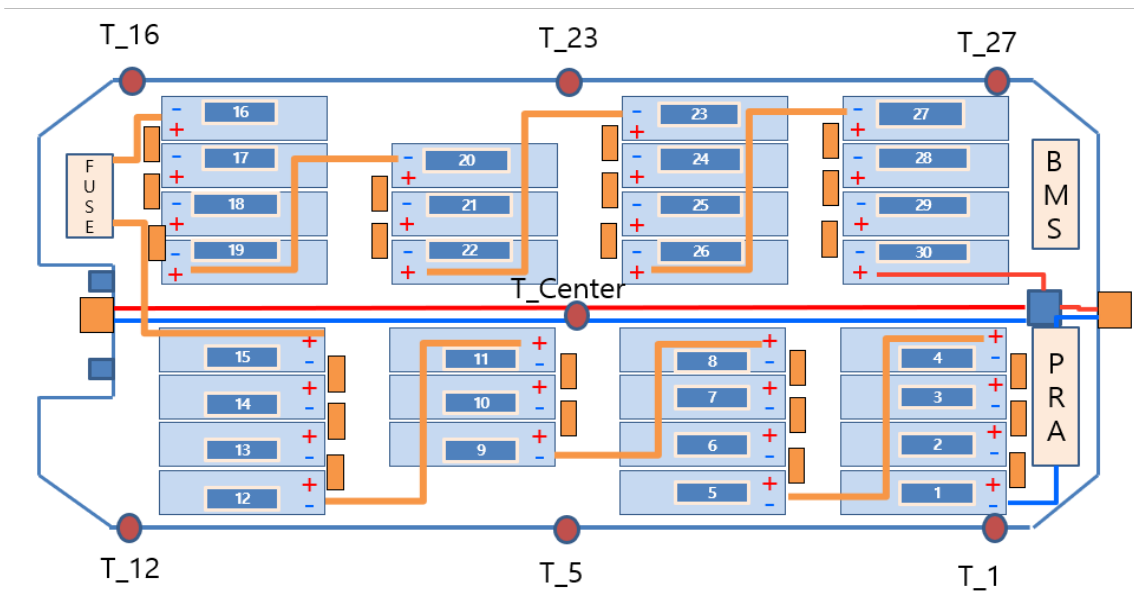
- + 최외곽 배터리가 열폭주되어 전이되는 패턴은 거리에 따라 열폭주가 전이되는 경향을 보임.
- + 다만, SOC(충전율) 차이에 따라 열폭주가 전이되는 시간의 차이가 있음.
※ SOC 100%(7분 50초), SOC 50%(31분 59초)

전기차 충전 중 발생하는 화재전이 특성⁰⁷⁾

⊕ 전기차 배터리팩의 충전 중 발생하는 화재를 재현하여 실험(충전율: 100%)



[배터리팩 분해]



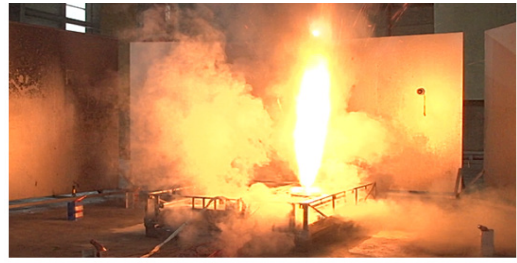
[배터리팩 모듈 도식도]

07) 『전기자동차 화재 진압에 관한 실험적 연구』(나용운, 국립소방연구원(2022))

03 전기자동차 화재특성



OFF GAS



+3s Flame



+4 min Fire



+7 min Fire



+12 min Fire



+16 min Fire



+19 min Fire



+23 min Fire



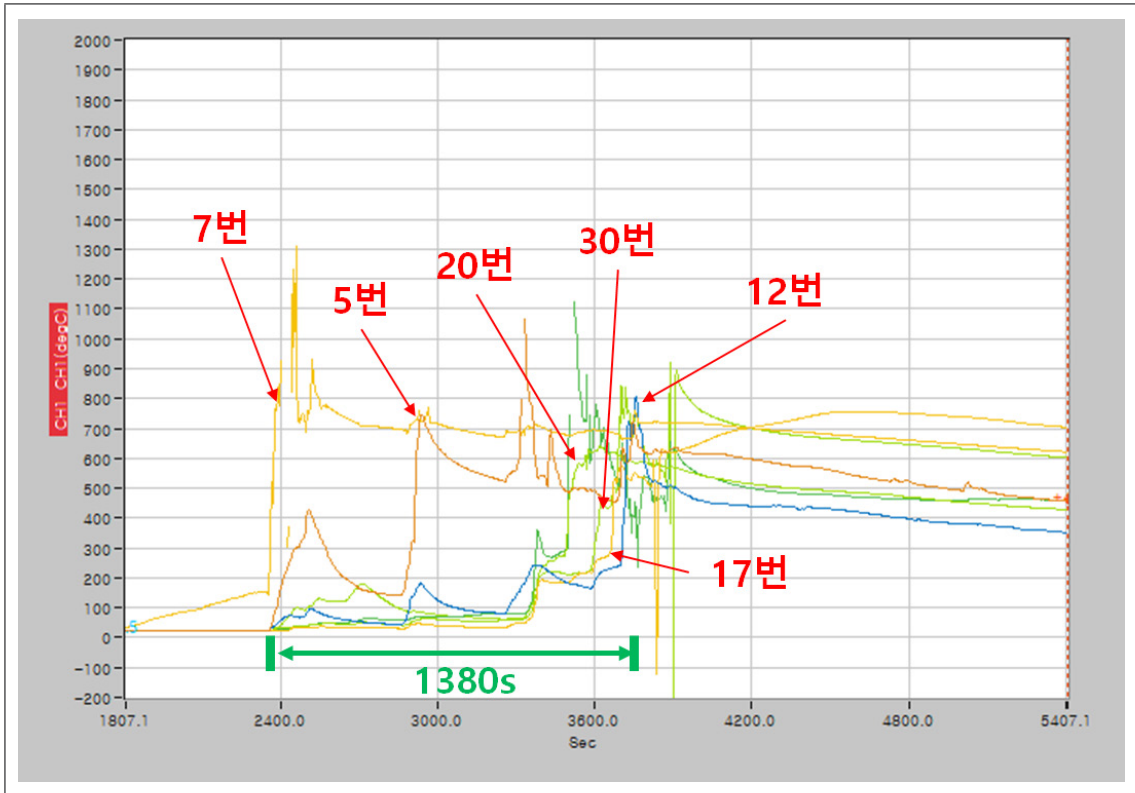
+27 min Fire



+30 min Fire

[배터리팩 화재 성상]

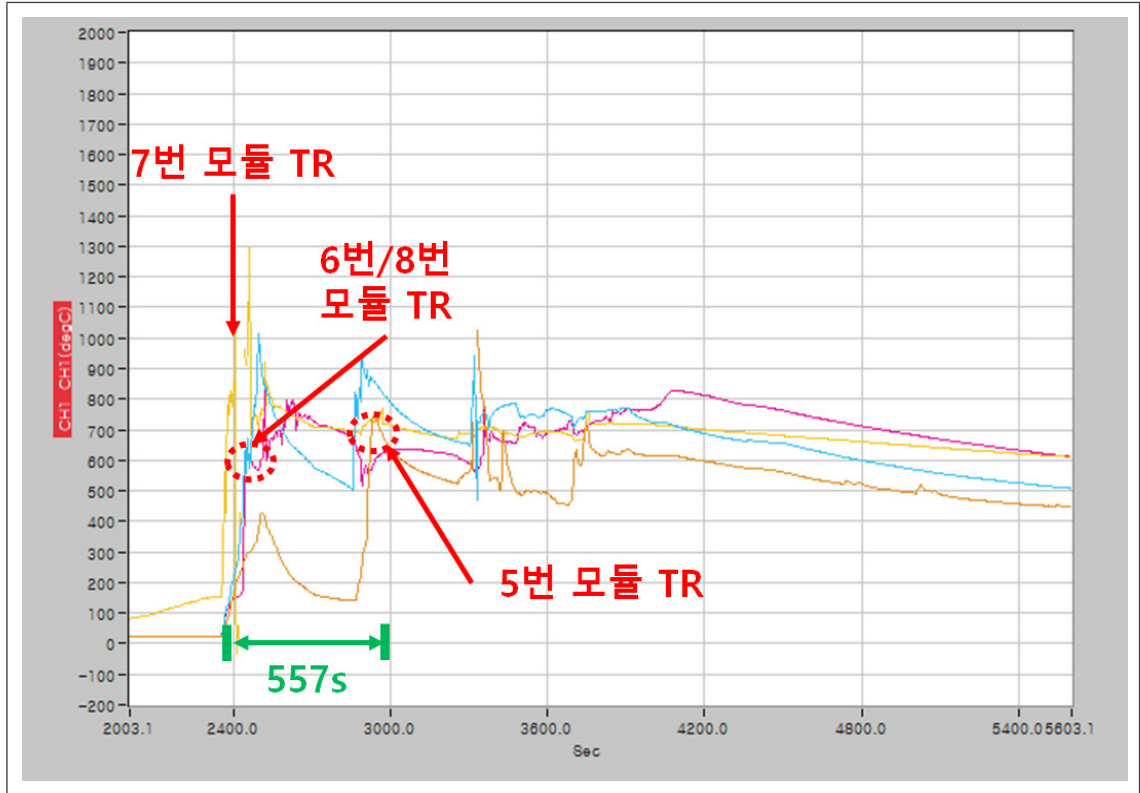
- ⊕ 전기차 배터리팩은 총 30개의 모듈로 구성되어 있으며, 7번 모듈에서 화재가 발생되었다고 가정하여 해당 모듈을 열폭주 유도 후 배터리팩 화재 전이 특성을 관찰(배터리팩 화재 성상).



[열폭주 전이패턴 #1]

- ⊕ [열폭주 전이패턴 #1] 최초 열폭주 모듈 7번을 시작으로 마지막으로 열폭주 전이된 모듈 17번까지 전이되는 시간은 약 1,380초로 측정되며, 화재는 그 이후 일정시간 지속됨.

03 전기자동차 화재특성



[열폭주 전이패턴 #2]

- ⊕ [열폭주 전이패턴 #2] 최초 열폭주 모듈 7번을 시작으로 본격적으로 주변 모듈로 열폭주가 전이되는 시간은 약 557초로 소요됨.

■ 결론(충전에 의한 화재특성)

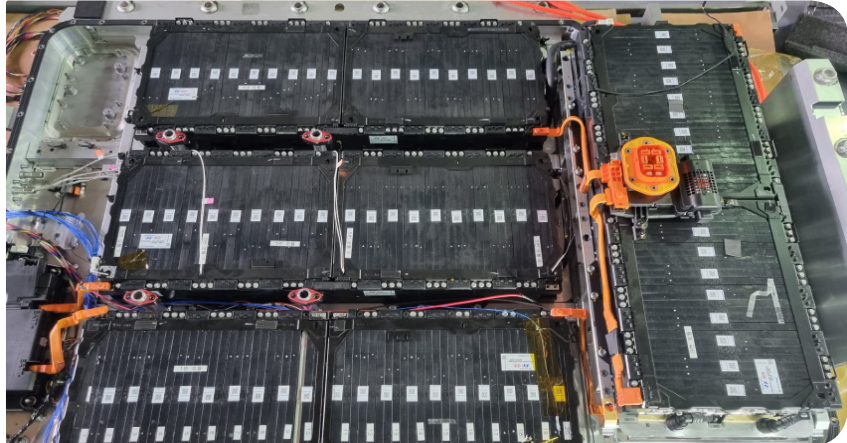
- ⊕ 충전에 의한 화재를 재현한 결과, 모든 모듈에 전이되는 시간은 1,380초로 측정되었으며, 본격적으로 열폭주 전이가 활성화되는 시간은 약 557초로 측정됨.
- ⊕ 다만, 해당실험은 배터리팩 기준의 실험으로 실제 전기차 화재의 연소속도보다 빠른 특성을 가지고 있으며, 배터리팩 구조에 따라 차이가 발생할 수 있음.

충돌에 의해 발생하는 화재전이 특성⁰⁸⁾

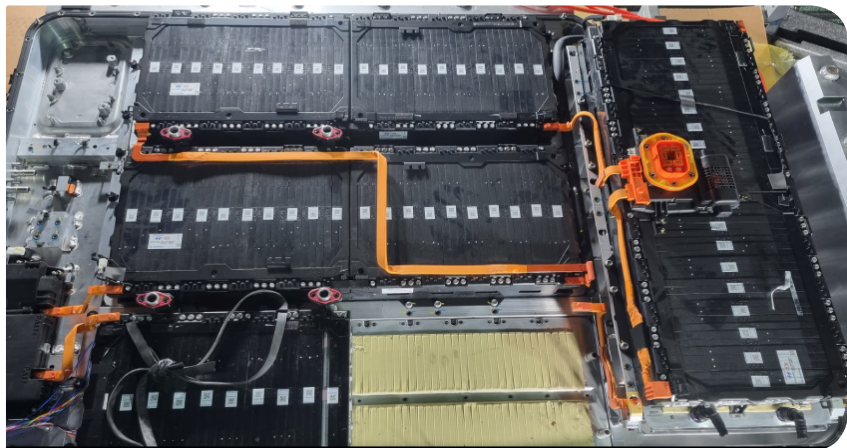
⊕ 전기차 충돌에 의해 배터리팩에서 발생하는 화재를 재현하여 실험(충전율: 100%)

→ 충돌에 의한 배터리팩 화재를 재현하기 위해 동시에 3개 셀을 열폭주 유도

배터리팩
상부 커버 분리



배터리 모듈
1번 20번 셀에
열폭주 유도



배터리 모듈
탈거 후
히팅필름 부착



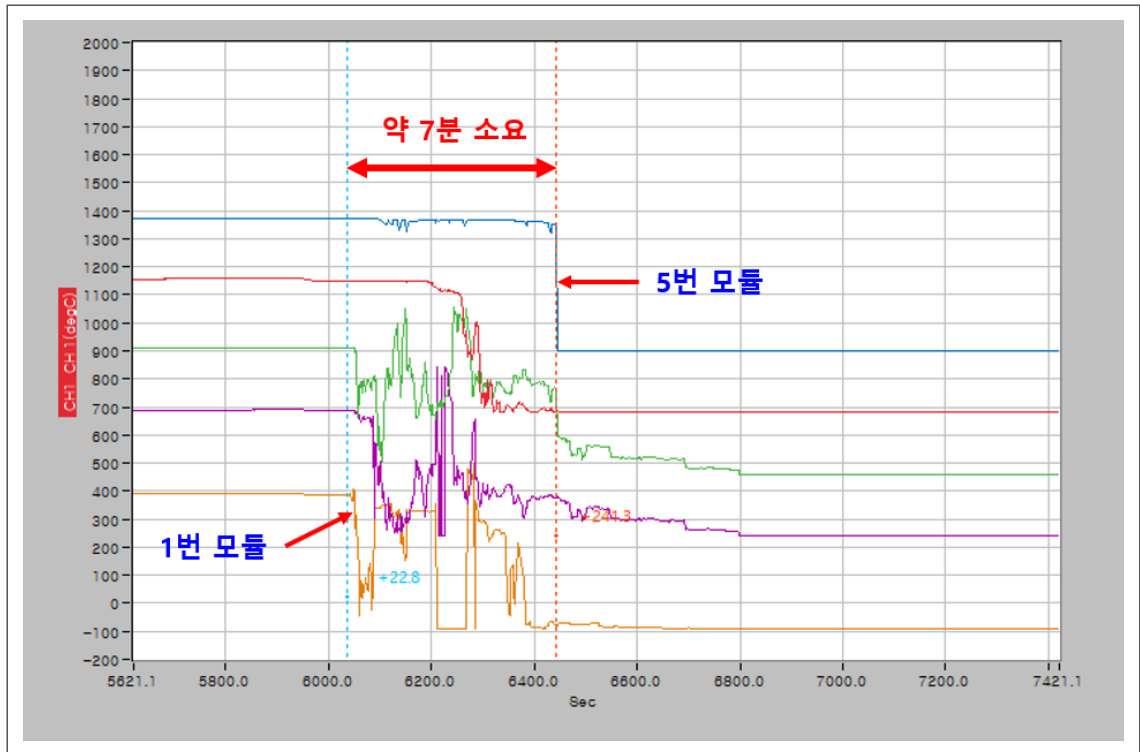
[배터리팩 열폭주 준비]

08) 『전기자동차 화재 진압에 관한 실험적 연구』(나용운, 국립소방연구원(2022))

03 전기자동차 화재특성



[배터리팩 화재 성상]



[열폭주 전이패턴]

- ⊕ [열폭주 전이패턴] 최초 열폭주 모듈 1번을 시작으로 마지막으로 열폭주 전이된 모듈 5번까지 전이되는 시간은 약 7분이 소요되며, 화재는 그 이후 일정시간 지속됨.

■ 결론(충돌에 의한 화재특성)

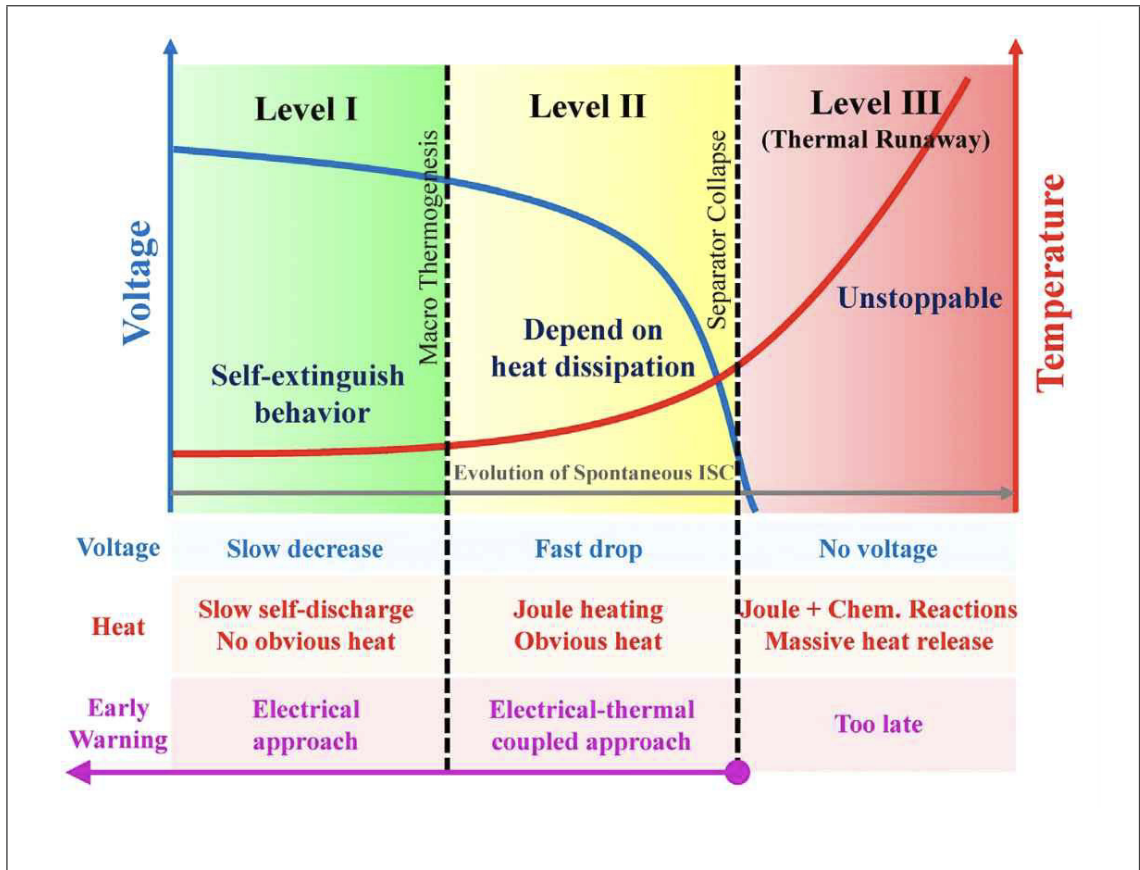
- ⊕ 충돌에 의한 화재를 재현한 결과, 모든 모듈에 전이되는 시간은 약 7분 정도 소요됨.
- ⊕ 다만, 해당실험은 배터리팩만을 활용한 실험으로 실제 전기차 화재의 연소속도보다 빠른 특성을 가지고 있으며, 배터리팩 구조에 따라 차이가 발생할 수 있음.
- ⊕ 또한, 전기차 충돌 당시 SOC(충전율)가 낮을수록 전이되는 시간은 지연되며, SOC가 상당히 낮은 수준(약 20% 이하)일 경우 자체 소화될 수 있음.

03 전기자동차 화재특성

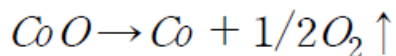
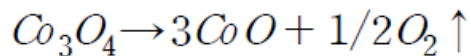
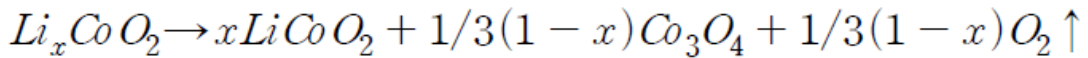
no2 폭발위험성

산소 및 가연성 가스 발생

⊕ 리튬이온배터리의 열폭주는 크게 3단계로 구분되며, 열폭주 시 산소 발생.

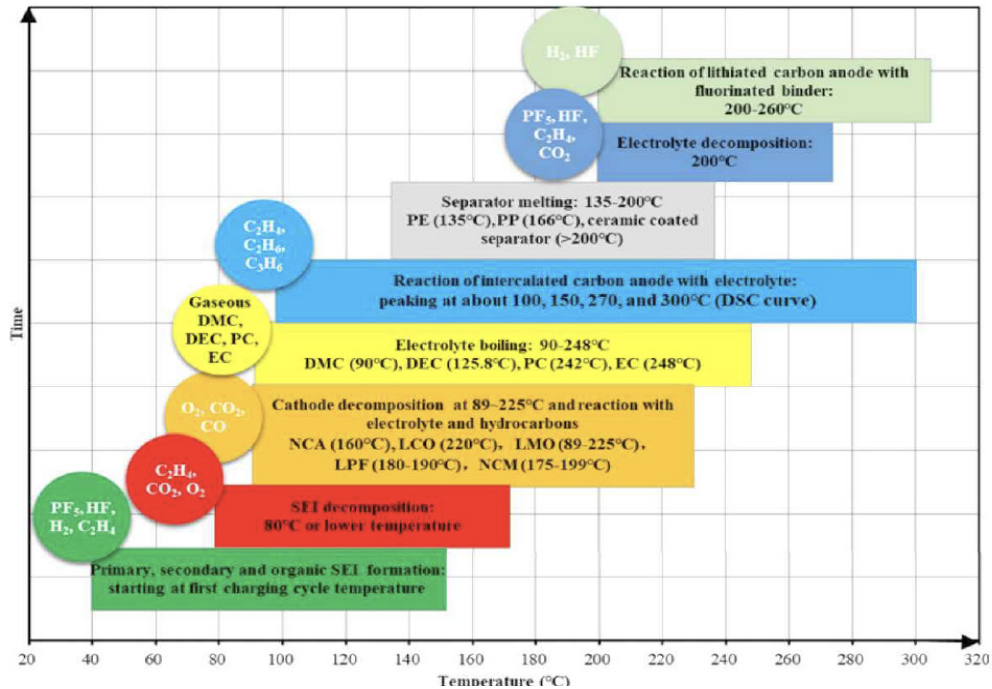


[열폭주 단계]⁰⁹⁾



09) X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu, Y. Xia, and X. He, Energy Storage Materials, 10 (2018)246-267.

- ⊕ 리튬이온배터리 열폭주 시 온도 및 시간 증가에 따라 전해액의 가연성 유기용매 분출과 탄화수소 (CmHn) 계열의 가연성 가스 및 유해가스 발생.

[열폭주 발생가스 종류]¹⁰⁾

가연성 가스 체류

- ⊕ 열폭주 시 발생하는 탄화수소계열의 가스는 대부분 공기보다 무겁기 때문에 주로 바닥에 깔리면서 체류하는 경향이 있음.
- ⊕ 특히, 유염연소보다 무염연소일 경우 가연성 가스 배출량이 증가됨.



열폭주 발생가스 체류

10) R. Spotnitz, and J. Franklin, Journal of Power Sources, 113 (2003) 81-100

03 전기자동차 화재특성

전기자동차 폭발 사례¹¹⁾

화재개요

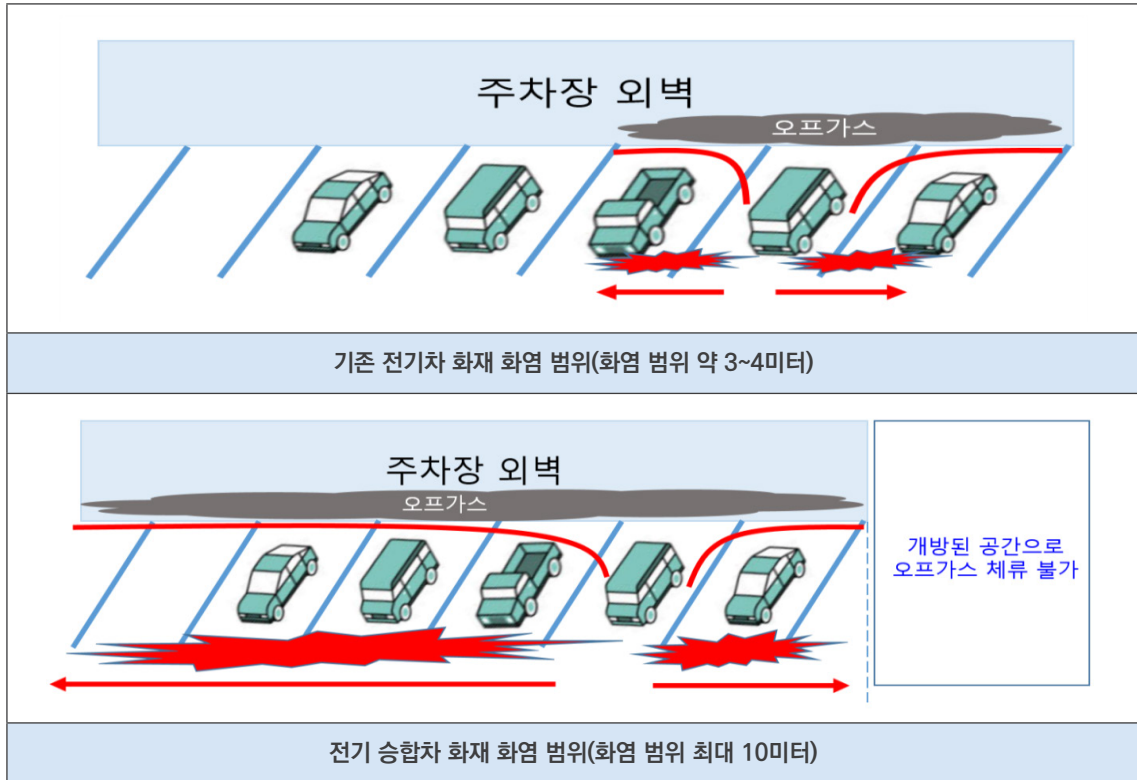
- ⊕ 발생시간: '22. 2. 8.(화) 16:57분 아파트 지상 주차장(부산)
- ⊕ 화재대상: 전기 승합차
- ⊕ 배터리 규모: 21700 원통형 배터리/약 42kW급
- ⊕ 지상 전기차 충전소 주차장에 주차되어 있던 전기차의 충전 완료 후 주차된 상태에서 폭발이 발생하여 연소 확대됨.



열폭주 발생 단계

11) 『전기차 화재 현장감식 보고서(부산)』(나용운, 2022)

- ⊕ [화재특성] 전기차 기준 좌우로 화염이 빠르게 전파되었으며, 기존에 발생한 전기차 화재 대비 화염의 범위가 넓고 피해규모가 큼.



■ 기존 전기차 화재 대비 해당 화재에서 화염 범위가 넓고 폭발한 이유는?

- ① 낮은 온도: 기존의 전기차 화재에서는 일정량의 오프가스 배출 후 배터리에서 발생하는 스파크 등(점화원)에 의해 발화되지만, 화재 당시 주변 온도가 상당히 낮아 점화에 필요한 점화에너지가 상대적으로 높았을 것으로 추정되며, 이로 인해 점화되는 시간이 지연되면서 많은 오프가스가 방출됨
- ② 체류하기 쉬운 환경: 화재 현장은 주차장 외벽으로 인해 생성된 오프가스가 외벽 주변에 체류하기 쉬운 구조이며, 화재 차량 기준 우측의 개방된 공간은 상대적으로 체류가 쉽지 않아 화염이 쉽게 발생되지 않음

03 전기자동차 화재특성

no3 지향성 화염

■ 전기자동차 화염 방향

- ⊕ **[내연기관]** 내연기관 자동차의 주요 가연물은 엔진룸 내부 및 연료, 실내 내장재로 구성되어 있기 때문에 화염의 상승효과로 인해 바람의 영향이 없다면 주로 위로 향함.
- ⊕ **[전기차]** 전기자동차의 주요 가연물은 고전압 배터리팩 및 실내 내장재로 구성되어 있으며, 배터리팩 내부에서 발생된 화재의 경우 대부분 방출되는 압력 및 가연성 가스로 인해 화염이 수평으로 진행되는 경향이 있음.



내연기관 자동차 화염 방향



전기자동차 화염 방향

전기자동차 화재 전이 사례12)

- ⊕ 전기차에서 오프가스 유출 이후 열폭주가 발생되고 주변 차량으로 화재가 전이되며, 주변 차량이 모두 전기차이기 때문에 화재가 전이되는 속도가 빠름.

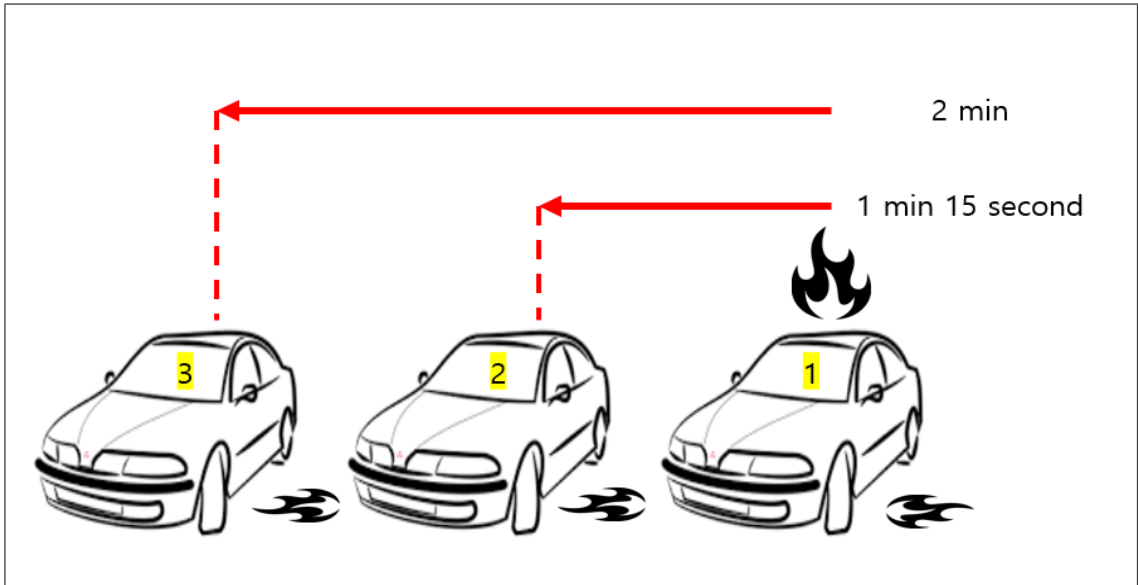


[전기자동차 화재전이 사례]

12) YOUTUBE "China electric car explode while charging"

03 전기자동차 화재특성

- ⊕ 1번 전기차에서 최초 열폭주 후 2번 전기차 열폭주 전이에 소요되는 시간은 약 1분 15초 정도이며, 3번 전기차까지 화재가 전이되는 시간은 약 2분임.
- ⊕ 전기차의 배터리 특성 및 충전상태와 구조 등에 따라 화재가 전이되는 속도의 차이는 있지만, 일반 내연기관 자동차와 비교했을 때는 상대적으로 화재 전이 속도는 빠른 경향이 있음.



[전기자동차 화재전이 속도]

no4

리튬이온배터리 소화방법

■ 분말소화기에 의한 소화



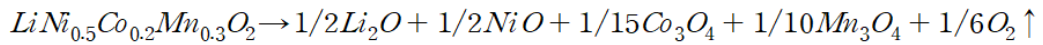
[분말소화기 소화과정]

- ⊕ 분말소화기에 의한 리튬이온배터리 소화 가능성을 확인하기 위해 총 7개의 리튬이온배터리를 모듈로 제작하여 최외곽의 배터리를 열폭주 시킨 후 일정 시간 경과 시점에서 분말소화기를 이용하여 소화
- ⊕ 분말소화기의 특성상 외부에 보이는 화염을 억제하는데에 탁월한 효과가 있지만, 실제 배터리 내부에 침투되기 어렵고 냉각의 효과는 거의 없기 때문에 리튬이온배터리 화재에는 부적절함.
- ⊕ 또한, 분말소화기를 사용할 경우 주변 시야를 방해할 수 있어 배터리 상태의 어려움이 있으며, 소화가 되지 않기 때문에 재발화 우려가 있음.

03 전기자동차 화재특성

■ 질식소화덮개에 의한 질식소화

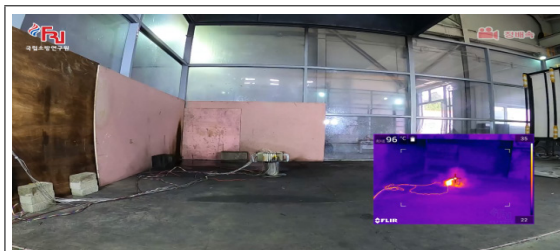
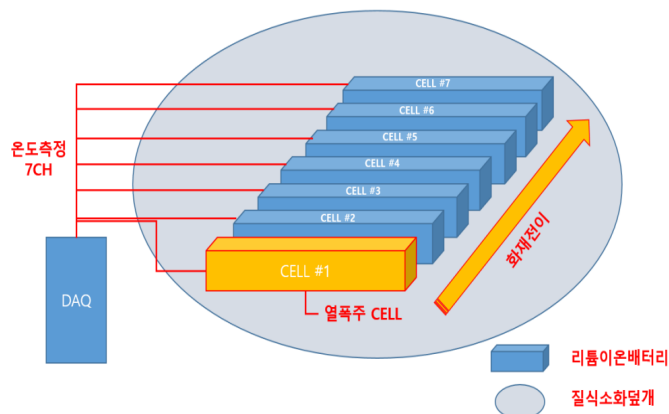
- ⊕ 전기차 배터리 화재에서는 고열에서 리튬배터리가 분해반응하면서 산소가 발생하므로 차체 외부 밀폐에 의해 완벽히 소화되지 않음



- ⊕ 전기차 화재로 발생한 열을 차단하여 화재의 확산을 막고 연기의 확산을 저지하는 데에는 질식소화덮개를 활용하는 것이 유효함

■ 질식소화덮개 실험

- ⊕ (실험조건) 병렬 연결된 배터리 열폭주 유도 후 질식소화덮개를 이용 질식소화



오프가스 배출



열폭주

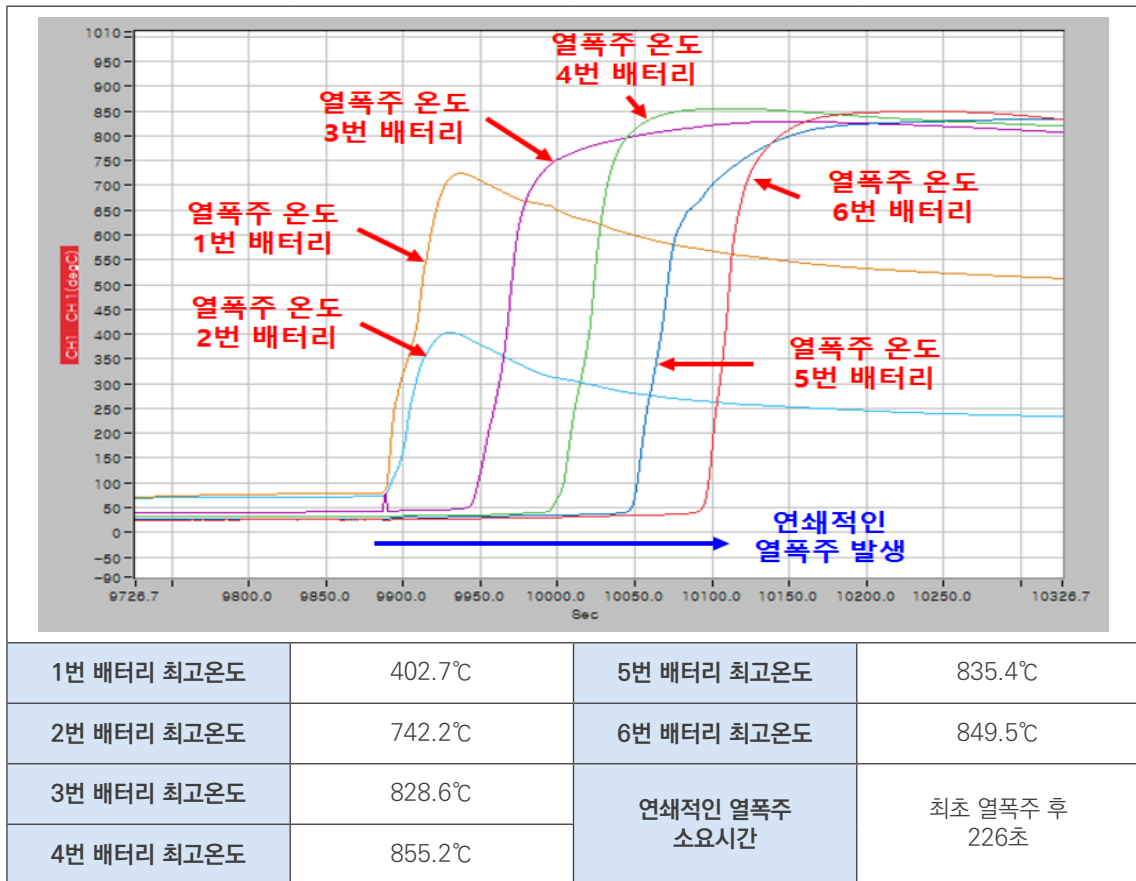


질식소화 덮개를 이용한 질식소화



오프가스 배출되면서 열폭주 지속됨

■ 질식소화 실험 결과



- ⊕ 질식소화덮개를 덮은 후 배터리 온도 낮아지지 않고 고온 유지
- ⊕ 배터리 열폭주에 의한 압력 상승으로 질식소화덮개의 틈새로 지속적으로 오프가스가 배출
- ⊕ 병렬로 연결된 모든 배터리에서 순차적 열폭주 발생



실험 전 배터리



실험 후 배터리(모두 소훼됨)

03 전기자동차 화재특성

전기차 배터리 화재 전이 과정

전기차 특정 배터리 열폭주



주변 배터리 열전달



주변 배터리 열폭주

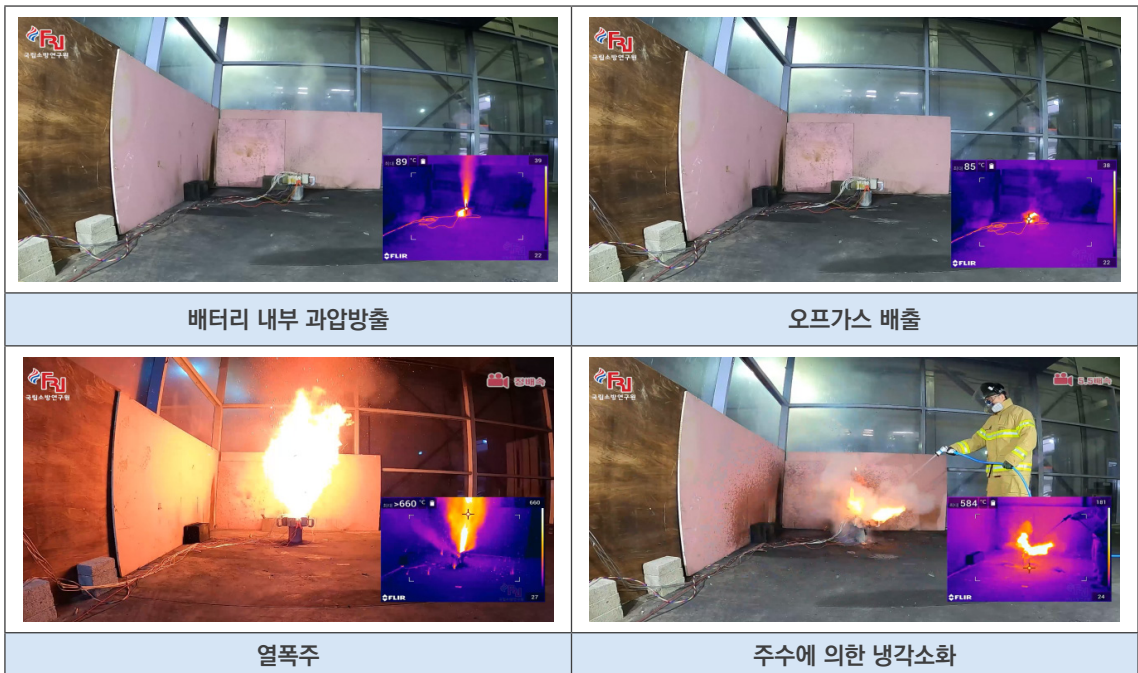
- ⊕ 특정 배터리에서 발생한 열폭주에 의해 온도가 급격히 상승하면서 주변 배터리에 열을 전달하여, 주변 배터리로 열폭주가 연쇄적으로 확산하는 과정

배터리 냉각의 필요성

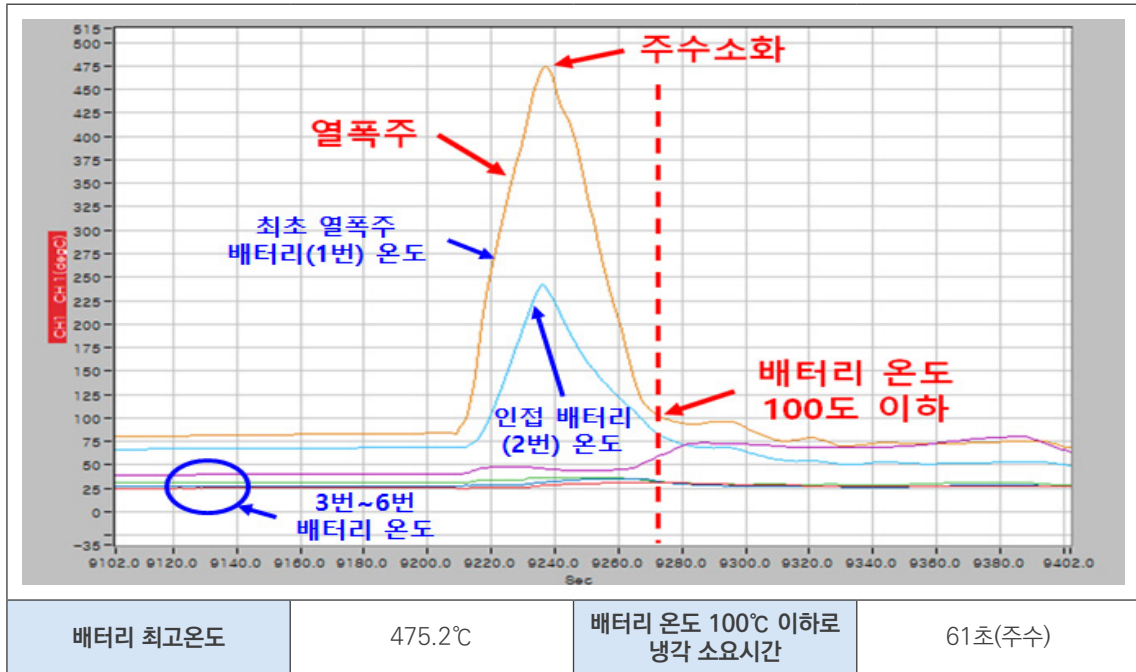
- ⊕ 전기차 배터리 화재를 근본적으로 진압하는 방법은 주변 배터리로 전달되는 열을 차단하여 열폭주 확산을 막아야 함 → 냉각소화 필요
- ⊕ 배터리 열폭주 반응 온도 이하로 냉각되면 열폭주가 전이되지 않으므로 열폭주가 발생한 배터리의 반응이 종료되면 화재는 진압됨
- ⊕ 전기차는 배터리가 차체 내부에 매립되어 있어 차체 외부 주수에 의한 냉각효과가 미미하므로 화재진압에 긴 시간이 소요됨

주수에 의한 냉각소화 실험

- ⊕ (실험조건) 병렬 연결된 리튬이온배터리 중 최외각 배터리에 열폭주 유도한 후 인접 배터리로 열폭주 전이될 때 주수소화 실시



■ 냉각소화 실험 결과



- ⊕ 최외각 배터리에 발생한 열폭주가 인접 배터리로 전이되는 순간에 주수 소화를 실시한 결과, 주수한 즉시 온도가 급격히 냉각되었으며, 61초 주수하였을 때 인접 배터리 및 주변 배터리 온도가 100℃ 이하로 냉각됨
- ⊕ 주수 이후 1시간 동안 열폭주 및 재발화 발생하지 않음



실험 전 배터리



실험 후 배터리(일부만 소훼)

■ 리튬이온배터리 소화방법

- ⊕ 분말소화기(억제소화): 부적절(재발화 발생)
- ⊕ 질식소화덮개(질식소화): 부적절
- ⊕ 주수소화(냉각소화): 적절

03 전기자동차 화재특성

no5 불산위험성

불산 발생가능성

- 리튬이온배터리 내부 재료의 종류에 따라 열폭주 시 불산이 발생할 수 있으나, 전기차 기준 배터리팩에서 발생하는 불산의 양은 인체에 치명적인 수준은 아님.
- 또한, 해외 연구 결과¹³⁾를 참고하면 전기차 배터리팩에서 발생하는 불화수소(d 0.92)는 사고 주변에 체류 되지 않고 물에 쉽게 용해되거나 대기 중으로 빠르게 희석되는 경향을 가지고 있음.

Gas	Max % observed from cell level	L of specific gas per Ah (assuming 2.6 total L/Ah)	Immediately dangerous to life or health (IDLH) [ppm]	Relative Vapor density (air = 1)
CO	38.1%	0.9906 L/Ah	1200	0.97
NO2	9.7%	0.2522 L/Ah	20	2.62
HCL	9.7%	0.2522 L/Ah	50	1.3
HF	3.7%	0.0962 L/Ah	30	0.92
HCN	0.7%	0.0182 L/Ah	50	0.94
C6H6 (benzene)	13.6%	0.3536 L/Ah	500	2.7
C7H8 (toluene)	4.1%	0.1066 L/Ah	500	3.1

[독성가스 물리적 특성]

불산 검출 실증실험(1·2차)¹⁴⁾

- 전기차 배터리 화재에 따른 불화수소 측정(1차)

구 분	코 나 EV	니 로 EV (2대)	쏘 울 EV
사 진			
배터리 용량	64 kWh	64 kWh	39 kWh
배터리 종류	리튬이온 폴리머	리튬이온 폴리머	리튬이온 폴리머

13) Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression(DNV·GL, 2019)

14) 『새로운 유형의 화재 예방 및 대응을 위한 기술분석 연구』(한동훈, 국립소방연구원(2022))

- ⊕ (실험방법) 한국산업안전보건공단에서 제시하는 불화수소에 대한 작업환경 측정·분석 기술지침 (KOSHA GUIDE A-154-2016)*에 따라 측정

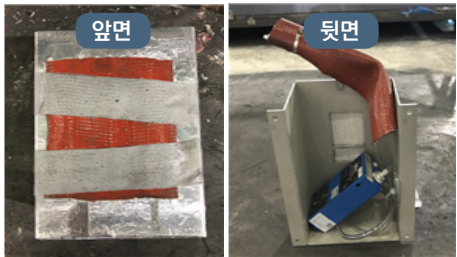
* 불화수소 검출한계는 0.7μg로써 매우 미량의 불화수소도 측정 가능

- ➔ 화재가 발생하는 전기차를 기준으로 3 m·6 m 이격거리 및 화재진압 활동에 참여하는 소방대원에게 가스포집장치(4회 실험간 총 27지점) 부착
- ➔ 이온크로마토그래피를 이용하여 포집된 고체흡착관의 불소이온 검출

- ⊕ (측정결과) 27개 측정지점에서 불화수소(Hydrogen Fluoride) 불검출

전기차 배터리 화재시 소화방법에 따른 불화수소 검출결과							
1차 실험 - 전소화재		2차 실험 - 대량주수		3차 실험 - 관통관창 1차		4차 실험- 관통관창 2차	
시료번호	결과(ppm)	시료번호	결과(ppm)	시료번호	결과(ppm)	시료번호	결과(ppm)
1-1	N.D	2-1	N.D	3-1	N.D	4-1	N.D
1-2	N.D	2-2	N.D	3-2	N.D	4-2	N.D
1-3	N.D	2-3	N.D	3-3	N.D	4-3	N.D
1-4	N.D	2-4	N.D	3-4	N.D	4-4	N.D
1-5	N.D	2-5	N.D	3-5	N.D		
1-6	N.D	2-6	N.D	3-6	N.D		
		2-7(소방대원)	N.D	3-7(소방대원)	N.D		
		2-8(소방대원)	N.D	3-8(소방대원)	N.D		
				3-9(소화차량)	N.D		

- ⊕ 전기차 배터리 화재에 따른 불화수소 측정(2차)

			
가스포집장치 부착(진압대원)		가스포집장치 위치	
			
측정장치 열보호대		배터리팩 사진	

03 전기자동차 화재특성

- ⊕ (실험방법) 한국산업안전보건공단에서 제시하는 불화수소에 대한 작업환경 측정·분석 기술지침(KOSHA GUIDE A-154-2016)에 따라 측정

➔ 화재가 발생하는 배터리 기준으로 1.5 m 이격된 거리에 총 6개의 가스포집장치 설치

- ⊕ (측정결과) 6개 측정장치 중 5개 측정장치에서 불화수소 불검출

※ 고온의 복사열로 인하여 측정장치㉔ 시료5 훼손

장치번호	시료번호	측정대상	측정치	비고
측정장치㉔	1	불화수소(산)	불검출	
측정장치㉔	2	불화수소(산)	불검출	
측정장치㉔	3	불화수소(산)	불검출	
측정장치㉔	4	불화수소(산)	불검출	
측정장치㉔	5	불화수소(산)	-	시료 훼손
측정장치㉔	6	불화수소(산)	불검출	

			
가스 발생(-10초)	열폭주(0초)	2차 열폭주(1초)	5분 경과
			
10분 경과	15분 경과	17분 경과	18분 경과
			
21분 경과	25분 경과	30분 경과	40분 경과
자동차 배터리팩 열폭주 화재실험 사진			

■ 전기자동차 화재 불산위험성

- ⊕ 전기자동차 화재 및 진압과정에서 불산이 발생될 수 있으나, 공기보다 가볍기 때문에 주변에 체류되지 않고 쉽게 희석됨.
- ⊕ 또한, 실증실험을 통해 불산에 노출될 가능성은 거의 없으며, 공기호흡기 또는 면체 등을 착용한다면 불산위험성을 현저히 줄일 수 있음.

04

전기자동차화재 대응장비

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE



■ 전기자동차 하부에서 상방향 주수가 가능한 방사장치

- ⊕ 전기자동차 하부에 위치한 고전압 배터리팩을 신속하게 냉각시키기 위한 전기자동차 전용으로 자체 제작된 상방향 방사장치 활용



울산동부소방서



분당소방서



익산소방서



부산남부소방서

■ 상방향 방사장치의 장·단점

- ⊕ **[장점]** 전기자동차 하부 고전압 배터리팩을 신속하게 냉각할 수 있으며, 자체 하중에 의해 하부에 고정되어 지속 소화 가능
- ⊕ **[단점]** 상방향 방사장치의 부피가 커질 경우, 기존 소방차의 적재가 어렵거나, 소방차 내부의 전용 적재 공간 마련 필요

no2

질식소화덮개

■ 연기발생 억제 및 외부 화염을 차단하는 질식소화덮개

- ⊕ 화재가 발생된 대상물에 질식소화덮개를 덮어서 산소를 차단하는 질식소화
- ⊕ 질식소화덮개를 활용하여 대상물에서 발생하는 화염 및 외부 화염 차단

질식소화덮개 사용예시¹⁵⁾■ 내연기관 자동차 활용방안(질식소화덮개)¹⁶⁾

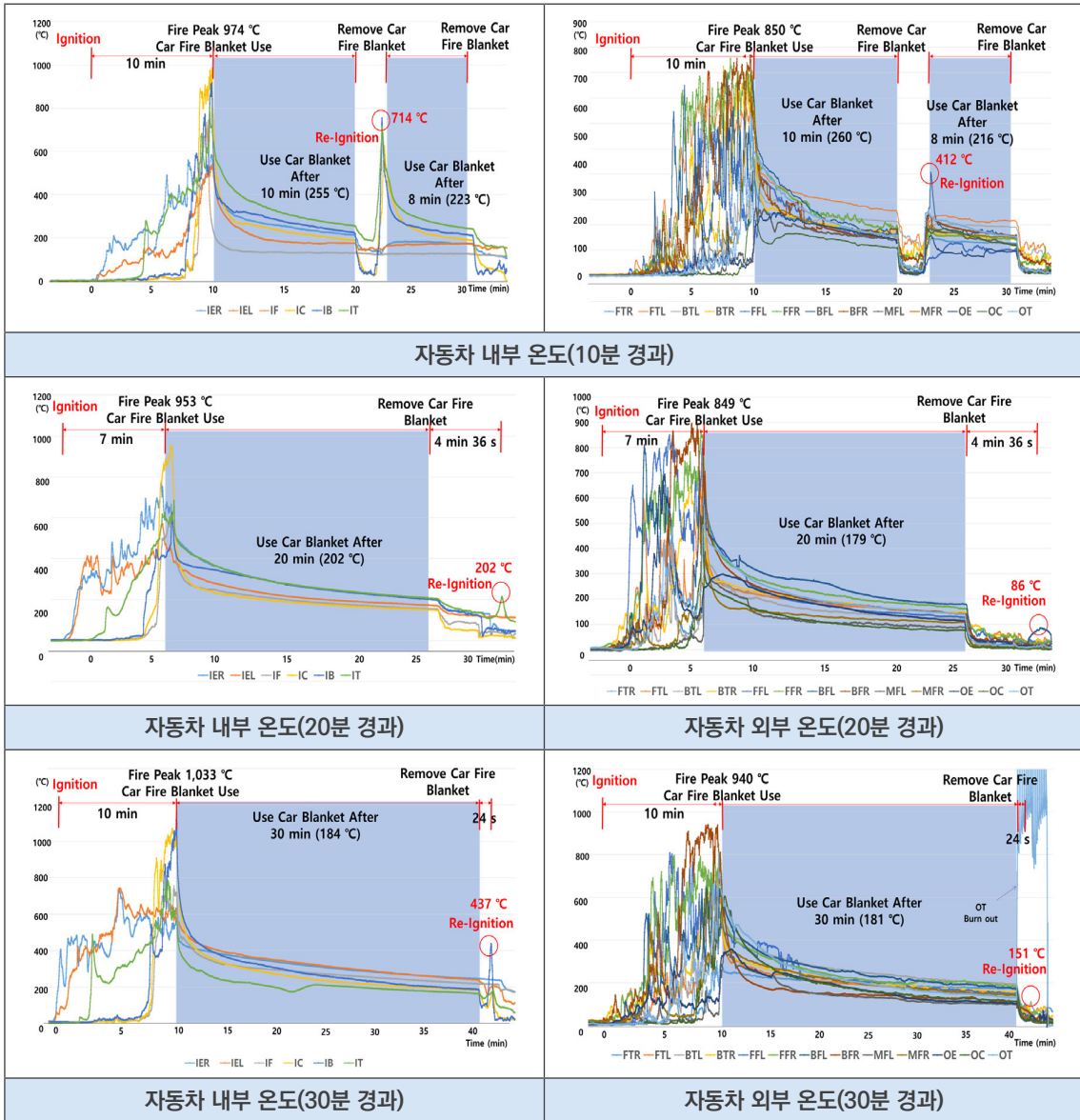
- ⊕ 일반적으로 내연기관 자동차 내·외부에서 발생하는 연소특성은 외부에서 산소 공급이 중단되면 연소가 중단되기 때문에 질식소화덮개를 활용하면 충분히 화재를 진압할 수 있음.
- ⊕ 내연기관 자동차 화재에 대한 질식소화덮개 활용성 실험 결과를 참고하면, 화재가 발생한 내연기관 자동차에 질식소화덮개를 덮고 충분한 시간이 경과하게 되면, 대부분의 화재는 진압됨.



내연기관 자동차 질식소화덮개 실험

15) <http://www.ysnews.co.kr/news/view.php?idx=87233>, <http://m.119news.net/news/articleView.html?idxno=25400>

16) 『자동차화재 시 질식소화덮개 적용방안에 관한 실험적 연구』 (한국화재소방학회, Vol. 35, No. 1, pp. 143-149, 2021년)



[내연기관 자동차 질식소화됐게 진압에 의한 내·외부 온도 곡선]

전기자동차 활용방안(질식소화됐게)17)

- ⊕ 전기자동차와 내연기관 자동차의 가장 큰 차이점은 고전압 배터리팩의 유·무인데, 고전압 배터리팩의 사용되는 리튬이온배터리의 특성 상 열폭주가 발생되면 내부에서 자체적으로 산소 및 가연성 가스가 발생되기 때문에 이론적으로는 질식소화가 효과가 없음.

17) <https://www.youtube.com/watch?v=yO8cWwOqZcg>

- ⊕ 실험에서도 알 수 있듯이, 외부에 있는 화염을 제거할 수 있으나, 배터리에서 발생한 열폭주를 제어하거나 막을 수 없기 때문에 질식소화덮개를 제거할 때, 지속적인 재발화가 발생됨.

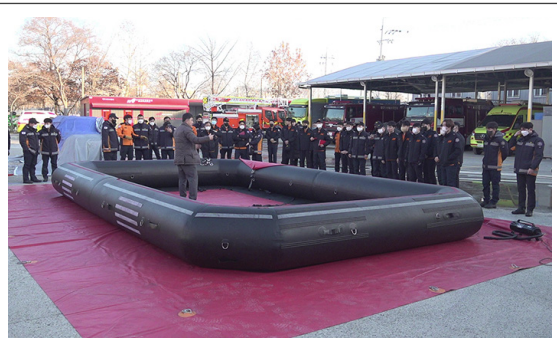


■ 질식소화덮개의 장·단점

- ⊕ **[장점]** 일반적인 내연기관 자동차 화재 진압에 효과가 있으며, 화재가 발생되지 않은 차량에 대해서는 외부 화염 차단을 통한 보호 가능
- ⊕ **[단점]** 전기자동차 화재의 경우에는 리튬이온배터리 특성으로 인해 화재진압에 효과는 없으나, 지하주차장에서 발생한 전기자동차 화재의 경우 냉각소화와 병행하여 사용한다면, 연기차단 및 시야확보 가능

■ 전기차 배터리팩을 침수 및 냉각소화 가능한 이동식 소화수조

- ⊕ 화재가 발생된 전기차 주변에 신속하게 이동식 소화수조를 전개하여 소화수를 충수한 후 전기자동차 하부에 위치한 고전압 배터리팩을 신속히 냉각시킴.
- ⊕ [진압수단] 전기자동차 배터리팩에서 발생한 화재를 가장 효율적으로 냉각할 수 있는 방법은 소화수조에 전기자동차를 침수시키는 방법이나, 문제는 이동식 소화수조를 설치하는데 일정시간이 소요되어 전기차 화재진압의 골든타임을 놓칠 수 있음.
- ⊕ [후속처리] 전기자동차 화재 진압에 성공했다면 배터리팩 내부에 아직 열폭주가 발생되지 않은 배터리가 존재한다는 것을 의미하며, 이는 언제든지 재발화 등이 발생할 가능성이 있음. 그러므로 시간적 여유가 확보된다면 재발화 방지 및 보관 등의 목적으로 활용될 수 있음.

조립식¹⁸⁾튜브형¹⁹⁾

■ 이동식 소화수조의 장·단점

- ⊕ [장점] 전기자동차 전체를 신속하게 냉각 가능하며, 재발화 방지 및 보관에 활용 가능
- ⊕ [단점] 현장에 설치하는 시간이 소요되기 때문에 전기자동차 화재진압 골든타임을 놓칠 수 있어 초기 진압수단으로는 한계를 가짐

18) <https://news.nate.com/view/20221215n29935?mid=n0100>

19) <https://info.daegu.go.kr/newshome/mtnmain.php?mtnkey=articleview&mkey=scatelist&mkey2=2&aid=258146>

no4

이동식 컨테이너

■ 전기차의 재발화 방지 및 이송이 가능한 이동식 컨테이너20)

- ⊕ 초기 진압이 완료된 전기자동차를 안전한 장소로 이동시키거나 보관 중 재발화 방지를 위해 전기자동차를 이동식 컨테이너 내부로 견인시킴.
- ⊕ 이동식 컨테이너 장점은 재발화를 방지하면서 외부로 이송이 가능한 부분인데, 층고가 낮은 지하주차장에 진입 가능하다면 전기차 화재대응에 적극 활용 가능.

	
전기자동차 열폭주 유도	초기 진압
	
견인장치 설치	자동차 견인
	
컨테이너 내부 충수	컨테이너 이동

[전기차 화재대응 시연과정]

20) 울산 남부소방서 전기차 화재진압 시연회(2022년 12월 7일)

■ 전기차 화재 대응시 감전 방지를 위한 보호장비

- ⊕ **[진압대원]** 직접 전기자동차를 접촉하지 않고 화재를 진압하는 대원의 경우 일반적인 방화장갑 및 방화신발 착용으로 충분히 감전을 방지할 수 있음.
- ⊕ **[구조대원]** 전기자동차에서 인명을 구조하기 위해 직접 전기자동차를 접촉하는 경우, 일반적인 화재에서는 전기차 고전압 배터리팩이 차단되어 방화장갑 및 방화신발로 감전을 방지할 수 있지만, 전기자동차가 전복되거나 충돌에 의해서 화재가 발생하여 배터리팩이 손상된 경우에는 반드시 절연장갑 및 절연화를 착용해야 감전사고를 예방할 수 있음.

내전압용 절연장갑 등급, 이렇게 나뉘어져요!			
등급	최대사용전압		등급별 색상
	교류(V, 실효값)	직류(V)	
00	500	750	갈색
0	1,000	1,500	빨강
1	7,500	11,250	흰색
2	17,000	25,500	노랑
3	26,500	39,750	녹색
4	36,000	54,000	등색

내전압용 절연장갑 등급별 표준길이 규정			
	00	270 및 360MM	
	0	270, 360, 410 및 460MM	
	1, 2, 3	360, 410 및 460MM	
	4	410 및 460MM	

내전압용 절연장갑 규격²¹⁾

■ 전기차 화재대응 보호장비 사용 유의사항

- ⊕ 전기자동차 화재대응 보호장비는 고전압 배터리팩으로 인해 발생하는 감전을 방지하는 목적으로 배터리팩 규격에 따라 성능에 맞는 보호장비를 선택해야 함
- ⊕ 예를 들어, 전기자동차 고전압 배터리팩의 전압이 400V/800V 시스템이 있으므로 이에 맞는 장비 선택 필요

21) <https://adto.co.kr/>

05

전기자동차화재 대응방법

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE



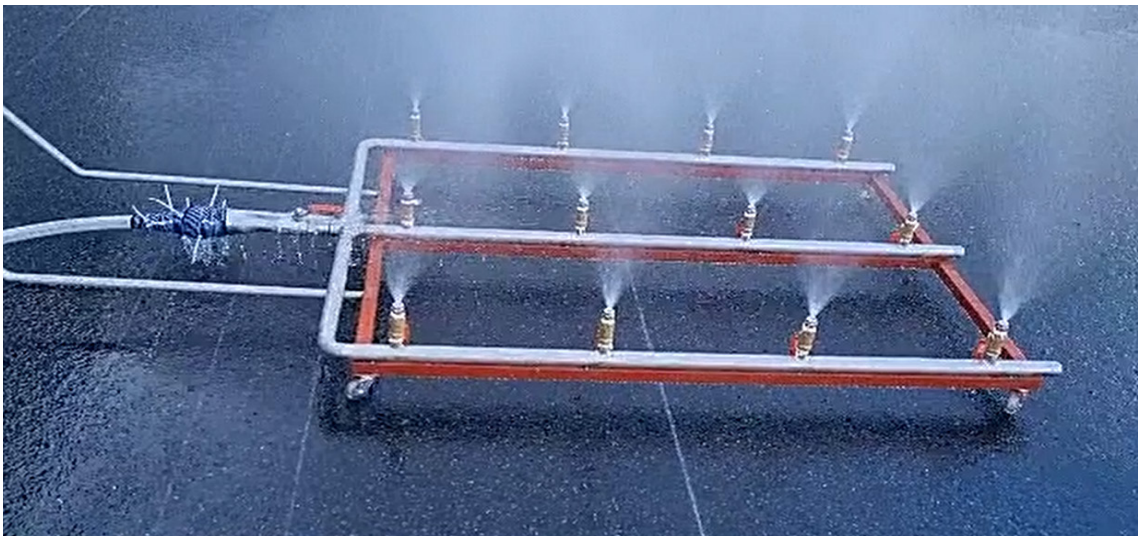
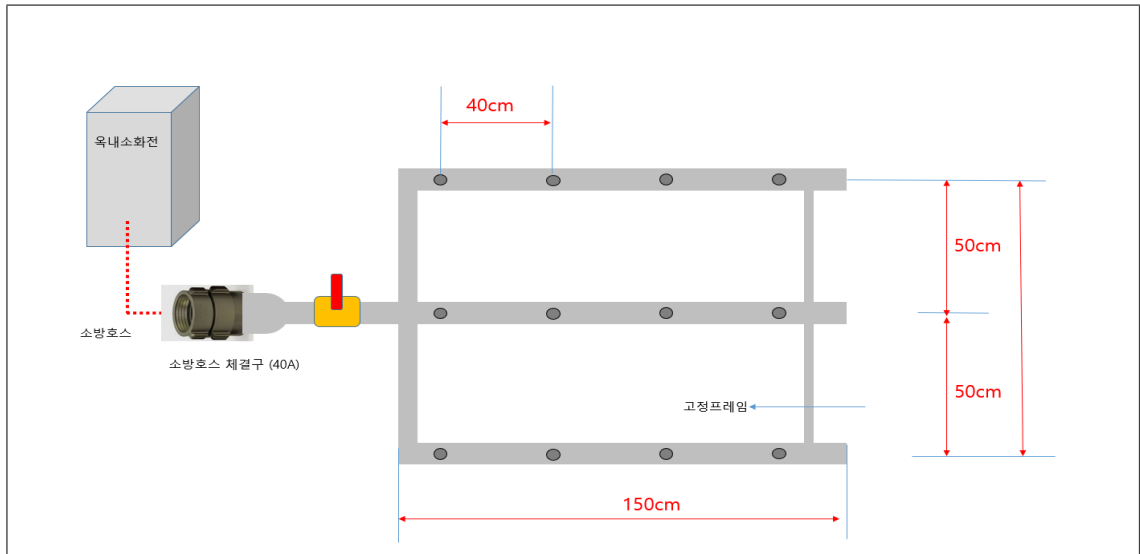
05 전기자동차화재 대응방법

no1

전기자동차 화재진압 실증실험²²⁾

■ 실증실험을 위한 상방향 주수 방사장치

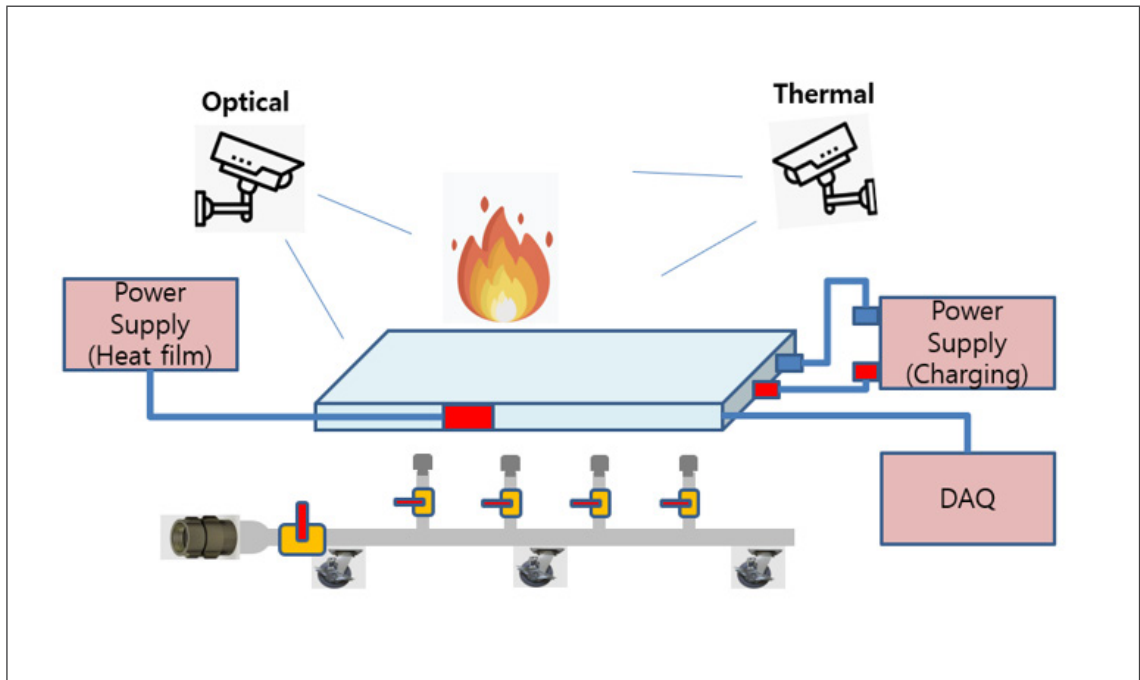
- ⊕ 대부분 소방차의 수원을 통한 화재를 진압하나, 지하주차장에서 전기자동차 화재가 발생된 경우를 가정하여 주변 옥내소화전의 수원을 활용하여 진압하는 상방향 주수 방사장치(40A 체결구)를 제작하여 실증실험을 추진.



[전기차화재 실증실험용 상방향 방사장치]

22) 『전기자동차 화재 진압에 관한 실험적 연구』(나용운, 국립소방연구원(2022))

실증실험 환경



[전기차화재 실증실험용 환경]

전기차화재 실증실험 환경

- ⊕ 전기자동차 배터리팩 내부 모듈 열폭주 화재 성상을 관찰하기 위해 총 30개의 모듈에 열전대를 설치하여 온도 및 상승 패턴을 측정하고, 배터리팩 충전을 위해 15kW급 배터리 충방전기를 활용하여 완충 전압 상태(SOC 100%)까지 충전함.
- ⊕ 또한, 배터리 6번 모듈에 히팅필름을 부착하여 열폭주를 유도, 광학 카메라 및 열화상 카메라를 활용하여 화재성상 영상을 저장함.
- ⊕ 열폭주 유도 후 약 10분 경과한 시점에서 배관시스템의 상방향 주수를 실시하여 전기자동차 배터리팩 화재의 지연 및 화재진압의 효과를 측정함.

※ 열폭주 유도 후 약 10분 경과한 시점에서 상방향 주수하는 이유는 화재 접수 후 출동에 소요되는 시간을 약 10분으로 설정함.

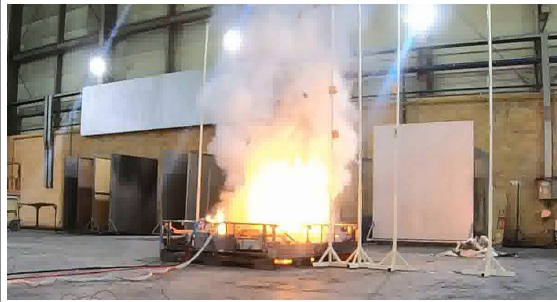
05 전기자동차화재 대응방법

■ 실증실험 비교

⊕ 실증실험 비교 [진압 무(左) VS 진압 유(右)]



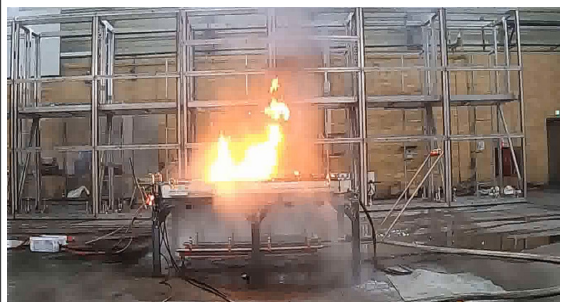
오프가스 발생(A(左), B(右))



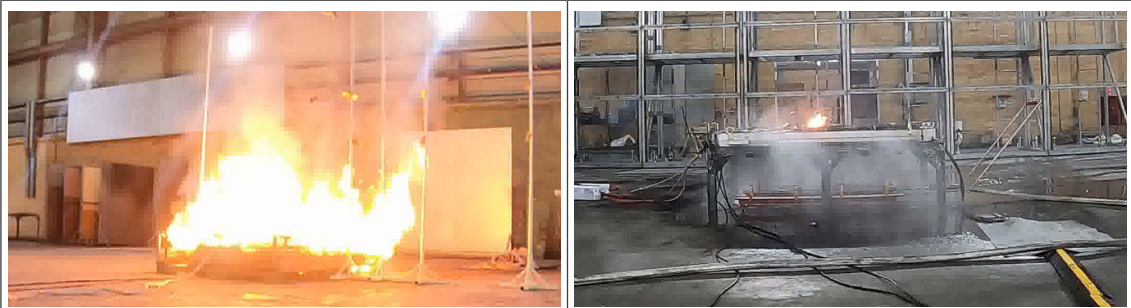
5분 경과(A(左), B(右))



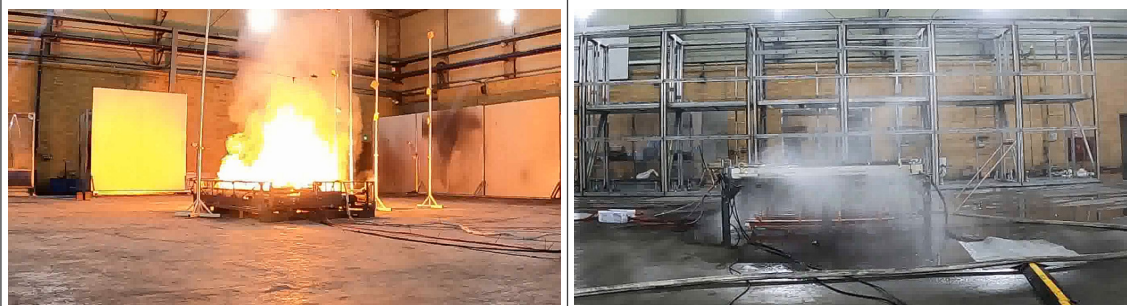
10분 경과(A(左), B(右))



15분 경과(A(左), B(右, 주수))

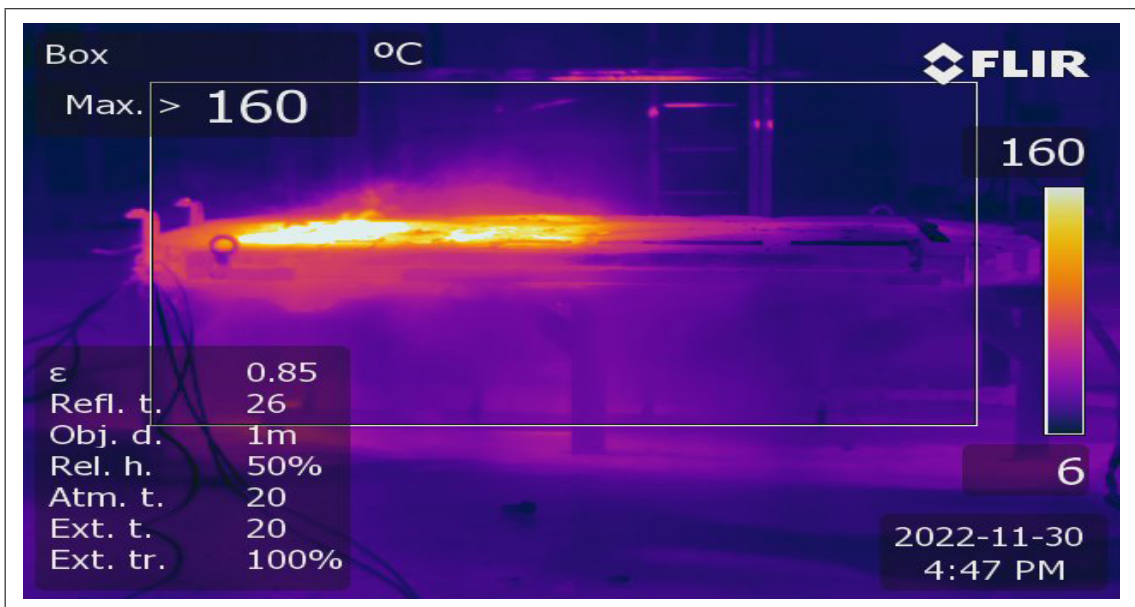


20분 경과(A(左), B(右, 주수))



25분 경과(A(左), B(右, 주수))

[전기차화재 실증실험 비교]



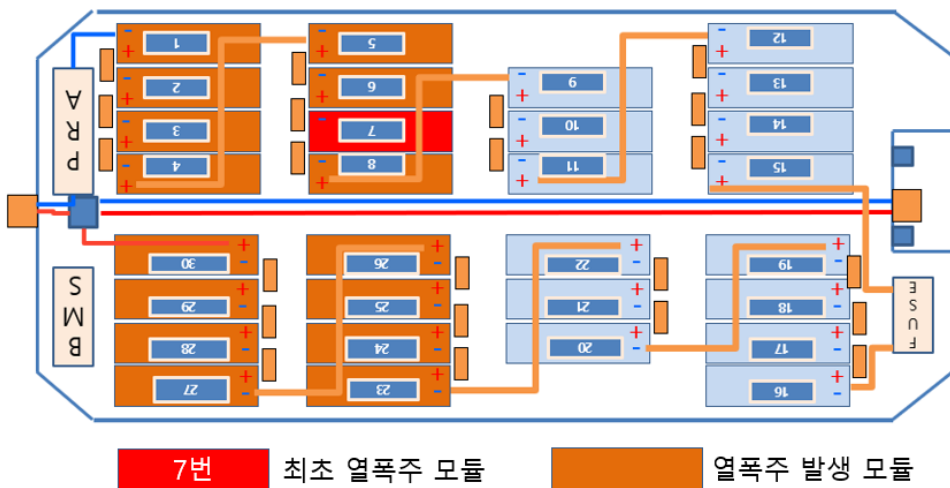
[배터리팩 열화상 사진]

- ⊕ 열화상 카메라로 측정한 결과, 배터리팩 왼쪽은 모두 열폭주가 발생되었지만 상대적으로 오른쪽의 배터리모듈에서는 열폭주가 발생되지 않고 화재가 진압되었음.

05 전기자동차화재 대응방법

전기차 배터리팩 화재진압 결과

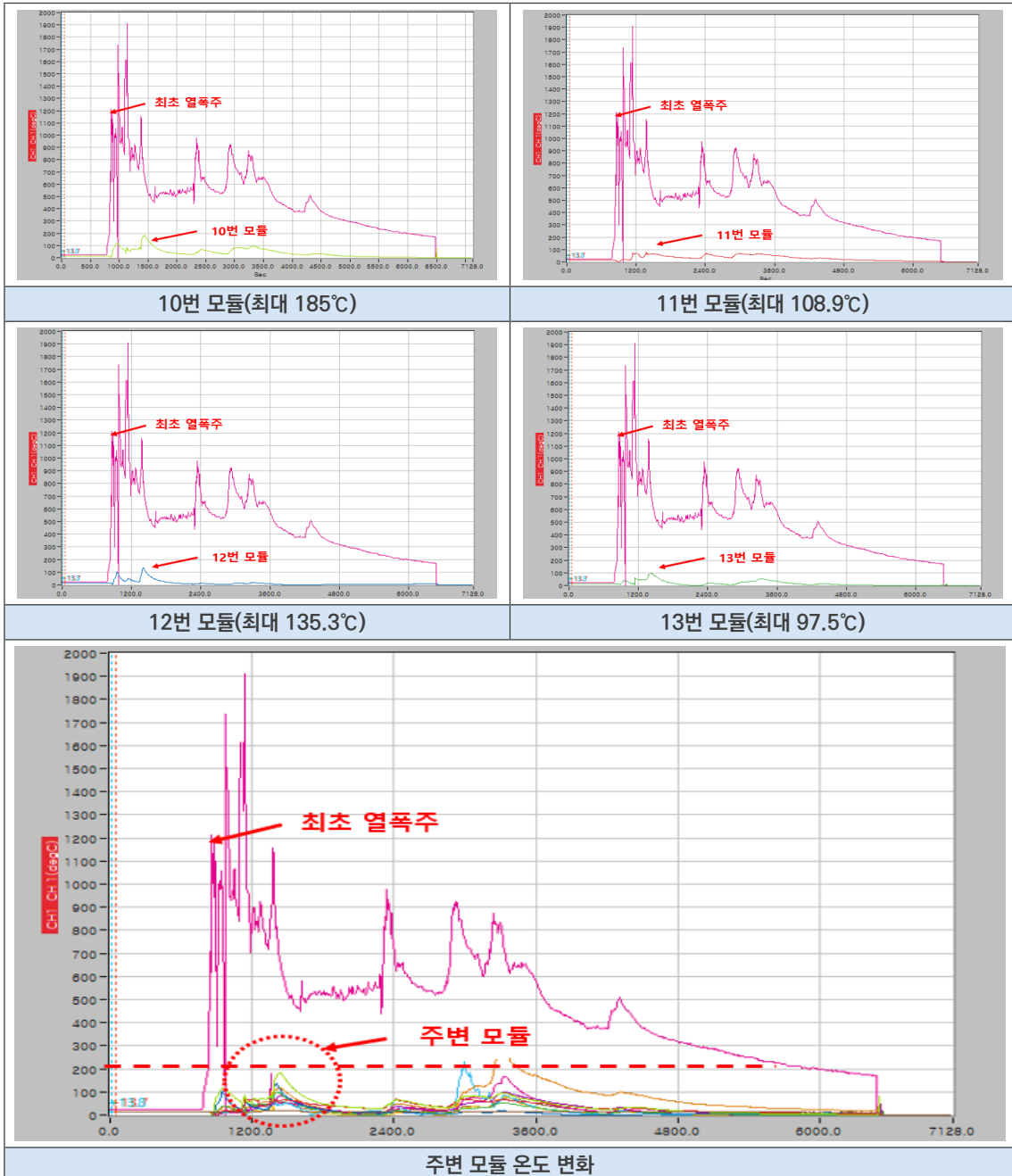
- ⊕ 화재진압이 완료된 배터리팩 내부를 확인한 결과, 화재로 인해 절반의 모듈이 소훼되었지만 나머지 모듈은 화재진압이 성공하여 열폭주가 발생되지 않음.



[배터리팩 내부 소훼상태]

전기차 배터리팩 내부모듈 온도 변화

- ⊕ 배터리팩 내부에서 발생한 열폭주로 인해 주변 모듈의 온도를 증가시켜 열폭주가 전이되다가 배터리팩 하부 주수를 통한 냉각소화로 더 이상 주변 모듈의 온도 증가를 제한하면서 열폭주 전이를 중단시킴.



[배터리팩 주변 모듈 온도 변화 그래프]

■ 전기차화재 실증실험 결론

- ⊕ 해당 실험은 전기차 배터리팩 화재에 대한 냉각소화의 효과성을 입증하는 실험으로써, 히팅필름을 활용한 최초 열폭주 유도 후 약 10분이 경과한 시점에서 상방향 주수를 실시하여 화재진압을 시도
- ⊕ 최초 열폭주가 발생된 주변 14개의 모듈에서는 열폭주가 발생되었지만 그 외 나머지 15개 모듈에서는 약간의 온도 상승이 발생하다가 전체적인 냉각으로 인해 열폭주로 이어지지 않고 안정된 상태를 유지
- ⊕ 그러므로 해당 냉각 소화는 최소한 전기차 배터리팩 화재의 지연 효과가 있으며, 지속적인 주수를 실시하면 최종적으로는 화재진압 가능함
- ⊕ 다만, 열폭주가 발생되지 않은 모듈은 100℃도 내·외의 열충격을 받은 상태이므로 언제든지 열폭주가 발생할 수 있으므로 재발화 방지 조치가 필요함

no2

지상에서 충전중 발생된 전기차 화재 대응

■ (지상) 전기차 화재 대응



+ 전기차 화재현장에서 화재가 발생된 전기차 위치 식별 및 정보 전파

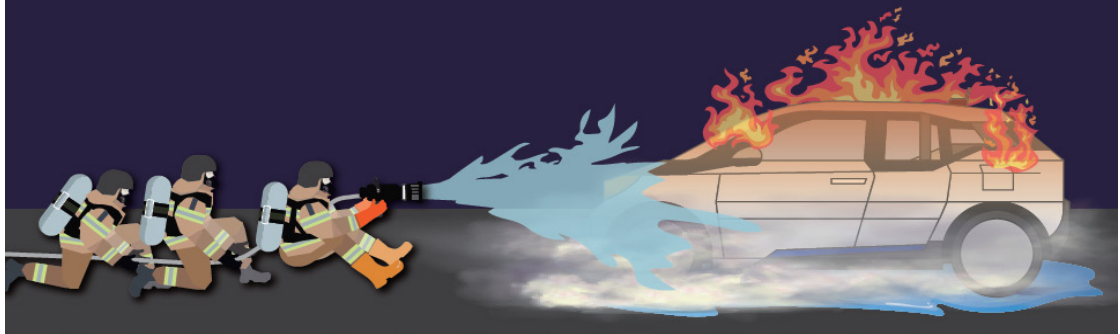


+ 구조상황에는 절연장갑, 절연화를 착용하고, 화재진압 시에는 상대적으로 감전 위험성이 낮기 때문에 절연성능이 확보된 방화신발 및 방화장갑을 착용

05 전기자동차화재 대응방법

전기차 주변 분무주수

폭발 위험 제거



- + 전기차 화재현장에서 미연소된 가연성 가스가 체류할 수 있기 때문에 언제든지 폭발이 발생할 가능성이 있어 주변을 분무 소화하여 폭발 위험 제거

차량 하부 - 스프링클러 관창 설치 · 주수



- + 전기차 배터리팩을 훼손하지 않고 내부를 냉각시키기 위해서는 열전도도가 높은 배터리팩 바닥 부위에 집중 소화하여 전체를 냉각시켜 열폭주 전이를 지연 또는 소화시킴

차량 내부에 주수

차량 내부 소화 및 침수 # 소화수조와 유사한 효과 발생



+ 전기차 하부 배터리팩을 주수하는 동시에 자동차 실내에 물을 주수하게 되면 소화수조에 차량이 침수된 상태와 유사한 냉각효과 발생됨

1차 진압 확인

화염 無 # OFF GAS 無



+ 전기차에서 추가적인 화염 분출 및 오프가스가 발생되지 않음을 확인

05 전기자동차화재 대응방법

A. 안전한 장소로 이송

소방펌프차 동행



B. 이동식 소화수조 설치

전기차의 이동이 어려운 경우



⊕ 전기차를 안전한 장소로 이동하기 위해 견인차로 이동시 소방펌프차가 동행하여 재발화에 대응해야 하며, 부득이하게 이동이 어려운 경우에는 이동식 소화수조 등을 활용하여 재발화를 방지하여야 함

관계기관 화재조사 의뢰

국립소방연구원

국립소방연구원



◆ 주소
충남 아산시 송악로 376
(송악면 동화리 655-2)

◆ 연락처
TEL : 041-559-0520
FAX : 041-541-1108



⊕ 전기차 화재진압이 모두 완료되면 관계기관(국립소방연구원)에 화재원인 규명을 위한 화재조사를 의뢰함

no3 지하에서 충전중 발생한 전기차 화재 대응

■ [지하] 전기차 화재 대응



+ 전기차 화재현장에서 화재가 발생한 전기차 위치 식별 및 정보 전파

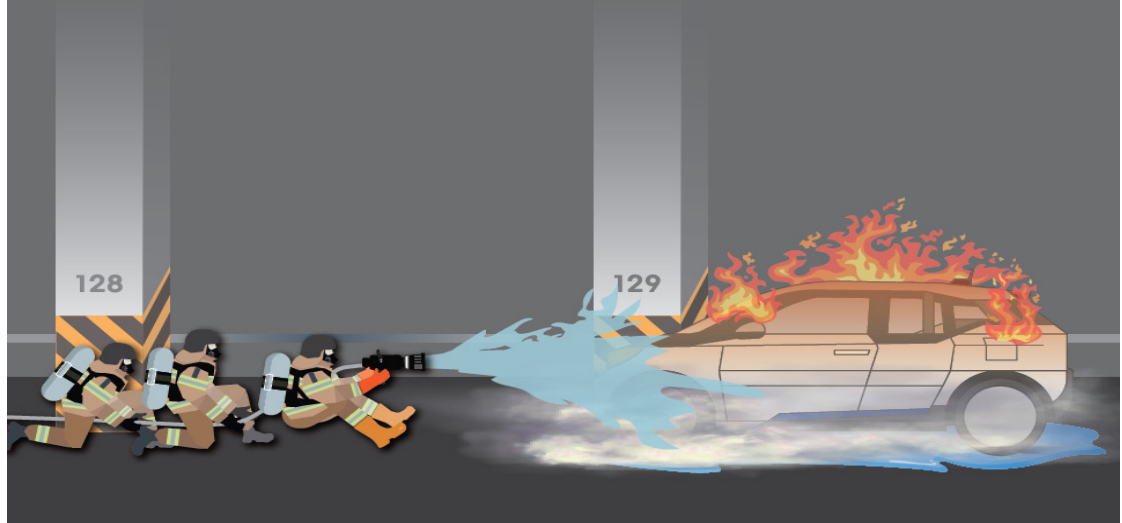


+ 구조상황에는 절연장갑, 절연화를 착용하고, 화재진압 시에는 상대적으로 감전 위험성이 낮기 때문에 절연성능이 확보된 방화신발 및 방화장갑을 착용

05 전기자동차화재 대응방법

전기차 주변 분무주수

폭발 위험 제거



⊕ 전기차 화재현장에서 미연소된 가연성 가스가 체류할 수 있기 때문에 언제든지 폭발이 발생할 가능성이 있어 주변을 분무 소화하여 폭발 위험 제거

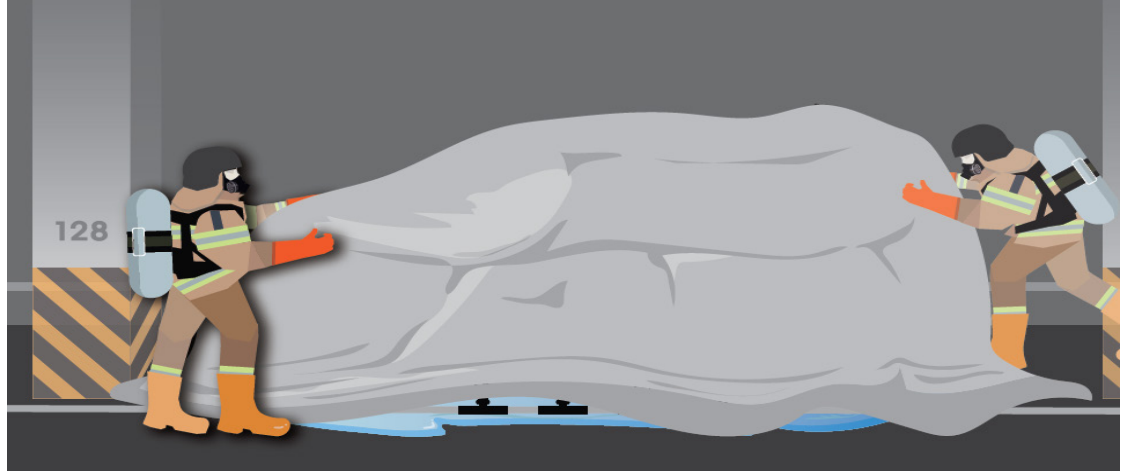
차량 하부 - 스프링클러 관창 설치 · 주수



⊕ 전기차 배터리팩을 훼손하지 않고 내부를 냉각시키기 위해서는 열전도도가 높은 배터리팩 바닥 부위에 집중 소화하여 전체를 냉각시켜 열폭주 전이를 지연 또는 소화시킴

질식소화덮개 사용

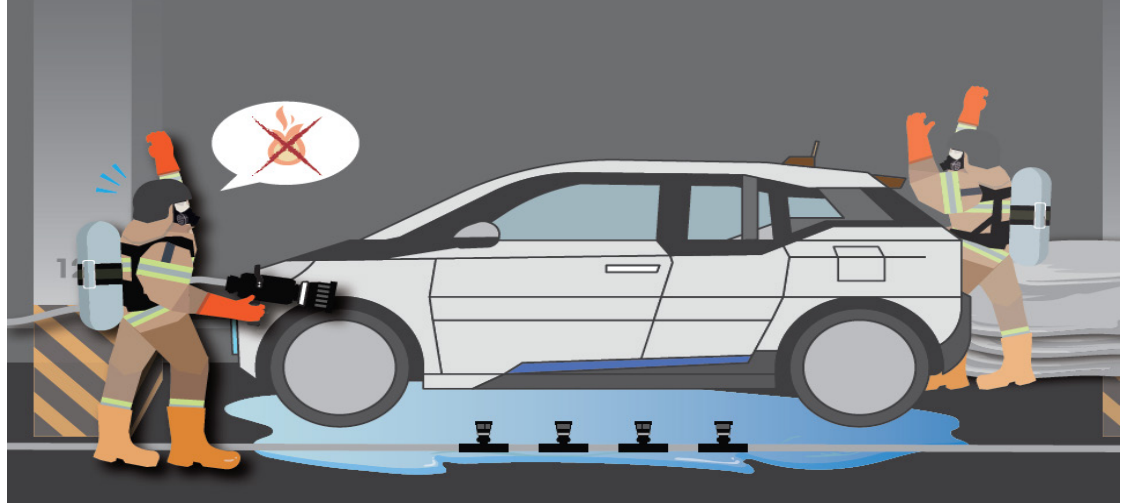
- # 차량 하부 스프링클러 관창과 동시에 사용
- # 연기발생을 억제하여 시야확보



- + 지하에서 전기차 화재가 발생한 경우, 많은 양의 연기로 인해 소방대원 시야확보의 어려움이 발생되므로 질식소화덮개를 사용하여 연기발생을 억제하고 소방대원 시야를 확보

1차 진압 확인

- # 화염 無 # OFF GAS 無



- + 전기차에서 추가적인 화염 분출 및 오프가스가 발생되지 않음을 확인

A. 안전한 장소로 이송

소방펌프차 동행



B. 이동식 소화수조 설치

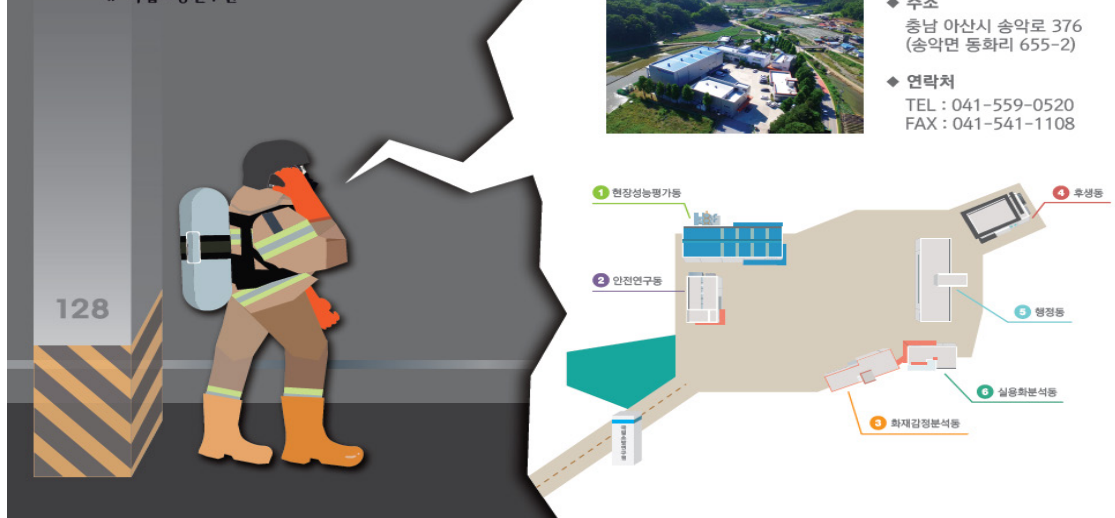
전기차의 이동이 어려운 경우



- ⊕ 전기차를 안전한 장소로 이동하기 위해 견인차로 이동시 소방펌프차가 동행하여 재발화에 대응해야 하며, 부득이하게 이동이 어려운 경우에는 이동식 소화수조 등을 활용하여 재발화를 방지하여야 함

관계기관 화재조사 의뢰

국립소방연구원

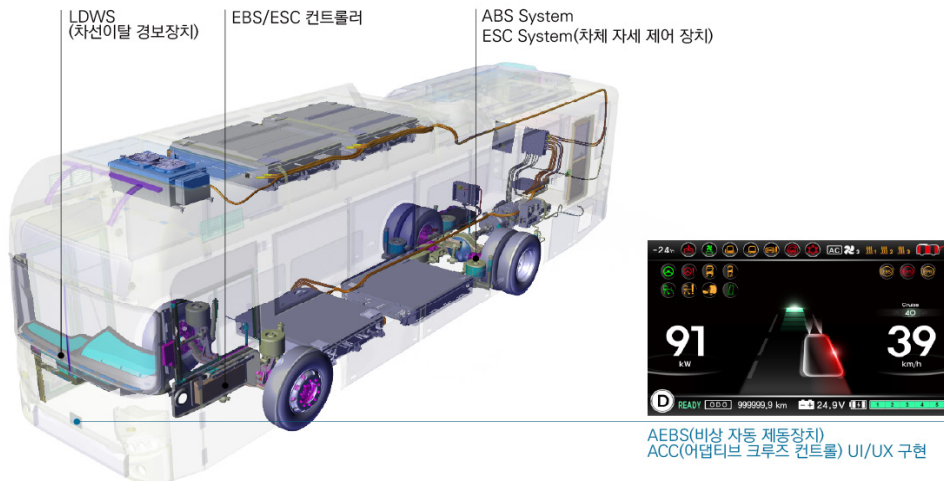


- ⊕ 전기차 화재진압이 모두 완료되면 관계기관(국립소방연구원)에 화재원인 규명을 위한 화재조사를 의뢰함

no4 전기버스 화재대응 유의사항

■ 배터리팩 위치 및 규격

- ⊕ 대부분의 전기버스 배터리팩은 공간상의 제약 등으로 인해 전기버스 지붕에 설치되며, 제조사의 모델에 따라 상부 및 하부에 설치된 사례도 있음.

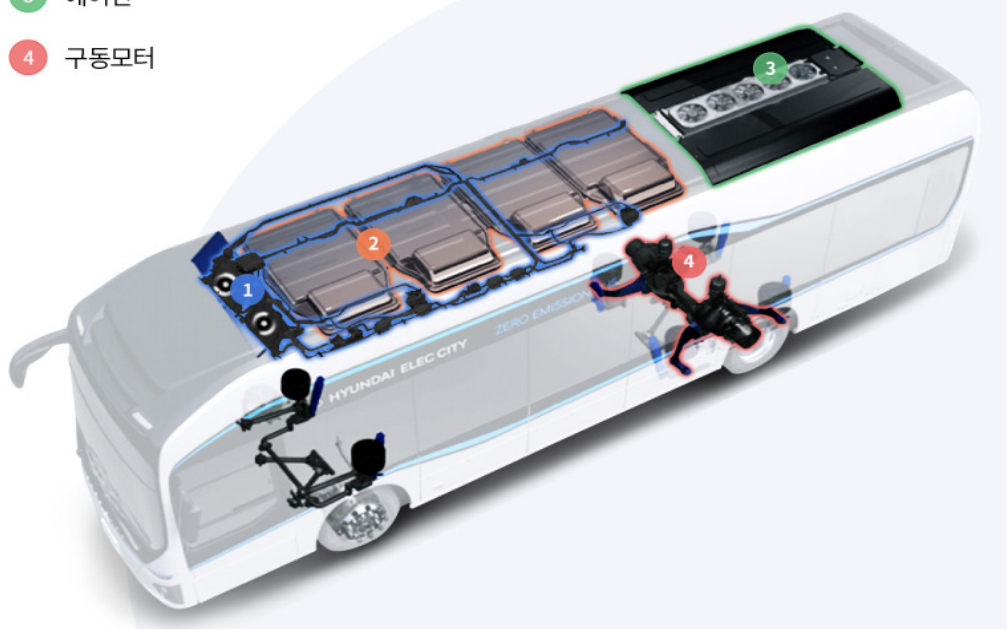
에디슨 모터스(상부 2팩, 하부 2팩)¹⁾

05 전기자동차화재 대응방법



일렉시티 전기 버스 구조도

- 1 수냉식 배터리 냉각 시스템
- 2 리튬이온 폴리머 배터리 64kWh × 4개
- 3 에어컨
- 4 구동모터



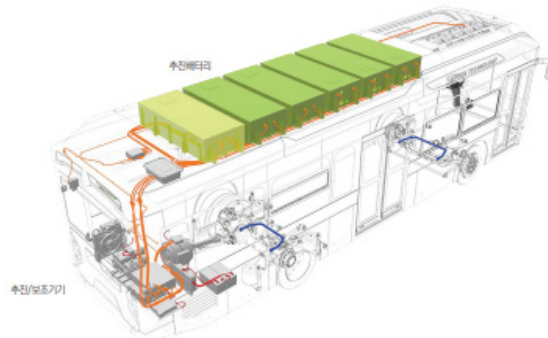
현대자동차(배터리팩 차량 상부)²



Driving System

1회 충전으로 212km 주행가능(60km/h 정속주행시)

One Motor System 적용으로 뛰어난 출력 성능을 갖추고 있으며, 용이한 유지관리와 우수한 내구성을 제공해 드립니다.



고효율의 배터리를 탑재, 충분한 주행거리를 확보하여
거리노선별 효율적인 주행이 가능합니다.

기본 : 204kWh

- 교통지체구간이 많거나 장거리운행 노선 등에 적합
- 1회 충전으로 212km 주행가능

선택 : 170kWh

- 단거리운행 노선에 적합
- 1회 충전으로 176km 주행가능

우진산전(배터리팩 차량 상부)²³⁾

23) <http://www.edisonmotorsev.com/motors/smart110E>

05 전기자동차화재 대응방법

E-STAR series

EV
ZERO EMISSION BUS
친환경 전기 광역 버스



차량 하단 배터리를 + 적재함
대용량 고효율 배터리를 차량 하단부에 위치하여 효율적인 무게 배분을 통해 주행 안정성을 확보하였으며,
승객 편의를 위한 적재함 공간까지 제공합니다.

범한자동차(배터리팩 차량 하부)⁴

24) <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hydrogen-or-batteries-that-is-the-question-hyundai-elec-city-bus/>



배터리팩의 슬림화, 경량화

- 기존 국내 전기버스 배터리팩에 비해 30~40% 이상 경량화, 소형화
- 20% 높아진 에너지 밀도의 배터리셀과 경량 수냉식 배터리팩으로 늘어난 에너지 효율
- 같은 부피의 배터리팩 공간에 무게증가 없이 더 많은 용량의 배터리팩을 배치할 수 있어 1충전 주행거리가 대폭 증가
- 버스 상단과 버스 후면 하단에 배터리팩을 배치, 승객 공간의 극대화
- 최신 CATL 배터리셀을 사용 10년이상 배터리 수명 보장



VBUS110B의 배터리팩

총 9개, 팩당 35.1kWh x 9=315.9kWh 1충전 400km이상 가능

비바모빌리티(배터리팩 차량 상부 및 후면 하단)²⁵⁾

25) <https://www.wjjs.co.kr/data/bbsData/15674000271.pdf>

05 전기자동차화재 대응방법

■ 감전위험성

- ⊕ **[절연불량]** 일반적으로 전기승용차의 경우 대지 위에서 소방대원이 화재를 진압하게 되는데 통상적으로 대지의 절연저항이 '100 ~ 1,000MΩ' 이기 때문에 현장의 대원들이 감전되지 않고 진압이 가능하나, 상부에 배터리팩이 위치한 전기버스에서 화재가 발생한 경우에는 화재대상이 높은 위치에 있기 때문에 경우에 따라 전기버스 지붕위에서 화재 진압을 할 수 있는데, 전기버스 지붕이 금속재질로 제작되었기 때문에 절연저항이 '0'에 가까워 감전의 위험이 매우 높아짐.



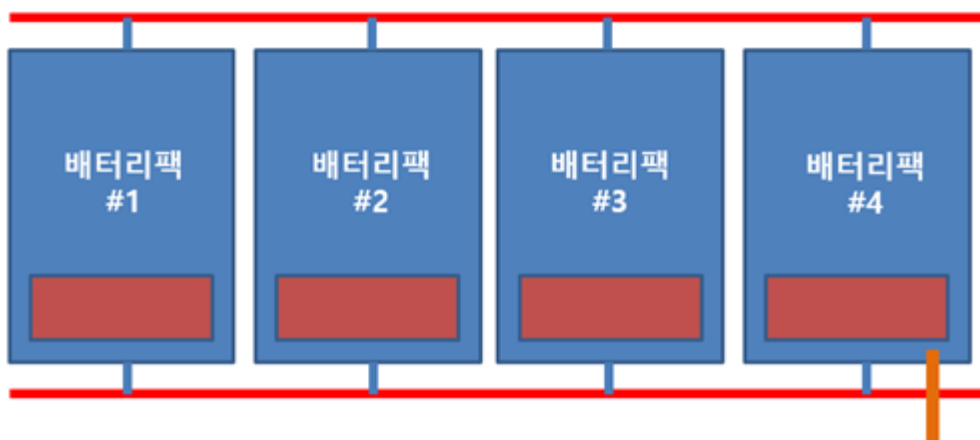
[배터리팩 주변 모듈 온도 변화 그래프]

- ⊕ **[전선노출]** 전기버스는 전기승용차와는 달리 높은 출력을 요구하기 때문에 대용량의 배터리팩 사용이 불가피한데, 모터의 출력을 높이기 위해서 직렬 연결을 하고 주행거리를 증가시키기 위해 병렬 연결을 하여 총 4개의 배터리팩이 2개 직렬 x 2개 병렬로 연결되었으나, 배터리팩간의 연결을 위해서는 고전압이 인가되는 케이블이 지붕위에 피복상태로 다수 노출된 상태이므로 화재 또는 사고 시에 피복의 절연이 파괴되면 감전 또는 단락이 발생할 수 있음.



전기버스 화재사례

배터리 연결구조 : 배터리팩 2개 직렬 x 2개 병렬 (총4개)

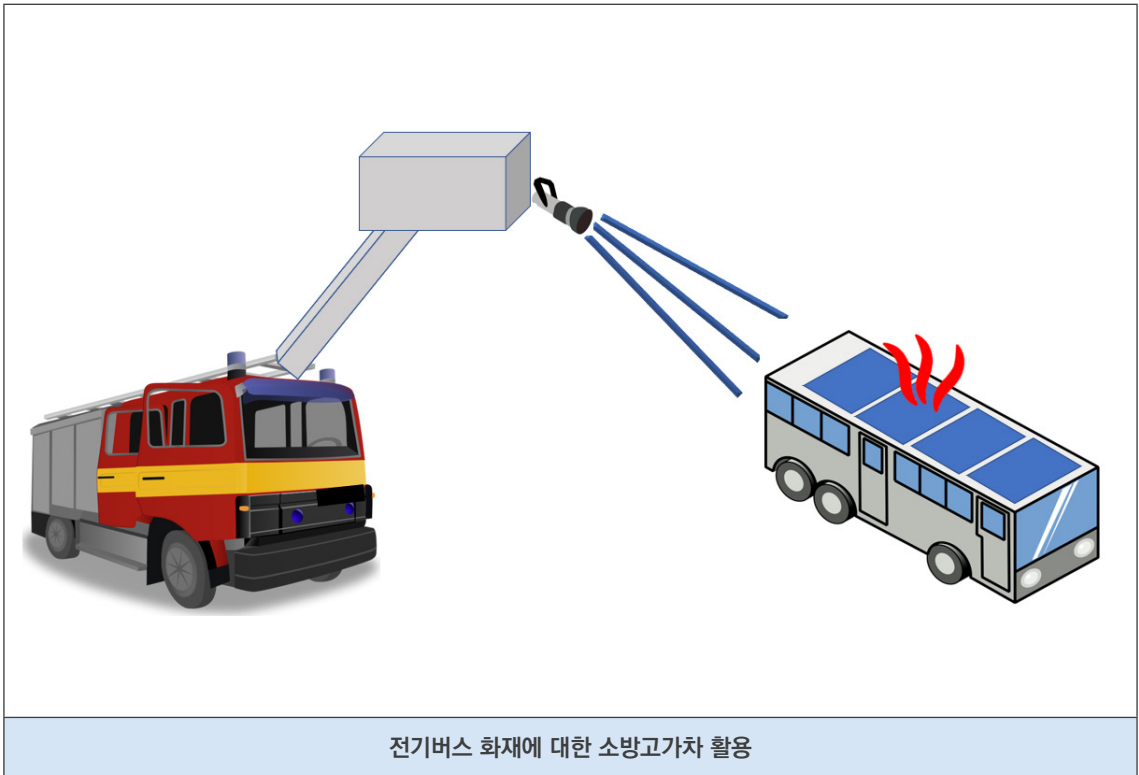


전기버스 배터리팩 연결구조

[전기버스 상부 배터리팩]

■ 전기버스 화재진압 유의사항

- ⊕ **[지붕위 화재진압 금지]** 전기버스 지붕위는 절연저항이 매우 낮아 감전의 위험이 높으므로 절대로 전기버스 지붕 위에서의 화재진압 금지
- ⊕ **[소방고가차 활용]** 전기버스 상부 배터리팩을 신속하게 냉각 및 주수하기 위해서는 높은 위치에서 주수 가능한 소방고가차 등을 적극 활용



[전기버스 화재진압 개념도]



참고문헌

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE



참고문헌

1. 소방청(화재정보통계시스템), 국토부
(국내 자동차 등록현황)
2. 소방청(국회 제출자료)
3. 『ESS 배터리 화재전이 특성 분석을 통
한 모듈 내부 온도센서 설치 가이드 연
구』(나용운, 국립소방연구원(2020))
4. 『전기자동차 화재 진압에 관한 실험적
연구』(나용운, 국립소방연구원(2022))
5. X. Feng, M. Ouyang, X. Liu, L. Lu,
Y. Xia, and X. He, Energy Storage
Materials, 10 (2018)246-267.
6. R. Spotnitz, and J. Franklin, Journal
of Power Sources, 113 (2003) 81-
100
7. 『전기차 화재 현장감식 보고서(부산)』
(나용운, 2022)
8. 『자동차화재 시 질식소화덮개 적용방
안에 관한 실험적 연구』(한국화재소방
학회, Vol. 35, No. 1, pp. 143-149,
2021년)
9. 『새로운 유형의 화재 예방 및 대응을 위
한 기술분석 연구』(한동훈, 국립소방연
구원(2022))
10. Technical Reference for Li-ion
Battery Explosion Risk and Fire
Suppression(DNV·GL, 2019)
11. 울산 남부소방서 전기차 화재진압 시연
회(2022년 12월 7일)
12. [https://commons.wikimedia.org/
wiki/File:Hyundai_kona_front-side.
jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyundai_kona_front-side.jpg)
13. [https://commons.wikimedia.org/
wiki/File:Hyundai_IONIQ_5_NE_
black_%283%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Hyundai_IONIQ_5_NE_black_%283%29.jpg)
14. [https://commons.wikimedia.
org/wiki/File:Tesla_model_3_
white_%281%29.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Tesla_model_3_white_%281%29.jpg)
15. [https://electrek.co/2017/08/24/
tesla-model-3-exclusive-battery-
pack-architecture/](https://electrek.co/2017/08/24/tesla-model-3-exclusive-battery-pack-architecture/)
16. [https://commons.wikimedia.org/
wiki/File:00_KIA_BONGO3_EV_1.
jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:00_KIA_BONGO3_EV_1.jpg)
17. [https://m.post.naver.com/viewer/
postView.naver?volumeNo=27324
198&memberNo=982757](https://m.post.naver.com/viewer/postView.naver?volumeNo=27324198&memberNo=982757)

참고문헌

18. <https://www-trucknbus.hyundai.com/kr/products/bus/elec-city>
19. <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hydrogen-or-batteries-that-is-the-question-hyundai-elec-city-bus/>
20. Youtube “China electric car explode while charging”
21. <http://www.ysnews.co.kr/news/view.php?idx=87233>, <http://m.119news.net/news/articleView.html?idxno=25400>
22. <https://www.youtube.com/watch?v=yO8cVWOqZcg>
23. <https://news.nate.com/view/20221215n29935?mid=n0100>
24. <https://info.daegu.go.kr/newshome/mtnmain.php?mtnkey=articleview&mkey=scatelist&mkey2=2&aid=258146>
25. <https://adto.co.kr/>
26. <http://www.edisonmotorsew.com/motors/smart110E>
27. <https://tech.hyundaimotorgroup.com/kr/article/hydrogen-or-batteries-that-is-the-question-hyundai-elec-city-bus/>
28. <https://www.wjis.co.kr/data/bbsData/15674000271.pdf>
29. http://bhm.kr/product_02.html
30. <http://vivamobility.kr/36>

2023

전기자동차 화재 대응 가이드

NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

순번	분 야	직위(직급)	성 명
1	총 괄	원장 직무대리	구 동 욱
2	부총괄	실 장	한 동 훈
3	기획 및 실험	연구 사	나 용 운
4	실험설계	연구 원	박 중 근
5	실험지원	연구 원	염 인 수
6	실험지원	연구 원	김 태 동
7	일러스트	연구 원	김 용 현



국립소방연구원
NATIONAL FIRE RESEARCH INSTITUTE

문 의 처

국립소방연구원 대응기술연구실 공업연구사 나용운
041-559-0553 / zerokira@korea.kr

『전기자동차 화재 대응 가이드』는 국립소방연구원의 허락 없이 무단 사용 및 배포를 금지합니다.