

[Research Paper]

# 전기자동차 화재사고 대응능력 강화를 위한 교육효과 분석

김수진 · 정진혁\* · 함승헌\*\*†

서울대학교 보건대학원 · 서울특별시소방학교 소방과학연구센터 책임연구원, \*서울특별시소방학교 소방과학연구센터 선임연구원, \*\*가천대학교 의과대학 길병원 직업환경의학과 교수

## Educational Effects of a Training Course for Reinforcement of Fire Accident Response Capabilities of Electric Vehicles

Soo Jin Kim · Jin Hyeok Jeong\* · Seunghon Ham\*\*†

Senior Researcher, Department of Epidemiology, Graduate School of Public Health, Seoul National University, Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Service Academy,

\*Senior Researcher, Fire Science Research Center, Seoul Metropolitan Fire Service Academy,

\*\*Professor, Dept. of Occupational and Environmental Medicine, Gil Medical Center, College of Medicine, Gachon Univ.

(Received November 22, 2022; Revised December 26, 2022; Accepted December 27, 2022)

### 요 약

이 연구는 전기차 사고대응인력을 대상으로 실시한 교육과정의 교육효과를 분석하는 것이 목적이다. 연구설계는 교육전·후 설문조사를 통한 단면연구로, 서울시 전자설문시스템을 이용하여 서울특별시소방학교 제1기 전기차량 사고대응능력 교육과정에 입교한 소방관 30명을 대상으로 교육 시작 전과 교육 종료 후에 설문조사를 각각 수행하여 총 60명의 응답결과를 분석하였다. 분석결과 설문대상자 모두 남성이었고, 교대근무자가 76.6% (23명) 이었다. 전기차가 많이 보급되고 있으나 사고현장 미경험률이 76%로 높았고 전기차 사고대응 교육훈련의 적합한 교육방법은 실제차량 화재진압훈련이라고 응답해 사고현장영상, 실험, 훈련자료 공유 등 간접노출에 의한 체험학습이 필요함을 확인하였다. 또한 교육과정을 통해 전기차 일반적 현황과 특성, 위험성에 대한 인지변화를 확인할 수 있었다. 이 연구결과는 향후 체계적이고 전문적인 전기차 사고대응인력을 위한 교육훈련과정 개발에 활용될 수 있을 것이다.

### ABSTRACT

The purpose of this study is to evaluate the educational effectiveness of a training course for electric vehicle accident response personnel. This study design is a cross-sectional study with a pre- and post-education survey. A total of 60 responses were analyzed before and after the training of 30 firefighters enrolled in the First Electric Vehicle Accident Response Capability course at the Seoul Metropolitan Fire Academy using the Seoul Metropolitan Fire Department's electronic survey system. All survey subjects were male, and there were 76.6% shift workers (23 respondents). Although electric vehicles are widely distributed, the inexperience rate at the accident scene was as high as 76%, and the respondents answered that the appropriate education method for electric vehicle accident response training was actual vehicle fire suppression training. In addition, it was possible to check the general status, characteristics, and cognitive changes of electric vehicles through the training course. This finding can be used in the future development of education and training courses for systematic and professional electric vehicle accident response personnel.

**Keywords :** Electric vehicles (EV), Fire, Accident response, Safety education, Effectiveness

### 1. 서 론

국내 친환경자동차는 2008년 이후 급격히 성장하고 있다. 이중 전기자동차(이하 ‘전기차’)는 2017년 누적등록대수 25,108대

에서 2021년 231,443대로 5년간 10배 가까이 증가하였고 전체 자동차 등록대수에서도 1.5%에서 4.7%로 꾸준히 증가하고 있다<sup>(1)</sup>. 전기차는 고전압 배터리에서 전기에너지를 전기 모터로 공급하여 구동력을 발생하는데, 엔진이 없고 화석연료를 사용

† Corresponding Author, TEL: +82-32-458-2634, FAX: +82-504-439-9025, E-Mail: [shham@gachon.ac.kr](mailto:shham@gachon.ac.kr)

© 2023 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

하지 않아 차량으로부터의 오염물질 배출을 최소화하는 것이 특징이다<sup>(2)</sup>. 또한, 전기차는 배기가스에 포함된 탄소물질 미배출로 지구온난화 저감에 기여하는 바가 있으나, 국내에서 2017년 13건을 시작으로 2018년 12건, 2019년 22건, 2020년 11월 누계 22건까지 최근 4년간 69건의 전기차 화재가 발생하였고, 재산피해액 2억 7837만원으로 증가하는 전기차 보급량과 함께 화재사고도 꾸준히 증가할 것으로 예상된다<sup>(3)</sup>. 일반 내연기관 자동차와 비교하였을 때 전기차 화재발생 비율은 배터리 발화에 의한 전기차 1만대 당 화재발생비율(0.52대)이 내연기관 자동차 화재비율(1.88대)보다 높지 않지만 화재진압에 대한 어려움은 계속되고 있다<sup>(4)</sup>. 전기차 배터리화재는 주로 과충전, 과부하, 외부충격 등으로 발생하며 배터리에 불이 붙으면 화재진행속도가 빠르고 열폭주 현상에 의해 화재를 진화할 방법은 없게 된다. 다만, 화재가 진화되더라도 파손된 배터리에 남아있는 내부에너지에 의해 언제든지 재발화가 가능한 상태가 되어 이러한 위험성 높은 사고현장에서의 현장대응은 그 중요성이 강조되고 있다. 그간 국내에서 발표된 전기차 연구는 리튬이온 배터리와 관련한 열폭주 실험<sup>(5)</sup>, 리튬이온전자 화재위험성과 가스발생 특성<sup>(6)</sup>, 전기차 화재폭발 위험성 저감을 위한 소화설비와 안전관리방안<sup>(7)</sup>, 전기차 배터리 안전<sup>(8)</sup>, 리튬이온 배터리 팩을 적용한 전기차 화재위험성 실험<sup>(9)</sup>, 전기차 사고현장 대응전략<sup>(10)</sup>, 수소전기차 보급과 기술개발동향<sup>(11)</sup> 등으로 배터리 열폭주 위험에 대한 연구가 가장 많았고, 사고현장 대응 전략에 대한 연구는 있었으나, 현장대응 인력을 위한 교육훈련과 관련된 연구는 없어 사고대응 교육관련 연구의 필요함을 보여주었다. 해외의 경우 이미 전기차 생산과 보급이 우리나라보다 빨라 전기차 관련한 연구도 앞서고 있었으며, 특히 전기차 화재진압을 위한 시나리오 기반의 실험, 전기차 리튬이온배터리 수명주기에 대한 위험관리<sup>(12)</sup> 등과 같은 다양한 분야에서 연구들이 발표되고 있었다. 더불어 미국방화협회(national fire protection association, NFPA)에서는 2013년 6월 이미 소방관을 포함한 응급대응인력을 위한 전기차와 하이브리드차 안전훈련 보고서를 발표한 바 있다<sup>(13)</sup>.

국내에서는 전기차 사고대응을 위한 교육훈련프로그램 운영의 효과에 대한 연구가 없어 우리 연구에서 교육참여자를 대상으로 교육전과 후에 동일한 내용의 설문조사를 통해 교육

프로그램의 효과를 분석하고자 한다. 따라서 이 연구의 목적은 전기차 사고대응 인력을 대상으로 실시한 교육훈련과정의 교육 효과를 분석하는 것이다.

## 2. 연구방법

### 2.1 연구환경

전기차 화재가 증가하고 사상자도 발생됨에 따라 전기차 사고대응능력을 강화하기 위하여 서울특별시 소방학교에서는 ‘전기차량 사고대응능력’ 교육과정을 3일간 운영하였다. 이 교육과정의 목표는 전기차량 사고에 대한 전문지식 함양과 현장 대응역량 강화였고, 소방서 화재진압대원 중에서 선발하였다. 교육과정의 주요 내용은 전기차 배터리 원리와 개발동향, 전기차 사고사례와 화재조치방법, 전기차 화재안전관리, 배터리 화재진압 실험, 전기차 화재진압 종류와 전술, 이동식 수조설치 훈련 및 전기차를 활용한 화재진압훈련으로 1일 7 h 운영 총 21 h에 편성하여 이론과 실습 교육을 병행하여 실시하였다 (Table 1).

### 2.2 연구설계 및 대상

이 연구설계는 교육전과 후의 설문조사 수행을 통한 단면연구(cross-sectional study via before and after assessment)로 서울시 전자설문시스템을 이용하여 서울시에 재직중인 소방공무원 중 서울특별시 소방학교 ‘제1기 전기차량 사고대응능력’ 교육과정에 입교한 30명을 대상으로 설문조사를 수행하였다.

### 2.3 조사 방법 및 내용

우리 연구에서 전기차 출동, 위험성, 사고대응, 개인보호장비 세척에 대한 인식 등의 교육 전·후 효과성을 평가하기 위해 크게 7가지 도메인을 분류하였고, 선행연구 조사 및 해당 분야 전문가 인터뷰 과정 등 설문 문항의 내용타당도 검토를 통해 설문조사 문항을 개발하였다. 설문조사는 총 46개 항목으로 설문조사 수행 전 파일럿 조사를 통해 설문구성 및 내용의 오류와 문제점 등을 점검하였고 도출된 문제를 수정·보완 후 본 설문에 적용하였다. 설문기간은 6월 14일부터 6월 17일까지 4일간 진행되었고, 교육과정에 입교한 모든 교육대상자

Table 1. Education Schedule of EV Accident Response Ability

Day	Time						
	09:00 ~ 09:50	10:00 ~ 10:50	11:00 ~ 11:50	13:00 ~ 13:50	14:00 ~ 14:50	15:00 ~ 15:50	16:00 ~ 16:50
Day 1	Public Service Ethics	Electrical Vehicles (EV) Battery Principle and Development Trend		Cases of EV Accident and Fire Measures		Types of EV Fire Safety Management	
Day 2	Experiment of Battery Fire Suppression			Types of EV Fire Suppression		Practice of EV Fire Suppression	
Day 3	Training of Mobile Tank Installation			Fire Suppression Training Using EV			

가 교육 시작 전과 교육 수료 후에 각각 설문을 수행하였다. 설문조사의 중요성과 필요성에 대하여 교육대상자 30명에게 대면으로 설명한 후 설문 참여자의 동의를 받았다. 이때 설문 조사 결과의 소방정책 활용에 대한 동의도 함께 받았고 설문 에 응답한 참여자 모두에게 소정의 대가를 제공하였다. 또한 설문방법은 서울시 전자설문시스템을 이용함으로써 교육대상 자들의 휴대전화를 통하여 설문접근 참여가 가능하게 하였다. 설문의 주요 내용은 인구사회학적 정보 이외에 전기차의 개요, 전기차 위험성, 전기차 화재현장 사고대응, 전기차 교육훈련 경험과 수준, 전기차 사고현장 대응 후 개인보호장비 세척에 대한 인식, 전기차 사고 출동관련 인식, 국내 전기차 기준 마련 에 대한 인식 정도를 교육전과 교육후에 동일한 내용으로 조 사를 하였다.

#### 2.4 분석방법

교육대상자들에게 지식의 변화를 평가하기 위해 전기차 설 문 질문항목의 응답은 리커트(Likert) 5점 스케일을 이용하였 고, 전혀 그렇지 않다 1점, 그렇지 않다 2점, 보통이다 3점, 그 령다 4점, 매우 그렇다에 5점을 부여하여 각 질문항목의 응답 에 대하여 평균과 표준편차를 산출하였다. 기술적 통계분석을 통해 설문조사 대상자들이 응답한 문항에 대한 탐색적 분석을 1차적으로 수행하였다(SAS 9.4, NC, USA). 교육전 효과평가 는 1일차 첫 수업을 시작하기 전에 설문조사를 수행하였고, 교 육 후 효과평가는 3일차 모든 수업이 종료된 후에 설문조사를 수행하였다. 각 설문 문항에 대해서는 신뢰도 계수(Cronbach's  $\alpha$ )를 산출 제시하였다. 교육과정 교육효과성 평가는 교육 시작 전과 교육 수료 후에 응답한 결과를 각 두 개의 그룹으로 나누 어 독립 t검정(two samples t-test)을 수행하여 분포를 비교함으 로써 분석하였다. 독립 t검정에서는 교육 전과 후의 평균, 표준 편차 값을 산출하였다. 또한, 정규성과 등분산성을 통해 t검정 결과에 대하여 교육 전과 수료 후 두 집단 간 평균차이를 평가 하였고 통계적 유의성은 p-value를 통해 검정하였다.

### 3. 연구결과

#### 3.1 설문조사 응답자의 인구사회학적 현황

성별로는 교육대상자 모두가 남성이었고(30명, 100%), 연령 별로는 40~44세 그룹이 40.0% (12명)로 가장 많았고 소방공 무원으로서 총 근무했던 기간별로는 5년 이상 10년 미만이 36.7% (11명), 10년 이상 15년 미만이 33.3% (10명)으로 높았 으며, 교대근무 형태로 화재나 구조업무를 수행했던 기간별로는 5년 이상 10년 미만이 36.7% (11명), 10년 이상 15년 미만 이 33.3% (10명)으로 많았다. 최초 임용직위는 소방(경방)이 60.0% (18명), 현재 담당 직위는 화재진압(지휘, 운전포함)이 50.0% (15명)로 가장 많았다. 직급별로는 소방장이 40.0% (17 명), 소속기관별로는 현장대응단과 119안전센터가 76.7% (23 명)로 사고현장 대응업무를 수행하는 교대근무자가 대부분을 차지하였다(Table 2).

#### 3.2 전기차의 일반적 현황에 대한 인지변화 교육효과

‘전기차를 대상으로 화재진압 또는 구조활동을 해 본 경험 이 있습니까?’를 묻는 질문에 ‘없음’으로 응답한 사람이 76.7% (23명) 이었고, 한 번이라도 소방활동을 했던 경험이 있는 사람들은 23.4% (7명) 이었다. 교육대상자들에게 지식의 변화를 평가하기 위해 전기차 일반현황 인지에 대해 물어보았 다. ‘친환경자동차’의 개념을 알고 있다, ‘전기차’와 ‘내연자동 차’의 주요 구조의 차이를 알고 있다, ‘친환경자동차’의 종류 에 대해 알고 있다, ‘하이브리드 자동차’와 ‘순수 전기차동차’ 를 구분할 수 있다. 총 네 개의 항목을 조사한 결과 교육 전에 비해 교육수료 후에 모두 평균점수가 상승하였다(Table 3). 전 기차 일반적 현황 인지변화 4개 설문 항목의 신뢰도 계수는 (Cronbach's  $\alpha$ ) 0.90 이었다.

#### 3.3 전기차 위험성의 인지변화 교육효과

교육대상자들에게 전기차 관련 지식(knowledge) 변화를 평 가하기 위해 전기차 위험성 인지정도에 대해 물어보았다. ‘전 기차 배터리의 열폭주 현상을 이해하고 있다’, ‘배터리에 사용 되는 전해질은 위험한 물질이다’, ‘배터리 화재시 나오는 유독 가스에 대해 알고 있다’ 질문의 응답결과는 교육전에 비교하 여 교육 후 모두 개선된 방향으로 평균점수가 각각 1.43점, 1.50점, 1.43점 상승하였다( $p < .0001$ ). ‘고전압 배터리는 안전 하다고 생각한다’는 질문에서 교육전에 비해 교육 후 더 많은 교육생들이 ‘안전하다고 생각하지 않는다’는 방향으로 응답하였 고 인지변화에 효과는 있었으나 통계적 유의성은 없었다 (Table 4). 전기차 위험성 인지변화 4개 설문 항목의 신뢰도 계수는(Cronbach's  $\alpha$ ) 0.79 이었다.

#### 3.4 전기차의 화재현장 사고대응 인지변화 교육효과

교육대상자들에게 인지변화를 평가하기 위해 전기차 화재현 장 사고대응 인지정도에 대해 물어보았다. ‘자동차 외관으로 내연기관 자동차와 친환경 자동차를 구분할 수 있다.’ 질문항 목에서는 교육전·후 평균점수(표준편차)가 각각 3.56 ( $\pm 1.07$ ), 4.00 ( $\pm 0.78$ )로 모두 높게 나타났고, 교육 후에 평균점수가 다 소 증가하였으나 통계적으로 유의하지는 않았다. ‘전기차 사고 대응 시 사용되는 개인안전장비와 측정장비에 대하여 알고 있 다’는 질문에서 교육 후 평균이 각각 1.43점, 1.63점 상승하였 다( $p < .0001$ ). ‘전기차에 사용되는 고전압 케이블의 색상을 알 고 있다’는 질문에서는 교육 후 평균이 2.10점 많이 상승하였 고( $p < .0001$ ). ‘전기차 사고대응 시 차량불능화 개념을 알고 있다’는 질문에서는 교육 후 평균이 1.90점 상승하였으며( $p < .0001$ ). ‘전기차 화재발생 시 사용되는 진화방법을 알고 있다’, ‘전기차 사고대응 표준작전절차(SOP)를 이해하고 있다’는 질 문에서는 교육 후 평균이 각각 1.63점, 1.56점 상승하였다( $p < .0001$ ). 또한 ‘전기차 화재진압 후 재발화의 가능성이 있다’는 질문에서도 교육 후 평균이 0.86점 상승하였다( $p = 0.003$ ) (Table 5). 전기차 화재현장 사고대응 인지변화 8개 설문 항목 의 신뢰도 계수는(Cronbach's  $\alpha$ ) 0.94 였다.

**Table 2.** Demographic Findings of Survey Participations

Characteristics		N (%)	p-value
Gender	Male Female	30 (100) 0 (0)	-
Age	30~34 35~39 40~44 45~49 50~54	4 (13.3) 9 (30.0) 12 (40.0) 4 (13.3) 1 (3.3)	< 0.001
Total Working Period as Firefighter (Year)	1~4 5~9 10~14 15~19 20~24 More than 25	3 (10.0) 11 (36.7) 10 (33.3) 2 (6.7) 4 (13.3) 0 (0.0)	0.01
Total Working Period for Fire and Rescue Duty in the Pattern of Shift Work (Year)	Less than 1 1~4 5~9 10~14 15~19 20~25	2 (6.7) 12 (40.0) 9 (30.0) 4 (13.3) 1 (3.3) 2 (6.7)	0.02
First-time Job Duty	Firefighter Rescuer Fire Engine Driver EMS Provider (Including EMS Administration and Communication) Others	18 (60.0) 25 (23.3) 27 (6.7) 29 (6.7) 30 (3.3)	0.001
Current Job Duties	Firefighter (Including Fire Command and Driver) Rescuer Fire Administration Others	16 (53.3) 6 (20.0) 5 (16.7) 3 (10.0)	< 0.001
Current Job Raking	Senior Firefighter Fire Sergeant Fire Lieutenant	11 (36.7) 12 (40.0) 7 (23.3)	0.0007
Qualification	Firefighter I Firefighter II Emergency Rescue Technician II Fire Engine Operator Fire Investigator Others None	3 (10.0) 23 (76.7) 8 (26.7) 3 (10.0) 2 (6.7) 3 (10.0) 4 (13.3)	0.49
Affiliation	Fire Department (Non-shift Working) Department of Emergency Response, 119 Safety Center	7 (23.3) 23 (76.7)	< 0.001
Total		30 (100)	

**Table 3.** Changes in Awareness of the General Status of EV

Awareness of the General Status of EV	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
Know the Concept of Eco-friendly Vehicles	2.83	1.08	3.90	0.84	1.06 ± 0.97	< .0001	4.25
Know the Difference between the Main Structures of EV and Internal Combustion Engine Vehicles	2.76	1.13	3.96	0.88	1.20 ± 1.01	< .0001	4.56
Know about the Types of Eco-friendly Cars	2.90	1.12	4.06	0.69	1.16 ± 0.93	< .0001	4.84
Distinguish between Hybrid and Pure EV	3.23	1.10	4.00	0.83	0.76 ± 0.97	0.003	3.04

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean

**Table 4.** Changes in the Perception of EV Risk

Level of Awareness of the Dangers of Electric Vehicles	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
Understanding the Thermal Runaway Phenomenon of EV Batteries	2.76	1.35	4.20	0.48	1.43 ± 1.01	< .0001	5.45
I Think High Voltage Batteries are Safe	2.00	0.98	1.80	1.06	-0.20 ± 1.02	0.45	-0.76
Electrolytes Used in Batteries are Hazardous Materials	2.23	1.13	3.73	0.73	1.50 ± 0.95	< .0001	6.06
I Know about the Toxic Gas that Comes Out of a Battery Fire	2.73	1.28	4.16	0.53	1.43 ± 0.98	< .0001	5.65

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean

**Table 5.** Changes in Cognitive Response to EV Fire Scene Accidents

Recognition of Accident Response at Electric Vehicle Fire Scene	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
It is Possible to Distinguish between an Internal Combustion Engine Vehicle and an Eco-friendly Vehicle by the Exterior of the Vehicle.	3.56	1.07	4.00	0.78	0.43 ± 0.94	0.07	1.78
Know about PPE Used in Response to EV Accidents	2.63	1.15	4.06	0.58	1.43 ± 0.91	< .0001	6.05
Know the Measuring Equipment Used to Respond to EV Accidents	2.33	1.18	3.96	0.76	1.63 ± 0.99	< .0001	6.35
I Know the Color of the High-voltage Cables Used in EV	2.33	1.42	4.43	0.81	2.10 ± 1.15	< .0001	7.01
Know the Concept of Vehicle Disabling When Responding to an EV Accident	2.06	1.22	3.96	0.85	1.90 ± 1.05	< .0001	6.96
Know the Fire-fighting Methods Used in Case of EV Fire	2.76	1.16	4.40	0.56	1.63 ± 0.91	< .0001	6.91
There is a Possibility of a Re-ignition After an EV Fire is Extinguished	3.76	1.35	4.63	0.66	0.86 ± 1.06	0.003	3.14
I Understand the SOP for Responding to EV Accidents	2.33	1.21	3.90	0.84	1.56 ± 1.04	< .0001	5.81

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean, PPE: personal protective equipment, SOP: Standard Operating Procedure

**3.5 전기차 교육훈련 경험과 수준**

전기차 사고대응과 관련하여 교육을 받거나 훈련을 한 경험이 있습니까?’라는 질문에서 받은 경험이 있다고 응답한 사람은 86.7% (26명) 였다. ‘전기차 사고대응과 관련하여 교육이나 훈련은 필요하다’는 질문에 63.3% (19명)가 응답하였다. 또한 ‘전기차 사고대응 교육훈련에 가장 적합하다고 생각하는 교육 방법은?’이라는 질문에는 교육수료 후 응답결과로 ‘실제차량 화재진압훈련’이 70.0% (21명)으로 가장 높게 응답하였다 (Table 6).

**3.6 전기차 사고현장 대응 후 개인보호장비 세척에 대한 인식변화 교육효과**

‘내연기관자동차 화재사고 소방활동 종료 후 현장에서 개인 보호장비 세척이 필요하다’는 질문에 교육전과 후에 응답한 평균점수는 각 3.76, 4.20점으로 교육 후 0.43점 상승하여 높은 편이었으나 통계적으로 유의하지는 않았다. ‘전기차 화재사

고 소방활동 종료 후 현장에서 개인보호장비 세척이 필요하다’는 질문에서는 교육 후 평균이 0.66점 상승하였고 통계적으로 유의하였다(p = 0.01) (Table 7). 전기차 사고현장 대응후 개인보호장비 세척 인식변화 2개 설문 항목의 신뢰도 계수는 (Cronbach’s α) 0.94 였다.

**3.7 전기차 사고대응 출동 인식변화 교육효과**

‘전기차 사고출동 시 화재진압과 인명구조 등의 소방활동에 어려움을 느낀다’는 질문에 교육전과 후에 응답한 평균점수는 각 3.90, 4.23점으로 교육 후 0.33점 상승하였고, ‘내연기관자동차 사고출동 시 화재진압과 인명구조 등의 소방활동에 어려움을 느낀다’는 질문에 교육 전과 후에 응답한 평균점수는 각 3.33, 3.63점이었다. ‘전기차 사고 시 소방활동 단계에서 발생할 수 있는 위험요인을 알고 있다’는 질문에 교육전과 후에 응답한 평균점수는 각 3.36, 4.30점으로 0.93점 상승하였다. ‘전기차 사고 시 소방활동 단계에서 발생할 수 있는 위험요인에

**Table 6.** Existence and Necessity of EV Education and Training Experience

	EV Education and Training Experience (n, %)	Need for Education and Training Related to EV Accident Response (n, %)
Strongly Disagree	3 (10.0)	0 (0.0)
Disagree	0 (0.0)	0 (0.0)
Neutral	1 (3.3)	0 (0.0)
Agree	17 (56.7)	11 (36.7)
Strongly Agree	9 (30.0)	19 (63.3)
Total	30 (100.0)	30 (100.0)

**Table 7.** Changes in the Awareness of PPE Washing After Responding to an EV Accident

Recognition of Washing PPE After Responding to an EV Accident	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
It is Necessary to Clean PPE at the Scene After Fire-fighting Activities are Completed	3.76	1.19	4.20	0.99	0.43 ± 1.09	0.13	1.53
It is Necessary to Clean PPE at the Scene After Firefighting Activities for EV Fire Accidents are Completed	3.73	1.22	4.40	0.85	0.66 ± 1.05	0.01	2.44

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean, PPE: Personal Protective Equipment, SOP: Standard Operating Procedure

대한 안전조치를 할 수 있다'는 질문에서 교육전·후 응답 평균점수는 각 2.76, 4.0점으로 교육 후 1.23점 상승하였다( $p < .0001$ ). 또한, '전기차 사고 시 현장대응 활동을 효과적으로 할 수 있다'는 질문에서 교육전·후 응답한 평균점수는 각 2.80, 3.93점으로 교육 후 1.13점 상승하였다( $p < .0001$ ). 이 두 가지 질문은 모두 전기차 사고대응 시 기술적인 향상을 의미하는 것이다. '전기차 사고현장에 출동하면 내연기관 자동차 사고현

장보다 심적부담이 더 크게 느껴진다'는 질문에 교육전·후 응답한 평균점수는 각 4.0, 4.1점으로 거의 차이가 없었고 통계적으로도 유의하지 않았으며, 전기차 사고현장에 대해 많은 부담을 느끼는 것으로 조사되었다(Table 8). 전기차 사고대응 출동 인식변화 6개 설문 항목의 신뢰도 계수는(Cronbach's  $\alpha$ ) 0.82였다.

**Table 8.** Changes in Awareness of EV Accidents

Recognition Related to EV Accident Dispatch	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
When an EV Accident is Dispatched, It is Difficult to Conduct Firefighting Activities Such as Extinguishing Fire and Saving Lives.	3.90	0.88	4.23	0.81	0.33 ± 0.85	0.13	1.52
When an 'Internal Combustion Engine Vehicle' Accident is Dispatched, It is Difficult to Perform Firefighting Activities Such as Extinguishing Fire and Saving Lives.	3.33	1.09	3.63	1.06	0.30 ± 1.07	0.28	1.08
Knows the Risk Factors that can Occur in the Firefighting Stage in Case of an EV Accident	3.36	0.96	4.30	0.65	0.93 ± 0.82	< .0001	4.39
Safety Measures can be Taken Against Risk Factors that May Occur During the Firefighting Stage in Case of an EV Accident.	2.76	1.10	4.00	0.52	1.23 ± 0.86	< .0001	5.52
Effective On-scene Response Activities in the Event of an EV Accident	2.80	1.09	3.93	0.58	1.13 ± 0.87	< .0001	5.00
When You are Dispatched to the Scene of an EV Accident, the Psychological Burden is Greater than that of an Internal Combustion Engine Vehicle.	4.00	0.83	4.10	0.80	0.10 ± 0.81	0.63	0.47

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean

**Table 9.** Changes in Awareness of Domestic EV Safety and Accident Response Standards

Recognition Related to Various Standards for Domestic EV	Before (A)		After (B)		B-A (M ± SD)	p-value	t
	Mean	SD	Mean	SD			
I Think that the Technical Preparations are well Prepared to Respond to Accidents Such as EV Fires.	2.36	1.09	2.96	1.15	0.60 ± 1.12	0.04	2.06
I Think that the Legal and Institutional Standards Related to the Safety of EV are Well Established.	2.46	1.04	2.60	1.07	0.13 ± 1.05	0.62	0.49

\* EV: Electrical Vehicles, SD: Standard Deviation, M: Mean

### 3.8 국내 전기차 기준 마련에 대한 인식변화 교육효과

국내 전기차 안전성과 사고대응 기준마련에 대한 교육대상자들의 인식도를 조사하였다. ‘전기차 화재 등 사고대응을 위한 기술적 준비가 잘 되어있다고 생각한다’는 질문에 교육전·후 응답한 평균점수는 각 2.36, 2.96점이었고, 통계적으로 유의하게 나타났다( $p = 0.04$ ). ‘전기차 안전성과 관련하여 법/제도적 기준마련이 잘 되어 있다고 생각한다’는 질문에 교육전·후 응답한 평균점수는 각 2.46, 2.60점으로 교육 후 인식에 대한 차이가 거의 없었다(Table 9). 국내 전기차 기준 마련 인식변화 2개 설문 항목의 신뢰도 계수는(Cronbach's  $\alpha$ ) 0.91이었다.

## 4. 고찰

2022년 서울소방학교 ‘전기차량 사고대응능력’ 전문교육과정에 입교한 소방관을 대상으로 교육 전·후 설문조사를 통해 교육생들의 지식·기술·태도 변화에 대한 교육효과성을 평가하였다. 설문조사 결과 첫 번째로 전기차가 많이 보급되고 있지만 전기차 사고현장 미경험률이 76%에 달해 간접경험을 충족시키기 위해 간접체험 환경의 제공과 더 많은 교육기회가 필요함을 확인하였다. 한 연구에 의하면, 가상현실 기술을 활용하여 간접체험 환경을 제공한 결과 특정 학습에 긍정적인 효과가 나타나는 것이 보고된 바 있다<sup>(14-16)</sup>. 이에 전기차 사고현장에 출동하는 소방관들에게 전기차 사고관련 간접체험 기회를 제공하는 것이 중요하겠다. 몇 년 전부터 소방청 국립소방연구원, 서울소방학교 소방과학연구소, 시·도 소방본부 주관으로 전기차 화재 실험이 많이 수행되어오고 있다. 현재까지 전기차와 관련하여 이루어진 각종 전문교육, 훈련, 실험과 연구 결과에서 도출된 영상자료 등을 공유하고 활용하여 전국의 소방관들에게 간접체험 교육환경을 제공함으로써 사고현장 간접노출에 의한 체험학습을 수행해야 할 필요가 있을 것이다.

둘째, 전기차의 개념, 종류, 내연기관차와의 구별 등에 대한 질문에서 교육 후 지식적인 측면에서 교육효과가 높았다. 이는 학습을 통한 지식습득 결과로서 교육과정의 횡수를 확대 운영하여야 할 필요가 있었다. 셋째, 전기차 위험성 인지변화 교육효과에서 배터리 열폭주 현상, 배터리 전해질의 위험성, 배터리 화재 시 배출되는 유독가스의 위험성 모두 교육 수료 후 이해도가 높아졌다. 이 또한 학습을 통한 지식습득 결과이며 반복을 통한 강화학습 훈련은 교육효과를 더욱 높일 수 있

을 것이다. 넷째, 고전압 배터리가 안전하다고 생각하는지에 대한 질문에 대한 응답은 교육 후 오히려 고전압 배터리가 안전하지 않다고 생각하는 비율이 높아 교육 후 미처 알지 못했던 위험성에 대한 인지비율이 증가된 것은 교육효과로 추정할 수 있겠다. 이 설문항목을 통해 전기차 화재 등 사고대응현장에서 소방활동 중 소방관들의 안전사고 발생 저감과 유해물질 노출저감을 통한 질병 예방에 기여할 수 있을 것이다.

다섯째, 전기차 화재현장 사고대응 지식에서 교육 전·후 눈에 띄게 두드러진 점은 화재현장에서 ‘차량불능화’, ‘진화방법’, ‘표준작전절차’의 지식 습득 부분이었다. 세가지 항목 모두 전기차 화재진압 시 소방관들에게 꼭 필요한 항목들로 ‘차량불능화’를 통해 안전을 도모하고 전기차 특성에 맞는 ‘진화방법’을 사용해야 하며 이 모든 것들은 ‘표준작전절차’를 통해 이뤄져야 함을 의미한다. 현재 전기차 화재 시 실험을 통해 확인된 진화 방법 중 차량 침수를 통한 화재진화 방법이 가장 효과적이라는 사실을 확인하였고 일선 소방서에서는 실험결과를 현장에 적용하여 전기차 화재 시 침수를 시키는 전술을 현장에 적용하고 있다.

여섯째, 전기차 사고대응 교육훈련에 적합한 교육방법에서 응답자의 70%가 실제차량 화재진압훈련이라고 응답해 현장경험 부족에 대한 대안으로 활용할 수 있을 것이다. 다만, 현재 소방학교 교육과정과 인원이 한정적이라는 한계가 있어 앞서 언급한 바와 같이 전기차 화재실험 및 화재진화훈련 영상자료 체험학습을 통해 부족한 현장경험을 채울 수 있을 것이라 사료되며, 소방학교에서는 전기차 사고대응 교육과정 확대운동을 적극 고려하는 것이 필요할 것이다.

일곱째, 내연기관차와 전기차 모두 화재 발생 시 독성물질이 배출되고 소방관의 개인보호장비 등을 오염시키는데, 설문조사 결과 교육 후 내연기관차보다 전기차 화재진압 후 개인 보호장비에 대한 세척 필요성 응답이 조금 더 높았다. 리튬이온 배터리 화재가 발생하면 화재현장에서 불화수소 가스가 발생하고 화재진압 시 사용하는 물은 화학반응을 촉진하는 촉매제로 작용하며, 포스포릴 플루오라이드(phosphoryl fluoride)와 같은 독성가스도 나온다는 연구결과가 발표된 바 있다<sup>(17)</sup>. 리튬이온 배터리를 사용하는 전기자동차 화재진압 현장에서 소방관들은 개인보호장비를 철저히 착용해야 하고, 현장소방활동 종료 후 현장 응급제염을 반드시 시행해야 할 것이다. 일반 화재현장 종료시 교차오염 저감을 위해 소방 방화복의 현장제

음이 중요하다는 델파이 조사결과도 있었다<sup>18)</sup>. 전기차 화재는 일반화재보다 추가 독성가스가 발생되는 것이 실험을 통해 확인된 만큼 소방관들의 안전과 건강을 위해 강조되어야 하며, 전기차 사고대응 교육과정에도 상기 내용을 포함해야 할 것이다. 추가적으로 작업환경측정을 실시하여 소방관들의 노출을 평가하는 자료를 선제적으로 확보하는 것이 필요하다.

여덟째, 전기차 사고 출동인식 관련 설문에서 특이점은 ‘내 연기관차보다 전기차 사고출동에 대해 심적부담이 더 크게 느껴진다’ 항목에서 교육 후 더 큰 심적부담을 느끼는 것으로 확인되었다. 이는 전기차 사고대응과 관련한 여러 지식과 기술을 갖추다 보니 심적부담이 더 가중된 것으로 해석할 수 있겠으며 이는 간접체험 기반의 반복 교육훈련을 통해 경험을 쌓아 부담을 경감시킬 수 있을 것으로 사료된다. 아홉째, 교육 전과 교육 후를 비교하였을 때 ‘현장에서 안전조치 할 수 있다’, ‘현장대응 활동을 효과적으로 할 수 있다’ 등 행동 측면에서 교육 후 모두 높은 점수를 나타내 교육이 응답자의 태도 변화를 유발하였다고 볼 수 있겠다.

마지막으로, 전기차 안전관련 법적 제도적 장치가 잘 마련되어 있다고 질문한 설문결과에서도 교육전과 교육 후 평균이 각각 2.46점, 2.60점으로 응답하여 부정적이었고 교육 후 변화도 거의 없었다. 아직 국내에는 전기자동차의 안전과 관련한 국가 기술표준이나 법적 제도적 제도가 미비한 실정이다. 다만 소방청을 포함한 정부기관에서는 전기차와 관련한 홍보와 사고현장 긴급대응능력 향상을 위해 자료를 제작·발간하여 보급하고 있다. 전기차 관련 정보, 매뉴얼, 사고대책 자료는 환경부의 친환경자동차에 대한 기술동향과 전망, 전기차 배터리 안전회수 및 해체·보관 매뉴얼, 소방청의 전기차 화재대응기술 등 진압대책과 구조활동 지침서, 화재대응력 향상을 위한 실물화재 실험결과 등을 발표하고 보급한 바 있고, 일부 지방자치단체에서 전기차 화재에 대한 진압사례를 공유하고 있다. 그럼에도 불구하고 전기차 안전에 대한 법·제도적 장치마련에 대해 교육생들은 여전히 부족하다는 응답을 보였다. 전기차를 포함한 친환경차량에 대한 국가단위에서의 안전규정 검토와 적극적인 홍보가 필요할 것이다. 또한, 전기차 사고 시 응급대응인력을 위한 교육훈련 프로그램은 개발·보급도 미흡한 수준에 머무르고 있다. 미국방화협회(NFPA)에서는 2013년 6월에 이미 전기차와 하이브리드 차량 사고 긴급대응인력을 위한 교육훈련 보고서를 발표한 바 있다. 이 보고서에서는 교육훈련을 위해 웹 포털 홈페이지(www.EVSafetyTraining.org)를 개설하였고, 지역사회 캠페인을 실시하고 교육훈련과 관련된 로고를 만들어 브랜드화하였다. 또한, 기타 여러 가지 매체를 통해 교육훈련 프로그램을 광고화 하였고, 오프라인과 온라인 교육과정을 만들어 운영하였다. 이러한 일련의 과정들은 2011년 2월부터 2013년 1월까지 진행되었다고 보고서에 세부내용이 담겨있었다<sup>13)</sup>. 이와 비교하였을 때 우리의 전기차 사고대응인력을 위한 교육과정 개설과 운영은 다소 늦었으나 지금이라도 한국의 실정에 맞는 체계적인 수준별 맞춤형 교육과정 개발과 운영이 필요하다고 사료된다. 또한, 국내 전기차 안전관련 국

가기술표준 등에 대한 기술기준 마련도 필요할 것이다.

이 연구는 30명을 대상으로 한 전기차 사고대응인력의 교육 효과성을 평가하였다. 아직까지 국내에서 전기차 사고대응인력 교육효과성을 평가한 연구는 발표된 바 없다는 측면에서 중요한 의미를 지니며 이 연구결과는 파일럿 성격의 결과로서 후속연구가 수행되는데 기초적 근거를 제공할 수 있을 것이다.

## 5. 결론

전기차 사고대응능력 강화를 위해 소방관 30명이 참여한 교육 입교자를 대상으로 교육 전과 교육 후 설문조사 2회를 실시하여 전기차 전문교육과정의 교육효과성을 평가함으로써 참여자의 지식·기술·태도의 변화를 관찰하였다. 설문조사 결과를 통해 사고대응인력을 위한 전기차 사고의 간접체험학습 기회제공은 전기차 사고현장의 경험부족을 해결할 수 있을 것이며, 사고대응 인력을 위한 체계적인 교육훈련 개발과 교육과정 횡수 확대운영은 사고현장에 출동한 소방관들의 안전 확보와 전기차 재발화 위험을 경감하는데 도움을 줄 것이다. 또한 발화, 진화과정에서 발생하는 유해요인에 대한 연구가 필요하다. 본 연구를 통해 향후 국내 전기차 화재 등 전문인력의 사고대응능력을 강화하고 전문교육 프로그램 개발 및 운영에 활용될 수 있을 것이다.

## References

- MORIT, “Electric Vehicles Press Release”, Available From: [http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m\\_71/dtl.jsp?lcmspage=2&id=95086498](http://www.molit.go.kr/USR/NEWS/m_71/dtl.jsp?lcmspage=2&id=95086498) (accessed November 2, 2022).
- ME, “Eco-friendly Car”, Available From: <http://me.go.kr/home/file/readDownloadFile2.do?fileId=123720&fileSeq=1&fileName=f900a21f6b218601e39c00fa4450fb239d0aa7a1f97df8155456a5f1e3631afb&openYn=Y> (accessed November 4, 2022).
- H. S. Kim, S. H. Lee, T. D. Kim and A-Y. Choi, “Experimental Study on Fire Characteristics of Adjacent Electric Vehicles”, *Journal of the Korea Academia-Industrial Cooperation Society*, Vol. 23, No. 4, pp. 343-350 (2022). <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.4.343>.
- NFRI, “How to Respond to Electric Vehicles Fires”, *Annual Research Report*, NFRI, pp. 15-24 (2021).
- B. J. Lim, S. H. Cho, G. R. Lee, S. M. Choi and C. D. Park, “Characteristics Analysis of Measurement Variables for Detecting Anomaly Signs of Thermal Runaway in Lithium-ion Batteries”, *Transactions of the Korean Hydrogen and New Energy Society*, Vol. 33, No. 1, pp. 85-94 (2022). <https://doi.org/10.7316/KH NES.2022.33.1.85>.
- M. W. Park and D. M. Choi, “Experimental Study on Prevention of Thermal Runaway Propagation on Pouch-type Lithium-ion Batteries”, *Fire Science and Engineering*, Vol. 35, No. 6, pp.



- 30-36 (2021). <https://doi.org/10.7731/KIFSE.6487b16b>.
7. J. Y. Kim, J. C. Dong, J. Y. Kim, M. S. Nam and E. S. Kim, "Study on Fire Extinguishing Equipment and Safety Management for Preventing Fire & Explosion Accident of Hydrogen Electric Vehicles", Proceedings of 2021 Spring Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, p. 109 (2021).
  8. Y. S. Park, "How We Should Manage Electric Vehicle Battery Safety", Auto Journal, Vol. 42, No. 11, pp. 31-35 (2020).
  9. S. W. Kang, M. J. Kwon, K. M. Lee, K. I. Hanm and J. Y. Choi, "Full-scale Fire Tests on Lion Battery Packs and Battery Electric Vehicle", Proceedings of 2020 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, p. 108 (2020).
  10. D. N. Jung, "A Study on the Plans of a Incident Response for Eco-friendly Cars", Master's Thesis, University of Seoul, pp. 59-75 (2019).
  11. Y. M. Goo, "Technology for Hydrogen Fuel Cell Electric Vehicle", Journal of the Korea Society of Automotive Engineers, Vol. 41, No. 2, pp. 33-36 (2019).
  12. A. C. Paul, A. A. Paul, D. J. H. Gavin, M. L. Simon, M. Wojciech, A. R. Mohammad, S. W. Malcolm and H. Oliver, "Risk Management Over the Life Cycle of Lithium-ion Batteries in Electric Vehicles", Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 148, pp. 1-17 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111240>.
  13. A. Klock, "Fire Protection Research Foundation Report: Electric/Hybrid Vehicle Safety Training for Emergency Responders", Available From: <https://www.nfpa.org/News-and-Research/Data-research-and-tools/Electrical/Electric-Hybrid-Vehicle-Safety-Training-for-Emergency-Responders> (accessed November 4, 2022).
  14. H. C. Kim, Y. J. Shin, Y. H. Kim and M. S. Suh, "The Use of 3D Virtual Reality Technique in the Web-Based Earth Science Education", Journal of Korea Society for Educational Technology, Vol. 17, pp. 85-106 (2001).
  15. H. S. Kim, "The Use of Virtual Reality in Web-Based Earth Science Education", Journal of Korean Earth Science Society, Vol. 23, pp. 531-542 (2002).
  16. Y. H. Park, "A Study on the Effectiveness of Career Exploration and Work Experience Program: The 3rd Year Students at the Suniversity in Seoul", The Journal of Career Education Research, Vol. 29, No. 1, pp. 165-183 (2016).
  17. F. Larsson, P. Andersson, P. Blomqvist and B. E. Mellander, "Toxic Fluoride Gas Emissions from Lithium-ion Battery Fires", Scientific Reports, Vol. 7, No. 10018, pp. 1-13 (2018). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-09784-z>.
  18. S. J. Kim and S. H. Ham, "Delphi Study on the Reduction of Cross-contamination and Improvement of Management System on Firefighting Protection Suit", Journal of Korean Society of Occupational and Environmental Hygiene, Vol. 32, No. 2, pp. 182-194 (2022). <https://doi.org/10.15269/JKSOEH.2022.32.2.182>.