



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2022학년도
석사학위논문

전기 자동차 충전시설에서의 화재
대응방안 연구
- 지하 주차장을 중심으로 -

지도교수 : 이 준 성

경기대학교 공학대학원

소방 · 방재전공

정 동 현



전기 자동차 충전시설에서의 화재
대응방안 연구
- 지하 주차장을 중심으로 -

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2022년 12월 일

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

정 동 현



정 동 현의 석사학위논문을 인준함

심 사 위 원 장 _____ 인

심 사 위 원 _____ 인

심 사 위 원 _____ 인

2022년 12월 일

경기대학교 공학대학원



목 차

표 목 차	iv
그림목차	v
감사의 글	vi
논문개요	vii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
1.3 기존의 연구	5
제 2 장 전기 자동차의 개요 및 화재 특성	7
2.1 전기 자동차의 종류	7
2.1.1 전기 자동차	7
2.1.2 하이브리드 자동차	9
2.1.3 플러그인 하이브리드 자동차	11
2.1.4 수소연료 전지 자동차	12
2.2 전기 자동차의 구성요소	14
2.2.1 모터	15
2.2.2 전지	15
2.2.3 회생제동장치	16
2.3 내연기관 자동차와 전기 자동차의 화재 위험성 비교	17
2.4 전기 자동차 화재의 특성	18

2.4.1 국내 전기 자동차 화재 발생 및 피해 현황	19
2.4.2 국외 전기 자동차 화재 사례	20
2.4.3 국내 전기 자동차 충전 중 화재 사례	23
2.4.4 전기 자동차 화재 사례로 본 위험 특성	31
 제 3 장 전기 자동차 충전시설의 문제점	 32
3.1 전기 자동차 충전시설의 종류 및 특성	32
3.1.1 전기 자동차 충전시설의 종류	32
3.1.2 전기 자동차 충전시설의 특성	33
3.2 전기 자동차 충전소 설치기준	34
3.2.1 친환경자동차법에서의 전기 자동차 충전시설	34
3.2.2 전기 자동차 충전시설의 종류	36
3.3 전기 자동차 충전시설 설치현황 및 현 실태	42
3.3.1 최근 아파트 건축 현황(과주시)	42
3.3.2 아파트 지하 주차장 충전시설 설치 현황(과주시)	44
 제 4 장 전기 자동차 충전시설 화재 대응방안 개선	 46
4.1 전기 자동차 전용 소화약제 및 소화시스템의 필요성	46
4.1.1 소화약제의 종류 및 성능	46
4.1.2 전기 자동차 화재에 적용 가능한 소화 시스템	47
4.2 국내 전기 자동차 화재대응 절차	49
4.2.1 도로터널화재 대응절차(SOP 219)	50
4.2.2 차량화재 대응절차(SOP 225)	52
4.2.3 친환경자동차화재 대응절차(SOP 308)	54
4.2.4 국외 전기 자동차 차량화재 대응절차(NFPA)	58

4.3 공동주택 충전시설의 화재 대응방안 개선	59
4.3.1 공동주택 충전시설의 설치기준 마련	60
4.3.2 공동주택 충전시설 화재에서의 대응방법	60
 제 5 장 결 론	 66
 참고문헌	 68
Abstract	69

표 목 차

<표 2-1>	최근 전기 자동차의 화재 발생 건수	19
<표 2-2>	최근 전기 자동차의 발화요인별 화재 현황	20
<표 3-1>	전기 자동차 충전기의 설치유형	37
<표 3-2>	시그넷 충전기의 제품 형식	38
<표 3-3>	대영 채비 충전기의 제품 형식	39
<표 3-4>	중앙제어 충전기의 제품 형식	40
<표 3-5>	클린 일렉스 충전기의 제품 형식	41
<표 3-6>	연도별 파주시 아파트 세대수 등 증가 현황	43
<표 3-7>	파주시 금강펜테리움 아파트 주차장 현황	44
<표 4-1>	SOP 219 도로터널화재 대응절차	50
<표 4-2>	SOP 225 차량화재 대응절차	52
<표 4-3>	SOP 308 친환경자동차화재 대응절차	55

그 립 목 차

<그림 1-1>	연구의 흐름도	4
<그림 2-1>	전기 자동차의 구조	8
<그림 2-2>	하이브리드 자동차의 구조	10
<그림 2-3>	플러그인 하이브리드 자동차의 구조	12
<그림 2-4>	수소연료 전지 자동차의 구조	13
<그림 2-5>	중국 전기 자동차 화재 사고 언론보도	21
<그림 2-6>	중국 동관시 충전시설에서의 충전 중 화재	22
<그림 2-7>	미국 버지니아 주 차고 내 화재	23
<그림 2-8>	경기도 부천시 코나 EV 화재 차량 상태	25
<그림 2-9>	경기도 부천시 코나 EV 화재 진압 장면	25
<그림 2-10>	경기도 안산시 코나 EV 화재 차량 위치도	26
<그림 2-11>	경기도 안산시 코나 EV 화재 진압 장면	27
<그림 2-12>	부산시 동래구 Danigo EV 화재 차량 위치도	28
<그림 2-13>	부산시 동래구 Danigo EV 화재 발화 및 완전 후 모습	29
<그림 2-14>	제주도 서귀포시 아이오닉 EV 화재 차량 위치도	30
<그림 2-15>	제주도 서귀포시 아이오닉 EV 화재 진압 모습	30
<그림 3-1>	전기 자동차 충전시설 구성	33
<그림 3-2>	파주시 운정신도시 개발계획도	42
<그림 3-3>	파주시 운정3지구 A32BL 지하 주차장 충전구역	45
<그림 4-1>	충전시설 전용 CCTV 설치 예시도	61
<그림 4-2>	충전구역 별도 환기시설 설치 예시도	63
<그림 4-3>	지하 주차장 화재 시 질식소화포 사용 사례	64
<그림 4-4>	이동(조립)식 전용 수조 사용 사례	65

감사의 글

공무원 생활을 마무리하기 전에 돌이켜 아쉬움이 하나 있다면 늘 배움의 열기를 채우지 못했다는 것입니다. 마침내 미루던 학교생활을 시작했다는 안도감도 잠시, 코로나19의 시대는 너무도 많은 허탈감을 가져왔습니다.

그래도 수업시간이 모자라는 날이면 학과 시작 전이나 시작 후에라도 동기들이나 교수님들과 학업에 관한 토론을 연일 반복하다 보니, 벌써 졸업을 앞두고 있습니다. 늦은 시기에 시작하는 공부임에도 도전은 아름답다고 인정해주시고 대학원 생활 내내 부족한 저의 지도를 맡아 석사과정을 이끌어 주신 이준성 지도 교수님께 가장 큰 감사의 인사를 드립니다. 또한, 귀중한 시간과 관심으로 저의 논문 심사를 맡아 주신 김우창 교수님, 윤해권 교수님께도 감사를 드립니다.

코로나19로 인한 부족한 학교생활에도 틈틈이 관심과 애정으로 조언을 남겨준 학우들에게도 감사를 드립니다. 무엇보다 어린이집 교사를 하면서도 항상 긍정적으로 학업에 도움을 준 아내 유성옥님과 아빠로서 많은 관심을 두지 못하는데도 정말 아름답고 건강하게 자라준 딸 정채영과 아들 정승훈에게도 감사한 마음과 이 글을 통해 내일의 응원도 함께 하고 싶습니다.

마지막으로 논문을 준비한다고 할 때, 흔쾌히 고민을 함께하고 시간을 허락해 주었던 경기도소방재난본부 선후배와 동료들에게도 감사한 마음을 나누고자 합니다. 정말 감사합니다.

논 문 개 요

최근 환경규제가 강화되면서 자동차 제조회사는 친환경자동차 개발에 모든 역량을 다하고 있고 정부도 각종 보조금과 혜택을 지원하면서 친환경자동차 구매를 유도하는 추세이다. 아직은 내연기관이 대세를 이루고 있지만 최근에는 전기 자동차를 비롯하여 하이브리드, 수소연료 전지 자동차의 등장으로 소비자의 선택도 다양해지고 친환경자동차의 성능도 내연기관 자동차와 비교하면 부족함이 없고 충전 인프라 구축도 환경부와 지자체에서 제도 정비와 예산을 아끼지 않고 있다.

이에 본 연구에서는 공동주택 충전시설의 현황을 살펴봄으로써 지속적으로 증가하는 전기 자동차 화재 사고에 대비하고 화재로 인한 대규모 재산피해 및 인명피해 방지를 위한 대응방안을 마련하는데 기여하고자 하였다.

전기 자동차 화재 사고 시에 적용할 수 있는 소화 방식은 어떠한 종류가 있는지, 특히 건축시설물을 포함하여 현장에서 우선적으로 적용하여야 하는 시스템을 위주로 연구하였으며 지금까지의 소방청에서 제시하는 전기 자동차 화재 대응 표준작전절차를 살펴보고 공동주택(아파트) 지하주차장에 설치하여야 할 소방시설과 대응설비는 어떠한 것이 필요하고 관계자는 어떠한 준비와 대응 자세가 필요한지를 제시하였다.

앞으로 소방기관이 대국민을 대상으로 전기 자동차의 위험성에 관해서 철저한 고증 연구와 화재 사례를 발표함으로써 사용자가 대응방안을 스스로 마련할 수 있고 더 나아가서는 제도 개선 및 자진 설비를 설치할 수 있도록 끊임없는 노력과 지속적인 연구가 필요할 것이다.

제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

이 시대는 지구온난화로 인한 기후변화에 대응하기 위하여 국제사회마다 탄소 중립 정책을 핵심가치로 설정하고 기존 화석연료 에너지를 사용하던 내연기관 자동차 중심에서 친환경자동차로 빠르게 전환되고 있다.

기존의 자동차가 내연기관의 연소로부터 에너지를 얻는 구조라면 전기 자동차는 전기에너지를 통해 구동되는 모터가 설치된 자동차이다. 전기에너지에서 동력원을 얻기 때문에 배기가스나 환경오염의 걱정이 거의 없으며, 모터의 소음도 내연기관의 엔진보다는 훨씬 작다는 장점도 있다.

유럽연합은 2035년을 기점으로 내연기관 자동차의 판매 금지를 선언하였고 미국 바이든 정부는 2030년까지 신차의 절반을 전기 자동차로 구성한다는 목표 아래 “전기 자동차 충전 실행 계획(Electric Vehicle Charging Action Plan)”을 확정 발표하였다. 국내에서도 새 정부는 “2035년 내연기관 신규등록 금지 정책” 공약과 함께 2025년까지 전기 자동차 누적 보급 대수 113만대, 수소차 20만대 누적 보급을 달성하겠다는 목표를 세워 전기 자동차 보급 및 충전 인프라 확충에도 박차를 가하고 있다.

통계청에 따르면 2022년 6월 기준 국내 순수 전기 자동차 등록 대수는 298,633대로 2016년 대비 약 30배가 증가하였고 전기 자동차 충전시설은 131,870기로 2016년 대비 약 75배가 증가하였다. 2022년 1월 28일부터 시행하고 있는 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(약칭: 친환경자동차법)」에서 전기 자동차 충전시설의 의무설치 대상과 비율을 확대 적용하였으며, 기존 건축물에 대하여 대상별 최대 3년의 유예기간을 두었으며 이에 따라 수년 내에 전기 자동차 충전시설은 급격히 늘어날 것으로 예상된다.

전기 자동차 증가와 함께 차량 화재도 매해 증가하는 추세이며 최근 5년간 전기 자동차 화재는 총 45건(2017년 1건, 2018년 3건, 2019년 7건, 2020년 11

건, 2021년 23건)이며 2022년 6월말까지 17건이 발생하였으며, 그 중에 충전 또는 주차 중에 발생한 화재사고는 16건(36%)으로 높게 나타났다.

전기 자동차 화재는 배터리팩 내부 리튬이온배터리 열 폭주 현상 및 불화수소 발생 등과 같은 내연기관 자동차에서의 화재와는 다른 위험성을 가지고 있고, 기존 소방시설 또는 진압 방법으로는 효과적인 진화가 어렵다. 특히 최근에 충전 또는 주차 중의 화재가 전기 자동차 화재의 36%를 차지하지만 충전구역의 안전성 확보를 위한 관련 법규나 안전대책은 여전히 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 전기 자동차 충전구역이 설치되는 공동주택 충전시설의 설치현황의 문제점을 분석하고 대안을 제시함으로써 전기 자동차 사용자들을 화재 사고로부터 보호하고 대형 재난으로의 발전 또는 공동의 재산피해를 최소화하는 데 연구 목적을 두었다.

1.2 연구의 범위 및 방법

최근 다양하게 발생하고 있는 전기 자동차의 화재 사고 중에서도 충전시설에서의 화재사례를 구체적으로 살펴보고 전기 자동차 화재 사고의 주요 원인과 화재 진압이 어려운 이유를 연구하였으며 이에 대하여 소비자가 대응방안을 마련해야 하는 필요성을 강조하고자 한다. 그에 따라 국내외 친환경자동차 화재 대응절차의 한계점과 공동주택 충전시설 설치기준과 설치현황을 확인함으로써 현재의 문제점을 비교해 보고 개선해야 할 사항에 대해서 안을 제시하고자 다음과 같이 연구를 수행하였다.

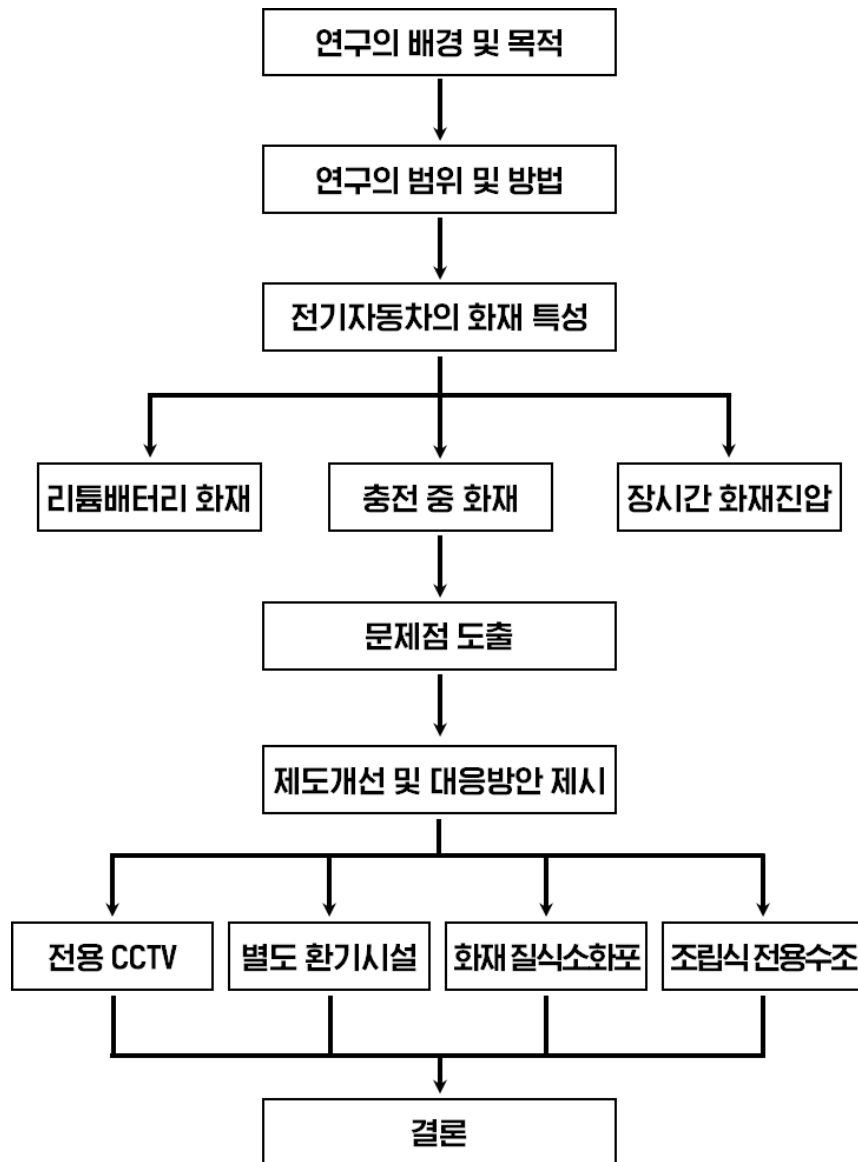
먼저 제 2장에서는 전기 자동차의 종류와 구조를 살펴보고 국내외 전기 자동차의 화재사례를 통하여 전기 자동차 화재의 특성을 살펴보았다.

제 3장에서는 전기 자동차 충전시설의 문제점으로 설치기준과 공동주택 지하 주차장에 설치된 현 실태를 확인하였다.

제 4장에서는 전기 자동차의 화재에 적용할 수 있는 소화 방식과 공동주택 충전시설 화재에서의 대응방안을 제시하였다.

마지막으로 제 5장에서는 총괄적으로 결론을 서술하였다.

본 연구에 대한 흐름도를 <그림 1-1>에 나타내었다.



<그림 1-1> 연구의 흐름도

1.3 기존의 연구

친환경에 대한 사람들의 인식이 변화하고 세계적으로도 친환경 정책이 대세로 자리 잡고 있어 전기 자동차와 같은 친환경자동차의 보급은 계속해서 늘어날 전망이다. 전기 자동차의 보급이 늘어나면서 이에 따른 화재 사고 또한 계속해서 증가 추세에 있다. 소방청에서는 2017년부터 전기 자동차 화재 사고 현황을 관리하고 있다. 아직은 내연기관 자동차에 비하면 화재 사고 비율은 크게 유의미한 비율은 아니지만, 전기 자동차 보급이 늘어남에 따라 화재 위험성은 무시할 수 없게 되었고, 무엇보다 전기 자동차의 배터리 화재는 내연기관 자동차의 화재 진압보다 장시간 소요되고 고전압 배터리의 위험성 또한 상대적으로 높아 소방기관이나 제조사에서는 다양한 대응책을 마련하고 있다. 기존의 연구 내용을 살펴보면 다음과 같다.

김태한[1]은 2021년 12월 「전기 자동차 화재 대응 전략에 관한 연구」에서 전기 자동차 화재대응 절차를 구축하기 위하여 제조사로부터 신차정보평가 단계에서 제조사 측에 필수 정보를 제공할 것과 소방대원의 전기 자동차 화재대응 능력을 높이기 위하여 혼합 현실(MR)과 실감 소방 훈련 시뮬레이터를 기반으로 한 교육·훈련 시스템 구축을 제안하였다.

배영환 등[2]은 2022년 9월 제34회 119소방정책 콘퍼런스에서 「전기 자동차(EV) 충전구역 안전성 확보를 위한 화재위험성평가와 안전대책에 관한 연구」를 통하여 전기 자동차 충전구역이 설치되는 특정소방대상물, 장소, 위치별로 화재위험성과 위험요인을 분석하고 화재 위험성 평가를 통해 선제적으로 안전한 충전구역 선정을 위한 표준화된 지침을 제시하였다.

정영욱[9]은 SEA journal 2021. Vol. 36 「전기 자동차의 화재 및 폭발, 위험성 재조명」에서 전기 자동차의 화재와 폭발 위험성과 화재의 주요원인 그리고 전기 자동차 사고의 화재와 폭발의 대응방안을 마련해야하는 현실에 직면해 있다고 하였다.

정덕남[7]은 2019년 8월 「친환경자동차 사고현장 대응전략에 관한 연구」

에서 고전압배터리를 비롯하여 친환경자동차의 특성에 따른 위험성을 연구하고 이를 바탕으로 현장에서의 소방대원들이 안전하게 대응할 수 있는 시스템을 제안하였다.

기존의 연구는 소방대원이 현장에서 안전하게 활동하는 것을 궁극의 목적으로 연구하였거나, 최소한 전기 자동차의 화재를 진압하는 소방대원의 시각에서 연구되었거나, 안전한 충전구역의 선정을 위한 화재 위험성 평가표를 제시하는 데 그쳤다.

이에 본 연구에서는 기존의 연구에서 수행되지 못한 공동주택 충전시설에 설치하여야 하는 소화 시스템과 공동주택 관리자 및 사용자의 시각에서 어떻게 대비해야 하는지에 대해서 제도 개선과 화재 진압설비 등으로 현실에 적용 가능한 개선방안에 관한 연구를 수행하고자 한다.

제 2 장 전기 자동차의 개요 및 화재 특성

2.1 전기 자동차의 종류

자동차 중에서 특히, 무공해 또는 저공해 기준을 충족하면서 에너지 소비효율이 우수한 차량을 친환경자동차라고 한다. 친환경자동차 중에서도 전기 자동차(EV)는 전기를 동력원으로 움직이는 자동차를 말한다. 흔히 전기 자동차는 배출가스의 절감 또는 연비의 절감 등을 목적으로 고전원의 전기를 사용한다. 그 종류로는 전기모터와 내연기관을 동시에 사용하는 엔진이 둘 이상인 하이브리드 자동차(HEV), 기본적으로 전기모터로 움직이지만 큰 동력이 필요할 때에는 내연기관을 이용하고 외부에서 배터리 충전이 가능한 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 순수하게 전기모터로만 동력을 얻는 전기 자동차(EV), 그리고 전기 자동차와 마찬가지로 전기모터의 힘으로만 움직이지만, 전기에너지를 연료전지로부터 얻는 수소연료 전기 자동차(FCEV)가 있다.

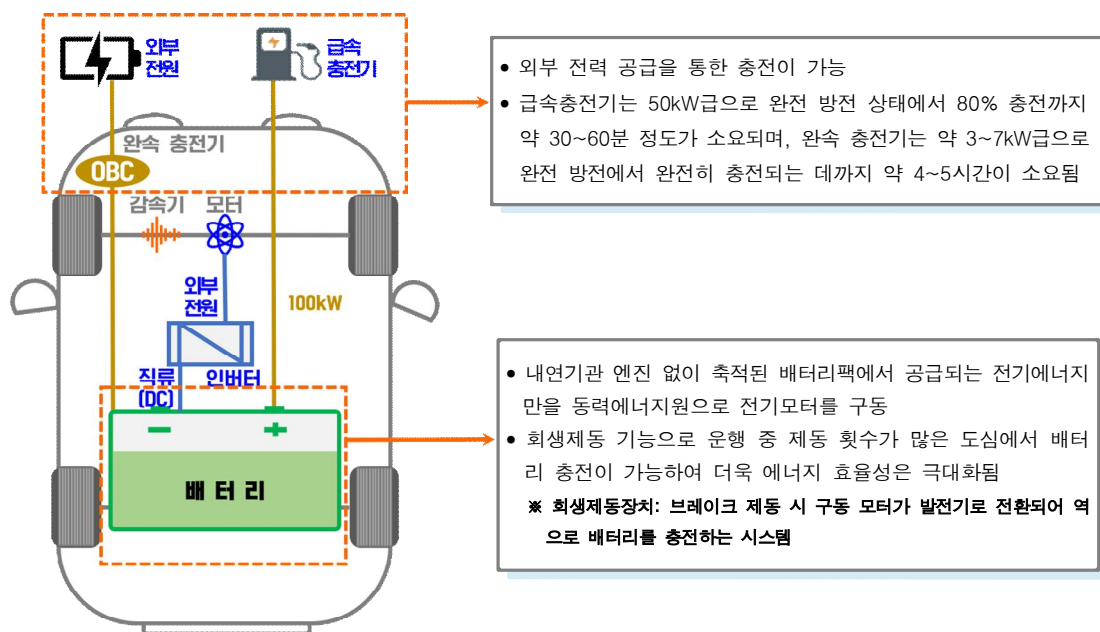
2.1.1 전기 자동차

전기 자동차(Electric Vehicles, EV)라 함은 전기에너지를 동력으로 하는 자동차로, 구동 에너지가 화석연료의 연소로부터 얻어지는 것이 아닌 배터리에 저장된 전기에너지로 구동 모터를 회전시켜서 동력에너지를 얻어 움직이는 자동차를 말한다.

전기 자동차는 일반적으로 하이브리드와 수소연료 전지 자동차를 포함하여 설명하기도 하지만, 여기에서 전기 자동차(EV)는 순수하게 전기에너지만을 동력원으로 하여 움직이는 자동차로, 대용량, 고전압 배터리에서 전기에너지를 모터로 공급하여 전기에너지를 운동에너지로 변환해서 구동력을 발생시키는 차량이다. 이러한 방식은 내연기관을 가동하지 않기 때문에 환경을 오염시키

는 배기가스 배출은 물론이고 소음마저 거의 없다. 1873년에 제작된 전기 자동차는 화석연료를 사용하는 내연기관 자동차보다 먼저 제작되었다. 하지만 배터리의 무거운 중량 및 장시간 걸리는 충전 문제 때문에 실용화되지 못했다.

최근 환경오염과 자원부족 문제가 심각히 대두되던 20세기 말부터 전세계 주요 메이저 자동차업체들은 배터리 경량화의 개발 경쟁을 치열하게 전개하고 있다. 전기 자동차는 주행 시 화석연료를 사용하는 내연기관이 없어 더 이상 이산화탄소(CO₂)는 물론이고 질소산화물(NO_x)도 배출하지 않는 등 친환경적일 뿐만 아니라, 전기모터로만 구동하면 운행비용이 적게 들어 경제적이기도 하다. 또한 내연기관이 없어 교통사고 시 충돌로 인한 폭발의 위험성도 적고 차량의 수명도 상대적으로 길다. 게다가 에너지원으로 배터리 충전은 심야 전력으로 자택에서도 가능하고 운전 조작도 모터의 회전비만 조절해 주면 되기 때문에 간편하다.



<그림 2-1> 전기 자동차의 구조(출처: 환경부)

최초 상용 전기 자동차 1호가 출시된 후, 포드 레인저, 토요다 RAV4 및 혼다 EV Plus 등이 있었으나 배터리의 용량은 크고 무게도 많이 나가고, 충전에 장시간의 시간이 소모되며 최장 주행거리도 짧아 실용성에 있어 한계를 노출했다. 이에 배터리는 점점 더 콤팩트해져 갔고, 충전용 보조 엔진을 달아 충전한 배터리로 구동하는 '하이브리드 자동차(HEV)'와 '연료전지 자동차(FCV)' 등이 연구·개발되었으며, 미국을 비롯한 여러 선진국에서는 전기 자동차의 실용화를 정착시키기 위하여 정부 차원의 대규모 투자를 지원하고 강제 보급 정책도 추진하였다.

현재 전기 자동차에 있어 2차 전지와 관련하여 일본이 가장 축적된 기술을 확보한 나라이다. 그 중에서도 미쓰비시 자동차를 2009년 관공서와 법인을 우선 보급 대상으로 지정하여 세계 최초의 전기 자동차인 '아이미브(i-MiEV)'를 출시하였고 이후 2010년 4월부터는 일반인을 대상으로도 판매를 시작하였다. 또한, 닛산자동차의 경우 아이미브보다 경쟁력을 갖춘 2010년부터 세계 최초의 양산형 전기 자동차 '리프(leaf)'를 출시함으로써 본격적인 상용화에 돌입했다.

유럽에서는 BMW와 볼보가 미국에서는 GM에서 소형 전기차를 공개했으며, 우리나라의 경우에는 현대자동차가 2010년 9월 국내 최초의 전기 자동차 '블루온'을 정부조달 방식으로 17대를 생산한 데 이어 2011년 12월에는 현대기아차가 고속전기 자동차 '레이 EV'가 출시하면서 국내에도 상용화가 시작되었다.

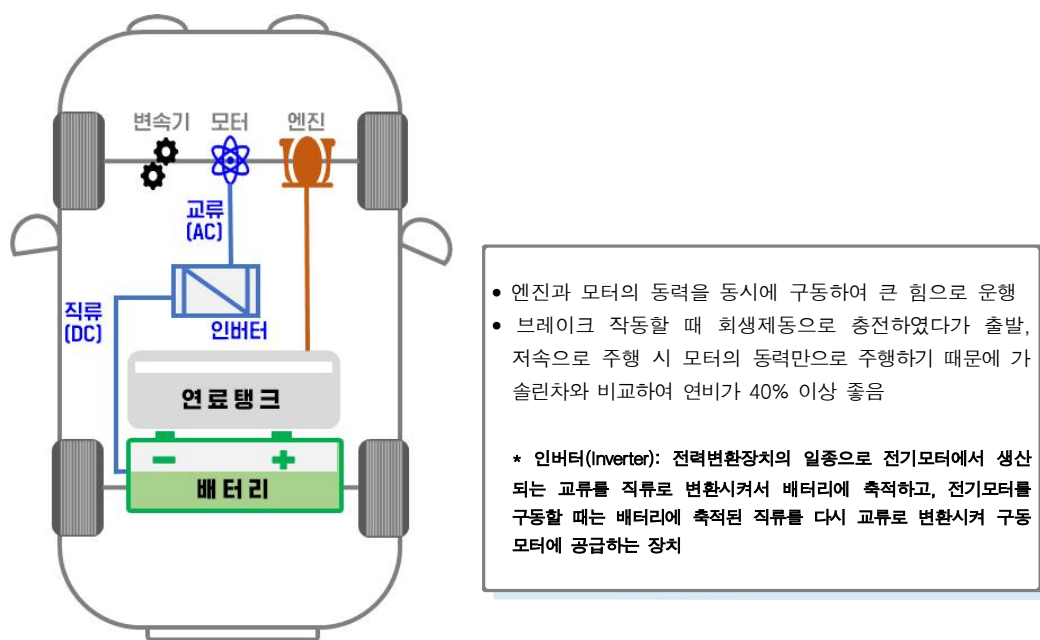
2.1.2 하이브리드 자동차

하이브리드 자동차(Hybrid Electric Vehicles, HEV)는 내연기관과 모터 동력을 조합하여 구동하는 자동차로, 저속 주행 시에는 엔진을 가동하지 않고 배터리를 에너지원으로 하는 모터 동력만으로 구동한다. 이는 기존의 내연기관 자동차와 비교하여 환경오염 배기가스 배출량을 획기적으로 줄인 친환경자동

차에 해당한다.

전기 자동차 구동 모터의 가장 불안한 요소인 배터리 충전방식의 대안으로 하이브리드 자동차가 등장하였으며, 가솔린 또는 디젤엔진과 전기모터, LNG 나 LPG 또는 천연가스와 전기모터 등 두 가지 이상의 구동장치를 탑재하고 있다.

이에 연비 향상의 장점은 물론이고 내연기관의 사용빈도 저하로 환경오염을 줄일 수 있는 방법이 되고 있으며 가장 활성화되고 있는 방식은 가솔린 엔진과 전기모터를 같이 쓰는 방식이 가장 대표적이다. 기존 자동차의 구동 방식은 엔진의 힘이 그대로 변속기에 증폭되어 바퀴 회전력으로 전달하는 방식이지만, 하이브리드자동차는 엔진과 변속기 사이에 구동력을 발휘하는 전기모터와 배터리가 모터를 구동하는 에너지원으로 존재한다.



<그림 2-2> 하이브리드 자동차의 구조(출처: 환경부)

하이브리드 자동차는 내연기관 자동차에 비해 다소 출력은 떨어지지만, 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx) 등 오염물질 배출을 10~15% 정도로 낮출

수 있고, 연비 향상에도 크게 기여하고 있다. 또한, 주행 중에는 회생제동장치가 자체 발전기로 변환되어 배터리에 에너지를 축적하기 때문에 별도의 충전소가 필요 없다는 장점이 있다.

세계 최초로 생산된 하이브리드 자동차는 「1997년 도쿄 모터쇼」에서 일본에서 선보인 도요타자동차의 ‘프리우스(Prius)’이다. 우리나라에서는 2009년에 현대자동차에서 최초의 국산 하이브리드 자동차를 출시했으며, 현대·기아자동차는 병렬형 하이브리드 시스템을 독자적으로 개발하여 쏘나타와 K5에 각각 적용하여 출시한 바 있다.

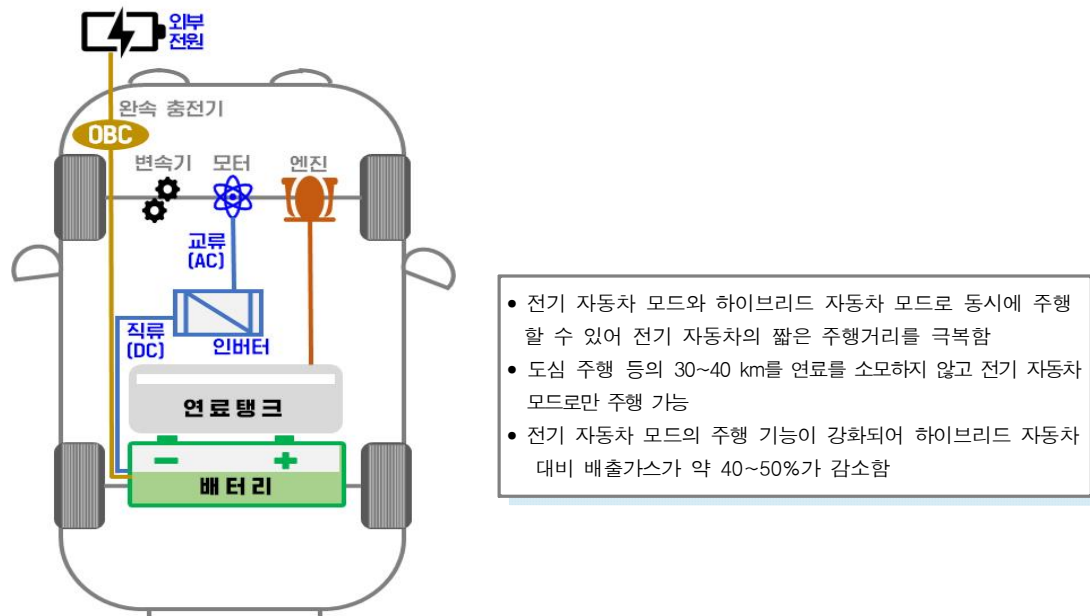
2.1.3 플러그인 하이브리드 자동차

플러그인 하이브리드 자동차(Plug-in Hybrid Electric Vehicles, PHEV)는 하이브리드 전기 자동차의 일종으로 엔진과 구동 모터를 모두 장착한 자동차이지만 하이브리드 자동차보다 고전압 배터리의 용량이 더 크고, 필요 시 외부전원을 연결하여 배터리를 충전할 수 있도록 시스템도 갖추고 있다는 점이 다르다. 배터리의 용량을 고전압으로 늘려 전기에너지로만 주행할 수 있는 거리가 하이브리드 자동차보다 긴 구간을 모터만으로 주행할 수 있으므로 자동차를 운행하는 운전방식에 따라 배기가스 배출을 더욱 줄일 수 있어 좀 더 친환경성을 높인 자동차라고 할 수 있다.

하이브리드 자동차가 순수 전기 자동차와 환경적인 면에서는 비교할 바가 아니지만, 기존 내연기관 자동차보다는 환경오염을 획기적으로 줄여주고 소비자의 입장에서 연비 향상이라는 목적에서는 상당 부분 부합한다고 할 수 있다.

플러그인 하이브리드 자동차는 일반 하이브리드 자동차보다 연비 향상의 목적에서 소비자에게는 더 인기가 좋을 수 있으나 아쉽게도 국내에서는 플러그인 하이브리드 자동차는 전량 수출용으로 생산하기 때문에 국산 자동차를 보

기에는 어렵다. 다만 수입 자동차 중에서는 일본 토요타를 비롯하여 미국의 크라이슬러에서도 출시하고 있다. 유럽에서는 벤츠와 BMW도 계속 새로운 모델을 내놓고 있다.



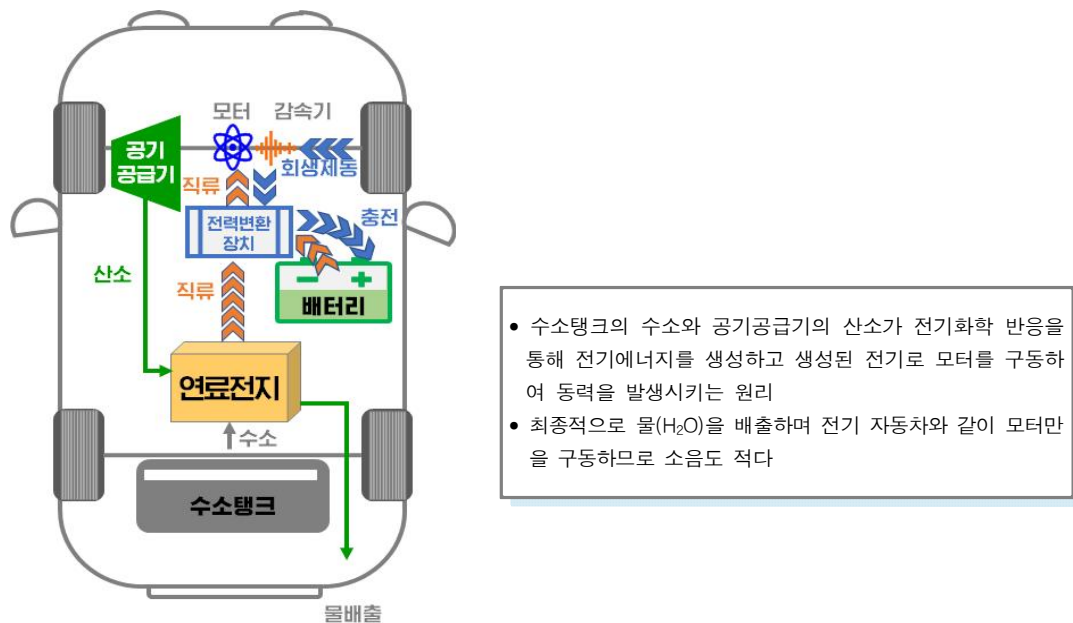
<그림 2-3> 플러그인 하이브리드 자동차의 구조(출처: 환경부)

배터리를 완전히 충전한 후 출발하면 최초 40km/h 전후까지 배터리 전원의 힘만으로 움직이는 전기 자동차 모드로 주행하고 그 이후에는 하이브리드 자동차 모드로 주행하면서 배터리 충전량을 일정 수준으로 유지한다. 전기 자동차의 약점이라 할 수 있는 충전소 문제를 해결하기 위해 개발된 전기 자동차와 하이브리드 자동차의 혼합형태이다.

2.1.4 수소연료 전지 자동차

수소연료 전지 자동차(Fuel Cell Electric Vehicles, FCEV)는 수소자동차의 한 형태이다. 가솔린 등이 내연기관을 사용하는 대신에 수소와 산소의 반응으로 발생한 전기에너지를 이용해 모터를 구동하는 방식으로 움직이는 친환경자

동차의 일종이다. 연료전지를 동력원으로 하는 자동차로, 내연기관이 없기 때문에 환경오염 물질이나 배기가스를 배출하지 않는다. 수소연료 전지 자동차에는 연료전지 스택, 모터, 배터리와 수소탱크 등이 <그림 2-4>와 같이 탑재돼 있다.



<그림 2-4> 수소연료 전지 자동차의 구조(출처: 환경부)

기존의 가솔린 등을 사용하는 내연기관 대신에 연료전지(수소와 산소를 반응시켜 화학작용으로 발생하는 전기)를 이용하는 친환경자동차를 말한다. 여기에서 친환경자동차라고 하는 것은 수소와 산소가 결합하여 전기에너지를 만들고 최종 부산물로는 이산화탄소(CO₂) 등의 탄화수소물이 아닌 순수하게 H₂O(물)만 배출되기 때문이다.

수소연료 전지 자동차는 수소의 공급방식에 따라 두 가지로 구분하는데, 이 방식은 1) 액체수소탱크 또는 압축수소탱크를 이용하여 수소를 공급하는 방식과 2) 메탄올을 분해하여 수소를 공급하는 직접 메탄올형 연료전지방식이 있다.

1) 액체수소탱크 또는 압축수소탱크를 이용한 수소 공급

액체수소탱크 또는 압축수소탱크를 이용하여 수소를 공급하는 방식으로 자

동차 운행으로 발생하는 것은 물 이외에는 어떠한 것도 없는 완전 무공해이다. 다만 수소탱크 탑재로 인한 차량의 부피가 커지고, 수소의 불안정성, 수소 공급 인프라 부족 등이 단점이다.

2) 직접 메탄올형 연료전지 방식

메탄올을 분해하여 수소를 만들어 직접 수소를 공급하는 방식으로 메탄올이 분해될 때 일산화탄소(CO), 질소산화물(NOx) 등이 발생하기는 하지만, 기존 화석연료 자동차보다 현저하게 감소한 수치이다. 이 방식은 기존 연료공급 인프라의 이용이 가능하다는 장점이 있다.

수소연료 전지 자동차의 작동원리는 <그림 2-4>에 나타내었듯이, 수소연료 전지 자동차의 핵심인 전기 발생은 수소와 외부 공기의 산소가 촉매를 통해 반응하여 생성되는 전기에너지로 모터를 구동시킨다. 즉, 물을 전기분해하면 양극에서는 산소가 생성되고 음극에서는 수소가 발생하는데, 이것을 반대로 하여 수소를 이용해서 물을 만드는 과정에서 열과 함께 전기에너지가 생성된다.

2.2 전기 자동차의 구성요소

지금까지의 자동차는 2만여 개 이상의 부품과 복잡한 구조로 이루어져 있었지만 전기 자동차는 2차 전지와 모터로 움직이게 되어 변속기가 없어지는 등 구조가 비교적 간단해지고 이전까지의 내연기관과 비교하여 부품 개수가 3분의 1로 줄어들게 되었다.

자동차의 동력장치에서 생산한 동력을 바퀴에 전달하는 일련의 과정을 파워트레인이라고 한다. 전기 자동차에서 파워트레인[4]은 내연기관차와 다르게 동력을 만드는 모터와 발전기의 에너지 방향을 바꾸어 사용하는 회생제동장치 그리고 전기에너지를 저장하는 배터리팩이 포함된다. 전기 자동차와 내연기관 자동차 파워트레인의 가장 큰 차이점은 동력을 만드는 방법에 있다. 내연기관 자동차는 엔진이 동력을 만든다면, 전기 자동차의 동력은 모터가 만든다. 동력

을 전달하는 방식도 내연기관차와 전기 자동차의 그것과는 사뭇 다르다. 전기 자동차가 내연기관차보다 동력을 만들고 전달하는 방식이 훨씬 간단하다.

2.2.1 모터

자동차의 동력원은 모터이다. 내연기관 자동차의 심장이 엔진이라면 전기 자동차는 모터가 심장이라고 할 수 있다. 전기 자동차의 핵심부품으로는 스마트폰에도 사용하는 리튬이온 전지를 꼽는 사람도 있지만, 전지와 모터를 얼마나 잘 만드는데 따라 전기 자동차의 주행성능이 달라지기 때문에 전기모터의 역할도 매우 중요하다.

전기 자동차에 사용되는 모터는 교류 모터이다. 전기 자동차의 배터리는 직류 배터리인데 인버터를 사용하면서까지 교류 모터를 사용하는 이유는 직류 모터의 내구성 때문이다. 직류 모터는 구조가 간단하고 토크도 높다. 그렇지만 단점으로 직류 모터의 브러시모터는 마찰로 인하여 수명이 짧아 자주 교체해야 하고 소음도 크고 안정성과 내구성을 중요시하는 전기 자동차에는 적합하지 않다.

이에 비해 교류 모터는 브러시가 없어서 주기적인 보수도 사실상 필요 없는 데다 내구성도 자동차의 수명보다 오래간다. 또한, 직류 모터는 전류에 비례하여 토크나 RPM을 조절할 수 있으므로 제어 방식 구현이 간단하고 원가도 저렴하다. 그에 비해 교류 모터는 직류 모터보다 제어 방식이 복잡하기는 하지만, 제어 기술의 발달로 기술적 완성도가 높고, 일반 직류 모터보다 발열 문제가 적고 무엇보다 수명이 길다는 것도 장점이다.

2.2.2 전지

배터리는 전기 자동차에 들어가는 2차 전지(Battery)를 구성하는 가장 핵심적인 부품으로 소비자가 전기 자동차의 차종을 선택하는 기준이 되고 있다.

현재, 재충전이 가능한 2차 전지의 일종인 리튬이온 전지는 가장 효율적인 전지로 인식되고 있으며 세계적으로 전지 시장의 대부분을 차지하고 있다. 전기 자동차에 들어가는 전지는 크게 원통형과 각형 그리고 파우치형으로 구분된다. 일반적으로 원통형과 각형으로 제조되는 것이 리튬이온 전지이다. 파우치형은 리튬이온 폴리머 전지이며 폴리머는 안정성과 에너지 효율성 면에서 리튬이온보다 활용성이 높은 것으로 알려져 있다. 전기 자동차용 전지 방식에 따라 장단점을 살펴보면 원통형 전지는 원통의 한계상 경량화가 어렵고 이로 인한 냉각 방식의 한계로 열에 의한 성능 저하가 빨라 전지의 수명이 짧은 단점이 있다. 파우치형은 같은 용량으로 비교해서 무게가 가볍고 표면적이 넓어 열 발산이 용이해서 냉각 방식이 편리하고 원통형 전지에 비해 수명이 길다는 장점이 있다.

지금까지 전기 자동차에 가장 많이 사용하는 배터리는 2차 전지가 사용되고 있다. 배터리는 1차 전지와 2차 전지로 나누어지는데 이중 1차 전지는 일상생활에서 흔히 사용하는 건전지 같은 일회용 배터리를 말하고 2차 전지는 충전이 가능하여 여러 번 반복해서 사용이 가능한 전지를 말하는데 그 종류로는 납축전지, 니켈카드뮴(Ni-Cd)전지, 니켈수소(Ni-MH) 전지, 리튬이온 전지, 리튬폴리머 전지 등이 있으며 리튬폴리머 전지는 전해질이 고체 또는 젤 형태로 만들어지기 때문에 혹시 발생할 수도 있는 사고로 전지가 파손되어도 전해질이 밖으로 새어 나가질 않아 폭발이나 발화할 우려가 거의 없어 안정성이 확보된다.

2.2.3 회생제동장치

회생제동장치(Regenerative Braking System)는 브레이크를 통해 마찰로 소모되는 운동에너지를 전기에너지로 재충전해 주행거리를 늘리면서 회전 속도를 줄이는 시스템이다. 회생제동시스템은 달리고 있던 차량이 속도를 줄일 때 발생하는 마찰 운동에너지를 바퀴에 달린 발전기에서 전기에너지로 변환해서

전력을 회수하면서 제동력을 걸 수 있는 방법을 말한다.

전기모터 동력장치를 사용하는 전기 자동차에서는 브레이크 작동 시 구동 모터를 역으로 발전기로 사용이 가능하도록 하여 자동차가 감속할 때 잃어버리는 마찰 운동에너지를 전기에너지로 변환하고 이렇게 바뀐 전기에너지를 자동차의 배터리팩에 저장하는 회생제동의 원리를 이용한다.

전기모터는 자기장 속에서 전류가 흐를 때 발생하는 전력을 이용해 전기에너지를 회전운동 에너지로 변환시키는 장치이다. 전기가 사용되지 않는 회생제동 구간에서는 전기모터의 반대기능인 발전기 형태로 작동된다. 제동할 때 회전마찰을 제동력으로 이용하고 남은 회전 운동에너지를 전기에너지로 변환해 에너지를 회수하게 된다. 자동차는 도로를 달릴 때 가속과 감속을 하기 때문에 운동에너지가, 경사로가 있는 언덕을 오를 때에는 위치에너지의 변동이 발생한다. 브레이크를 밟으면 구동 모터가 발전기로 전환되어 반대로 배터리가 충전됨으로써 특히 제동 횟수가 많은 도심일수록 주행 효율성을 높여준다.

2.3 내연기관 자동차와 전기 자동차의 화재 위험성 비교

전기 자동차와 기존 내연기관 자동차를 비교하여 화재의 위험성 및 화재 진압 면에서 살펴보고자 한다. 우선 내연기관 자동차는 그동안의 화재사례에서 보면 크게 다음의 세 가지에서 화재의 위험성을 갖고 있다.

첫 번째는 위험물(연료)을 항상 적재하고 있다는 것이다. 내연기관에 따라 다르겠지만 휘발유를 연료로 하는 승용차의 연료 잔량이 평균 20리터라고 했을 때, 단순 계산에 의하더라도 주차장에 승용차 10대 이상만 있어도 지정 수량이 초과하는 것이다. 대부분의 건물에서 주차 규모가 20대 이상이므로 지정 수량 2배를 초과한다는 뜻이다.

두 번째는 전기적인 결함에 의해 차량 화재가 자주 발생한다는 것이다. 화재조사서를 기본으로 전기적인 결함을 확인해보면 노후화 또는 불법 용량초과

설치가 있다는 것을 알 수 있다. 노후화된 차량에서의 전기적 요인이나 비교적 신차라고 하더라도 소비자의 자발적인 불법 용량 초과설치를 쉽게 발견할 수 있다.

세 번째는 기계적인 요인에 의해 화재가 발생한다. 내연기관 자동차에서 발생하는 누유로 인하여 화재의 원인이 되고, 운행에 따른 기계적인 과열로 화재 원인의 부싯돌이 되기도 한다. 이러한 기계적인 요인도 노후화 차량에서 많이 보이기는 하지만 신차라고 해서 발생이 되지 않는 것은 아니다.

전기 자동차의 위험성은 내연기관 자동차와 비교해 볼 때, 첫 번째를 제외하고는 같은 위험성을 내포하고 있다. 하지만 내연기관 자동차처럼 연료가 없는 대신에 전기 자동차의 리튬이온배터리는 에너지 밀도가 높고 발화하기 쉬워 더욱 큰 위험성을 가지고 있다.

특히 배터리 화재는 발열이 되기 시작하면 쉽게 진압되지 않는 특성이 있다. 그러므로 전기 자동차가 운행 도중 충돌로 인한 폭발의 위험성과 차량 화재로 인한 배터리 열 폭주 현상이 발생하였다면 더욱 위험하다. 열 폭주 현상의 원인으로는 과충전, 과방전, 과열, 외부의 충격 등이 알려져 있다. 지금까지는 전기 자동차 배터리팩의 열 폭주 현상이 발생되면 화재 성상은 장시간이 소요되는 것으로 나타났다.

또한, 전기 자동차는 배터리 자체의 위험성도 있지만, 충전시설에서 충전 도중에 발생하는 리튬이온배터리의 고열 현상으로 인하여 차량에 연소가 발생하는 위험성도 배제할 수 없다.

2.4 전기 자동차 화재의 특성

전기 자동차의 종류 중에서 하이브리드 자동차의 내연기관에서의 화재를 제외하고 순수한 전기 자동차의 화재의 특성을 살펴보기로 한다. 전기 자동차는 전기적 요인에 의한 화재 발생 비율이 상대적으로 높다. 기계적인 원인뿐만

아니라 고전압 배터리 부분 이상에 의한 화재 후 차량의 일부 폭발까지 이어질 가능성도 존재하고 화재 진압 후 또는 사고 후에도 일정한 시간이 지난 이후에 화재가 발생할 가능성에도 주의를 기울여야 한다.

2.4.1 국내 전기 자동차 화재 발생 및 피해 현황

소방청 자료에 따르면 우리나라에서 발생한 전기 자동차 화재 발생 건수는 총 62건으로 매년 급상승하고 있다. 이는 전기 자동차의 보급 대수에 따라 증가하는 당연한 결과일 수도 있다. 지난 5년간 화재 발생 건수와 재산 피해액을 비교해 보면 재산 피해액이 훨씬 더 가파르게 증가한 것도 주의 깊게 살펴야 할 것이다.

2022년 6월 말 기준으로 우리나라 자동차 등록 대수[4]는 25,215,692대로 이 중에서 전기 자동차의 등록 대수는 194,927대로서 매년 30% 전후의 증가율을 보이고 있다.

자동차 등록 대수 기준 화재 발생 비율은 내연기관 자동차가 전기 자동차보다 2배 높은 것으로 나타났지만, 전기 자동차의 화재 발생 장소가 충전 중 또는 주차 중에 발생한 비율이 36%가 되었다. 우리나라 자동차 화재 발생 건수 대비 전기 자동차의 화재 발생 건수는 <표 2-1>과 같다[5].

<표 2-1> 최근 전기 자동차의 화재 발생 건수

년도	전기 자동차		자동차(전체)
	화재 발생 건수	재산피해액	자동차 화재발생건수
2017	1	55	3,993
2018	3	13,145	4,094
2019	7	270,029	3,773
2020	11	360,740	3,704
2021	23	867,634	3,653
2022. 6	17	429,523	1,842

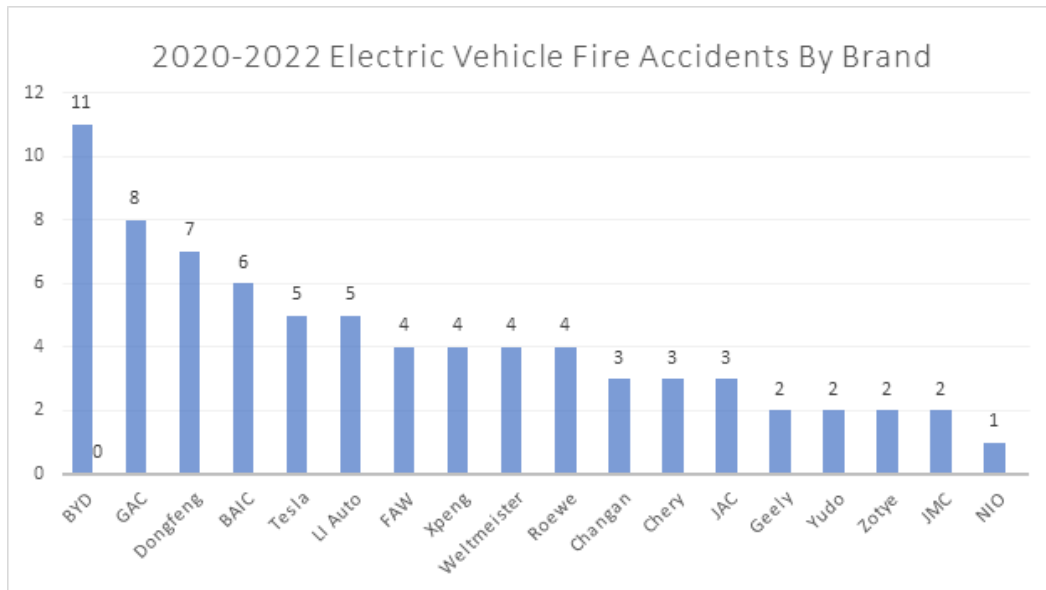
<표 2-2>에는 우리나라 최근 전기 자동차의 발화요인별 화재 현황을 나타내었다. 전기적 요인이 원인 미상을 제외하고는 가장 높은 비율(24%)을 차지하는 것을 알 수 있다.[5]

<표 2-2> 최근 전기 자동차의 발화요인별 화재 현황

구분	계	2017	2018	2019	2020	2021	'22. 6.
계	62	1	3	7	11	23	17
전기적 요인	15	1	1	2	0	6	5
기계적 요인	4	0	0	2	2	0	0
화학적 요인	3	0	1	0	0	2	0
부주의	12	0	1	0	0	6	5
교통사고	8	0	0	2	4	2	0
미상	18	0	0	1	5	5	7
기타	2	0	0	0	0	2	0

2.4.2 국외 전기 자동차 화재 사례

해외 언론에 따르면, 세계에서 가장 많은 전기 자동차를 판매하고 있는 중국에서 발생하고 있는 전기 자동차 화재 사고에서 대표적인 브랜드인 BYD가 가장 많은 숫자를 차지하고 있다[6]. 그러나 다른 브랜드들도 2022년 중국 전기 자동차 화재 통계에 한 부분을 차지하고 있는 것을 알 수 있다(<그림 2-5> 참조).



<그림 2-5> 중국 전기 자동차 화재 사고 언론보도[출처: Sohu]

중국 언론은 지난 2년 동안에 전기 자동차의 화재 건수는 86건에 불과하다고 보도했으며 이는 주당 평균 1건의 사고라고 할 수 있다. 그러나 최근 중국 비상관리부에서 발표한 자료에 의하면 2022년 1분기 전기 자동차 화재 발생 건수는 640건이며 이는 전년 대비 32%가 증가한 수치로 하루 평균 7건 이상의 화재가 발생하였다고 한다. 중국 언론에서 보고된 86건의 화재 사고를 유형별로 구분하면 다음의 4가지로 구분할 수 있다.

- 1) 주차 중 화재
- 2) 충전 중 화재
- 3) 운전 중 화재
- 4) 충돌 후 화재

이 4가지의 유형별 화재 사고를 세분화하면 원인불명의 사고 7건을 제외하면 주차 중 31건, 충전(충전구역 또는 충전시설에서의 화재 포함) 중 22건, 주행 중 20건, 충돌사고 후 6건이 발생하였다. 중국 언론에 따르면 화재 사고의 38.5%는 정전기가 발생한 상태에서 발생했으며 충전상태에서의 화재 사고도 27.5%가 발생하였다고 밝혔다.

1) 중국 동관시 충전 중 화재

2020년 5월 8일 14시 23분경 중국 동관시의 한 충전소에서 충전 중이던 차량에서 화재가 발생하여 약 30m² 규모로 차량 5대가 피해를 보았고 이 중 4대가 심하게 불에 탔으나 인명피해는 없었다(<그림 2-6> 참조).

해당 차량은 소형 승용 차량으로서 충전 중에 차량의 하부에서 소리와 함께 연기가 발생하였으며 특히, 굉음이 나면서 배터리가 폭발하는 것을 알 수 있다. 소방대에서는 8대의 소방차와 40여 명의 소방관이 출동하여 화재를 진압하였다.

이 화재로 중국에서는 48개의 충전소를 폐쇄하고 원인조사와 자체점검 및 시정 요구사항 제시 등 대책을 마련하였다. 관계기관의 조사에 따르면 충전소에서 요구되는 변압기의 용량을 초과하여 사용한 것이 발견되었다고 한다.



<그림 2-6> 중국 동관시 충전시설에서의 충전 중 화재

2) 미국 버지니아 주 차고 내 화재

2021년 5월 6일 미국 버지니아 주 애쉬번의 한 주택 차고에서 화재가 발생

하여 성인 5명과 어린이 2명이 대피하였으며 1억 원의 차량 피해를 포함하여 약 3억 원의 재산피해가 났다고 밝혔다(<그림 2-7> 참조).

이 차량은 GM 쉐보레 Bolt의 전기 차량으로 정확한 모델 연도는 밝혀지고 있지 않다. 다만, 쉐보레에서는 “완전히 충전되거나 거의 가득 차면 화재의 위험이 있을 수 있다”라며, 2017~2019년식 쉐보레 볼트 EV 특정 차량에 자동차 안전과 관련된 결함이 존재한다고 밝혔다.

이 사건 이후로 GM은 2021년 11월에 전 세계적으로 거의 69,000대의 볼트에 대한 리콜을 발표했으며, 미국 안전 규제 기관은 리콜 수리가 완료될 때까지 차량을 야외에 주차해야 한다고 하였다.



<그림 2-7> 미국 버지니아 주 차고 내 화재

2.4.3 국내 전기 자동차 충전 중 화재 사례

최근 전기 자동차의 수입 차량도 증가하고 국내 생산 전기 자동차의 보급량이 날로 늘어만 가는 시점에 화재 사고 또한 가파르게 증가하고 있다. 전기 자동차의 화재는 다양한 곳에서 발생하지만 본 연구에서는 충전시설 또는 주

차된 상태에서의 화재 발생 건에 대해서만 살펴보려고 한다.

우선 부천시에서 발생한 현대 코나EV 화재는 충전 중에 발생한 화재는 아니지만, 주차 중에 고압 배터리팩 내부 이상에 의하여 착화 발화된 화재임을 알 수 있다. 그 외의 사례들은 충전 중 또는 충전 후에 미상의 원인에 의하여 열 폭주가 발생하여 주변 차량 등으로 피해를 확산시킨 사례이다.

1) 경기도 부천시 코나EV 화재

가. 일시: 2019. 8. 9. 22:18 ~ 00:25

나. 장소: 경기도 부천시 석천로41번길 18 주택 앞

다. 재산 피해: 56,760천원(부동산 피해 없음, 동산 56,760천원)

라. 화재 개요: 상기 주택 앞에 2일간 주차된 상태에서 평 소리와 함께 차량 하단에서 불꽃이 뿜어져 나오면서 차량 하단의 고압 배터리팩에 국한되어 발생하여 고압 배터리팩 내부 이상에 의하여 착화, 발화된 화재이다.

마. 화재 차량 상태 및 화재 사진: 부천소방서에서는 화재 발생 신고접수 즉시 30여 명의 소방대원이 현장에 출동하였다. 도착 시 차량의 상태는 다행히 차량 전체로 연소 확대되지는 않았으나, 차량 뒷좌석의 아랫부분에서는 시커먼 연기와 함께 화염이 보이는 상태였다(<그림 2-8> 참조). 소방대원들은 즉시 초기 화염 상태는 진화를 마쳤지만, 배터리 부분에서 끊임없이 열이 발생하였다. 대원들은 소방호스를 통해 배터리에 직접 방수하였고, 화재 발생 2시간이 지난 00:25분경 화재 진압을 마무리할 수 있었다(<그림 2-9> 참조).



<그림 2-8> 경기도 부천시 코나EV 화재 차량 상태

상기 화재는 충전시설에서의 화재는 아니지만, 주차 중에 배터리팩에서의 내부 이상으로 화재가 발생하였다는 점에서 지하 주차장 충전구역의 화재 발생 패턴과 유사한 사례로서, 대응방안의 시점에서 동일하게 다루어야 할 사례이기에 예로 들었다.



<그림 2-9> 경기도 부천시 코나EV 화재 진압 장면

2) 경기도 안산시 코나EV 화재

가. 일시: 2020. 4. 2. 00:47 ~ 00:54

나. 장소: 안산시 상록구 본오동 874-7 공영주차장 전기차 충전기 앞

다. 재산 피해: 33,284천원(부동산 피해 없음, 동산 33,284천원)

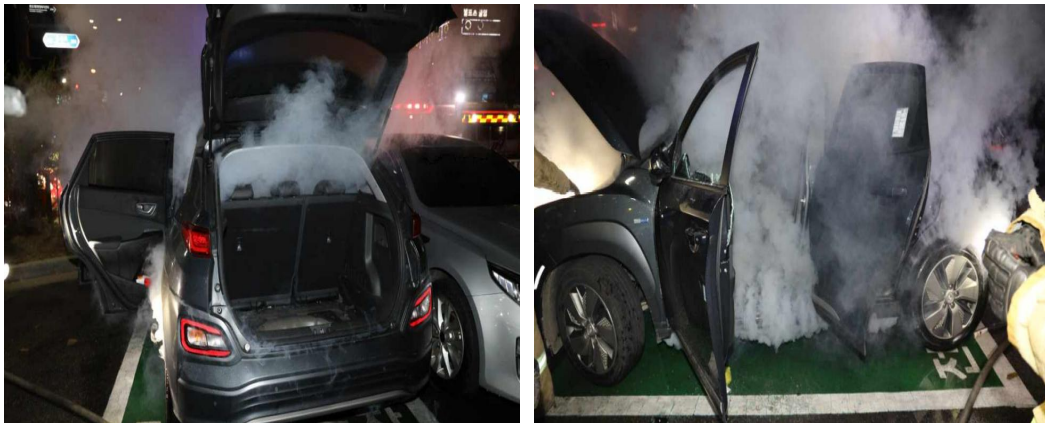
라. 화재 개요: 상기 충전기에서 충전이 완료되고 약 64분이 경과 후 차량의 하부 고압 배터리 부분에서 다량의 연기가 발생하고 고전압 배터리 결함체 상단케이스와 장착볼트의 단락 흔적과 배터리팩의 연소가 발생한 화재이다.

마. 주차장 차량 위치도 및 화재 사진: 안산소방서에서는 화재현장 주변에 있던 행인의 신고접수 즉시 소방차량 7대와 21명의 소방대원이 현장에 출동하였다(<그림 2-10> 참조). 도착 시 차량의 뒷부분에서 많은 양의 연기가 올라오고 있었으며, 연기가 앞좌석 쪽으로 향하고 있었다. 소방대원들은 충전 중이던 차량의 충전케이블 제거 후에 차량 뒷좌석 시트를 들어 올려서 메인 전원 차단장치를 제거하고 상당 시간 배터리팩의 냉각 조치 후에 화재를 마무리 하였다(<그림 2-11> 참조).



<그림 2-10> 경기도 안산시 코나EV 화재 차량 위치도

상기 화재는 지상 주차장에서의 전기 자동차 화재로 충전이 완료되고 난 후에 배터리팩의 이상 발생으로 화재가 발생한 전형적인 충전구역에서의 화재사례이다. 화재 발생시간으로 추정하지만, 충전시설이 지하에 설치되어 있었다면 연소확대로 인한 대형 피해사례가 되었을 것이다.



<그림 2-11> 경기도 안산시 코나EV 화재 진압 장면

3) 부산시 동래구 Danigo EV Van 화재

가. 일시: 2022. 2. 8. 16:57 ~ 18:16

나. 장소: 부산광역시 동래구 충렬사로 39(안락동) 동래화목타운 주차장

다. 재산 피해: 80,271천원(부동산 1,544천원 동산 78,727천원)

라. 화재 개요: 상기 아파트 101동 뒤편 지상 전기차 충전소 주차장에 주차되어 있던 전기차(Danigo EV Van/2021년 생산) 충전 완료 후 주차된 상태에서 미상의 원인으로 열 폭주 현상이 발생하여 주변 차량으로 연소가 확대된 화재이다.

마. 주차장 차량 위치도 및 화재 사진: 부산시 금정소방서는 목격자가 차량에서 ‘펑’하는 폭발음 소리와 함께 연기와 불꽃을 보고 신고를 접수 즉시 소방차량 22대 및 69명의 소방대원이 현장에 출동하였다(<그림 2-12> 참조). 도착 시에 차량 5대로 연소확대 중으로 폼 방수를 비롯하

여 다량의 소화수로 진압하였다(<그림 2-13> 참조). 소방당국은 주변 차량의 블랙박스 및 아파트 CCTV 영상 분석 결과로 화재는 차량 하부에서 불꽃이 최초 목격된 후 좌우로 화염이 빠르게 전파되는 배터리 열폭주 모습과 운전석 방향 배터리 덮개 일부가 개방된 상태로 관찰되는 점으로 보아 차량 하부 배터리팩이 최초 발화지점으로 추정하고 있다.



<그림 2-12> 부산시 동래구 Danigo EV 화재 차량 위치도

상기 화재는 충전구역에서의 화재는 아니지만, 전기 자동차 충전이 완료된 후에 발생한 사례로서 배터리팩의 화재는 폭발과 연소가 동시에 발생하여 주변 차량으로 연소 확대될 수 있음을 보여주는 사례로서 다행히 화재 사고 시 인명피해가 발생하지 않았다.



<그림 2-13> 부산시 동래구 Danigo EV 화재 발화 및 완전 후 모습

4) 제주도 서귀포시 아이오닉 EV 화재

가. 일시: 2022. 8. 8. 05:01 ~ 09:08

나. 장소: 제주 서귀포시 토평동 주택 앞

다. 재산 피해: 23,970천원(부동산 피해 없음, 동산 23,970천원)

라. 화재 개요: 상기 주택에서 2019년식 아이오닉 차량을 오후 10시경부터 충전을 하던 중 충전이 종료되기 전에 ‘쉬잉’소리와 함께 연기가 발생하여 배터리 모듈이 집중적으로 불에 타서 없어지고 배터리팩 연결 부분에서 화재흔이 발생한 화재임.

마. 차량 위치도 및 화재 사진: 제주도 소방안전본부에서는 배터리 모듈이 집중적으로 전소되고, 트렁크 내 배터리팩 연결 부분에서 화재 흔적이 감식된 점으로 보아 차량 배터리에서 최초 발화가 시작된 것으로 보인다(<그림 2-14> 참조). 자동차 전문가들도 배터리 셀 중 하나라도 과충전이 되어 고열이 발생한다면 그 열로 인해 다른 인접한 셀로 온도가 옮겨 가며 화재로 이어질 수 있다는 의견을 제시하고 있다.



<그림 2-14> 제주도 서귀포시 아이오닉 EV 화재 차량 위치도

<그림 2-15>의 화재진압 모습에서도 볼 수 있듯이, 상기 화재 사고는 전형적인 충전 중 배터리팩에 고열이 발생하면서 화재로 이어진 전형적인 위험사례이다. 이 사고 또한 지상에 단독 주차하여 재산피해가 크게 발생하지 않았을 뿐, 지하 주차장의 충전구역 위험성을 경고하기에 충분한 사고이다.



<그림 2-15> 제주도 서귀포시 아이오닉 EV 화재 진압 모습

2.4.4 전기 자동차 화재 사례로 본 위험 특성

2017년 이후 소방청 통계자료에 의하면 전기 자동차의 화재 발생률은 내연기관 자동차의 화재와 비교하여 특별하게 높거나 하지는 않다. 그러나 전기 자동차에 화재가 발생하면 내연기관 자동차의 화재 성상과 다른 특성을 보이는 점이 몇 가지 있다. 본 장에서는 전기 자동차의 연료로서 장착된 배터리팩 화재에서 나타나는 위험특성을 강조하고자 한다.

2011년 미국 도로교통안전공단에서 Chevrolet volt 전기 자동차의 배터리 충격에 의한 발화 실험을 한 바 있다[7]. 쉘보레 볼트 전기 자동차의 측면을 충격하여 발화하였으며, 발화된 차량으로 인한 연쇄발화 가능성까지도 실험하기 위하여 5대의 차량을 1열로 1미터 간격으로 고정시키고 실험하였다. 이 실험으로 차량은 충격에 의하여 배터리에 착화되었고 배터리의 발화로 인하여 열폭주 현상과 고열의 발생으로 주변 차량에까지 복사열 및 인화열에 인한 연쇄반응이 나타났다.

이 실험에서 지하 주차장에 설치된 충전시설에서의 또는 충전 전·후 발생하는 전기 자동차 화재로 인한 복사열의 확산은 소방의 측면에서 보았을 때 초기화재 진화가 이루어지지 않는다면 지하 주차장에 유독가스와 높은 화염온도로 인하여 접근이 쉽지 않고 화재 진화가 어렵고 장시간 지속될 수 있다는 점을 시사한 결과이다.

제 3 장 전기 자동차 충전시설의 문제점

3.1 전기 자동차 충전시설의 종류 및 특성

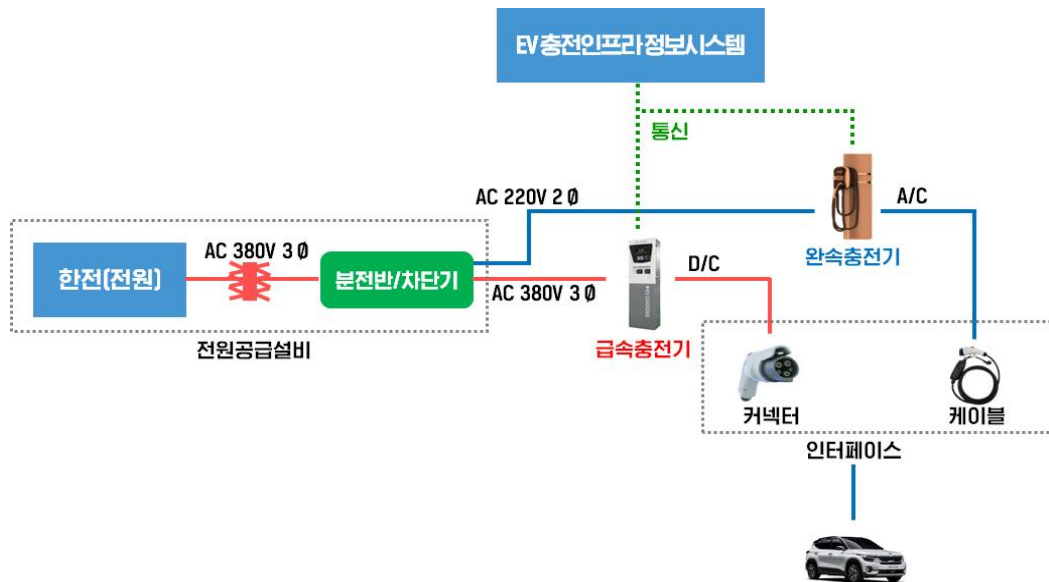
전기 자동차는 환경문제를 해결하기 위한 목적이 분명한, 그렇기에 대중이 쉽게 접할 수 있도록 인프라를 구축해야만 교통수단으로 확실하게 자리매김하고 미래를 위한 환경문제도 자연스럽게 해결할 수 있을 것이다. 본 장에서는 충전 인프라를 위해 발전하고 있는 국내의 충전시설 설치기준으로는 어떠한 것이 있으며 충전시설의 종류는 어떻게 구분되어지는지와 충전시설의 종류를 대략적으로 살펴보고자 한다.

3.1.1 전기 자동차 충전시설의 종류

전기 자동차의 충전기의 종류로는 크게 급속충전방식, 완속충전방식, 배터리 교체방식 및 비접촉충전방식으로 구분될 수 있다. 급속충전기는 고용량의 전력을 공급하여야 하므로 3상 교류 380V를 이용하여 충전하는 방식이며 용량은 50kW 이상으로 완전 방전에서 80% 충전까지 약 30분이 소요되며 휴게소나 공공기관에 설치한다. 최근에는 초급속충전기도 있는데 300kW 또는 350kW로 약 20분 정도의 짧은 시간에 충전할 수 있는 시설도 있다. 완속 충전기는 단상 교류 220V를 이용하여 충전하는 방식이며 6~7kW 기준으로 약 4~5시간 충전시간을 필요로 하며 주택이나 아파트에 설치한다. <그림 3-1>에서 전기 자동차 충전시설의 구성을 개략적으로 나타내었다.

이외에 배터리 교체방식은 과거 휴대폰 배터리 교환하는 방식처럼 전기 자동차 배터리를 충전이 완료된 배터리를 통째로 교체하는 방식으로 중국 전기 자동차 업체 ‘니오’의 교환식 배터리 전략이 대표적이다. 마지막으로 비접촉식 방식은 바닥 면에 자성체와 급전선로를 함께 매설하여 발생하는 자기유도전력

을 이용하여 충전하는 방식으로 현재는 효율 및 출력을 높이기 위해 연구가 진행 중이다.



<그림 3-1> 전기 자동차 충전시설 구성(출처: 환경부)

3.1.2 전기 자동차 충전시설의 특성

국토교통부 통계누리에 따르면 국내의 전기 자동차 등록 현황은 2022년 6월 말 기준으로 등록 대수가 298,633대를 넘어섰으며 2016년 대비 약 30배가 증가한 수치로 크게 성장 중이다. 순수 전기 자동차 외에 하이브리드와 수소전기 자동차의 수를 합하면 1,364,489대를 기록하였다. 이에 따라 전기 자동차 충전시설은 2021년 6월 기준 급속 충전기 총 1만2,000기, 완속충전기 50만기로 매우 적극적인 보급 계획을 추진하고 있다.

전기 자동차는 충전 시 화재가 발생하면 전기차 배터리 등으로 화재가 옮겨가서 열 폭주 현상이 발생하여 매우 중대한 폭발사고가 발생할 가능성이 크다. 그러므로 전기 자동차 충전시설에서의 화재 사고는 초동 대처를 위해 배터리팩의 고열을 방지하는 것이 매우 중요하다. 하지만 충전구역 화재 사고

예방규정이나 소화시설 설치 규정 부재로 긴급 조치할 수 있는 기본적인 소화 시설조차 없는 경우가 대다수로 나타났다.

3.2 전기 자동차 충전소 설치기준

전기 자동차 충전시설은 전력공급설비, 충전기, 인터페이스, 충전정보시스템으로 구성되며 일반적으로 충전시설은 충전기로 국한하여 개념을 사용하고 있다. 본 연구에서는 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률(약칭: 친환경자동차법)」 시행령으로 정하는 전기 자동차 충전소 설치기준과 충전시설의 종류로 완속충전기(시설)와 급속충전기(시설)로 한정하여 기술하였다.

3.2.1 친환경자동차법에서의 전기 자동차 충전시설

친환경자동차법에 따라 공공건물, 공공주택 등의 시설 소유자 또는 관리자는 전기 자동차의 보급현황과 보급 계획·운영현황 및 도로여건 등을 고려해 해당 대상시설에 적합하게 환경친화적 자동차 충전시설을 설치해야 한다[8].

주요 조문을 살펴보면 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제11조의2 제①항에서 환경친화적 자동차 충전시설 및 전용주차구역을 설치하여야 하는 해당 시설을 정하고 있다.

1. 공공건물 및 공중이용시설로서 건축법 시행령에서 용도별 건축물의 종류로 정한 15개 시설을 열거하고 있다.
2. 공동주택으로서 기숙사를 포함한 100세대 이상의 아파트를 해당 시설로 정하고 있다.
3. 지자체장이 설치한 주차장
4. 그 밖에 환경친화적 자동차의 보급을 위하여 설치할 필요가 있는 건물·

시설 및 그 부대시설로 하고 있다.

다음으로 제②항에서는 제 1항에서 정한 시설에 전용주차구역을 설치하고 친환경자동차법 시행령으로 정하는 기준에 따라 해당 전용주차구역에 환경친화적 자동차 충전시설을 갖추어야 한다고 정하고 있다.

연구자 의견 : 대부분의 공공건물을 비롯하여 상기 1호, 3호, 4호는 지상의 안전시설에 충전시설을 설치하고 있다. 그러나 최근의 공동주택은 지상에 차가 다니지 않는 지상 공원형 아파트로서 모든 주차장을 지하에 설치하고 있어 문제의 여지가 있다. 일부 구간을 따로 정하여 지상에 전기 자동차 충전구역을 만드는 것도 안전의 한 방법이 될 수 있다.

「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 제11조의2 제⑤항에서는 제 1항 및 제 2항에 따라 설치하여야 하는 전용주차구역의 설치자 또는 용도 등에 따라서 급속 또는 완속충전기 등 충전시설의 종류가 정해지며 전용주차구역의 규모를 고려하여 설치 수량을 친환경자동차법 시행령으로 정할 수 있도록 하였다.

연구자 의견 : 전기 자동차의 보급량 증가에 따라 충전구역의 범위는 점차 확대되어 갈 것이고 규모 또한 대형화되어 갈 것이므로 일정 범위에서 확대설치를 금해야 하고, 기준 수량 이상일 경우에는 반드시 방화구획 내지는 연소확대 방지시설을 설치하여야 할 것이다.

또한, 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률」 시행령 제8조의 7 제①항에서 환경친화적 자동차 충전시설은 충전기에 연결된 케이블로 전류를 공급하여 전기 자동차 또는 외부충전식 하이브리드 자동차(외부 전기 공급원으로부터 충전되는 전기에너지로 구동 가능한 하이브리드 자동차를 말한다. 이하 같다)의 구동 축전지를 충전하는 시설로서 산업통상자원부 장관이 정하는 고시 기준에 구조 및 성능이 적합한 시설이어야 하며, 그 종류는 다음

각 호와 같다.

1. 급속충전시설: 충전기의 최대 출력값이 40kW 이상인 시설로써 3상 교류 380V를 이용하여 충전하는 방식이다.
2. 완속충전시설: 충전기의 최대 출력값이 40kW 미만인 시설로써 단상 교류 220V를 이용하여 충전하는 방식이다.

다음으로 제②항에서는 법 제11조의2 제2항에 따라 설치해야 하는 환경친화적 자동차 충전시설의 수를 시·도의 조례로 해당 시설의 총 주차대수의 100분의 5 이상의 범위에서 정한다. 다만, 기축시설의 경우에는 해당 시설의 총 주차대수의 100분의 2 이상의 범위에서 시·도의 조례로 정한다. 이때 환경친화적 자동차 충전시설의 설치 수를 산정할 때 소수점 이하는 반올림하여 계산한다.

연구자 의견 : 2022년 1월 28일 시행되는 ‘친환경자동차법 및 시행령에 따라 새로 허가받는 아파트의 지하 주차장에는 500세대 기준으로 25대 이상의 전기 자동차 충전시설 전용구역이 설치되어야 한다. 이를 위해서는 가장 먼저 충전 구역의 방화구획이 선행되어야 하고 충전구역간의 연소확대 방지에 대비책을 마련하여야 할 것이다.

이처럼 친환경자동차법(시행령 포함)의 주요 조문을 살펴보았으나, 아쉽게도 충전구역 및 충전시설의 위험성에 따른 소방시설의 설치 또는 소화 기구를 추가 설치하여야 하는 기준이나 조치사항은 없다. 매년 증가하는 전기 자동차의 보급 대수를 고려하여 정부 또는 소방청에서는 선제적으로 시설의 기준을 강화하고 충전구역에 두어야 하는 소화 기구를 확정하여야 할 것이다.

3.2.2 전기 자동차 충전시설의 종류

본 항에서는 전기 자동차 충전시설은 설치유형 및 제조회사별로 구분할 수 있으며 설치 유형에 따른 종류는 벽부형, 스탠드형 및 이동형으로 나눌 수 있

으며 제조회사별 종류로는 국내에만 25개 이상의 업체가 난립하고 있어 지면 여건 상 여기에서 모두 소개할 수는 없다. 시장 점유율을 참고하여 임의 4종만 설명하고자 한다.

1) 설치유형에 따른 분류

설치유형으로 공동주택용으로는 벽부형이나 스탠드형이 대부분이며, 규모가 작은 공동주택이나 개인 주거용으로는 이동형 충전기도 있다. 전기 자동차 충전기의 설치유형에 대한 내용을 <표 3-1>에 나타내었다.

<표 3-1> 전기 자동차 충전기의 설치유형

구분	벽부형 충전기	스탠드형 충전기	이동형 충전기
용량	3~7kW	3~7kW	3kW
충전시간	약 4~6시간	약 4~6시간	약 6~9시간
특징	<ul style="list-style-type: none"> - 분전함, 기초패드 설치 - 위치가 외부에 설치되어 있어 눈이나 비에 노출될 경우에는 캐노피 설치 - U형 볼라드, 차량스토퍼, 차선도색 ☞ 여건에 따라 설치할 수 있음 		<ul style="list-style-type: none"> - 220V 10A 이상의 콘센트에 RFID 태그를 부착하여 충전 - 태그가 부착된 다른 콘센트에서도 충전 가능
사진			

2) 제조회사별 충전시설의 종류

가. 시그넷 충전기[SC7K-F-WT-G2(SK시그넷 7kW)]

제품의 전면 LED를 통해 제품의 동작 상태나 충전 정보 등이 표시되고 충전시간은 평균 80%의 충전소요 시간이 6~7시간 걸린다. 보호 등급은 IP44 등급으로 가는 전선 크기 정도(1mm 이상)의 고체와 360도 전 방향에서 분사되는 액체로부터 보호되는 4등급의 방수 등급으로 되어 있다. 시그넷 충전기의 제품 형식에 대한 내용을 <표 3-2>에 나타내었다.

<표 3-2> 시그넷 충전기의 제품 형식

구 분	내 용
크기(mm)	283(W)×306.5(H)×118.5(D)
AC 입력	단상 AC 220V(±10%), 60Hz
출력	단상 AC 220V(±10%), 32A, 7kW
충전 타입	형식: IEC611851-1, Type: C / 5m, 커넥터: SAEJ1772(5Pin)
보호 등급	IP44
보호 기능	내부 과온도, 출력 보호, 과전압/저전압, 누전차단

나. 대영채비(DVC-3HC7-L)

대영 채비 충전기회사는 공공 충전기 최다 설치업체로 전국 이마트나 홈플러스 매장에 가도 쉽게 볼 수 있는 제품이다. 완속부터 초급속까지 다양한 인프라를 구축하고 있으며 유지보수는 직영, 협력 지사를 통하여 24시간 자체 대응이 가능하다는 특징이 있다. 대영 채비 충전기의 제품형식을 <표 3-3>에 나타내었다.

<표 3-3> 대영 채비 충전기의 제품 형식

구 분	내 용
크기(mm)	276(W)×127(H)×456(D)
AC 입력	단상 AC 220V, 50/60Hz, 32A, 7kW
출력	단상 AC 220V, 50/60Hz, 32A, 7kW
충전 타입	Type: C / 5m
보호 등급	IP44
보호 기능	과온도 보호, 과전압/과전류 보호, 누전감지




다. 중앙제어(JC-6511JA-B-C-R1)

중앙제어 충전기는 벽부형 또는 전용 스탠드형으로 설치가 되며, 보호 등급은 IP54 등급으로 먼지로부터 보호(내부에 손상을 주지 않는 수준)하는 5등급의 방진 등급과 360도 전 방향에서 분사되는 액체로부터 보호되는 4등급의 방수 등급으로 되어 있다. 중앙제어 충전기의 제품 형식에 대한 내용을 <표 3-4>에 나타내었다.

<표 3-4> 중앙제어 충전기의 제품 형식

구 분	내 용
크기(mm)	353(W)×337(H)×146(D)
AC 입력	단상 AC 220V(±10%), 60Hz(±1%), MAX 7kVA
출력	단상 AC 220V, 32A, 7kW
충전 타입	Type: B 또는 C(Alter Type) / 5m
보호 등급	IP54
보호 기능	과온도 보호, 과전압/과전류 보호, 누설전류



라. 클린 일렉스

클린 일렉스는 28kWh 배터리 기준으로 충전시간이 4시간 내외로 타 충전기보다 충전시간이 짧다. 충전기 또한 A4 용지보다 작은 크기로 초소형이며 클린 일렉스는 LH와 공동주택 스마트충전소 구축협약으로 현재 구축에 착수하고 있다. 클린 일렉스 충전기의 제품 형식에 대한 내용을 <표 3-5>에 나타내었다.

<표 3-5> 클린 일렉스 충전기의 제품 형식

구 분	내 용
크기(mm)	175(W)×250(H)×92(D)
AC 입력	단상 AC 220V, 60Hz
출력	단상 AC 220V, 32A, 7kW
충전 타입	Type: B 또는 C / 5m, 10m
보호 등급	IP44
보호 기능	과온도 보호, 과전압/과전류 보호, 누설전류




3.3 전기 자동차 충전시설 설치현황 및 현 실태

친환경법에 따라 공공주택, 공공시설에 설치해야 하는 충전시설의 수량 등 충전시설의 설치에 관한 세부사항은 전기 자동차 보급현황·보급계획·운행현황 및 도로여건 등을 고려해 시(특별시, 광역시, 특별자치시)·도(특별자치도)의 조례로 정한다.

해당 시설의 주차장에 설치해야 하는 충전시설의 수량은 해당 주차장 주차 단위구획 총 주차대수의 100분의 5 이상으로 한다. 경기도의 경우 「경기도 환경친화적 자동차의 보급 및 이용 활성화를 위한 조례」에 세부사항을 조례로 정하여 놓고 있다.

3.3.1 최근 아파트 건축 현황(파주시)

본 항에서 최근 파주시 운정 3지구의 입주 등 공동주택의 개발이 마무리 단계까지 와 있는 파주시의 아파트 건축 현황을 살펴보고자 한다. <그림 3-2>는 운정신도시 개발계획도를 나타낸 것이다.



사업명	운정신도시
사업면적	16.47km ²
사업기간	2003년~2023년
인구 수	250,000여 명(2021년)
주택 수	87,000여 세대
사업시행자	LH 한국토지주택공사
주무부처	국토교통부

<그림 3-2> 파주시 운정신도시 개발계획도(출처: 네이버 나무위키)

그 중에서 운정 3지구는 사업 기간이 2003년부터 2023년까지로 최초 입주자 2020년 8월로 개발면적은 6,951천㎡이며 계획 가구는 32,400세대이며 81,000명이 입주할 계획이다.

<표 3-6> 연도별 파주시 아파트 세대수 등 증가 현황

연도	단지 수	동 수	세대 수
현재(계)	186	1,605	122,947
2022	6	84	6,436
2021	8	76	7,768
2020	5	80	5,826
2019	2	3	300
2018	4	65	6,613

위의 <표 3-6>에서 알 수 있듯이, 2019년을 제외하고 매년 5천 명 이상의 세대수가 증가하였다. 구체적으로는 1,605동 중에서 세대수가 300세대 이상의 공동주택 또는 세대수가 150세대 이상으로서 승강기가 설치되거나 중앙집중식 난방방식의 공동주택이 120개 단지이며 1,247동 수이다. 파주시 78% 이상이 전기 자동차 충전시설을 설치하여야 할 대상이라는 뜻이다.

아파트 건설 추이는 주차장의 지하화가 무조건적이다. 그런 이유로 전기 자동차의 충전시설도 지하에 설치할 수밖에 없다. 문제는 여기에서부터 시작하게 된다. 충전구역에 별도의 안전시설이 부가되지 않고 충전시설만이 증가되어 설치된다면 화재 위험성은 그만큼 높아지므로 이에 대한 대비도 설치 수량 증가만큼 많아지고 철저해야 할 것이다.

3.3.2 아파트 지하 주차장 충전시설 설치 현황(파주시)

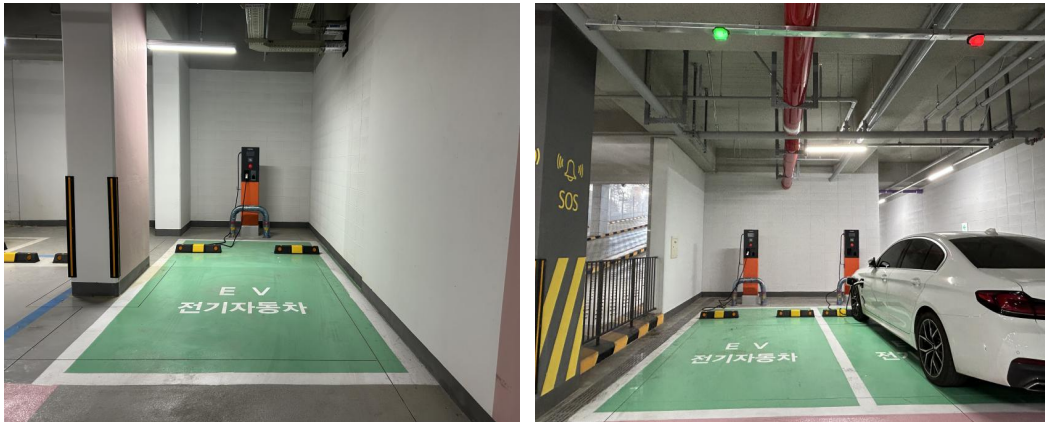
최근 파주시는 운정3지구 개발이 완료되어감에 따라 2023년까지 입주가 예정되어 있어 인구가 급격히 증가하고 있다. 더불어 아파트 지하 주차장에는 「환경친화적 자동차의 개발 및 보급 촉진에 관한 법률 시행령」 제 18조의6 제 1항에 따라 해당 시설의 총 주차대수의 100분의 5 이상의 범위에서 설치하여야 하므로, 전기 자동차 충전시설은 급격하게 늘어날 전망이다. 다만, 2022년 1월 28일 이전에 건축허가를 받은 시설은 해당 시설의 총 주차대수의 100분의 2 이상으로 하고 있다.

다음의 <표 3-7>은 파주시 운정3지구 A32BL(금강 펜테리움) 공동주택의 주차장 현황표이다.

<표 3-7> 파주시 금강펜테리움 아파트 주차장 현황

구분		공동주택		합계	비고
		지하 1층 주차장	지상주차장(옥외)		
공동 주택	일반형 주차	631대	9대	640대	
	확장형 주차	330대	-		
	장애인주차	28대	-		
	경형 주차	108대	-		
	소 계	1,097대	9대	1,106대	
	급속주차	1대	-	총 주차면수의 0.05% 설치	
	완속주차	5대	-		
	콘센트형	-	-		
	소 계	6대	-		
합 계		1,118대			
세대수 : 778세대 / 현 세대 수 기준 세대당 1.41대 계획주차대수 : 1,106대 (공동주택 1,097대 + 근생 9대) ※ 확장형 주차 법정 계획주차대수의 30% 이상 ※ 경차 주차 법정 계획주차대수의 10% 미만 ※ 장애인 주차 법정 계획주차대수의 2.5% 이상					

아파트 지하 주차장 충전시설 설치의 문제점을 살펴보기 위해 본 연구자는 상기 표의 파주시 운정3지구 A32BL의 지하 주차장을 찾았다(<그림 3-3> 참조). 이 아파트는 2022년 7월부터 입주를 시작한 최근 아파트이지만 충전시설 설치에 대한 기본적 모습만 반영되었음을 알 수 있었다.



<그림 3-3> 파주시 운정3지구 A32BL 지하 주차장 충전구역

전기 자동차 충전구역은 차량 진·출입로 부근과 입주민 통로 인근에 설치하였다. 충전구역의 위치 선정은 충전시설 설치의 용이성에 따른 것으로 판단되었다. 지하 1층에 충전시설은 급속충전기 1기, 완속충전기 5기가 설치되어 있으며 모두 스탠드형으로 설치되어 있고 바닥에 녹색으로 도색되어 있을 뿐이지 다른 주차면과 다를 것이 없었다.

충전구역 주변에는 상향식 폐쇄형 스프링클러 헤드가 설치되어 있으며 따로 감지기나 제연설비 등이 추가 설치되어 있지는 않았다.

제 4 장 전기 자동차 충전시설 화재 대응방안 개선

국내 전기 자동차 화재 사고 발생 비율은 10만대 당 2.7대로 내연기관 자동차에 비해 낮은 수치(10만 대당 10대)이지만, 점점 증가하는 전기 자동차 보급에 따라 화재 발생 또한 오를 것으로 전망된다. 이에 따라 소방청과 소방서에서는 다양한 방법으로 전기 자동차 화재 진압 실험을 시행하고 있다.

2021. 10. 25. 소방청에서 발표한 자료에 따르면 전기 자동차 화재 대응기술 등 진압대책을 4가지로 나누어 설명하였다. 그에 따라 아파트 지하 주차장 충전시설에 적용 가능한 사항을 위주로 개선방안을 제시하였다.

4.1 전기 자동차 전용 소화약제 및 소화시스템의 필요성

이번 장에서는 전기 자동차 화재에 적용 가능한 소화약제와 냉각소화방식, 질식소화방식과 제거소화방식으로 전기 자동차 배터리 화재에 적용할 수 있는지를 알아보고 친환경자동차의 국내 대응절차와 국외 대응절차의 차이점은 어떠한 사항이 있는지를 살펴보았다.

4.1.1 소화약제의 종류 및 성능

전기 자동차의 일반적인 소화 방법으로는 물리적 소화(냉각, 질식, 제거)와 화학적 소화(부촉매)가 있다. 전기 자동차의 화재에서 충전시설과 관련한 대표적인 화재는 무엇보다도 배터리의 이상 반응에 따른 화재일 것이다. 그러므로 리튬이온배터리의 화재 적응성을 살펴보고야 하고 효과적인 성능을 발휘하는 것이 어떤 것일지를 확인하여야 하겠다.

우선 리튬이온배터리는 크게 양극부, 음극부, 전해액과 분리막 등 4가지로

구성 되어 있다[9]. 구체적으로 살펴보면, 양극부는 리튬(Li)과 산소(O)가 만나 리튬 산화물로 구성되고 배터리의 용량과 평균 전압을 결정하게 된다. 음극부는 여러 소재가 있기도 하지만 최근에 많이 사용하는 재질은 천연흑연을 기본으로 하는데 흑연은 여러겹의 층이가 겹쳐있는 것과 같은 구조를 이루고 있는데 이를 층상구조라 하고 양극에서 나온 리튬이온을 층상구조 사이에 저장했다가 다시 양극으로 보내면서 외부 회로를 통해 전류가 흐르게 하는 역할을 한다. 전해액은 이온이 원활하게 이동하도록 돕는 매개체가 되고 분리막은 배터리 내부에서 양극과 음극이 접촉하지 않도록 하는 역할을 한다.

일부 소화약제 제조업체에서는 이러한 리튬이온배터리의 주요 요소의 하나인 리튬의 성분이 금속이므로 금속화재에 적응성이 있는 침윤소화약제나 D급 소화기로 화재를 진압할 수 있다고 발표하는데 이는 사실과 다르다.

물론 침윤소화약제(액상)는 A~C급은 1%, D급은 3%의 침윤제를 물에 섞는 형태로 사용하여 금속화재에 접촉하면서 냉각 효과 발휘할 수 있고, D급 소화기는 금수성 금속(화재 시 물이나 공기 중 수분과 접촉하면 폭발성이 강한 수소를 발생) 화재 진압 용도로 사용하기도 한다. 그러나 여기에서 간과하는 것이 하나 있다.

전기 자동차에서 사용하는 배터리팩은 화재 및 폭발에 대응하기 위해 철저히 보호되는 커버로 덮여 있기 때문에 배터리팩 내부로 침윤소화약제가 유입되지 않아 소화효과가 없고 D급 소화기는 소화약제가 내용물을 코팅하는 형태로 화재를 진압하여야 하는데, 배터리팩 외부에 충격 보호 금속으로 밀봉된 구조라서 사실상의 소화효과는 없다. 배터리팩 내부에서의 화학반응은 계속해서 진행될 뿐이다. 그래서 아직까지 리튬이온배터리의 화재에서 효과가 입증되었다는 연구 결과는 없다.

4.1.2 전기 자동차 화재에 적용 가능한 소화 시스템

일반적으로 내연기관 자동차 화재에서는 A급 화재에 준하는 소화 방식을

사용하거나 B급 화재에 대응할 수 있는 소화 방식을 선택할 수 있을 것이다. 그러나 전기 자동차 화재 사고에 한해서는 A급 화재 소화 방식은 고전압 배터리팩 화재가 아닌 전기장치 또는 자동차 실내에서의 가연물의 연소에서나 사용할 수 있을 것이고 B급 화재 소화 방식은 전기 자동차 화재 사고에서는 전혀 고려할 수 없는 소화 방식이 될 것이다.

이에 지금부터는 실질적으로 전기 자동차 화재에서 적용할 수 있고 효과적으로 화재를 진화하거나 연소확대를 지연시킬 수 있는 방법이 무엇인가를 연구하고자 한다.

1) 냉각소화방식

전기 자동차 화재 진압 방법으로 대표적이며 지금까지 연구되었던 방법 중에 가장 효과적인 방안으로는 배터리를 침수시켜 안정화시키는 수조방식이 적절한 방안이다. 일반적으로 전기 자동차 화재에서 소방대원은 차량의 폭발 등에 대비하여 10~30m의 거리를 유지하면서 상방향 관창 등을 활용하여 주수소화를 하여 배터리팩의 내부온도를 80도까지 떨어뜨리면 소화할 수 있다고 알려져 있다. 그러나 미국에서 발표된 지침에 따르면 전기 자동차 1대의 소화에 필요한 소화수는 100,000리터 이상이 필요하다고 한다. 이는 내연기관 자동차의 화재에서 필요한 수량보다 10배 이상의 차이가 있다.

결론은 물을 사용한 냉각소화방식이 가장 효과적이고 최종적인 소화 방식임에는 틀림이 없지만 어떻게 전기 자동차의 고전압 배터리팩을 빠르게 냉각시킬 수 있느냐에 따라서 화재 진압의 성공 여부를 결정할 수 있을 것이다.

2) 질식소화방식

앞서 연구한 문헌에 따르면 금속화재에는 D급 소화약제가 적용성이 있다고 할 수 있었으나, 실질적으로 전기 자동차 고전압 배터리팩의 화재, 특히 열 폭주가 발생했을 때는 이미 D급 소화약제로는 효과적인 화재를 진압할 수 없다는 결론을 얻었다.

전기 자동차의 화재 가연물이 리튬이온배터리인 경우에는 질식소화를 시켜 산소를 차단시켜야 한다. 그러므로 효과적인 질식소화방식을 연구하여야 하는데 본 연구자는 전기 자동차 화재 진압 방법의 두 번째 합리적인 대안으로 현재 상용화되어 있는 화재 질식소화포를 제시한다. 질식소화포는 선착소방대가 화재 초기에 연소방지용으로 사용할 수도 있으나 사용 효과 면에서 공동주택 관리실에서 화재 확산을 지연시키거나 초기 진압을 할 수 있는 일반적인 대안도 될 수 있을 것이다.

전문적인 화재 진압훈련을 받지 않은 일반인이라도 약간의 사용법이나 전개 훈련을 받는다면 화재 초기에 쉽게 사용할 수 있고 연소방지 효과 또한 대단히 위력적이기에 본 연구자는 전기 자동차 충전시설에서는 반드시 갖추어야 하는 소화시설이라고 주장한다.

3) 제거소화방식

제거소화방식은 앞서 살펴본 소화 방식과는 조금 다르게, 전기 자동차의 배터리에서 본격적인 연소가 이루어지기 전이나 모든 연소가 종료되었을 즈음에 재발화 위험으로부터 안전을 확보하기 위해 이동·조치하는 방식이다.

전기 자동차 화재가 초기 상태일 경우이거나 주변에 연소할 우려가 있는 화재 상태에서만, 또한 이동할 수 있는 여건이 충분한 경우에만 고려할 수 있는 소화 방식이므로 이를 이용하기에는 상당한 제약이 있을 수 있다.

4.2 국내 전기 자동차 화재대응 절차

긴급구조대응 활동 및 현장지휘에 관한 규칙 제10조에 따라 소방청에서는 각종 재난현장에서 현장지휘체계를 확립하고 신속하고 효율적으로 현장 대응을 하기 위하여 표준작전절차를 작성하여 소방대원의 현장 활동과 안전관리에 있어 대응자원의 효과성을 증대시키기 위하여 가장 기본적이고 일반적인 방침

사항을 기술하고 있다[10]. 여기에서는 국내 전기 자동차의 차량 화재 대응절차와 미국 국가방화협회의 비상대응 가이드를 살펴보고자 한다.

4.2.1 도로터널화재 대응절차(SOP 219)

본 절에서는 지하 주차장에서의 전기 자동차 화재 성상과 유사한 도로터널 화재 대응절차에 대해서 살펴보고자 한다. 이러한 대응절차를 <표 4-1>에 나타내었다. 지하 주차장과 유사한 터널은 폐쇄 공간이라는 특성상 갇힌 공기의 완전연소가 이루어지면서 순식간에 온도가 올라갈 수 있으며 지하 주차장 전체로 연기가 가득 찰 수 있고 이로 인한 연소확대의 우려가 크다. 또한, 화재 현장에서의 인명 대피로는 제한적이며 소방대의 진입은 더욱 제한적으로 움직일 수밖에 없는 구조가 공동주택의 지하 주차장에서의 활동성의 제한과 비슷하다.

<표 4-1> SOP 216 도로터널화재 대응절차

SOP 219 도로터널화재 대응절차	
1	사고특성 및 위험요인
<div>1.1 터널은 폐쇄 공간 특성상 갇힌 공기의 완전연소가 이루어지면서 순식간에 온도가 올라갈 수 있으며 박리현상, 복사 현상으로 2차 피해 우려가 있음</div> <div>1.2 터널 내 정체차량 중 연소확산 우려가 있는 범위내에 LPG자동차, 전기 자동차(EV), 하이브리드 자동차(HEV), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 수소연료 전기 자동차(FCEV), 위험물 적재 차량이 있으면 연소 위험성이 커짐</div> <div>1.3 외기풍향에 의해 터널 내 풍향변화가 있고 진입구가 한정되어 시야확보의 어려움이 있으며, 역기류(back-layering) 및 난기류 발생으로 소방활동 위험 초래 우려</div>	

- 2.1 화재지점으로 차량이 더 이상 밀려들지 않도록 교통통제
 - 2.1.1 터널 상·하행선 입구에 신속 설치 가능한 바리게이트 비치
- 2.2 다량의 포(泡, foam)를 방사할 수 있는 소방차 출동 조치
- 2.3 터널 상부에 고압 전력선이 가설되어 있을 수 있으므로, 방수 시 감전에 유의
- 2.4 터널 상부가 장시간 고온에 노출되었다면, 가설물이나 콘크리트 박리편이 낙하할 수 있으므로 주의
- 2.5 터널 내 제연설비는 한국도로공사 등 터널 관계자와 협의하여 가동
- 2.6 배수로를 따라 유류 등 오염물질이 확산될 경우, 임시로 집유정(集油井)이나 독을 만들어 차단 또는 우회시킴.
- 2.7 도로관리자 및 경찰기관으로부터 상하행선 교통통제 상황 확인하고 방재설비 활용
- 2.8 인명검색, 구조 및 피난 유도는 원칙적 상하행선 연결통로 적극 활용
- 2.9 무선통신 유지
 - 2.9.1 무선통신보조설비가 설치된 경우 이용하여 통신 상황 유지
 - 2.9.2. 필요 시 현장과 지휘소 간 연락관 배치
- 2.10 FCEV는 수소탱크의 온도가 섭씨 110°C에서 안전밸브가 개방되면서 큰 소음이 발생하고 가스가 분출되므로 화염이 분출될 경우 최소한 6m 이상 이격거리 유지, 미연소 가스가 분출될 경우 주변에 체류하면서 2차 폭발의 위험이 있으므로 접근금지

도로터널화재 대응절차에서도 폐쇄 공간 특성에 대해서 강조하였으며, 가연물로서 특히 전기 자동차가 연소 위험성이 크다고 하였다. 또한, 아파트의 지하 주차장과 유사하게 진입구가 한정되어 바람에 의해 난기류 또는 역기류가 발생하고 소방활동의 위험을 초래하고 시야 확보의 어려움도 있음을 강조하면서 공간의 특성에 따라 순식간에 온도가 올라 갈 수 있음을 우려하였다.

4.2.2 차량화재 대응절차(SOP 225)

본 절에서는 표준작전절차에 나와 있는 차량화재 대응절차에 대해서 살펴보
고자 한다. 이에 대한 대응절차를 <표 4-2>에 나타내었다. 내연기관 자동차의
화재는 차량 연료통에 존재하는 4류 위험물에 바로 인화하거나 적재화물에 연
소하기 쉬운 물건이 있거나 차량 내부의 가연물에 미상의 화원에 의하여 연소
하게 되면 특성상 급격하게 연소 확대될 수 있고 전기 자동차의 화재는 폭발
또는 장시간 연소할 수 있는 위험성에 대해서 알려주고 있다. 또한, 친환경자
동차의 화재에서는 고전압 배터리팩에 의한 단락 및 감전의 우려가 있음도 경
고하고 있다.

<표 4-2> SOP 225 차량화재 대응절차

SOP 225

차량화재 대응절차

1

사고특성 및 위험요인

- 1.1 전기계통이나 연료계통의 고장 외에 충돌 등 여러 가지 발화의 요인이 있음
- 1.2 연료에 인화하거나 적재화물에 연소하기 쉬운 물건이 있으면 급격하게 연소확대
- 1.3 차량화재는 엔진룸 후드 아래서 발생하는 경우가 많고, 외부로부터 주수 시 효과가 적음
- 1.4 친환경차량(EV, HEV, PHEV, FCEV)은 폭발 또는 장시간 연소의 위험성이 있음
- 1.5 도로상이나 공지, 주차장 등의 발생 장소, 버스 등 다수의 승차 인원이 있는 경우, 트럭의 운반물의 종별 등에 따라서 화재 상황은 다양함
- 1.6 경사로 지점에서 화재 차량이 움직여 2차사고 발생 요인이 있음
- 1.7 사고차량으로부터 배터리 전해액이 누설되면 가연성이나 유해성의 위험이 있으므로 주의
- 1.8 친환경 차량 화재 시 단락 및 감전의 우려가 있으므로 주의

- 2.1 친환경차량(EV, HEV, PHEV, FCEV) 종류 확인 후 화재 진압 및 대응방법 결정
- 2.2 먼저 차량 시동을 off하고 해당 차량 고임목 설치 후 대응조치
- 2.3 화재가 발생한 차량이 일반 수송차인 경우 적재화물의 종류 파악
- 2.4 수소전기(FCEV), LPG 위험물 운반 차량의 경우 경계구역 설정 진화하고, 증기 비중이 높은 경우 맨홀 등 지하로 유출 차단 방안 강구
- 2.5 가스 차량 화재 시 가스용기 밸브를 차단하고, 차단할 수 없는 경우 용기에 남아있는 잔류가스를 전부 연소시킬 것
- 2.6 친환경차량(EV, HEV, PHEV, FCEV) 화재 시 차종에 따른 메인전원이나 배터리 위치를 확인하여 차단
- 2.7 차량 승객석에서 발생한 화재 진압 시는 넓은 분무 방수와 함께 정면 또는 뒤쪽으로 진입
- 2.8 유출된 차량, 연료를 고려 진화방법 결정(가연성, 비가연성)
- 2.9 연료 시스템의 잠재적인 폭발, 차량 본닛 개방 시 폭발 등에 주의하여 안전거리 유지
- 2.10 배터리는 화재 발화, 전기 충격, 폭발의 원인이 되므로 위험요인 확인
- 2.11 대부분의 버스에 장착된 서스펜션 시스템은 화재로 인한 폭발 시 10cm 내로 내려앉는 것에 주의
- 2.12 위험물차량 화재 경우 화재진압 후 가연성증기 발생상황, 기름유출상황 확인 필요 시 경계방어태세를 갖추
- 2.13 불꽃발생 구조장비 사용자제 및 반드시 유압 장비 사용
- 2.14 화재진압 후 차량에서 유출되는 유류 및 각종 오일 등 흡착포를 이용 제거, 관계기에 통보
- [하이브리드 차량(HEV), 전기차량(EV), 플러그인 하이브리드차량(PHEV) 화재 시]**
- 3.1 (발화기) 주수 및 ABC분말 소화에 의한 화재진압을 하되 주수소화는 감전의 가능성이 있으므로 주의
- 3.2 (성장기) 소화기로 진화 어려운 경우 주수소화 실시하되, 엔진화재 시 고전압 케이블이 연결되어 있으므로 감전에 주의
- 3.3 (최성기) 배터리 폭발 및 전해액 누출에 대비하여 거리를 유지하면서 주수소화 실시
- [수소전기(FCEV) 차량 화재 시]**
- 4.1 수소가스 분출구를 피해 원거리에서 직사주수
- 4.2 화재 확산 가능성이 낮은 경우, 우선적으로 주변 지역 예비방수 후 차량 화재진압 실시
- 4.3 (발화기) 분말이산화탄소 소화기 및 다량 주수소화 또는 포말소화약제 사용 화재 진압
- 4.4 (성장기 이후) 다량 주수소화(분무주수 포함) 또는 포말소화약제 사용 화재진압 및 주변차량에 대해 질식소화덮개 설치
- 5.1 친환경차량(HEV, PHEV, EV, FCEV) 차량사고 대응 시「SOP 219, SOP 308」참고

차량화재 대응절차에서는 차량 화재의 사고특성으로 외부로부터 주수 시 효과가 작음과 친환경 차량의 폭발 또는 장시간 연소의 위험성이 있다고 하였다. 그 외에 위험요인으로 친환경 차량의 화재 시 단락 및 감전의 우려에 대해서도 주의를 시켰다.

현장대응절차에서 가장 먼저 친환경 차량의 종류를 확인 후 화재 진압 및 대응방법을 결정해야 한다고 하였으며 메인 전원이나 배터리 위치를 확인하여 차단토록 하였다. 배터리의 화재 발화, 전기 충격 및 폭발의 원인도 위험요인으로 확인하여야 한다고 하였다.

4.2.3 친환경자동차화재 대응절차(SOP 308)

본 절에서는 친환경자동차의 화재 대응절차를 열거하고 있지만, 실질적인 전기 자동차의 화재 진압 방법이나 효과를 기대하는 소화 방식에 대해서는 전혀 고려하고 있지 않다. 친환경자동차의 고전압 배터리팩과 관련한 감전사고 또는 고전원 배터리 폭발에 대해서 주의하고자 하는 것이 전부이다. 그러므로 본 연구자는 친환경자동차의 고전압 배터리팩의 감전사고 또한 매우 중요하지만 이 보다 우선되어야 하는 것은 최초 신고자 또는 초기 대응자로서 연소확대 방지 및 인명피해를 최소화할 수 있도록 대응책을 마련하여야 한다고 주장한다.

소방대가 전기 자동차의 화재 사고를 처리하는 데에는 많은 시간이 필요하고 소방대가 도착할 즈음에는 이미 재산피해는 물론이고 인명피해 또한 막대할 수도 있을 것이다. 이에 무엇보다 중요한 것은 사용자 또는 관리자로 하여금 초기대응을 할 수 있도록 제도를 개선하거나 지침을 정하여 운용할 때에 전기 자동차 화재의 대응절차가 완성이 되었다고 할 것이다. 이러한 대응절차를 <표 4-3>에 나타내었다.

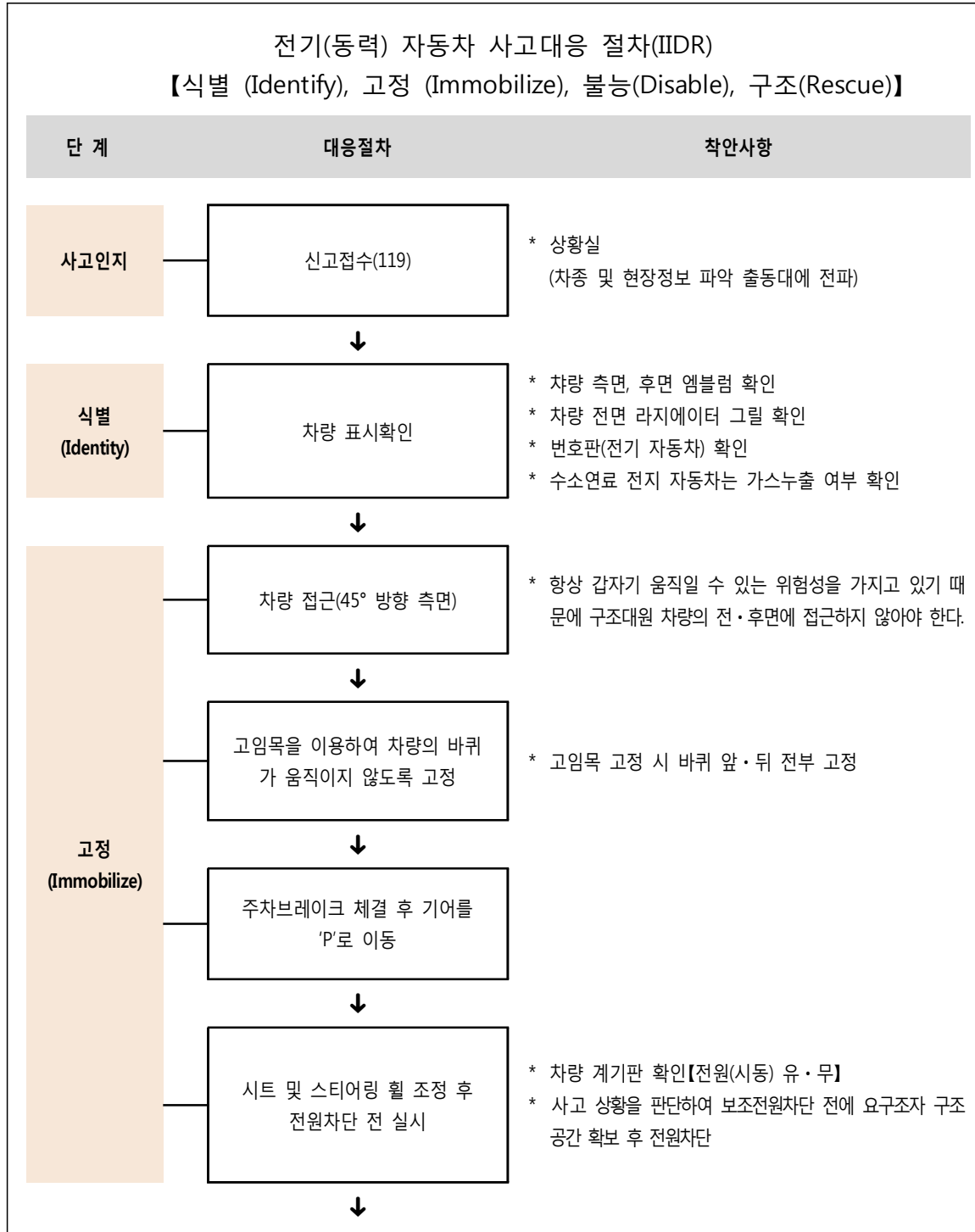
SOP 308

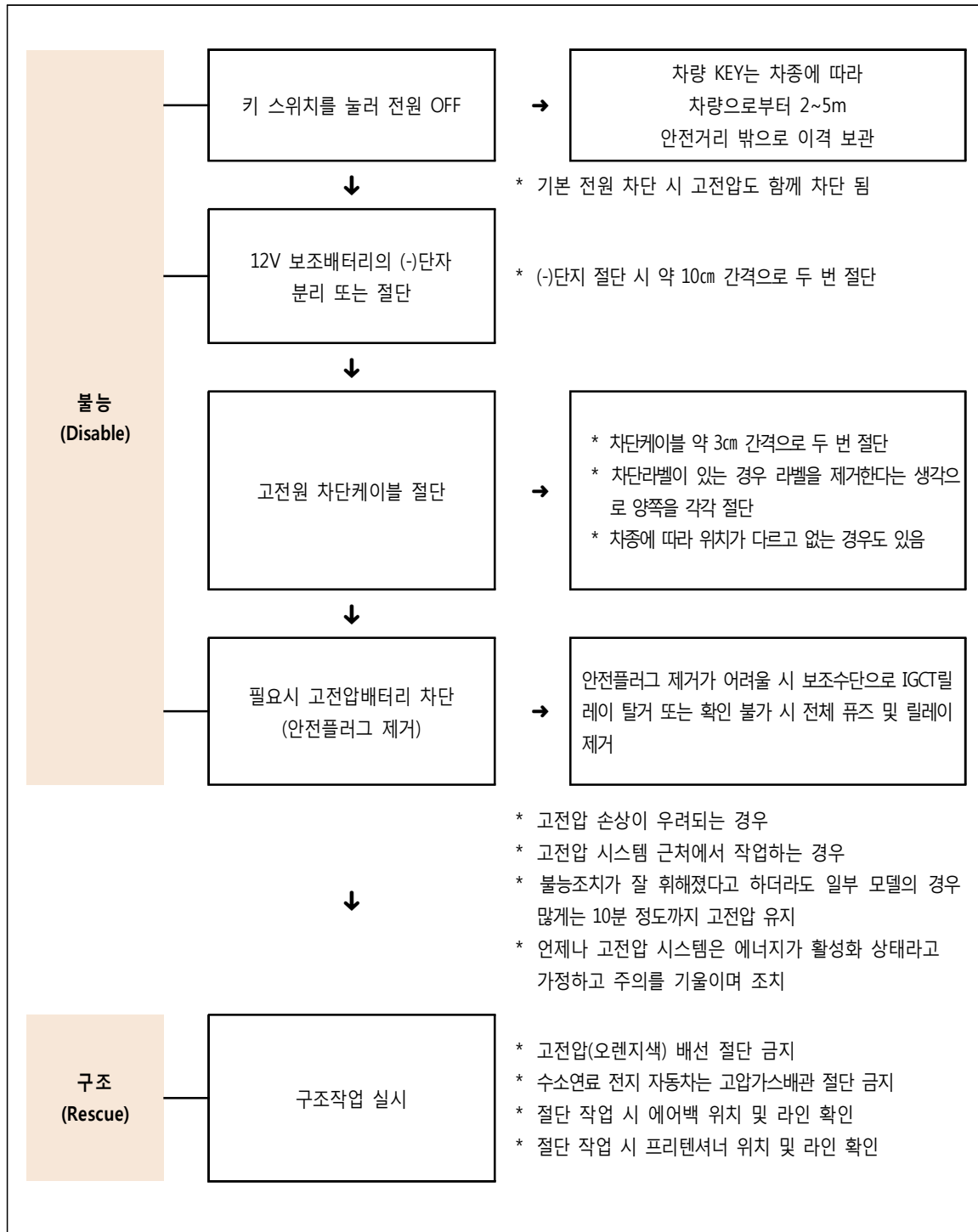
친환경자동차화재 대응절차

1

사고특성 및 위험요인

- 1.1 친환경차량은 하이브리드 자동차(HEV), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 전기 자동차(EV), 수소연료 전기 자동차(FCEV)를 포함
 - 1.2 차종에 따라 120V~ 650V 이상의 전압이 흐를 수 있으므로 감전에 주의
 - 1.3 엔진룸 및 차체하부 등에 고전원배터리와 연결되는 고전압 배선에 주의
 - 1.4 차체 하부 또는 뒷 트렁크 내에 장착되어 있는 고전원배터리 폭발에 주의
 - 1.5 고전원배터리 대응절차를 제외하고는 일반 자동차 구조 및 일반 자동차 화재 진압 절차 준수
 - 전기(동력) 자동차 구조 대응절차 4단계(IIDR)에 따라 현장 활동 전개
 - 1.6 하이브리드 자동차(HEV), 플러그인 하이브리드 자동차(PHEV), 전기 자동차(EV), 수소연료 전기 자동차(FCEV) 식별은 차량 측면·후면 엠블럼, 전면 라지 에이터 그릴, 번호판 확인
- 【상 황 실】**119신고 접수 시 사고차종 파악
- 【공통사항】**
- 최초 현장에 도착한 선착대는 전기 자동차 대응절차를 준수하며 초기상황 파악
 - 차량 폭발에 대비하여 출동 차량은 10~30m 이상의 안전거리를 두고 배치
 - ※ 수소가스, 고전원배터리 , LPG·CNG 차량 폭발 대비 안전거리 확보
- 1.7. 친환경차량(HEV, PHEV, EV, FCEV) 사고차량에 대한 차종별 연료 확인 및 배터리 전해액 누출여부를 확인하고 배터리(고전원배터리, 보조배터리) 전해액에 접촉하지 않도록 주의





친환경자동차화재 대응절차에서는 위험요인으로 차체 하부 또는 뒷 트렁크 내에 장착되어 있는 고전원배터리 폭발에 주의토록 하였으며, 대응방법으로 전기(동력) 자동차 구조 대응절차 4단계(IIDR)에 따라 현장 활동을 전개하여야 한다고 하였다. 차량에 접근하려면 45도 방향의 측면에서 접근하여야 갑자기 움직일 수 있는 위험을 방지할 수 있다.

4.2.4 국외 전기 자동차 차량화재 대응절차(NFPA)

NFPA의 긴급현장 가이드[11]는 전기 자동차 화재현장에서 긴급하게 사용하거나 교육이나 연구 목적으로 사용된다. 전기 자동차의 충돌, 화재, 침수 및 위험물 유출 시 초기대응에 관한 일반적인 과정을 기술하고 있다. 일반적인 과정으로 초기대응, 구출 및 화재 진압의 단계로 구분하고 있다.

초기 단계에는 차량의 고정과 안정화에 중점을 둔다. 차량의 안정화를 위해 차량의 45도 각도에서 접근하며, 갑작스러운 차량의 이동에 대비하여 떨어져 있어야 한다.

구출의 단계에서 긴급대응자는 고전압 시스템의 활성화에 대비하여 고전압 케이블과 부품을 확인해야 하며 고전압 케이블을 잘라서는 안 된다.

또한, 고전압 시스템이 차단되었다 하더라도 에어백이 작동할 수 있으므로 구조대상자를 보호해야 한다. 고전압 배터리가 손상된 경우 긴급대응자는 개인보호장구 및 공기호흡장비를 착용해야 하며 배터리에서 발생하는 스파크, 연기 또는 버블링 소음은 배터리 과열로 인한 잠재적인 화재의 위험을 나타내므로 주의해야 한다. 수동 서비스분리장치(MSD)를 제거하더라도 고전압 배터리는 방전되지 않으므로 배터리와 접촉을 피하여 감전 사고로 인한 쇼크를 방지하여야 한다.

화재 진압의 단계에서 모든 소방대원은 개인보호장구와 공기 호흡 장비를 착용해야 한다. 고전압 배터리 화재 진압은 배터리의 크기와 위치, 배터리팩 내부의 화재 크기 및 소화 용수의 공급 여부에 따라 진화작업의 어려움이 결

정된다.

고전압 배터리는 케이스로 보호되어 있어 진압하는데 어렵다. 인접한 셀에 불이 옮겨 붙지 않으려면 많은 양의 물을 주수하여 배터리팩을 냉각시켜야 한다.

배터리팩이 열렸다면 물 또는 적용성 있는 약제를 배터리팩 내부에 직접 주수해야 한다. 물을 사용한다면 2,600갤런(약 10,000리터) 이상 또는 더 많은 양이 필요하므로 소화전이나 연못과 같은 곳에서 지속적으로 공급해야 한다. 배터리팩에 장시간 집중 주수하는 것이 빠른 소화 방법이다.

고전압 배터리 화재 진압 시 적은 양의 물을 사용하면 유독가스 방출 우려가 있으므로 될 수 있는 대로 많은 양의 소화 용수를 사용해야 한다. 화재 진압 후 리튬이온배터리 화재는 몇 시간 또는 며칠 이내 재발화할 수 있으므로 열화상 카메라로 배터리를 관찰하고 50피트(약 15m) 이내 아무것도 없이 고립시켜야 한다. 화염이나 불꽃을 동반한 재발화는 흰 연기, 전기적 아크나 스파크의 가스 방출로 'whooshing' 또는 'popping' 소리를 동반한다. 리튬이온배터리의 확실한 냉각 효과를 위해 눈에 보이는 불꽃이 더 이상 존재하지 않더라도 방수를 계속하여야 한다.

NFPA의 긴급현장 가이드는 43개 제조사와 195개의 전기 자동차 모델에 대한 세부적인 가이드가 있다. 이 가이드는 제조사와 공동으로 제작한 것이며, NFPA 웹사이트에서 다운로드할 수 있다. 이 가이드는 전기 자동차의 고전압 부분, 에어백 및 12V 시스템 위치 등의 정보를 다이어그램이나 사진으로 확인할 수 있다.

4.3 공동주택 충전시설의 화재 대응방안 개선

지금까지 전기 자동차 충전시설에 대한 인프라를 구축하기 위해 환경부에서

는 공공충전시설을 '22년 11월 2일 현재 7,073기까지 확대하여 운영하고 있다. 그러나 공동주택 충전시설에 대한 설치 수량 기준만을 지정한 결과 현실적으로 공동주택 각 현지 사정이나 설치업체에 따라 설치방식은 모두 제각각으로 이루어지고 있다. 한마디로 주먹구구식으로 상황에 맞도록 숫자에 얽매어서 설치한 곳이 대부분이다. 이에 충전시설에서의 또는 충전 중 전기 자동차 화재 사고에 대해서 효과적인 대응방안을 개선하고자 한다.

4.3.1 공동주택 충전시설의 설치기준 마련

우선 공동주택 충전시설의 설치기준이 제대로 마련되어 있지 않다. 현재까지의 설치기준이라 함은 전기선로를 위한 관로공사 및 배관공사가 대부분이고 이와 별개로 전기안전에 대한 접지 공사 기준이 제시되어 있을 뿐이다. 사실상의 전기설비기술기준의 판단기준에 따른 설치기준일 뿐이다. 그러므로 본 연구자는 공동주택 충전시설의 설치기준을 화재 안전을 목적으로 하여 최소한의 연소확대 방지 또는 효과적인 진압을 목적으로 설치기준이 추가되어야 한다고 주장하는 것이다.

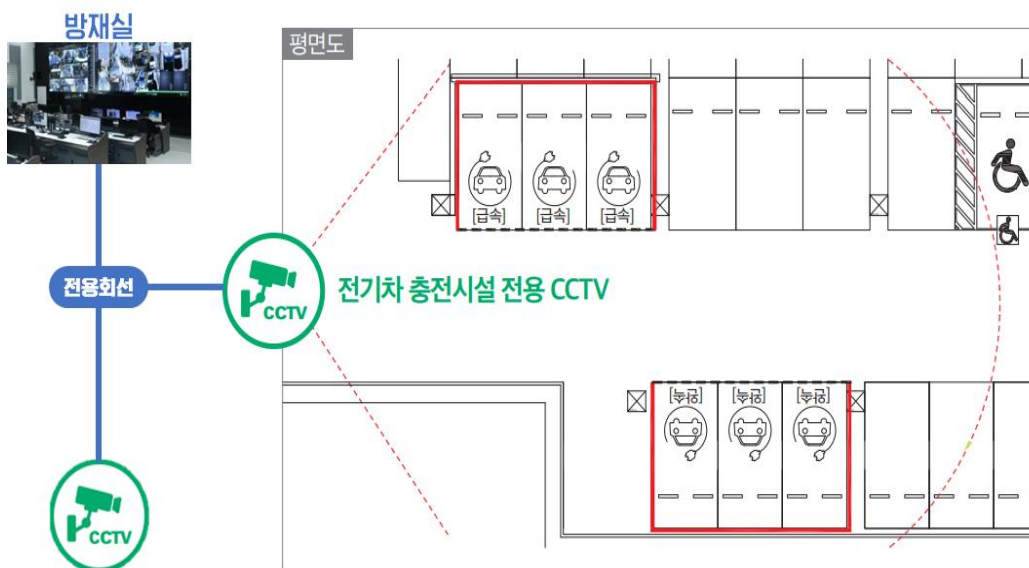
최소한의 연소확대 방지시설이나 초기 화재감지를 목적으로 자동화재탐지설비를 추가하는 등의 관계자로 하여금 초기대응을 할 수 있는 여건을 마련하여야 한다고 본다.

4.3.2 공동주택 충전시설 화재에서의 대응방법

이상과 같이 확인한 후 본 연구자는 공동주택 충전시설의 설치기준에 따라 구체적으로 4가지를 제시하고자 한다. 무엇보다 신축 건축물에서는 반드시 적용되어야 하고 기존 건축물에서는 4가지 중에서 최소한 1가지 또는 2가지는 반드시 소급 적용하여 설치되어야 전기 자동차 화재 사고에 대비될 수 있을 것이다.

1) 충전시설 전용 CCTV 설치

전기 자동차 충전시설의 화재 위험성을 연구한 결과, 관리자 또는 사용자에게 가장 필요한 것은 인명피해 방지 및 재산피해를 최소화하여야 하는 것이다. 화재 사고가 발생하였을 때 초기 상황대처가 가장 중요하다는 것은 두말할 필요도 없다. 충전구역에서 이상이 발생하였을 때 방재실 근무자가 가장 빠르게 인지할 수 있는 시설은 전용 CCTV를 설치하는 것이다[12]. 단순히 녹화만 이루어지는 형식이 아니라 현장에서 불꽃발생 등 이상 상황의 움직임을 감지하였을 시에 자동으로 방재실 등에 경고음으로 통보하여 주는 방식이 적절하다.



<그림 4-1> 충전시설 전용 CCTV 설치 예시도

2) 충전구역 별도 환기시설 설치

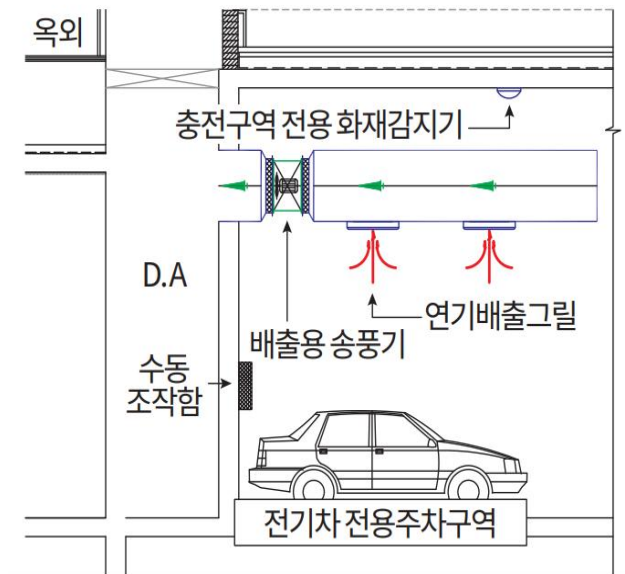
최근의 신축 아파트 지하 주차장에 가서 전기 자동차 충전시설을 설치하는 위치를 살펴본 바, 주차장 중앙, 구석진 곳(출입구와 램프로부터 먼 장소), 기계실·전기실 등 별도 구획된 실 인근, 주차장 램프 인근(차량 진·출입로), 출

입구(피난계단) 인근 순으로 설치되는 것을 확인할 수 있다[2]. 이러한 사실은 충전시설 설치업자의 임의적이고 설치 용이성과 사용자의 편리성을 추구한 결과로 얻어진 것이지 화재 대응 면에서 고려한 사항은 아니라는데 문제가 있다.

이에 본 연구자는 충전시설이 어느 위치에 설치되더라도 충전구역 별도 환기시설 설치를 제시하고자 한다. 최근 신축 아파트 지하 주차장의 규모는 보통 100여 대 이상을 주차할 수 있고 주차장의 모양도 가히 미로와 같다고 해도 과언이 아니다. 초행길의 방문자는 물론이고 시설에 익숙한 주민이 아니라면 화재 사고 시 연기로 가득찬 지하 주차장을 빠져나오거나 안전구역으로 피난을 하기는 쉽지 않다.

충전 중이나 주차 중에 전기 자동차에서 화재가 발생하면 가장 먼저 해야 할 것이 119에 신고하고 주변 사람들에게 위험사실을 알려 인명피해를 방지하는 것이 무엇보다 필요하다. 그러므로 충전구역에는 별도 환기시설을 설치하여 지하 주차장 사용자는 물론이고 지상의 아파트 입주민들의 피난허용시간(ASET)을 늘려주고 출동한 소방대가 적절하게 조치할 수 있도록 하여 안전한 피난 환경을 조성하여야 한다.

별도 환기시설은 <그림 4-2>와 같은 시설이 참고될 수 있겠다[13]. 이 시설은 현재 119 소방안전센터 차고지에 설치하고 있는 매연배출시스템을 참고하였는데 실질적으로 매연뿐만 아니라 화재로 인한 연기도 배출할 수 있는 충분한 용량의 시설이기도 하다.



혼합배출방식으로 송풍기와 공기
환기시스템에 의한 배출

<그림 4-2> 충전구역 별도 환기시설 설치 예시도

3) 화재 질식소화포 설치

지하 주차장 충전시설에서의 전기 자동차를 비롯하여 모든 전기 자동차는 하부의 고전압 배터리팩으로 인해 물을 이용한 화재 진압이 어려울 뿐 아니라 감전사고 및 폭발로 인하여 인명피해의 위험이 커서, 전문교육을 받은 소방대의 화재 진압 방법이 아니고서는 진압이 어렵다. 이에 화재 발생 초기에 관계자 등이 사용할 수 있는 진압 방법 및 초기 대응조치로 화재 발생 차량에 차량용 질식소화포를 덮어 씌어 유독가스 및 화염을 주변과 격리하는 방법이 공동주택 관리실 대응 솔루션이 될 수 있다. <그림 4-3>에 나타난 사례와 같이, 화재 초기에 화재 질식소화포를 사용하면 공기의 진입을 막아 연소속도를 늦춰주고 화염의 발생 및 연기의 발생 속도를 줄일 수 있다. 그로 인하여 소방대가 도착하여 본격적인 진압 활동이 시작될 때에는 소방용수의 사용이 최소화될 수 있으며, 주변 차량의 연쇄 피해도 상당 부분이 줄어들 수 있다.



<그림 4-3> 지하 주차장 화재 시 질식소화포 사용 사례(출처: 세종소방본부)

4) 전기 자동차 화재 진압 전용 수조 설치

아파트 지하 주차장에서 주차 중 또는 충전구역에서 전기 자동차의 화재가 발생한다면 가장 먼저 CCTV시스템이나 소방시설 감지기가 작동하여 관계자와 사용자가 이상발생을 인지하여야 하고 화재가 발생한 지하 주차장 현장에 도착하여 현장을 확인한 관계자 등은 119 신고와 함께 별도 설치된 환기시설을 작동하여야 할 것이다. 그리고 초기화재 상태에서 가능한 한 빠른 시간내에 화재 질식소화포를 사용한다면 화재의 연소속도와 피해 범위는 대단히 줄어들 것이다. 이 방법이야말로 충전시설에서의 화재 발생 초기에 적극적으로 화재를 진압하여야 하는 궁극적 이유가 될 것이다.

전기 자동차의 보급과 화재 사고가 동시에 급증하고 있는 가운데 소방청에서는 최근 전기 자동차 화재 진압방법으로 ‘이동(조립)식 침수조’가 가장 효율적인 방법이라는 연구결과도 발표하였다. 그러나 2022년 6월 현재 전국 17개 시도에서 부산, 경기 그리고 세종 등 3곳만 이동(조립)식 침수조를 갖추고 있는 것으로 확인되었다.

그나마 부산소방재난본부에서 적극적으로 이동(조립)식 침수조를 구비하고

이에 따른 훈련도 활발하게 실시하고 있으며, 실제로 2022년 6월 4일에 발생한 전기 자동차 화재에 이동(조립)식 침수조를 사용하여 전국적으로 주목을 이끌었다(<그림 4-4> 참조).



<그림 4-4> 이동(조립)식 전용 수조 사용 사례(출처: 부산소방재난본부)

여기에서는 전문교육을 받지 않은 공동주택 관리실에서 자체인력으로 ‘이동(조립)식 수조’를 전개(설치)할 수 있는지의 여부와 체계적인 훈련을 실시하여야 하는 과제에 대해서 제언하고자 한다. 화재 사고에서 소방대가 도착하기 전까지 초기 대응의 중요성은 어떠한 것과의 비교도 용납하지 못한다. 초기 대응을 얼마만큼 이루었는가에 따라 재난의 피해 결과는 실로 엄청난 차이를 보이고 있기 때문이다. 다시 말해 체계적인 훈련이 있다면 더욱 효과적이지만, 최소한으로 전기 자동차 화재 사고를 예상하여 수조를 구비하여 화재 발생 즉시 수조를 이동하여 설치하는 과정이 이미 재산피해를 경감시키고 있음을 강조하고 싶다. 그러므로 소방기관에서는 지속적으로 전기 자동차 화재 사고의 위험성과 화재진압 방법 및 초기 대응방법을 훈련하고 홍보하여야 한다.

제 5 장 결 론

현재까지는 전기 자동차의 충전 중 화재의 발생 빈도가 높음에도 불구하고 국내의 경우에는 충전구역의 화재위험을 고려한 관련법이나 설치자에게 안전 기준을 구속할 수 있는 규정이 상당히 미흡하였다. 또한, 전기 자동차 보급이 늘어남에 따라 관련 규정과 충전시설 설치는 늘어나고 있지만, 여전히 공동주택 지하 주차장 내 화재안전기준은 미흡한 것으로 조사되었다.

특히, 전기 자동차의 경우에는 운행 중 교통사고 등 외부 충격으로도 화재 사고의 위험성이 상존하지만 그보다도 충전설비에 의한 과충전, 과방전 현상이나 주차 중에 발생하는 배터리팩의 이상 반응에 의한 열 폭주 현상으로 화재 사고가 자주 보고되고 있어 충전시설을 외부의 안전지대에 설치하는 것이 최선의 안전대책이지만 대부분의 공동주택(아파트)의 경우에는 지하 주차장에 설치되어 있어 위험성이 우려되었다.

따라서 본 연구에서는 국내외 전기 자동차 화재사례와 전기 자동차 화재의 특성을 문헌 고찰 등을 통해 살펴본 결과 전기 자동차 충전시설에서의 화재 대응방안으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫 번째, 관리적 대책으로 충전구역 전용 CCTV를 설치할 것을 제시하였다. 전용 CCTV를 설치함으로써 24시간 충전 중에 발생할 수 있는 위험성을 대비하고 충전구역에서 연기나 불꽃이 발생할 경우에 비상경보음으로 관리자에게 즉시 통보가 가능하도록 제시하였다.

두 번째, 시설적 대책으로 충전구역에 별도의 환기시설을 설치할 것을 제시하였다. 충전구역의 위치와 상관없이 배연할 수 있는 설비를 갖추거나 강제 배기가 가능하도록 하여 피난허용시간(ASET)을 늘려야 할 것을 명확하게 제시하였다.

세 번째, 소방 활동적 대책으로 화재 질식소화포를 갖추어야 한다고 제시하였다. 특히 신축의 경우 제도적으로 질식소화포를 지정수량을 정하여 설치함으로써 초기화재 시에 자체적으로 활용하거나 소방대에 제공하여 소화 활동을 신속하게 지원할 수 있도록 대책을 제시하였다.

네 번째, 전기 자동차 화재의 초기대응의 중요성에 따라 이동(조립)식 소화수조의 설치 및 관리자 등의 체계적인 훈련의 필요성에 대해서도 촉구하였다.

그러나 본 연구는 국내외 참고문헌과 선행연구가 부족하여 깊이 있는 연구에 어려움이 있었고 시간적 제한으로 현실에 기반한 실험적 결과치를 도출하는 데 한계가 있다.

그러나 지금은 대형 재난 피해를 막고 국민의 안전 확보를 위해 정부 차원에서 지하 주차장에서의 전기 자동차 충전시설의 설치기준, 화재감지시설 및 제연이나 환기설비 설치기준, 화재 대비 공동주택 관리자 등의 전기 자동차 충전설비 조치사항 등에 대한 지침이 조속히 마련되어야 하는 시점이다.

전기 자동차의 위험성이 사회적 관심과 안전기준으로 확실하게 제어될 수 있을 때까지 충전시설 설치기준에 대한 인식 변화 및 전기 자동차 화재 진압의 위험성을 해결할 기초자료로 활용되기를 간절히 바란다.

참고문헌

1. 김태한, “전기 자동차 화재 대응 전략에 관한 연구” 석사학위논문, 경일대학교 대학원, 2021.
2. 배영환 등, “전기 자동차 충전구역 안전성 확보를 위한 화재위험성평가와 안전대책에 관한 연구” 제34회 119 소방정책 콘퍼런스, 2022.
3. 정용욱, 이보희, 정구섭, “전기 자동차 4판” GS인터비전, 2022.
4. 국토교통부 통계누리(<https://stat.molit.go.kr/>)
5. 소방청 국가화재정보센터(<https://www.nfds.go.kr/>)
6. 네이버 블로그 ‘중국 IT& 기술 이야기’,
(<https://moonchina.tistory.com/144>)
7. 정덕남, “친환경자동차 사고현장 대응전략에 관한 연구” 석사학위논문, 서울시립대학교 도시과학대학원, 2019.
8. 국가법령정보센터(www.law.go.kr)
9. 서울강남소방서 정영욱, “SFA journal” 전기 자동차의 화재 및 폭발, 위험성 재조명, 2021. Vol.36.
10. 「재난현장 표준작전절차」 (소방청)
11. NFPA.org, Emergency Field Guide. 2018.
12. 「전기 자동차 화재 대응기술 등 진압대책」 (소방청, 2021. 10. 25.)
13. 「전기차 전용주차구역 소방안전가이드」 (부산소방재난본부, 2022. 5.)

Abstract

MS.Thesis

A Study on Fire Response in Charging Facilities for Electric Vehicles

Jeong Dong Hyun

Major of Fire Protection & Disaster Management

Graduate School of Engineering

Kyonggi University

With the recent tightening of environmental regulations, automobile manufacturers are doing their best to develop eco-friendly Vehicles, and the government is also supporting various subsidies and benefits to encourage eco-friendly Vehicles purchases.

Although internal combustion engines are still popular, the recent emergence of electric vehicles, hybrid and hydrogen fuel cell vehicles has diversified consumers' choices, and the performance of eco-friendly vehicles is not insufficient compared to internal combustion engines, and the Ministry of Environment and local governments are devoting their budget.

Therefore, this study focused to contribute to preparing countermeasures to prevent large-scale property damage and human casualties caused by fire by examining the current status of charging facilities in multi-family housing.

The fire extinguishing method that can be applied in the event of an electric vehicle fire accident was studied, and the standard operation procedure for electric vehicle fire response was presented by the fire department and what kind of fire facilities should be installed in the apartment underground parking lot and what preparation and response posture are needed.

In the future, continuous efforts and continuous research will be needed so that users can prepare their own countermeasures and install voluntary facilities by publishing thorough historical research on the dangers of electric vehicles to the public.