

แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ

GUIDELINES FOR ELECTRIC VEHICLE FIRE RESPONSE IN PARKING BUILDINGS

ศิวรักษ์ ลิ้มปิยประพันธ์^{1*}, ฉัตรพันธ์ จินตนาภักดี²

Siwarak Limpiyaprapan^{1*}, Chatpan Chintanapakdee²

¹ สาขาการจัดการความเสี่ยงและภัยพิบัติ วิทยาลัยสหศาสตร์บูรณาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

¹ Risk and Disaster Management, College of Interdisciplinary and Integrative Studies, Chulalongkorn University

² ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University

*Corresponding Author Email: 6580145920@student.chula.ac.th

(Received: 1 May 2026; Revised: 25 June 2026; Accepted: 28 June 2026)

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาฉันทามติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ และนำเสนอแนวทางและขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ เป็นการวิจัยเชิงบรรยายโดยใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi Technique) ในการรวบรวมฉันทามติจากผู้เชี่ยวชาญ ใช้การคัดเลือกแบบเจาะจง และการบอกต่อของผู้เชี่ยวชาญ มีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 19 คน แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ นักดับเพลิง นักวิชาการหรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยอาคาร และผู้ที่มีประสบการณ์เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ 1 ฉบับ และแบบสอบถาม 2 ฉบับ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่ามัธยฐาน (MD) และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ แบ่งออกได้ 4 ส่วน ได้แก่ 1) ขั้นตอนการระงับเหตุ 31 ข้อ, 2) การจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ 8 ข้อ, 3) มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ 18 ข้อ, และ 4) ข้อเสนอแนะอื่นๆ 5 ข้อ รวม 62 ข้อ ผลการวิจัยพบว่า ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกัน จำนวน 61 ข้อ และมีความคิดเห็นไม่สอดคล้องกัน จำนวน 1 ข้อ คือ การเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าโดยไม่ใช้อุปกรณ์เคลื่อนย้าย โดยผู้เชี่ยวชาญให้ความเห็นว่าเป็นแนวทางที่มีความเหมาะสมตั้งแต่ระดับมากถึงระดับมากที่สุด จำนวน 61 ข้อ (MD = 3.85 - 5.00, IR = 0.50-1.25) ผลการวิจัยสามารถใช้เป็นแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ

คำสำคัญ: เพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า / การระงับเหตุเพลิงไหม้ / อาคารจอดรถ

Abstract

This research project aimed to study the consensus of expert groups about electric vehicle fire response in parking buildings and propose guidelines and procedures for electric vehicle fire response in parking buildings. This is a descriptive research using the Delphi Technique to gather consensus from experts who were purposive selected and snowball technique, in a total of 19 people. Divided into three groups: fire fighters, safety officers, and individuals with experience in electric vehicles. The research tools consisted of interviews and two rounds of questionnaires and analyzed data by using the median (MD) and interquartile range (IR). Guidelines for electric vehicle fires response in parking buildings can be divided into four parts: (1) Fire suppression procedures (31 items), (2) Preparation of tools and equipment (8 items), (3) Fire prevention measures for parking buildings (18 items), and (4) Other suggestions (5 items),

in a total of 62 items. The research results show that the experts have consensus on 61 guidelines for electric vehicles in parking buildings. On the other hand, there is only one point of disagreement: moving electric vehicle wreckage without appropriate vehicle-moving equipment. The experts agreed upon appropriateness from high to highest levels for a total of 61 guidelines (MD = 3.85 - 5.00, IR = 0.50-1.25) This research can be used in a guideline document for electric vehicles fire response in parking buildings, as well as a preliminary guideline for preparing tools, equipments, and fire protection systems for parking buildings.

Keyword: Electric Vehicle fire / Fire response / Parking Building

บทนำ

ยานยนต์ไฟฟ้า หมายถึง ยานยนต์ใดๆที่ใช้พลังงานไฟฟ้าในการขับเคลื่อนไม่ว่าทั้งหมดหรือบางส่วน และใช้แบตเตอรี่แรงดันสูงเป็นแหล่งเก็บพลังงาน จึงหมายรวมถึงยานยนต์ไฟฟ้าแบบไฮบริดด้วย ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ศึกษาเฉพาะยานยนต์ไฟฟ้าประเภทที่หนึ่งส่วนบุคคล ปัจจุบันยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยมีจำนวนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง จากการความมุ่งมั่นในการลดมลพิษจากการคมนาคม ประกอบกับได้รับการสนับสนุนจากรัฐบาลอย่างใดก็ตาม การเกิดเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้ากำลังได้รับความสนใจจากแวดวงนักดับเพลิงแม้ว่าจำนวนเหตุการณ์เพลิงไหม้น้อยกว่ายานยนต์สันดาป แต่มีรายงานเหตุการณ์ที่ระบุถึงความยากในการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้ารวมถึงระยะเวลาและปริมาณสารดับเพลิงที่ใช้มากกว่าการดับเพลิงยานยนต์สันดาปหลายเท่า

ทั้งนี้พฤติกรรมเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างจากยานยนต์สันดาปเมื่อมีการเผาไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออนที่เกิดจากปฏิกิริยา Thermal runaway ซึ่งหมายถึงการที่เซลล์แบตเตอรี่มีอุณหภูมิสูงผิดปกติและแพร่กระจายไปยังเซลล์ที่อยู่ติดกันอย่างต่อเนื่องก่อให้เกิดความร้อนและก๊าซภายในชุดแบตเตอรี่และเกิดเปลวเพลิงในที่สุด โดยก๊าซที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่เกิดจากไอระเหยของอิเล็กโทรไลต์ มีส่วนประกอบของก๊าซพิษและก๊าซไวไฟเช่น เช่น คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ไฮโดรเจน (H₂), มีเทน (CH₄), เอทิลีน (C₂H₄), อีเทน (C₂H₆), โพรพิลีน (C₃H₆) เป็นต้น^{1,2} ก๊าซเหล่านี้สามารถติดไฟและระเบิดได้ หากก๊าซนั้นๆ มีค่าความเข้มข้นอยู่ในช่วงระหว่างค่าความเข้มข้นต่ำสุดของก๊าซหรือไอระเหยในอากาศที่สามารถติดไฟหรือระเบิดได้ (Lower Explosive Level: LEL) กับค่าความเข้มข้นสูงสุดของก๊าซหรือไอระเหยในอากาศที่สามารถติดไฟหรือระเบิดได้ (Upper Explosive Level: UEL)²

ก๊าซไวไฟคือปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า เช่น พฤติกรรมของเปลวไฟพุ่ง (Jet

flame) ซึ่งเป็นเปลวไฟที่เกิดจากการจุดติดของก๊าซไวไฟที่มีแรงดันออกมาจากชุดแบตเตอรี่ การทดลองของ Zhao และคณะ³ พบการเกิดเปลวไฟพุ่ง 4 ครั้ง ระยะการพุ่งประมาณ 1.5 - 2.5 เมตร และระยะเวลาในการเกิดประมาณ 5.7 - 17 วินาที ซึ่งอาจกระตุ้นให้เกิดการติดต่อกลามไปยังวัตถุที่อยู่รอบข้างได้เร็วยิ่งขึ้น ในทางกลับกันหากก๊าซไวไฟที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ไม่มีการติดไฟจะก่อให้เกิดความเสี่ยงจากพฤติกรรมการระเบิดของก๊าซไวไฟ (Gas explosion) ในภายหลัง อย่างไรก็ตาม อุณหภูมิสูงสุด และอัตราการปล่อยความร้อนสูงสุด (Heat Release Rate: HRR) เกิดจากการเผาไหม้ของวัสดุภายในห้องโดยสารมากกว่าเผาไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมไอออน ส่งผลให้เพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์สันดาปมีอัตราการปล่อยความร้อนที่ใกล้เคียงกันเนื่องจากมีชิ้นส่วนที่คล้ายกัน^{4,5} ทั้งนี้ตำแหน่งที่ติดตั้งและคุณสมบัติในการกั้นน้ำของชุดแบตเตอรี่ (Battery pack) นั้นส่งผลให้การดับเพลิงที่ดับเพลิงทำได้ยาก และมีโอกาสลุกไหม้ซ้ำได้ (re-ignition) การลดอุณหภูมิจึงต้องใช้ปริมาณสารดับเพลิงมากกว่ายานยนต์สันดาป

นอกจากนี้การทดลองของ Willstrand และคณะ⁴ และ Lecocq และคณะ⁶ ที่ได้ทำการทดลองการเผายานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์สันดาปพบว่าก๊าซที่เกิดจากเพลิงไหม้ยานยนต์ทั้งสองประเภทมีลักษณะใกล้เคียงกัน เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂), ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO), กรดไฮโดรคลอริก (HCl), ไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN), ไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF), ไฮโดรคาร์บอนทั้งหมด (THC), กรดไนตริก (NO), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO₂), ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (SO₂) ยกเว้นไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (HF) ที่ถูกพบมากในเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า

ปัจจุบันมีการเผยแพร่แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าจากหลายหน่วยงาน แต่ผู้วิจัยพบว่าแนวทางส่วนใหญ่กล่าวถึงขั้นตอนการระงับเหตุในบริบทเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในที่โล่ง ซึ่งเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถมีผลกระทบมากกว่าสถานที่โล่งอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านการ

ระบายอากาศจึงก่อให้เกิดการสะสมของความร้อนและควันภายในโครงสร้างซึ่งส่งผลต่อทัศนวิสัยและมีอิทธิพลต่อการขยายขอบเขตเพลิงไหม้⁷ และข้อจำกัดด้านพื้นที่ส่งผลต่ออุปสรรคในการเข้าถึงที่เกิดเหตุและการดับเพลิง จากประเด็นเหล่านี้ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะศึกษาแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ ว่ามีความแตกต่างการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในที่โล่งอย่างไร เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็นสำหรับระงับเหตุ และมาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ โดยมีวัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ
2. เพื่อเสนอแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยพรรณนา (descriptive research) โดยใช้เทคนิคเดลฟาย (Delphi technique) ในการรวบรวมความคิดเห็นที่เป็นฉันทามติของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ กำหนดจำนวนผู้เชี่ยวชาญตามการศึกษาของ Macmillan⁸ อ้างถึงใน นิภาพรรณ เจนสันติกุล⁹ ที่ระบุว่าควรมีมากกว่า 17 คนขึ้นไป ระดับความคลาดเคลื่อนจะลดลงและความคลื่อนเริ่มคงที่ คือ 0.02 ซึ่งในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างใช้การคัดเลือกแบบเฉพาะเจาะจง (purposive sampling) รวบรวมรายชื่อผู้เชี่ยวชาญตามคุณสมบัติและความเชี่ยวชาญ โดยศึกษาจากประสบการณ์การทำงาน ผลงานวิจัยและสอบถามบุคลากรที่เกี่ยวข้อง และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมกับการเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยเทคนิคการบอกต่อ (snowball technique) ทั้งนี้ผู้วิจัยกำหนดจำนวนผู้เชี่ยวชาญ 19 คน โดยแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

- 1) กลุ่มนักดับเพลิง จำนวน 12 คน มีประสบการณ์การทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี และสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี

- 2) นักวิชาการหรือเจ้าหน้าที่ความปลอดภัยอาคาร จำนวน 5 คน มีคุณสมบัติได้แก่ มีประสบการณ์การทำงานไม่น้อยกว่า 5 ปี และสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี

- 3) ผู้มีประสบการณ์เกี่ยวกับยานยนต์ไฟฟ้า จำนวน 2 คน มีคุณสมบัติได้แก่ มีประสบการณ์การทำงานเกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้าไม่น้อยกว่า 2 ปี หรือเป็นผู้อบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการตอบโต้เหตุฉุกเฉินที่เกี่ยวข้องกับยานยนต์ไฟฟ้า และสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าระดับปริญญาตรี

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ประกอบด้วยแบบสัมภาษณ์ 1 ชุด และแบบสอบถามจำนวน 2 ชุด โดยมีรายละเอียดของดังนี้

- 1) แบบสัมภาษณ์ รอบที่ 1 เป็นการแบบคำถามปลายเปิดที่สร้างขึ้นจากการทบทวนวรรณกรรม สอบถามเกี่ยวกับแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ จำนวน 16 ข้อ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญได้แสดงความคิดเห็นอย่างอิสระ

- 2) แบบสอบถามเดลฟาย รอบที่ 2 เป็นแบบสอบถามปลายปิดในลักษณะมาตราส่วนประมาณค่า 5 ระดับ (1 คือเหมาะสมน้อยที่สุด 5 คือ เหมาะสมมากที่สุด) จำนวน 62 ข้อ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญแต่ละคนให้คะแนนความเหมาะสมของแต่ละข้อสร้างขึ้นจากผลการวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) คำตอบการสัมภาษณ์ในรอบที่ 1 ร่วมกับการทบทวนวรรณกรรม

- 3) แบบสอบถามเดลฟายรอบที่ 3 เป็นแบบสอบถามปลายปิดในลักษณะเดียวกับแบบสอบถามที่ใช้ในรอบที่ 2 โดยเพิ่มเติมการแสดงค่ามัธยฐาน (Median, MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile Range, IR) และตำแหน่งค่าตอบเดิมของผู้เชี่ยวชาญท่านนั้นในรอบที่ผ่านมาเปรียบเทียบกับแนวคำตอบของกลุ่มผู้เชี่ยวชาญท่านอื่น เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญทบทวนคำตอบของตนเองว่าต้องการเปลี่ยนแปลงคำตอบหรือยืนยันคำตอบเดิม

การเก็บรวบรวมข้อมูล ดำเนินการเก็บข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด 3 รอบ ใช้ระยะเวลารวมทั้งสิ้นจำนวน 163 วัน ตั้งแต่วันที่ 7 กันยายน 2568 – 16 กุมภาพันธ์ 2569 โดยมีรายละเอียดดังนี้

ผู้วิจัยจัดทำหนังสือเรียนเชิญผู้เชี่ยวชาญ พร้อมแนบเอกสารชี้แจงรายละเอียดเกี่ยวกับงานวิจัย และ แบบสัมภาษณ์ปลายเปิด ส่งผ่านทางไปรษณีย์และ Email เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญได้ศึกษาก่อนนัดหมายวันสัมภาษณ์

รอบที่ 1 ผู้วิจัยเข้าพบผู้เชี่ยวชาญเพื่อดำเนินการสัมภาษณ์ด้วยตนเอง ตามวัน เวลา สถานที่ที่ได้นัดหมาย และมีส่วนที่สัมภาษณ์ออนไลน์ผ่าน Zoom application ใช้ระยะเวลา 88 วัน

รอบที่ 2 และ 3 ผู้วิจัยจัดส่งแบบสอบถามปลายปิดพร้อมเตรียมช่องทางการส่งกลับแบบสอบถามมายังผู้วิจัย ผ่านช่องทางเดียวกับรอบที่ 1 ใช้ระยะเวลา 31 วัน และ 18 วัน ตามลำดับ

การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ ผู้วิจัยนำเครื่องมือการวิจัยที่สร้างขึ้นทั้ง 3 ชุด เสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เพื่อตรวจสอบความเหมาะสม จากนั้นทดลองใช้แบบสอบถามก่อนเก็บข้อมูลจริงกับตัวแทนผู้เชี่ยวชาญทั้ง 3 กลุ่ม เพื่อตรวจสอบความถูกต้อง และความเข้าใจในข้อคำถามของผู้เชี่ยวชาญแต่ละกลุ่ม และในระหว่างการเก็บข้อมูลผู้วิจัยขอให้ผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบ

ความเหมาะสมของข้อคำถามแต่ละข้อซึ่งถือเป็นส่วนหนึ่งของการตรวจสอบ และพัฒนาความตรงของเนื้อหา โดยอาศัยข้อเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ และในส่วนความเที่ยงของเครื่องมือพิจารณาจากร้อยละการเปลี่ยนแปลงคำตอบของผู้เชี่ยวชาญ ในรอบที่ 2 และ 3 ตามที่ Von Der Gracht¹⁰ อ้างถึงใน กัลย์ญาณมัส ศรีสุวรรณ¹¹ ที่กล่าวว่า หากมีการเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 15 ถือว่าแบบสอบถามมีความความเที่ยงในระดับที่ยอมรับได้

ผลการดำเนินการขอจริยธรรมในการดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเสนอโครงการวิจัยนี้ เพื่อขอรับการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยจากคณะกรรมการพิจารณาจริยธรรมการวิจัยในคน กลุ่มสหสถาบัน ชุดที่ 1 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และผ่านการพิจารณาอนุมัติโครงการวิจัยเมื่อวันที่ 25 สิงหาคม 2568 เลขที่รับรอง COA No. 238/68 และได้รับอนุญาตให้เก็บรวบรวมข้อมูล ผู้วิจัยจึงนำเอกสารข้อมูลสำหรับผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย และหนังสือยินยอมเข้าร่วมการวิจัยชี้แจงต่อผู้เข้าร่วมการวิจัย

วิเคราะห์ข้อมูล

รอบที่ 1 ผู้วิจัยนำข้อมูลทั้งหมดที่ได้จากการสัมภาษณ์ในรอบที่ 1 มาวิเคราะห์เนื้อหา (Content analysis) เพื่อคัดแยกประเด็นสำคัญ นำเนื้อหาที่รวบรวมได้มาจำแนกและจัดหมวดหมู่ (Categorized) ประกอบกับข้อค้นพบที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรม นำไปสร้างเป็นข้อคำถามในแบบสอบถามรอบที่ 2

รอบที่ 2 ผู้วิจัยนำคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามรอบที่ 2 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากค่ามัธยฐาน (Median, MD) และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (Interquartile Range, IR) โดยหาแนวทางที่มีค่ามัธยฐานตั้งแต่ 3.50 ขึ้นไป แสดงถึงแนวทางข้อนั้นมีความเหมาะสม และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1.50 ซึ่งหมายถึงกลุ่มผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกัน สำหรับแนวทางข้อที่ไม่ผ่านเกณฑ์ฉันทามติ ผู้วิจัยได้ปรับปรุงสำนวนแล้วนำไปสอบถามซ้ำในแบบสอบถามรอบที่ 3

รอบที่ 3 ผู้วิจัยนำคำตอบที่ได้จากแบบสอบถามรอบที่ 3 มาวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติจากค่ามัธยฐาน และค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์อีกครั้ง เพื่อหาข้อสรุปของแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้

ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคาร สำหรับเกณฑ์ที่ใช้พิจารณาแนวทางที่ได้รับฉันทามติ คือ ต้องมีค่ามัธยฐานไม่ต่ำกว่า 3.50 และมีค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ไม่เกิน 1.50 ทั้งนี้อัตราการเปลี่ยนแปลงคำตอบในรอบนี้เท่ากับ 7.98 ซึ่งสามารถยุติการเก็บข้อมูลได้ในรอบนี้ ตามที่ Linstone¹² อ้างถึงใน วลลภ รัฐฉัตรานนท์¹³ ให้ข้อเสนอแนะว่าหากคำตอบจากรอบนี้มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบจากรอบที่แล้ว ไม่เกินร้อยละ 15 จึงถือว่าเป็นเกณฑ์ที่สามารถยุติกระบวนการวิจัยได้

ผลการศึกษา

แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคาร จดรถ แบ่งออกเป็น 4 ส่วนหลัก และแนวทางย่อย จำนวน 62 ข้อ รายละเอียดของคำถามทั้ง 62 ข้อ แสดงอยู่ในตารางที่ 1-4 ผลการวิจัยพบว่า 1) ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคาร จดรถ แนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันและเห็นว่าเป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากที่สุดจำนวน 27 ข้อ (MD = 4.71 – 5.00) (IR = 0.50 – 1.25) แนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันและเห็นว่าเป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากจำนวน 3 ข้อ (MD = 3.85 – 4.45) (IR = 1.00- 1.25) และแนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นไม่สอดคล้องกัน จำนวน 1 ข้อ คือ การเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกจากอาคาร จดรถ โดยไม่ใช้อุปกรณ์เสริมสำหรับการเคลื่อนย้าย หากประเมินแล้วว่าปลอดภัย (MD = 3.75, IR = 1.59) 2) การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์ แนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันและเห็นว่าเป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากที่สุดจำนวน 8 ข้อ (MD = 4.87 – 5.00, IR = 0.50 – 0.63) 3) มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคาร จดรถ แนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันและเห็นว่าเป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากที่สุดจำนวน 18 ข้อ (MD = 4.71 – 5.00) (IR = 0.50 – 1.05) 4) ข้อเสนอแนะอื่นๆ แนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญให้ความคิดเห็นสอดคล้องกันและเห็นว่าเป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากที่สุดจำนวน 5 ข้อ (MD = 4.82 – 5.00) (IR = 0.50 – 0.74)



ตารางที่ 1 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถจากความ
 คิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3

ข้อ	ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ	MD	IR
การประเมินสถานการณ์			
1.	กรณีที่เกิดเพลิงไหม้ยานยนต์หลายคัน ซึ่งประกอบด้วยยานยนต์ไฟฟ้าและยานยนต์สันดาป ให้พิจารณาการใช้โฟมเมื่อน้ำมันเชื้อเพลิงเข้ามาเกี่ยวข้อง	4.71	0.97
2.	กรณีที่เกิดเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าลูกกลมายานยนต์อื่นจำนวนหลายคัน ให้มุ่งเน้นการป้องกันการติดต่อลูกกลมาแล้วจึงแบ่งทีมตอบโต้ตามประเภทเชื้อเพลิงของยานยนต์แต่ละคัน	5.00	0.50
3.	พิจารณาเงื่อนไขการหยุดปฏิบัติการภายในอาคาร หากประเมินแล้วว่าโครงสร้างอาคารได้รับความเสียหาย	4.87	0.63
การสร้างเสถียรภาพของเหตุการณ์ (บริหารเหตุการณ์)			
4.	จัดตั้งศูนย์ควบคุมบัญชาการเหตุการณ์ (Incident Command System) ทันที พร้อมทั้งจัดสรรทรัพยากรบุคคลและสิ่งของ เนื่องจากเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าใช้ระยะเวลาปฏิบัติการยาวนาน ทรัพยากรรวมถึงบุคคลถูกลำเลียงมาจากหลายที่ เพื่อการประสานงานระหว่างหน่วยงานและการจัดสรรทรัพยากรให้เพียงพอ	4.97	0.53
5.	ทำการแบ่งโซนพื้นที่ Hot zone, Warm zone, Cold zone และควบคุมการเข้า-ออกพื้นที่ของอาคารที่เกิดเหตุอย่างเข้มงวด เพื่อการจำกัดผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์	4.97	0.53
6.	จัดตั้งทีมดับเพลิงสำรอง เพื่อการช่วยเหลือทีมดับเพลิงทีมแรกในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินซ้ำซ้อน	4.94	0.56
การสร้างเสถียรภาพของเหตุการณ์ (การสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย)			
7.	นักดับเพลิงควรฉีดน้ำหรือทำการระบายควันเพื่อลดความเข้มข้นของแก๊สไวไฟ ก่อนเข้าประชิดยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้ เนื่องจากกลุ่มควันที่เกิดจากการเผาไหม้ของแบตเตอรี่ลิเทียมมีแก๊สไวไฟ เช่น ไฮโดรเจน อีเทน มีเทน เอทิลีน เป็นส่วนประกอบซึ่งสามารถเกิดการจุดติดหรือระเบิดได้	4.97	0.53
8.	นักดับเพลิงควรทำการตรวจวัดแก๊สไวไฟโดยใช้ค่า LEL: Lower Explosion level เพื่อตรวจวัดความเข้มข้นขั้นต่ำของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้	5.00	0.50
9.	นักดับเพลิงควรทำการยกย้ายยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้เพื่อป้องกันแบตเตอรี่แนบกับพื้นเมื่อล้อได้รับความเสียหายจากเพลิงไหม้	4.15	1.03
10.	นักดับเพลิงควรทำการเปิดหรือทำลายกระจกของยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้เพื่อลดการสะสมของควันหรือแก๊สภายในห้องโดยสารซึ่งอาจเกิดการระเบิดได้	4.77	1.05
11.	ทำการระบายควันเพื่อลดการสะสมของกลุ่มควันภายในโครงสร้างอาคารและเจือจางแก๊สพิษช่วยลดความเสี่ยงการจุดติดไฟหรือระเบิดของแก๊สไวไฟ รวมถึงเพิ่มทัศนวิสัยในการปฏิบัติงาน	4.97	0.53
12.	ทำการประเมินความเสียหายของโครงสร้างอาคาร เนื่องจากโครงสร้างอาจได้รับความเสียหายจากการสัมผัสความร้อนเป็นระยะเวลานานหรือน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นจากการใช้น้ำปริมาณมาก	4.97	0.53
กระบวนการสำคัญที่ควรปฏิบัติหลังเพลิงสงบ			
13.	ทำการเจาะแบตเตอรี่ เพื่อเร่งกระบวนการคายประจุและป้องกันการเกิดเพลิงลุกติดซ้ำ	4.82	0.74



ตารางที่ 1 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถจากความ
 คิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3 (ต่อ)

ข้อ	ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ	MD	IR
กระบวนการสำคัญที่ควรปฏิบัติหลังเพลิงสงบ			
14.	ควรตัดระบบกระแสไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่ แม้ว่ายานยนต์ไฟฟ้าได้เกิดเพลิงไหม้แล้ว เพื่อป้องกันอันตรายจากกระแสไฟฟ้าดูด	4.97	0.53
15.	การชำระล้างสิ่งปนเปื้อน (Decontamination) ในระดับเดียวกับการตอบโต้เหตุสารเคมีรั่วไหล เนื่องจากควันที่เกิดจากเผาไหม้ของยานยนต์ไฟฟ้ามีแก๊สพิษปนเปื้อน	4.97	0.53
16.	ทำรายงานหลังเกิดเพลิงไหม้ เช่น บันทึกสถิติของทรัพยากรที่ใช้ระงับเหตุ, ระยะเวลาในการลุกไหม้, ความเสียหาย, สาเหตุการเกิดเพลิงไหม้ เพื่อเป็นข้อมูลในการพัฒนาแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า	5.00	0.50
วิธีการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถเหนือพื้นดิน			
17.	ใช้น้ำปริมาณมากระบายความร้อน เช่น การยก พลิก ตะแคง และค้ำยันเพื่อฉีดยานด้วยหัวฉีดแบบดั้งเดิม หรือการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง	4.91	0.59
18.	ใช้ผ้าคลุมร่วมกับใช้น้ำระบายความร้อน เช่น คลุมผ้าและฉีดยานจากด้านบน คลุมผ้าร่วมกับการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง	4.77	0.88
19.	เจาะแบตเตอรี่ด้วยหัวฉีดที่มีคุณสมบัติการเจาะ เช่น เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันต่ำที่มีคุณสมบัติการเจาะ เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันสูง เจาะด้วยระบบควบคุมระยะไกล	4.87	0.63
20.	แช่น้ำโดยใช้ผนังกันน้ำ (Flood Barrier) ทำเป็นบ่อน้ำชั่วคราว (Box pool)	4.94	0.56
วิธีการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถใต้ดิน			
21.	ใช้น้ำปริมาณมากระบายความร้อน เช่น การยก พลิก ตะแคง และค้ำยันเพื่อฉีดยานด้วยหัวฉีดแบบดั้งเดิม หรือการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง	4.91	0.59
22.	ใช้ผ้าคลุมร่วมกับใช้น้ำระบายความร้อน เช่น คลุมผ้าและฉีดยานจากด้านบน คลุมผ้าร่วมกับการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง	4.91	0.59
23.	เจาะแบตเตอรี่ด้วยหัวฉีดที่มีคุณสมบัติการเจาะ เช่น เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันต่ำที่มีคุณสมบัติการเจาะ เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันสูง เจาะด้วยระบบควบคุมระยะไกล	4.87	0.63
24.	แช่น้ำโดยใช้ผนังกันน้ำ (Flood Barrier) ทำเป็นบ่อน้ำชั่วคราว (Box pool)	4.81	0.82
การเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกนอกอาคารจอดรถ			
25.	เคลื่อนย้ายโดยไม่ใช้อุปกรณ์เสริมหากประเมินแล้วว่าปลอดภัย	3.75	1.59
26.	เคลื่อนย้ายโดยใช้อุปกรณ์ที่ป้องกันการหมุนของล้อทั้ง 4 ล้อ เช่น ล้อเสริม แม่แรงเคลื่อนย้ายรถแบบล้อเลื่อน (Go jack/ Wheel dolly) เนื่องจากการเคลื่อนย้ายยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องป้องกันการหมุนของล้อ	4.97	0.53
27.	เคลื่อนย้ายโดยใช้รถยกขนาดเล็กแบบมีถาดสไลด์ ซึ่งอาจมีข้อจำกัดเกี่ยวกับความสูงฝ้าเพดานของอาคารจอดรถบางอาคาร	4.71	0.97
28.	เคลื่อนย้ายโดยใช้หุ่นยนต์ดับเพลิง เพื่อลดความเสี่ยงของนักดับเพลิง	3.85	1.25



ตารางที่ 1 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3 (ต่อ)

ข้อ	ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ	MD	IR
การขนส่งยานยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานที่เก็บซาก			
29.	จัดระดับเพลิงไหม้ระหว่างการเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานที่เก็บซาก เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการเกิดเพลิงลุกติดซ้ำขณะกำลังเคลื่อนย้าย เนื่องจากแบตเตอรี่มีโอกาสลุกติดไฟซ้ำได้	4.45	1.00
30.	ติดตั้งระบบตรวจจับความร้อนไว้บริเวณถาดสไลด์ของรถยก เพื่อแจ้งตรวจจับและแจ้งเตือนหากแบตเตอรี่เกิดความร้อนสูงในขณะเคลื่อนย้าย	4.77	1.25
31.	ใช้ผ้าคลุมดับเพลิงระหว่างการเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่เก็บซาก เพื่อป้องกันการผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับวัตถุหรือยานยนต์อื่นในกรณีที่เกิดเพลิงลุกติดซ้ำขณะกำลังเคลื่อนย้าย	4.77	1.05

ตารางที่ 2 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์จากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3

ข้อ	ส่วนที่ 2 การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์	MD	IR
32.	กล้องตรวจจับความร้อน TIC: Thermal Image Camera สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่	5.00	0.50
33.	เครื่องตรวจวัดแก๊ส Gas detector สำหรับวัดความเข้มข้นของสารเคมีแต่ละชนิดในอากาศที่อาจติดไฟหรือระเบิดได้	4.97	0.53
34.	อุปกรณ์ฉุกเฉินสำหรับเสียบช่องชาร์จ Emergency plug เพื่อตัดระบบไฟฟ้าแรงดันสูงภายในยานยนต์ไฟฟ้า	4.91	0.59
35.	หัวฉีดน้ำดับเพลิงแบบสอดใต้ท้อง Under vehicle spray nozzle เพื่อเพิ่มความปลอดภัยและอำนวยความสะดวกแก่ดับเพลิงในการระบายความร้อนของแบตเตอรี่	4.94	0.56
36.	ผ้าคลุมดับเพลิง Fire Blanket สำหรับการป้องกันการแผ่รังสีความร้อนสู่ยานยนต์อื่นหรือโครงสร้างอาคารที่อยู่บริเวณนั้น	4.87	0.63
37.	อุปกรณ์ค้ำยัน สำหรับการยก พลิก หรือตะแคง ยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้ เพื่อเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงแบตเตอรี่แพ็คเกจที่ติดตั้งบริเวณใต้ท้อง	4.94	0.56
38.	แม่แรงเคลื่อนย้ายรถแบบล้อเลื่อน (Go jack/ Wheel dolly) สำหรับการเคลื่อนย้ายยานยนต์ภายในอาคาร หรือออกนอกอาคาร	4.97	0.53
39.	พัดลมระบายควัน เพื่อใช้ระบายหรือควบคุมทิศทางของควัน	5.00	0.50

ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3

ข้อ	ส่วนที่ 3 มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ	MD	IR
40.	การติดตั้งระบบตรวจจับเพลิงไหม้เพิ่มเติมจากระบบเดิมที่มีอยู่ หรือบูรณาการร่วมกับระบบเดิมที่มีอยู่ให้มีมากกว่า 1 ระบบ จะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจจับเพลิงไหม้ได้มากขึ้น	4.82	0.78
41.	การติดตั้งระบบตรวจจับเพลิงไหม้ด้วยกล้องวงจรปิดหรือระบบตรวจจับแก๊สรั่วไหลในอาคารจอดรถ ช่วยเพิ่มความไวในการตรวจจับได้มากกว่าระบบตรวจจับแบบดั้งเดิม	4.71	1.05



ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญรอบที่ 3 (ต่อ)

ข้อ	ส่วนที่ 3 มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ	MD	IR
42.	การปรับเกณฑ์การสำรองน้ำเพื่อการดับเพลิงของการอาคารจอดรถต้องจ่ายน้ำได้ไม่น้อยกว่า 60 นาที เนื่องจากการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าอาจใช้น้ำมากกว่ายานยนต์สันดาปหลายเท่า	4.87	0.63
43.	การติดตั้งระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (สปริงเกลอร์) สำหรับอาคารจอดรถทุกประเภท เพื่อป้องกันการติดต่อกูลามระหว่างคันและโครงสร้างอาคาร	4.94	0.56
44.	การกำหนดตำแหน่งของระบบหัวกระจายน้ำดับเพลิง (สปริงเกลอร์) แบบเฉพาะสำหรับจุดชาร์จหรือพื้นที่จอดยานยนต์ไฟฟ้า เช่น แบบติดกับพื้นลานจอด (ใต้ท้องรถ) เพื่อให้เข้าถึงแบตเตอรี่ที่อยู่ใต้ท้องโดยตรง	4.87	0.63
45.	การยกระดับการทำงานของระบบระบายอากาศในกรณีเกิดเพลิงไหม้ เพื่อลดการติดต่อกูลามและการสะสมของควันในโครงสร้างอาคารจอดรถ	4.97	0.53
46.	การเพิ่มระยะห่างระหว่างคันสำหรับอาคารจอดรถ เนื่องจากยานยนต์สมัยใหม่มีชิ้นส่วนที่ติดไฟได้ เช่น พลาสติก ยาง เป็นส่วนประกอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับยานยนต์ในยุคเก่า	4.87	0.63
47.	การติดตั้งม่านกันควัน เพื่อกักกันควันไม่ให้แพร่กระจายหรือควบคุมควันให้กระจายไปยังทิศทางที่กำหนด	4.91	0.59
48.	การกำหนดพื้นที่สำหรับจอดยานยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ ควรรวมทั้งแบบ Plug-in Hybrid และแบบ Hybrid อยู่ด้วยแม้ว่าแบตเตอรี่จะมีขนาดเล็กเนื่องจากปฏิกิริยา Thermal Runaway ส่งผลให้มีพฤติกรรมของเพลิงไหม้เหมือนกันกับเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าที่มีเฉพาะแบตเตอรี่	4.94	0.56
49.	การกำหนดพื้นที่สำหรับจอดยานยนต์ไฟฟ้าให้อยู่ใกล้กับทางเข้า-ออกอาคาร เพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักดับเพลิงและสะดวกในการเคลื่อนย้าย	4.87	0.63
50.	การกำหนดพื้นที่สำหรับจอดยานยนต์ไฟฟ้าให้อยู่บริเวณชั้นลาดฟ้า เพื่อหลีกเลี่ยงการสะสมความร้อนและกลุ่มควันในกรณีเกิดเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า	4.87	0.63
51.	การห้ามไม่ให้จอดยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารใต้ดิน เนื่องจากอาคารจอดรถใต้ดินมีลักษณะเป็นพื้นที่ปิดทึบ มีข้อจำกัดในการระบายอากาศ ไม่สามารถระบายอากาศได้เองตามธรรมชาติ จำเป็นต้องพึ่งพาการระบายอากาศเชิงกลเป็นหลัก	4.91	0.59
52.	การติดตั้งผนังทนไฟล้อมรอบบริเวณพื้นที่จอดยานยนต์ไฟฟ้าหรือบริเวณจุดชาร์จ เพื่อเสริมความสามารถในการทนไฟของโครงสร้าง	4.94	0.56
53.	การติดตั้งผนังทนไฟสำหรับคั่นกลางระหว่างที่จอดรถแต่ละช่อง เพื่อป้องกันการติดต่อกูลามระหว่างคันได้ เนื่องจากยานยนต์สมัยใหม่มีชิ้นส่วนที่ติดไฟได้ เช่น พลาสติก ยาง เป็นส่วนประกอบเพิ่มมากขึ้นเมื่อเทียบกับยานยนต์ในยุคเก่า	4.87	0.63
54.	การจัดเตรียมถังดับเพลิงที่มีคุณสมบัติในการดับเพลิงแบตเตอรี่ลิเธียม บริเวณจุดชาร์จหรือพื้นที่จอดยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับใช้ระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น	4.94	0.56
55.	การจัดเตรียมผ้าคลุมดับเพลิงบริเวณจุดชาร์จหรือพื้นที่จอดยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับใช้ระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น	4.94	0.56
56.	การติดตั้งตู้หัวฉีดน้ำดับเพลิงบริเวณจุดชาร์จหรือพื้นที่จอดยานยนต์ไฟฟ้า สำหรับใช้ระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าเบื้องต้น	4.97	0.53



ตารางที่ 3 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3 (ต่อ)

ข้อ	ส่วนที่ 3 มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ	MD	IR
57.	การจัดทำแผนผังอาคารจอดรถ พร้อมระบุจุดตัดระบบไฟฟ้าในอาคารและไฟฟ้าแรงสูงของสถานีชาร์จ เพื่ออำนวยความสะดวกแก่นักดับเพลิง เพิ่มความแม่นยำในการเข้าถึงที่เกิดเหตุ	5.00	0.50

ตารางที่ 4 ค่ามัธยฐาน (MD) ค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) ข้อเสนอแนะอื่นๆจากความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญ รอบที่ 3

ข้อ	ส่วนที่ 4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ	MD	IR
58.	อาคารจอดรถควรกำหนดให้มีการลงทะเบียนรถที่เข้ามาจอด เพื่อใช้เป็นข้อมูลสำหรับการติดต่อเจ้าของรถในกรณีเกิดเหตุฉุกเฉิน	4.82	0.74
59.	ผู้ประกอบการอาคารจอดรถควรจัดอบรมให้ความรู้แก่เจ้าหน้าที่ประจำอาคารเกี่ยวกับเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า วิธีการระงับเหตุเบื้องต้น การตัดระบบไฟฟ้าของสถานีอัดประจุ	4.97	0.53
60.	ควรมีการตรวจวัดคุณภาพและบำบัดน้ำที่ใช้จากการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าก่อนปล่อยสู่แหล่งน้ำสาธารณะ เนื่องจากน้ำที่ใช้ดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าอาจมีการปนเปื้อนสารเคมีและโลหะหนัก	5.00	0.50
61.	รายงานการสืบสวนสาเหตุของการเกิดเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า ควรมีการตรวจสอบเชิงลึกและทำการเผยแพร่เป็นข้อมูลย้อนกลับแก่นักดับเพลิง	4.97	0.53
62.	การอบรมให้ความรู้เกี่ยวกับการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า ช่วยให้เจ้าหน้าที่ที่มีความเข้าใจที่ถูกต้องและตัดสินใจโดยใช้เกณฑ์เดียวกัน	5.00	0.50

อภิปรายผล

1.ขั้นตอนการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ

การประเมินสถานการณ์ การระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถเป็นเหตุการณ์ที่มีความซับซ้อนมากกว่าเหตุการณ์ในพื้นที่โล่ง เนื่องจากมีข้อจำกัดด้านพื้นที่และการระบายอากาศ รวมถึงมีความหลากหลายของประเภทของเชื้อเพลิง ดังนั้น นักดับเพลิงจำเป็นต้องประเมินความเสียหายของโครงสร้างอยู่ตลอดเวลาเพื่อกำหนดเงื่อนไขหยุดปฏิบัติการด้านในอาคาร และประเมินขอบเขตของเพลิงไหม้ เชื้อเพลิงที่เกี่ยวข้อง สำหรับการกำหนดวัตถุประสงค์และเตรียมทรัพยากรที่ใช้ในการระงับเหตุ การขยายขอบเขตเพลิงไหม้ไปยังยานยนต์อื่นหรือโครงสร้างอาคารถือเป็นความเสียหายร้ายแรงต่อเหตุการณ์เพลิงไหม้ในอาคารจอดรถ สอดคล้องกับการทดลองของ BRE¹⁴ พบว่าเมื่อเพลิงไหม้ลุกลามเข้าสู่ห้องโดยสารของยานยนต์คันที่ 2 จะส่งผลให้อัตราการปล่อยความร้อน (Heat release rate, HRR) สูงถึง 20 เมกะวัตต์ และลุกลามคันที่ 3 ได้ภายหลังไม่กี่นาที อุณหภูมิภายในห้องทดลองสูง 1,000 – 1,200 องศา ซึ่งเพียงพอที่จะทำให้วัสดุติดไฟที่อยู่รอบๆเกิดการเผาไหม้ สะท้อนให้เห็นถึงจำเป็นในการป้องกันการติดต่อกัน

เพื่อรักษาความสมบูรณ์ของโครงสร้างอาคาร ทั้งนี้สามารถนำแนวคิดของ Voelkert¹⁵ ที่ได้จัดลำดับความสำคัญพื้นฐานในการตอบโต้เหตุเพลิงไหม้มาปรับใช้ โดยให้ความสำคัญกับการรักษาความปลอดภัยในชีวิตเป็นลำดับแรก ถัดมาคือการรักษาเสถียรภาพของเหตุการณ์โดยการป้องกันไม่ให้เพลิงไหม้ขยายมากขึ้น และสุดท้ายคือการรักษาทรัพย์สิน

การสร้างเสถียรภาพของเหตุการณ์ เนื่องด้วยพฤติกรรมเพลิงไหม้แบบเตอรีลิเทียมมีแนวโน้มที่จะลุกไหม้ได้นานและสามารถลุกติดใหม่ได้ ส่งผลให้มีความจำเป็นต้องใช้ทรัพยากรในการระงับเหตุมากกว่ายานยนต์สันดาป ประกอบกับข้อจำกัดของการระบายอากาศของอาคารจอดรถส่งผลให้เกิดการสะสมของก๊าซพิษและก๊าซไวไฟภายในโครงสร้าง การปฏิบัติหน้าที่ในสภาพแวดล้อมเช่นนี้นักดับเพลิงจำเป็นต้องสวมใส่เครื่องหายใจ (Self Contaminated Breathing Apparatus, SCBA) ตลอดเวลา โดยระยะเวลาที่ใช้ในการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าอาจนานเกิน 1 ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าระยะเวลาการใช้งาน SCBA หนึ่งถัง (30-45 นาที) นักดับเพลิงอาจต้องใช้ SCBA หลายถัง ดังนั้นการระงับเหตุจำเป็นต้องมีกำลังสนับสนุนเพื่อใช้สับเปลี่ยนถัง¹⁶ การจำกัดจำนวนนักดับเพลิงที่

อยู่ใกล้ยานยนต์ไฟฟ้าเพื่อจำกัดความเสี่ยงจากการระเบิดหรือการจุดติดของเปลวไฟ¹⁷ และมีคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญเกี่ยวกับให้มีการจัดตั้งทีมดับเพลิงสำรอง จากแนวทางที่กล่าวมา สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญในการบริหารจัดการเหตุการณ์ ทั้งด้านกำลังพล เครื่องมืออุปกรณ์ และทรัพยากรดับเพลิง ให้เพียงพอและต่อเนื่อง ซึ่งสามารถทำได้โดยการจัดตั้งศูนย์บัญชาการเหตุการณ์ (Incident Command Post: ICP) และการแบ่งเขตพื้นที่ตามระดับความอันตราย ซึ่งสามารถกำหนดระดับอุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคลตามระดับความอันตรายของพื้นที่ โดยกำหนดพื้นที่สีแดง (Hot zone) เป็นพื้นที่อันตรายมากที่สุด สำหรับทีมดับเพลิงที่เข้าปฏิบัติการพร้อมกับสวมใส่อุปกรณ์ป้องกันส่วนบุคคล (Personal Protective Equipment, PPE) และ SCBA พื้นที่สีเหลือง (Warm zone) เป็นพื้นที่อันตรายปานกลาง สำหรับการสนับสนุนการปฏิบัติการ และพื้นที่สีเขียว (Cold zone) เป็นพื้นที่ปลอดภัย

การสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย ในการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถ นักดับเพลิงมีความเสี่ยงจากการสัมผัสความร้อน ก๊าซพิษ และการระเบิด ในกรณีที่เพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าไม่มีการจุดติดของเปลวไฟแต่มีการสะสมของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ หรือก๊าซไฮโดรเจน สามารถเจือจางความเข้มข้นของก๊าซไวไฟส่งผลให้ติดไฟได้ยากขึ้น และการใช้พัดลมระบายควันช่วยให้ระบายก๊าซไวไฟออกไปเพื่อไม่ให้ความเข้มข้นของก๊าซถึงระดับที่ติดไฟได้¹⁹ นอกจากนี้การสะสมก๊าซไวไฟภายในห้องโดยสารก็เป็นอีกประเด็นที่ควรพิจารณาเมื่อนักดับเพลิงเข้าใกล้ยานยนต์ไฟฟ้า การแตกหรือเปิดของกระจกจะทำให้บรรยากาศที่ถูกสะสมไวไฟภายในห้องโดยสารได้รับออกซิเจนจากภายนอกอาจก่อให้เกิดการจุดติดฉับพลันหรือการระเบิดได้ ควรเปิดหรือทำลายกระจกจากระยะที่ปลอดภัยเพื่อระบายก๊าซที่สะสมอยู่ภายในห้องโดยสารพร้อมกับเผื่อเวลาให้ก๊าซเจือจางก่อนที่จะเข้าใกล้ยานยนต์ไฟฟ้า¹⁴ จากแนวทางเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญในการจัดการควันสามารถลดความเสี่ยงจากการระเบิดและการสัมผัสก๊าซพิษในสภาพแวดล้อมที่อาจเป็นอันตรายแก่นักดับเพลิง ดังนั้นควรการจัดการควันตั้งแต่เริ่มต้นและตลอดระยะเวลาปฏิบัติการดับเพลิงในอาคารจอดรถ โดยเฉพาะอาคารที่ปิดทึบหรือที่มีปริมาตรขนาดเล็ก

การดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอดรถเหนือพื้นดินและอาคารจอดรถใต้ดิน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อระบายความร้อนของแบตเตอรี่ มี 4 วิธีหลัก ได้แก่ 1) ใช้น้ำปริมาณมากระบายความร้อน เช่น การยก พลิก ตะแคง และค้ำยันเพื่อฉีดยานด้วยหัวฉีดแบบดั้งเดิม หรือการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง 2) ใช้ผ้าคลุมดับเพลิงร่วมกับใช้น้ำระบายความร้อน เช่น คลุมผ้าและฉีดยานจากด้านบนหรือคลุมผ้าร่วมกับการใช้หัวฉีดแบบสอดใต้ท้อง 3) เจาะแบตเตอรี่ด้วยหัวฉีดที่มีคุณสมบัติการเจาะ เช่น เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันต่ำที่มีคุณสมบัติการเจาะ เจาะด้วยหัวฉีดน้ำแรงดันสูง หรือเจาะด้วยระบบควบคุมระยะไกล 4) แชนน้ำโดยใช้ผนังกันน้ำ (Flood Barrier) ทำเป็นบ่อน้ำชั่วคราว (Box pool) ผลการวิจัยพบว่า วิธีการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าทั้ง 4 วิธีมีความเหมาะสมระดับมากที่สุดสำหรับการปรับใช้ในอาคารจอดรถเหนือพื้นดินและอาคารจอดรถใต้ดิน สะท้อนถึงความเป็นไปได้ในการเลือกใช้วิธีเหล่านี้ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านพื้นที่ และทั้ง 4 วิธีการนี้เพิ่มความสามารถในการเข้าถึงชุดแบตเตอรี่หรือเซลล์แบตเตอรี่ ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิและประหยัทรัพยากร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Cui และคณะ²⁰ ที่พบว่าวิธีการแช่น้ำมีประสิทธิภาพในการหยุดปฏิกิริยา Thermal Runaway โดยไม่เกิดการลุกติดไหม้ได้และยังช่วยลดปริมาณน้ำในการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าเมื่อเทียบกับวิธีดับเพลิงแบบดั้งเดิม การเจาะแบตเตอรี่เพิ่มความสามารถส่งน้ำเข้าถึงเซลล์ต้นเพลิงได้ช่วยลดระยะเวลาจำนวนบุคลากร และทรัพยากรที่ใช้ในการระงับเหตุ^{17,21} นอกจากนี้ผลการวิจัยยังสะท้อนให้เห็นว่าปัจจุบันยังไม่มีวิธีใดวิธีหนึ่งที่สามารถดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าได้ดีที่สุด โดย Hessel and Geertsema²² ได้เสนอเกณฑ์ประเมินการสำหรับการเลือกวิธีการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ 1) ความปลอดภัยของนักดับเพลิง 2) ความปลอดภัยของเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง 3) ประสิทธิภาพในการลดอุณหภูมิ 4) ความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นเพิ่มเติมกับยานยนต์ไฟฟ้า 5) ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม 6) ระยะเวลาในติดตั้งระบบเพื่อใช้งาน 7) ความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งานจริง อย่างไรก็ตาม ผู้เชี่ยวชาญมีข้อเสนอแนะสำหรับวิธีการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า ได้แก่ การใช้ผ้าคลุมดับเพลิงกับยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องกำหนดให้มีช่องสำหรับระบายก๊าซที่สะสมอยู่ใต้ผ้าคลุมออกได้หรือเลือกใช้ผ้าคลุมดับเพลิงที่ไม่มีการเคลือบซิลิโคนซึ่งน้ำสามารถไหลผ่านได้และก๊าซสามารถระบายออกได้ เพื่อป้องกันการระเบิดจากก๊าซที่สะสมอยู่ใต้ผ้าคลุม สะท้อนถึงวัตถุประสงค์การใช้ผ้าคลุมดับเพลิงในบริบทของเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าใช้

สำหรับป้องกันการติดต่อกูลาม ซึ่งแตกต่างจากเพลิงไหม้ยานยนต์สันดาปการใช้ผ้าคลุมมีวัตถุประสงค์ในการตัดออกซิเจน

การเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกนอกอาคารจอดรถ

พบว่าแนวทางที่ใช้อุปกรณ์ป้องกันการหมุนของล้อได้เป็นแนวทางที่เหมาะสมในระดับมากที่สุด จำนวน 2 ข้อ ได้แก่ การเคลื่อนย้ายโดยใช้แม่แรงเคลื่อนย้ายรถแบบล้อเลื่อน รถยกที่มีถาดสไลด์หรือล้อเสริม และแนวทางที่มีความเหมาะสมระดับมากคือ เคลื่อนย้ายโดยใช้หุ่นยนต์ดับเพลิง นอกจากนี้มีแนวทางที่ผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นไม่สอดคล้องกัน คือ การเคลื่อนย้ายโดยไม่ใช้อุปกรณ์เสริมสำหรับการเคลื่อนย้าย หากประเมินแล้วว่าปลอดภัย ซึ่งผู้เชี่ยวชาญกลุ่มนักดับเพลิงบางส่วนให้เหตุผลว่าเมื่อยานยนต์ไฟฟ้าเกิดเพลิงไหม้แล้วแบตเตอรี่ได้รับความเสียหายส่งผลให้ระบบหรือกลไกการสร้างพลังงานจากการหมุนของล้อยานยนต์ไฟฟ้าเสียหายตามไปด้วย ซึ่งขัดแย้งกับผู้เชี่ยวชาญกลุ่มยานยนต์ไฟฟ้าที่กล่าวว่าการประเมินความเสียหายของแบตเตอรี่นั้นทำได้ยาก เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เป็นตัวแปรสำคัญ เช่น ความเสียหายทุติยภูมิจากไฟ น้ำ ความร้อนสะสม การบิดงอของข้อต่อทางไฟฟ้า (Connector) การซ่อมหรือตัดแปลงก่อนหน้า เป็นต้น และยังขัดแย้งกับคำแนะนำหรือคู่มือของผู้ผลิตส่วนใหญ่ระบุถึงเงื่อนไขในการเคลื่อนย้ายยานยนต์ไฟฟ้าจำเป็นต้องป้องกันการหมุนของล้อซึ่งอาจสร้างพลังงานไฟฟ้าจนนำไปสู่ Thermal runaway ข้ำได้เช่นเดียวกับ Van Harn และคณะ²³ ที่ได้ศึกษาวิธีการเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกจากอาคารจอดรถ ซึ่งผลการวิจัยสะท้อนถึงความสำคัญในการป้องกันการหมุนของล้อระหว่างเคลื่อนย้าย อย่างไรก็ตาม กรณีที่มีอุปสรรคในการเคลื่อนย้าย Van der Graaf และคณะ²⁴ แนะนำให้จัดการซากยานยนต์ไฟฟ้าโดยการแช่น้ำเพื่อป้องกันการลุกติดไหม้

การขนส่งเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่เก็บซาก ผลการวิจัยพบว่า แนวทางที่เหมาะสมระดับมากที่สุด 2 ข้อ ได้แก่ การติดตั้งระบบตรวจจับความร้อนไว้บริเวณถาดสไลด์ของรถยก และการใช้ผ้าคลุมดับเพลิงระหว่างการเคลื่อนย้ายซาก ส่วนแนวทางที่เหมาะสมระดับมากคือ การจัดระดับเพลิงคั่นระหว่างเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานที่เก็บ โดยแนวทางเหล่านี้สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญในการป้องกันเหตุการณ์ซ้ำซ้อนดังที่ปรากฏในรายงานเกี่ยวกับเพลิงลุกติดซ้ำระหว่างการขนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้า อย่างไรก็ตาม ผู้เชี่ยวชาญมีข้อขัดแย้งสำหรับใช้ผ้าคลุมระหว่างการขนส่งอาจเกิดการสะสมของก๊าซ บดบังการประเมินด้วยสายตา และมีความยุ่งยากในการผูกมัด

ทั้งนี้ผู้วิจัยมีข้อสังเกตว่าความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญค่อนข้างกระจาย โดยสังเกตจากค่าพิสัยระหว่างควอร์ไทล์ (IR) ในขั้นตอนการเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกจากอาคารจอดรถ (0.53 – 1.59) และการขนส่งเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่เก็บซาก (1.00 – 1.25) อาจเป็นเพราะ เดิมทีการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ นักดับเพลิงไม่ได้มีขอบเขตรับผิดชอบเกี่ยวกับการเคลื่อนย้ายซาก หรือมีความจำเป็นต้องเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ออกจากอาคารทันที แต่ในบริบทของเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้านักดับเพลิงมีความจำเป็นต้องรับผิดชอบในการเคลื่อนย้ายซากออกนอกอาคาร ซึ่งถือเป็นขอบเขตรับผิดชอบที่เพิ่มขึ้นของนักดับเพลิง

2. การเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า

ผลการวิจัยสะท้อนให้เห็นว่า การเลือกใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์สำหรับใช้ดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้าโดยเฉพาะ เช่น อุปกรณ์ฉุกเฉินสำหรับเสียบช่องชาร์จ (Emergency plug) หัวฉีดน้ำดับเพลิงแบบสอดใต้ท้อง เป็นต้น หรือการนำเครื่องมือและอุปกรณ์เดิมที่มีอยู่ เช่น ผ้าคลุมดับเพลิง เครื่องตรวจวัดก๊าซ พัดลมระบายควัน อุปกรณ์เคลื่อนย้ายรถแบบมีล้อเลื่อน มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการระงับเหตุ ความสามารถในการเข้าถึงชุดแบตเตอรี่ และลดความเสี่ยงอันตรายและอาการลำของนักดับเพลิง รวมถึงลดปริมาณทรัพยากรที่ใช้ในการดับเพลิงได้ ตัวอย่างเช่น การใช้กล้องตรวจจับความร้อน (Thermal Image Camera, TIC) ช่วยให้นักดับเพลิงสามารถประเมินอุณหภูมิภายในแบตเตอรี่ การใช้แม่แรงเคลื่อนย้ายรถแบบล้อเลื่อนช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นในการระงับเหตุ นอกจากใช้เคลื่อนย้ายยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้แล้ว ยังสามารถเคลื่อนย้ายยานยนต์อื่นที่อยู่ใกล้เคียงเพื่อลดเชื้อเพลิงในกระบวนการเพลิงไหม้¹⁹

3. มาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ

ผลการวิจัยพบว่า แนวทางการปรับปรุงมาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอดรถ ซึ่งครอบคลุมตั้งแต่ระบบตรวจจับระบบสปริงเกอร์ การกำหนดพื้นที่จอด โครงสร้างทนไฟและการกันแยก ได้รับความเหมาะสมระดับมากที่สุดทุกข้อ ทั้งนี้อาจเป็นพฤติกรรมของเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้ามีความแตกต่างจากเพลิงไหม้ยานยนต์สันดาป เช่น ในระยะเริ่มต้นจะปล่อยก๊าซก่อนเกิดเปลวไฟซึ่งอาจส่งผลต่อระบบตรวจจับเพลิงไหม้โดยทั่วไปอาคารจอดรถนิยมใช้แบบตรวจจับความร้อน หรือพฤติกรรมเปลวไฟพุ่งที่มีการแพร่กระจายในแนวนอนซึ่งอาจก่อให้เกิดการลุกลามได้เร็ว

กว่าเปลวไฟทั่วไป หรือพฤติกรรมการลุกติดซ้ำอาจส่งผลต่อระบบดับเพลิงในอาคาร เช่น ถังดับเพลิง ระบบสปริงเกอร์ ปริมาณน้ำสำรอง เป็นต้น สอดคล้องกับ Van der Graaf และคณะ²⁴ มาตรการป้องกันอัคคีภัยอาคารจอตลอด ถูกออกแบบโดยอ้างอิงตามลักษณะเพลิงไหม้ยานยนต์สันดาป และยานยนต์สมัยใหม่มีชิ้นส่วนที่ติดไฟได้เพิ่มมากขึ้นและมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ขนาดของพื้นที่จอดไม่ได้ขยายตามขึ้นด้วย อาจส่งผลต่อการลุกลามของเพลิงไหม้ในอาคารจอตลอดได้ไม่ว่ายานยนต์เชื้อเพลิงประเภทใดก็ตาม¹⁹ สะท้อนให้เห็นว่าวิวัฒนาการของยานยนต์สมัยใหม่อาจก่อให้เกิดช่องว่างของมาตรการป้องกันอัคคีภัยสำหรับอาคารจอตลอด ซึ่งปัจจุบันมาตรฐาน NFPA 88A ฉบับปี 2023²⁵ ได้กำหนดให้อาคารจอตลอดทุกประเภทต้องติดตั้งระบบสปริงเกอร์ อย่างไรก็ตาม ผู้เชี่ยวชาญกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยอาคารให้ความเห็นว่าการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัยหมายถึงต้นทุนที่เพิ่มขึ้นสำหรับผู้ประกอบการและอาจทำได้ยากในอาคารที่เปิดใช้งานแล้ว สอดคล้อง Spearpoint and Stallwood²⁶ ที่กล่าวว่าข้อเสนอเกี่ยวกับการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัยในปัจจุบันอาจเกินความจำเป็นซึ่งหมายถึงการเพิ่มค่าใช้จ่ายและอาจส่งผลต่อการใช้ยานยนต์ไฟฟ้า ข้อขัดแย้งเหล่านี้สะท้อนถึงความจำเป็นในการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับความเหมาะสมและความคุ้มค่าในการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัย

4. ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ผลการวิจัยพบว่าผู้เชี่ยวชาญมีความคิดเห็นสอดคล้องกันและให้ความเหมาะสมระดับมากที่สุดทุกข้อ สะท้อนให้เห็นถึงความสำคัญของการสร้างความตระหนักรู้ให้แก่ผู้มีส่วนร่วมทุกภาคส่วน เช่น การอบรมให้ความรู้แก่บุคลากร การเผยแพร่รายงานเหตุการณ์ เป็นต้น และในการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้า หน่วยดับเพลิงจำเป็นต้องมีการบูรณาการร่วมกับสหสาขาอื่น เช่น ผู้ประกอบการอาคารจอตลอด วิศวกร บริษัทที่ให้บริการเคลื่อนย้ายหน่วยงานเกี่ยวกับสิ่งแวดล้อม บริษัทประกันภัย หน่วยงานพิสูจน์หลักฐาน และบริษัทผู้ผลิตรายานยนต์ไฟฟ้า

สรุป

การระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอตลอด มีข้อจำกัดในด้านพื้นที่และการระบายอากาศ ซึ่งส่งผลต่อการปฏิบัติงานในการระงับเหตุและความปลอดภัยของนักดับเพลิง ดังนั้นในการระงับเหตุจึงมีขั้นตอนการปฏิบัติที่เพิ่มขึ้นจากการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในที่โล่ง เช่น การประเมินโครงสร้างอาคาร การสร้างเสถียรภาพเหตุการณ์ การสร้างสภาพแวดล้อมที่

ปลอดภัย โดยเฉพาะการจัดการก๊าซไวไฟ การเลือกใช้วิธีการดับเพลิง อุปกรณ์เครื่องมือภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดด้านพื้นที่ รวมไปถึงหลังจากเพลิงสงบแล้ว ยังต้องคำนึงถึงการเคลื่อนย้ายซากออกนอกอาคารซึ่งเป็นขอบเขตความรับผิดชอบเพิ่มเติมของนักดับเพลิง นอกจากนี้การมีอยู่ของระบบป้องกันอัคคีภัย ก็เป็นอีกปัจจัยสำคัญในการลดความรุนแรง หรือผลกระทบต่างๆ เมื่อเกิดเหตุการณ์เพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าได้

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. หน่วยดับเพลิงนำไปใช้แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอตลอด รวมถึงข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการจัดเตรียมเครื่องมือและอุปกรณ์
2. นักดับเพลิงนำไปใช้เป็นแนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอตลอด
3. ผู้ประกอบการอาคารจอตลอดนำไปใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการปรับปรุงระบบป้องกันอัคคีภัย

ข้อจำกัดในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. องค์ประกอบของผู้เชี่ยวชาญในการวิจัยอาจมีผลต่อข้อค้นพบ เนื่องจากผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านมีประสบการณ์ บทบาทหน้าที่ และบริบทการปฏิบัติงานที่แตกต่างกัน ผลการวิจัยจึงอาจเหมาะสมกับบริบทของหน่วยดับเพลิงและลักษณะอาคารจอตลอดที่มีความใกล้เคียงกับบริบทของผู้เชี่ยวชาญในการศึกษานี้มากกว่าการนำไปใช้โดยตรงในทุกพื้นที่
2. อุตสาหกรรมยานยนต์ไฟฟ้าในประเทศไทยอยู่ในช่วงเริ่มต้น ส่งผลให้ผู้เชี่ยวชาญด้านยานยนต์ไฟฟ้ายังมีจำนวนน้อย
3. งานวิจัยนี้เป็นการรวบรวมฉันทามติจากผู้เชี่ยวชาญ ไม่ได้ดำเนินการทดสอบหรือจำลองสถานการณ์จริง ดังนั้น จึงยังไม่สามารถยืนยันประสิทธิภาพของแนวทางได้อย่างสมบูรณ์
4. ผลการวิจัยครั้งนี้ยังไม่ครอบคลุมบริบทการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอตลอดอัตโนมัติ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับข้อจำกัดของอาคารจอตลอดอัตโนมัติ

ภาคผนวก: แนวทางการระงับเหตุเพลิงไหม้ยานยนต์ไฟฟ้าในอาคารจอตลอด

คำแนะนำ

- นักดับเพลิงสวมใส่ชุดดับเพลิงเต็มรูปแบบ พร้อมเครื่องหายใจตลอดเวลาที่ปฏิบัติหน้าที่ใกล้กับยานยนต์ไฟฟ้า (PPE + SCBA full-time)

- กลุ่มควันสีขาวที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ มีส่วนประกอบของก๊าซไวไฟ ซึ่งสามารถเกิดการระเบิดได้โดยเฉพาะหากยังไม่มีเปลวไฟ และสะสมอยู่ในพื้นที่ปิด หรือพื้นที่ที่มีปริมาตรเล็ก ควรเจือจางหรือระบายก๊าซเหล่านั้น ก่อนเข้าไปยังพื้นที่นั้น รวมถึงควรจัดการและควบคุมควันตลอดเวลา

- ประเมินโครงสร้างอาคารตลอดระยะเวลาที่ทำการระงับเหตุในอาคาร และพิจารณาเงื่อนไขการหยุดปฏิบัติการหากโครงสร้างได้รับความเสียหาย เตรียมพร้อมการปรับเปลี่ยนรูปแบบสู่การระงับเหตุจากด้านนอกอาคาร

- ยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่นมีโครงสร้างและตำแหน่งของจุดตัดระบบแบตเตอรี่แรงดันสูงที่แตกต่างกัน ควรใช้คู่มือการตอบโต้เหตุฉุกเฉิน (Emergency Response Guide, ERG) ของยานยนต์ไฟฟ้าแต่ละรุ่น

- หลีกเลี่ยงการอยู่ในบริเวณที่เกิดเปลวไฟพุ่ง (Jet flame) เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่มีความแข็งแรงน้อยที่สุด และเสี่ยงที่จะเกิดซ้ำได้

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่จำเป็น ได้แก่ กล้องตรวจจับความร้อน (Thermal Imaging Camera, TIC) พัดลมระบายควัน หัวฉีดน้ำดับเพลิง อย่างน้อย 2 หัวฉีด เครื่องมือและอุปกรณ์สำหรับวิธีการดับเพลิงเฉพาะเพื่อระบายความร้อนแบตเตอรี่ อุปกรณ์สำหรับการยก ค้ำยัน และอุปกรณ์สำหรับการเคลื่อนย้าย เช่น แม่แรงแบบมีล้อเลื่อน

ขั้นตอนปฏิบัติการระงับเหตุเพลิงไหม้

ระยะแรก ก่อนการดับเพลิง

การประเมินสถานการณ์

ทีมดับเพลิงทีมแรกที่มาถึง ทำการเดินสำรวจรอบๆสถานที่เกิดเหตุพร้อมรายงานเหตุการณ์ผ่านวิทยุสื่อสาร

- กรณีมีผู้ติดค้างอยู่ในอาคารจอดรถ ควรดำเนินการอพยพออกโดยเร็ว

- ประเมินขอบเขตของเพลิงไหม้ จำนวนยานยนต์ที่เกิดเพลิงไหม้ หากเพลิงไหม้ลุกลามโครงสร้างอาคารจอดรถ ควรป้องกันการติดต่อกูลามของโครงสร้างอาคารเป็นหลัก

- ประเมินการเผาไหม้ของแบตเตอรี่ โดยพิจารณาจากลักษณะเปลวไฟพุ่ง (Jet flame) ตำแหน่งการเกิดเพลิงไหม้ การปรากฏของกลุ่มควันสีขาวที่ถูกปล่อยออกมาจากแบตเตอรี่ และเสียงปะทุ หรือใช้กล้องตรวจจับความร้อนวัดอุณหภูมิบริเวณแบตเตอรี่แรงดันสูง

การสร้างเสถียรภาพเหตุการณ์

การบริหารเหตุการณ์

- กำหนดตำแหน่งจุดบัญชาการเหตุการณ์ โดยพิจารณาจากจุดที่ไม่ได้รับผลกระทบจากก๊าซพิษ สำหรับเป็นพื้นที่พักคอยและจัดสรรทรัพยากร เช่น บุคลากร น้ำ เครื่องมือและอุปกรณ์ SCBA เป็นต้น

- ทำการแบ่งโซนพื้นที่ Hot zone, Warm zone, Cold zone ควบคุมการเข้า - ออกพื้นที่ของอาคารที่เกิดเหตุอย่างเข้มงวด และจำกัดจำนวนผู้ที่เกี่ยวข้องกับเหตุการณ์ เพื่อผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นจากเหตุการณ์ไม่คาดคิด

- จัดตั้งทีมดับเพลิงสำรอง (Rapid Intervention Team: RIT) เพื่อการสนับสนุนและช่วยเหลือทีมดับเพลิงทีมแรกในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ฉุกเฉินซ้ำซ้อนที่ก่อให้เกิดอันตรายกับทีมดับเพลิงทีมแรก เช่น การระเบิด เป็นต้น

ระยะที่สอง ขณะดับเพลิง

การสร้างสภาพแวดล้อมที่ปลอดภัย

- ลดความเสี่ยงจากการระเบิดของก๊าซไวไฟ สามารถทำได้โดย ฉีดน้ำจากระยะปลอดภัยเพื่อเจือจางความเข้มข้นของก๊าซไวไฟ หรือตรวจวัดก๊าซก่อนเข้าใกล้ยานยนต์ไฟฟ้าที่เกิดเพลิงไหม้ โดยเฉพาะเมื่อไม่มีการจุดติดของเปลวไฟ ร่วมกับการใช้พัดลมระบายควันสำหรับกำหนดทิศทางการระบายอากาศและสร้างทิศทางเหนือลม พร้อมดำเนินการระบายควันอย่างต่อเนื่อง และพิจารณาการเปิดประตูหรือทำลายกระจกของยานยนต์ไฟฟ้าจากระยะไกล เพื่อลดการสะสมของก๊าซไวไฟภายในห้องโดยสารที่อาจเกิดการระเบิดได้

- ลดความเสี่ยงจากการสัมผัสกระแสไฟฟ้า สามารถทำได้โดย ตัดระบบไฟฟ้าในกรณีที่ชาร์จอยู่ และดำเนินการตัดระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำหรือไฟฟ้าแรงดันสูงของยานยนต์ไฟฟ้า สามารถทำได้โดยการตัดระบบไฟฟ้าแรงดันต่ำ ปิดสวิตช์แรงดันสูง หรือใช้ อุปกรณ์ฉุกเฉินสำหรับเสียบช่องชาร์จ Emergency plug

- ลดความเสี่ยงจากอุบัติเหตุซ้ำซ้อน สามารถทำได้โดย ทำการห้ามล้อหรือค้ำยัน เพื่อป้องกันการเคลื่อนที่ของยานยนต์ไฟฟ้า

การดับเพลิง แบ่งออกเป็น 2 วัตถุประสงค์ ได้แก่

1. เพื่อควบคุมเพลิง จัดเตรียมหัวฉีดน้ำดับเพลิงแรงดันต่ำ อย่างน้อย 2 หัว โดยหัวฉีดแรกมีวัตถุประสงค์เพื่อดับเพลิงและการป้องกันการติดต่อกูลาม และหัวฉีดที่สองสำหรับการป้องกันนักดับเพลิงที่ประจำหัวฉีดแรก ทั้งนี้แนะนำให้ใช้น้ำเป็นสารดับเพลิงหลักในการดับเพลิงยานยนต์ไฟฟ้า และแนะนำให้ใช้โฟม เว้นแต่กรณีที่ไม่น้ำมันเชื้อเพลิงลุกไหม้รวมอยู่ด้วย

2. เพื่อระบายความร้อนแบตเตอรี่ สามารถทำได้โดย การใช้ น้ำปริมาณระบายความร้อน การใช้ผ้าคลุมร่วมกับใช้น้ำระบาย ความร้อน การแช่น้ำ การเจาะแบตเตอรี่ เป็นต้น ร่วมกับการใช้กล้อง ตรวจจับอุณหภูมิความร้อน (TIC) จนกว่าอุณหภูมิของแบตเตอรี่ต่ำ กว่า 50 องศาเซลเซียส

ระยะที่สาม การจัดการหลังเพลิงสงบ

การเฝ้าระวัง

- ดำเนินการระบายความร้อนอย่างต่อเนื่องควบคู่กับการใช้ กล้องตรวจจับอุณหภูมิความร้อน เมื่อแบตเตอรี่มีอุณหภูมิต่ำกว่า 50 องศาเซลเซียส และไม่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เป็นเวลา 30 นาที สามารถดำเนินการเคลื่อนย้ายออกนอกอาคารได้
- ตัดระบบกระแสไฟฟ้าภายในแบตเตอรี่หากสามารถทำได้ แม้ว่ายานยนต์ไฟฟ้าได้เกิดเพลิงไหม้แล้ว เพื่อป้องกันอันตรายจาก กระแสไฟฟ้าดูด (หากยังไม่ได้ตัดระบบไฟฟ้า และสามารถทำได้โดย ปลอดภัย)
- ทำการเจาะแบตเตอรี่หากสามารถทำได้โดยปลอดภัย เพื่อเร่งกระบวนการคายประจุและป้องกันการเกิดเพลิงลุกติดซ้ำ ทั้งนี้การเจาะแบตเตอรี่อาจสร้างความเสียหายและความรุนแรง เพิ่มเติม จำเป็นต้องเตรียมน้ำตลอดเวลาที่ทำการเจาะ (ถ้าทำได้โดย ปลอดภัย)

การเคลื่อนย้ายซากยานยนต์ไฟฟ้าออกนอกอาคารจอดรถ

หลังจากเพลิงสงบหรือประเเมนแล้วจะสามารถเคลื่อนย้าย ได้โดยปลอดภัย ให้ดำเนินการเคลื่อนย้ายออกนอกอาคารทันที เนื่องจากเพลิงไหม้มีโอกาslugติดซ้ำได้ ดังนั้นในการเคลื่อนย้ายควร คำนึงถึงการป้องกันการหมุนของล้อทั้ง 4 ล้อ เพื่อป้องกันการสร้าง พลังงานเมื่อล้อหมุน ตัวอย่างการเคลื่อนย้าย เช่น ใช้แม่แรง เคลื่อนย้ายรถแบบล้อเลื่อน การรยกขนาดเล็กแบบมีภาดสไลด์ หรือล้อเสริม การหุ่ยนตดับเพลิง เป็นต้น และในกรณีที่ยังไม่ สะดวกทำการเคลื่อนย้ายออกนอกอาคารทันที สามารถใช้การแช่ ยานยนต์ไฟฟ้าในน้ำเพื่อป้องกันการลุกติดซ้ำได้

การขนส่งซากยานยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานที่เก็บซาก

- ให้ข้อมูลความเสี่ยงที่อาจเกิดขึ้นกับผู้ทำการเคลื่อนย้าย และกำหนดแผนการปฏิบัติในกรณีที่ยานยนต์ไฟฟ้าเกิดการลุกไหม้ ซ้ำ พร้อมกับจัดรถดับเพลิงคุ้มกันระหว่างการเคลื่อนย้ายซากยาน ยนต์ไฟฟ้าไปยังสถานที่เก็บซาก
- พิจารณาการติดตั้งระบบตรวจจับความร้อนไว้บริเวณภาด สไลด์ของรยก เพื่อแจ้งตรวจจับและแจ้งเตือนหากแบตเตอรี่เกิด ความร้อนสูงในขณะเคลื่อนย้าย และการใช้ผ้าคลุมดับเพลิงระหว่าง

การเคลื่อนย้ายไปยังสถานที่เก็บซาก เพื่อป้องกันการผลกระทบที่ อาจเกิดขึ้นกับวัตถุหรือยานยนต์อื่นในกรณีที่เกิดเพลิงลุกติดซ้ำขณะ กำลังเคลื่อนย้าย

เอกสารอ้างอิง

1. Golubkov AW, Fuchs D, Wagner J, Wiltzsche H, Stangl C, Fauler G, et al. Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes. RSC Adv 2014;4:3633–42, doi:10.1039/c3ra45748f
2. Chen S, Wang Z, Wang J, Tong X, Yan W. Lower explosion limit of the vented gases from Li-ion batteries thermal runaway in high temperature condition. J Loss Prev Process Ind 2020;63:103992, doi:10.1016/j.jlp.2019.103992.
3. Willstrand O, Bisschop R, Blomqvist P, Temple A, Anderson J. Toxic gases from fire in electric vehicles. Borås: RISE Research Institutes of Sweden; 2020. RISE Report 2020:90. ISBN: 978-91-89167-75-9.
4. Lecocq A, Bertana M, Truchot B, Marlair G. Comparison of the fire consequences of an electric vehicle and an internal combustion engine vehicle. In: Proceedings of the 2nd International Conference on Fires in Vehicles (FIVE 2012); 2012 Sep; Chicago, USA. p.183-194.
5. Zhao C, Hu W, Meng D, Mi W, Wang X, Wang J. Full-scale experimental study of the characteristics of electric vehicle fires process and response measures. Case Stud Therm Eng 2024;53:103889, doi:10.1016/j.csite.2023.103889.
6. Kang S, Kwon M, Choi JY, Choi S. Full-scale fire testing of battery electric vehicles. Appl Energy 2023;332:120497,doi:10.1016/j.apenergy.2022.120497.
7. Kang S, Kwon M, Choi JY, Choi S. Full-scale fire testing to assess the risk of battery electric vehicle fires in underground car parks. Fire Technol 2025;61:4133–4163, doi:10.1007/s10694-024-01694-7.
8. Macmillan TT. The Delphi technique. In: Proceedings of the Annual Meeting of the California Junior Colleges Associations Committee on Research and



- Development; 1971 May 3–5; *Monterey, CA. Santa Barbara (CA): Santa Barbara City Schools; 1971*
9. Jentsantikul N. Utilizing the Delphi technique for research. *Kasetsart University Political Science Review* 2017;4(2):47-64. (In Thai)
10. Von der Gracht HA. Consensus measurement in Delphi studies: Review and implications for future quality assurance. *Technol Forecast Soc Change*. 2012;79(8): 1525-1536.
11. Srisuwan K. A study of nurse entrepreneur competency of nurse assistant school [master's thesis]. Bangkok: Chulalongkorn University; 2024. Available from <https://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/86382> accessed on 9 April 2025.
12. Linstone HA. *The Delphi technique*. In: Fowlers J, editor. *Handbook of futures research*. Connecticut: Greenwood Press; 1978.
13. Rathachatrannon W. Future research using Delphi technique. *TISR: Graduate Studies* 2019;8(1):1-10.(In Thai)
14. Building Research Establishment (BRE). Fire spread in car parks. BD2552. London: Department for Communities and Local Government; 2010 Dec. ISBN: 978-1-4098-2688-0.
15. Voelkert JC. Fire and fire extinguishment: A brief guide to fire chemistry and extinguishment theory for fire equipment service technicians. Rev ed. 2015 available from <https://www.amerex-fire.com/upl/downloads/educational-documents/fire-and-fire-extinguishment-99cd88b2.pdf> accessed on 19 Oct 2025.
16. Long RT Jr, Blum AF, Bress TJ, Cotts BRT. Best practices for emergency response to incidents involving electric vehicles battery hazards: A report on full-scale testing results. Quincy (MA): Fire Protection Research Foundation; 2013.
17. Hessels T, Brans H. Fire experiment to examine the use of ultra high pressure extinguishing systems for fires in batteries of electric vehicles. Arnhem: Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV); 2024. (In Dutch)
18. U.S. Fire Administration. *Electric vehicle fire/rescue response operations*. Emmitsburg (MD): Federal Emergency Management Agency; 2025. available from <https://www.usfa.fema.gov/blog/emergency-response-to-electric-vehicle-incidents/> accessed on 9 April 2025.
19. Swedish Civil Defence and Resilience Agency (MSB). Emergency response operations involving lithium-ion batteries [Swedish]. Stockholm: MSB; 2024. Publ nr: MSB2371. ISBN: 978-91-7927-505-1.
20. Cui Y, Liu J, Han X, Sun S, Cong B. Full-scale experimental study on suppressing lithium-ion battery pack fires from electric vehicles. *Fire Saf J* 2022;129:103562, doi:10.1016/j.firesaf.2022.103562
21. Funk E, Wilkens Flecknoe-Brown K, Wijesekere T, Husted BP, Andres B. Fire extinguishment tests of electric vehicles in an open sided enclosure. *Fire Saf J* 2023;141:103920, doi:10.1016/j.firesaf.2023.103920
22. Hessels T, Geertsema T. Investigation of immersion containers and possible alternatives. Arnhem: Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV); 2023. (In Dutch)
23. van Harn T, Riemersma B, Hessels T. Recovery of electric vehicles after incidents in parking garages. Arnhem: Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV); 2025. (In Dutch)
24. Van der Graaf J, Hessels T, Rosmuller N. Fire safety of indoor car parks accommodating electrically powered vehicles. Arnhem: Nederlands Instituut Publieke Veiligheid (NIPV); 2021 (English translation 2023).
25. National Fire Protection Association (NFPA). NFPA 88A: Standard for Parking Structures. 2023 ed. Quincy (MA): National Fire Protection Association; 2022. available from <https://link.nfpa.org/all-publications/88A/2023> accessed on 4 April 2025.



26. Spearpoint M, Stallwood M. Assessment of recent UK fire safety guidance for covered car parks and electric vehicles. Build Serv Eng Res Technol 2024;45(3):314–332, doi:10.1177/01436244241248566.