11215G0002

室內電動車停車空間及充電樁設備之防火安全對策研究

受　委　託　者：社團法人台灣防火材料協會

研 究 主 持 人：鍾基強

研　　究　　員：蘇鴻奇、陳又嘉

研　究　助　理：陳進澤

研　究　期　程：中華民國 112 年 02 月至 112 年 12 月

研　究　經　費：新臺幣 158 萬元

內政部建築研究所委託研究報告

中華民國 112 年 12 月

（本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

目次

表次

圖次

摘要

關鍵詞：電動車、鋰離子電池、通風換氣、室內停車空間

一、研究緣起：

隨電動車市占率逐漸上升且逐步開放可在室內停車空間設置電動車充電設施的同時，為提高國人用車環境舒適及便利，勢必於電動車輛停放處廣設充電樁，但地下建築空間其空間特性較為封閉且動線複雜。若不幸發生電池類火災，濃煙易造成受困人員迷航且伴隨能見度差、通訊不良、氧氣補給困難等附加危害，將徒增救援行為的難度與危險性【4】。基於電動車火災不易撲滅的特性，應調整或加強原有室內停車空間設置的主被動式防火安全防護設施設備，提供救災過程所需的環境安全條件。

106 年行政院宣佈三階段電動車發展目標(預計於 2030 年電動小客車新車年銷售量占所有小客車年銷售量之比例達 30%，於 2035 年達 60%，於 2040 年所有新售小客車均為電動車。)。推動運輸載具電動化雖能幫助減緩極端氣候全球暖化及空污嚴重，然而電動車動力來源-鋰離子電池，其潛在安全問題成為全面電動化的一大隱憂。由於鋰離子電池火災與一般火災於燃燒特性及滅火性質有極大的不同，若採用一般火災的方式進行滅火處置，可能致使救援人員身處險境，謹慎應對電池類火災將是現今迫切需探討與解決的重要課題。本研究團隊係針對室內電動化運輸載具停車空間及充電樁設備之防火安全對策研究。

二、研究方法與過程：

2022 年荷蘭一處地下停車場發生電動車起火事故，僅僅一輛電動車起火燃燒即難以撲滅，可想而知室內停車空間若長時間或多台電動車起火燃燒將引起更嚴重的危害，此些電動車起火案例暴露電動車停放於室內停車空間時的安全隱憂。有鑑於我國人文特色與建築形態，停車空間大多規劃於地下樓層，因而停放於地下停車空間的電動車及充電樁災害緊急應變與救災策略應審慎評估並相較於戶外或地面層較為複雜。

地下層停車空間屬於少對外開口的空間格局(較為密閉環境)。電動車火災之火源燃燒溫度可高達 800～1000℃，故不幸發生電動車火災時，所釋放的高溫火焰及大量高溫煙氣(含毒性及可燃氣體)，可能危及建築結構安全，若建築格局動線複雜，其大量煙氣將造成建築物內部尚未避難人員與消防救災人員的逃生與救援困難度與危險性。

面對未來因應淨零碳排目標而通力發展運輸載具電動化的同時，電動車輛及其充電樁設置將量多且廣，實需就我國現行已使用之電動車及充電樁種類、設置空間、安裝方式、使用及管理情形等態樣調查統計分析。此外基於電動車火災不易撲滅的特性，當電動車停放於室內停車空間時，現行室內停車空間依法設置的泡沫及其他撒水滅火設備的設置方式，是否能提供對電池模組持續撒水降溫之功效，同時室內空氣調節及通風設備是否有助於排除電池類燃燒產生的高溫有毒煙氣，或應就電動車停放區域設置煙控系統皆須納入考量，完備室內停車空間之主動式及被動式防火安全設施，強化災時初期緊急應變及消防人員救災安全，本研究成果可提供相關單位進行電動車及充電樁系統消防安全管理之參考。

三、重要發現：

1. 針對建築物室內停車空間之電動車位及充電樁之設置區域與規劃設計建議如下：

   (1) 電動車位及充電樁位置：

   電動車火災事故部分原因為充電起火或事故自撞導致車內佈置的鋰離子電池熱失控而起火。由於地下停車空間電池類火災搶救不易，為了可以方便取用大量的水進行電動車火災的救援行動，建議電動車充電樁設置以在地面層為主，或地下層靠近車道出入口並在室內外消防栓救援範圍內之區域，以方便消防人員進出。

   (2) 防火區劃：

   如果建築物混合停車與其他使用，則停車場空間與其他使用區域須以至少一小時防火時效性能之防火區劃區隔，以減少其他使用區域可能遭受火災和濃煙的損害。若是設置於地下空間之防火區劃構造則防火性能須具備至少為 2 小時防火時效。

2. 針對室內電動車位及充電樁設置空間之主動式及被動式防火安全防護設施設備設置，參考建議如下：

   (1) 考量設置熱像儀溫度警報設備：

   為電動車充電和停車區配備熱像儀溫度警報設備，用以監控充電站與電動車，以及早偵知鋰離子電池發生熱失控情況。

   (2) 火災初期地下停車空間空氣調節及通風設備作動，應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段設備開關的管控：地下停車空間所安裝的空氣調節及通風設備，係作為通風換氣使用，非為火災時之專用排煙設備，依據本研究所設定的

場域條件，所進行的實際煙流實驗與電腦模擬結果，火災初期空氣調節及通風設備開啟作動可能使濃煙快速蔓延，造成人員視線受阻而導致避難困難；而火災中後期階段(或地下層人員均完成避難後)，由於地下停車空間格局相對封閉，溫度將隨火勢成長而逐漸上升，此時為避免高溫對救災人員及建築物結構造成損害，則可能需要啟動空氣調節及通風設備，以降低溫度(主要因素)並排除煙霧。因此建議應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段空氣調節及通風設備開關的管控。

(3) 建議設置充電區劃專用排煙設備：

因為鋰離子汽車電池的火災可以長時間燃燒(幾個小時)，並釋放具有毒性之氣體，且電池故障和火災事件可能導致可燃氣體的釋放。如果這種情況發生在密閉區域(例如建築物內)，可燃氣體可能會積聚並發展成爆炸危險。設置排煙設備除可有效排除有毒氣體，亦有助於降低可燃氣體濃度使其低於燃燒下限。

(4) 設置自動滅火設備：

封閉式停車空間應設置自動滅火設備。自動滅火設備可以有效控制控制火勢蔓延，但是燃燒的電動汽車電池被車身保護不容易完全撲滅，仍需由消防人員進行滅火處置。

然而依據 NFPA 應急現場指南，指出要撲滅電動車的火勢與控制溫度，最少需要 2,600 加侖的水量[1]。NFPA 建議消防人員即使在火焰消失後，仍需持續使用大量且長時間(至少 1 小

[1] 2,600 加侖的水量≒10 噸的水≒16,000 瓶 600cc 寶特瓶瓶裝水。

時起)撒水以冷卻電池來防止再度起火。因此，建議現場應構建充沛的水源調度(從撲滅火勢至完成降溫作業可能至少需30噸之水量[2]。)

(5) 加強避難逃生設施設備：

- 加強地下停車空間避難路徑引導(例如增加避難方向指示燈、聲光引導出口標示燈、停車場避難平面圖增設...等)，並確保安全梯防火門保持常閉及遮煙性能。
- 停放電動車輛與設置充電樁之建築物地下停車空間，建議均設置緊急昇降機與特別安全梯。

四、主要建議事項：

立即可行之建議：地下停車場電動車火災控制之應用技術可行性研究。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署

因應淨零碳排政策的推動，電動車產業的發展為未來重要的施政目標，而台灣地狹人稠，未來地下停車空間勢必會停放大量的電動車，而現行自動撒水設備是否可提供足夠防護，將會影響地下停車空間安全與否，同時區域排煙對於火災時煙流的影響，也會影響人員的避難逃生，因此應針對地下停車場電動車火災控制之相關應用技術進行研究，以提升防火安全。

[2] 水箱消防車儲水量約3,500公升，30噸之水量約需出動九輛；水庫消防車儲水量約12,000公升，30噸之水量約需出動三輛。

中長期之建議：建議停放電動車輛與設置充電樁之建築物地下停車空間樓地板面積未超過一百平方公尺者，仍應設置戶外安全梯或特別安全梯。

主辦機關：內政部國土管理署

協辦機關：內政部建築研究所

因應未來建築物地下停車空間可能停放大量電動車與充電樁，現行《建築技術規則》建築設計施工編第 96 條第一項第二款之規定：「二、通達六層以上，十四層以下或通達地下二層之各樓層，應設置安全梯；通達十五層以上或地下三層以下之各樓層，應設置戶外安全梯或特別安全梯。但十五層以上或地下三層以下各樓層之樓地板面積未超過一百平方公尺者[3]，戶外安全梯或特別安全梯改設為一般安全梯。」建議調整為「二、通達六層以上，十四層以下或通達地下二層之各樓層，應設置安全梯；通達十五層以上或地下三層以下之各樓層，應設置戶外安全梯或特別安全梯。但十五層以上或地下三層以下無停放電動車輛與設置充電樁各樓層之樓地板面積未超過一百平方公尺者，戶外安全梯或特別安全梯改設為一般安全梯。」

[3] 依據《建築技術規則》建築設計施工編第 89 條第一項第五款之規定：「五、本章各節關於樓地板面積之計算，不包括法定防空避難設備面積，室內停車空間面積、騎樓及機械房、變電室、直通樓梯間、電梯間、蓄水池及屋頂突出物面積等類似用途部分。」，故一般建築物地下停車空間大多為「樓地板面積未超過一百平方公尺者」。

ABSTRACT

Key words: electric vehicle, lithium-ion battery, ventilation, indoor parking space

1. Origin of research：

As the market share of electric vehicles (EVs) gradually increases and indoor parking spaces become available for installing EV charging facilities, there is a growing need to improve the comfort and convenience of the driving environment for the people in the country. Consequently, it is imperative to widely deploy charging stations for electric vehicles at their parking locations. However, underground parking spaces have unique characteristics, as they are relatively enclosed and have complex pathways. In the unfortunate event of a battery-related fire, the dense smoke can disorient individuals, leading to poor visibility, communication difficulties, and challenges in providing oxygen supply. This adds to the complexity and danger of rescue operations [4]. Given the difficulty in extinguishing EV fires, it is necessary to adjust or enhance the existing passive and active fire safety measures and equipment in indoor parking spaces, providing the necessary environmental safety conditions for rescue operations.

In 2017, the Executive Yuan announced a three-stage development goal for electric vehicles (EVs) by 2030, aiming for comprehensive use of electric buses and government vehicles, a ban on gasoline motorcycles by 2035, and a ban on gasoline cars by 2040. While promoting the electrification of transportation can help mitigate the severe issues of global warming and air pollution associated with traditional vehicles, the source of power for electric vehicles, lithium-ion batteries, presents significant safety concerns. Lithium-ion battery fires exhibit distinct combustion characteristics and firefighting properties from regular fires.

Using conventional firefighting methods for lithium-ion battery fires can put rescue personnel at risk. Therefore, addressing and resolving the safety concerns related to battery fires is an urgent and critical issue. This research team focuses on studying fire safety strategies for indoor parking spaces for electric transport vehicles and charging station facilities.

2. Research Methods and Process：

In 2022, a fire incident involving an electric vehicle occurred in an underground parking garage in Netherlands. It was observed that even a electric vehicle caught fire and burned uncontrollably. This highlights the potential for significant hazards when multiple electric vehicles catch fire and burn for an extended period in indoor parking spaces. These incidents expose safety concerns associated with parking electric vehicles indoors. Given the architectural characteristics of our country, where parking spaces are often located on underground levels, disaster preparedness and rescue strategies for electric vehicles and charging stations in underground parking areas require careful evaluation and are more complex compared to outdoor or ground-level scenarios.

Underground parking spaces typically have limited external openings, making them relatively enclosed environments. Fires in electric vehicles can reach temperatures of up to 800-1000°C. Therefore, in the event of an electric vehicle fire, the release of high-temperature flames and a large volume of high-temperature smoke (containing toxic and flammable gases) not only endangers the structural integrity of the building but also poses difficulties and dangers for evacuating occupants and firefighting personnel if the building layout is complex.

As we move towards achieving the goal of carbon neutrality in the future by promoting the electrification of transportation, the quantity and

distribution of electric vehicles and charging stations will increase significantly. It is essential to conduct a comprehensive investigation and statistical analysis of the types of electric vehicles and charging stations currently in use, their installation spaces, mounting methods, usage, and management practices in our country.

Furthermore, given the challenging nature of extinguishing electric vehicle fires, it is essential to assess whether the existing foam and other water-spraying fire suppression systems, as required by law for indoor parking spaces, can effectively cool down battery modules. Additionally, it is important to consider whether indoor ventilation systems can help remove high-temperature toxic smoke produced by battery fires. Systems for smoke control in the parking areas for electric vehicles should also be considered. The comprehensive integration of active and passive fire safety measures in indoor parking spaces is necessary to strengthen initial emergency response and ensure the safety of firefighting personnel during disasters. The outcomes of this research can serve as a reference for relevant authorities in managing fire safety for electric vehicles and charging station systems.

3. Important Founds：

(1) Recommendations for the Location and Planning of Electric Vehicle Spaces and Charging Stations in Indoor Parking Spaces of Buildings are as follows:

A. Location of Electric Vehicle Spaces and Charging Stations:

Partial causes of electric vehicle fires are related to charging incidents or accidents that lead to thermal runaway of lithium-ion batteries within the vehicle. Since rescuing lithium-ion battery fires in underground parking spaces is challenging, it is advisable

to position electric vehicle charging stations primarily on the ground level or in underground levels near the vehicle entrances and exits, within the range of indoor and outdoor fire hydrants. This ensures easy access to a large quantity of water for firefighting operations.

B. Fire Compartmentation:

If a building combines parking areas with other uses, it is necessary to create fire compartmentation with at least a one-hour fire resistance rating between parking spaces and other usage areas. This minimizes the potential damage that other usage areas may incur from fires and dense smoke. For fire compartmentation structures in underground spaces, the fire resistance performance should be at least two hours.

(2) Recommendations for the Installation of Active and Passive Fire Safety Measures for Indoor Electric Vehicle Parking Spaces and Charging Stations are as follows:

A. Recommend installing thermal imaging temperature alert devices:

Equip thermal imaging temperature alert devices in the electric vehicle charging and parking area to monitor charging stations and electric vehicles, facilitating the early detection of thermal runaway in lithium-ion batteries.

B. In the early stages of a fire, the operation of air conditioning and ventilation equipment in underground parking spaces should be coordinated with firefighting and rescue personnel, following their instructions based on the actual situation, to control the

operation of equipment switches at different stages:

The air conditioning and ventilation equipment installed in underground parking spaces is intended for general ventilation and air exchange, rather than being specialized smoke exhaust devices for use during fires. Based on the site conditions established in this study, actual smoke flow experiments and computer simulations indicate that the activation of air conditioning and ventilation equipment in the early stages of a fire may lead to the rapid spread of thick smoke, hindering visibility and causing difficulties in evacuation for personnel. In the later stages of the fire (or after all personnel have evacuated from the underground levels), the relatively enclosed layout of the underground parking space may result in a gradual increase in temperature as the fire progresses. To prevent high temperatures from causing damage to rescue personnel and building structures, it may be necessary to activate air conditioning and ventilation equipment at this point to reduce temperature (a primary factor) and eliminate smoke. Therefore, it is recommended to coordinate with firefighting and rescue personnel, following their instructions based on the actual situation, to control the operation of air conditioning and ventilation equipment switches at different stages.

C. Recommended to install dedicated exhaust ventilation equipment for charging station areas:

Lithium-ion battery fires can burn for an extended period (several hours) and release toxic gases. Battery malfunctions and fire incidents can also lead to the release of flammable gases. If such incidents occur in enclosed areas, such as buildings, flammable

gases may accumulate and pose an explosion risk. Installing smoke exhaust systems effectively eliminates toxic gases and helps reduce the concentration of flammable gases below their combustion limits.

D. Install automatic fire suppression systems:

Closed parking spaces should be equipped with automatic fire suppression systems. These systems can effectively control the spread of the fire, but it's important to note that burning electric vehicle batteries, protected by the vehicle's structure, may not be completely extinguished and may still require firefighting personnel to handle the situation.

E. Enhance Shelter and Evacuation Facilities:

- Strengthen guidance in underground parking spaces for evacuation routes (e.g., adding evacuation direction indicator lights, audio-visual exit signs, and additional shelter floor plans in parking areas), ensuring that safety stairs' fire doors remain closed and maintain smoke shielding capabilities.
- For buildings with underground parking spaces for electric vehicles and charging stations, it is recommended to install emergency elevators and specially designed safety stairs.

4. main recommendations：

Suggest 1

Immediately feasible suggestions: Feasibility Study on the Application of Technologies for Electric Vehicle Fire Control in Underground Parking Lots.

Organizers: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

Co-organizer: Fire Department of the Ministry of the Interior

In response to the promotion of net-zero carbon emission policies, the development of the electric vehicle industry is a crucial administrative goal for the future. Given Taiwan's limited space and dense population, a significant number of electric vehicles are expected to be parked in underground parking spaces in the future. The effectiveness of the current automatic water sprinkler systems in providing adequate protection becomes a critical factor in determining the safety of these underground parking spaces. Additionally, the impact of regional smoke extraction on smoke flow during a fire will affect personnel evacuation. Therefore, there is a need to conduct research on relevant application technologies for controlling electric vehicle fires in underground parking lots to enhance fire safety.

Suggest 2

Mid-to-long-term suggestion : planning a dedicated area for electric vehicle charging and setting up special smoke exhaust equipment. 。

Organizers: National Land Management Agency, Ministry of the Interior

Co-organizer: Institute of Architecture, Ministry of the Interior

Considering the potential for large numbers of electric vehicles and charging stations to be parked in underground parking spaces of future buildings, the current Building Technical Regulations under Article 96, Section 1, Subsection 2 state: "2. For buildings accessing levels from the 6th to the 14th floor or levels from the 2nd underground floor, safety stairs shall be provided; for buildings accessing levels from the 15th floor or the 3rd underground floor, outdoor safety stairs or special safety stairs shall be provided. However, for each floor of buildings with levels from the 15th floor or the 3rd underground floor and a floor area not exceeding 100

square meters, outdoor safety stairs or special safety stairs may be replaced with regular safety stairs." It is recommended to adjust this regulation to read: "2. For buildings accessing levels from the 6th to the 14th floor or levels from the 2nd underground floor, safety stairs shall be provided; for buildings accessing levels from the 15th floor or the 3rd underground floor, outdoor safety stairs or special safety stairs shall be provided. However, for each floor of buildings with levels from the 15th floor or the 3rd underground floor and without electric vehicle parking and charging stations and with a floor area not exceeding 100 square meters, outdoor safety stairs or special safety stairs may be replaced with regular safety stairs."

第一章 緒論

第一節 研究背景與研究範圍

台灣地狹人稠、車流量大，尤其市區車位一位難求，因此不論是路邊或路外停車場皆有持續增加停車車位的趨勢。都市高樓建築林立且地面可用空間越來越少，為增設更多停車空間，各大建物皆有規劃地下停車區域，將土地空間利用程度最大化，然而現有法規將室內停車空間定義為非居室空間，在防火與排煙規定無充足的安全防護下，停放電動車或充電設備當其發生火災，將對火場環境充滿更多的不確定性，不僅人員逃生途徑受阻，當火災無法在短時間撲滅時，長時間高溫侵襲亦會對建築物造成結構損害。

我國中央政府 2022 年 3 月正式公布「臺灣 2050 淨零排放路徑及策略總說明」，其中提出十二項關鍵戰略來達成淨零目標，同時預計於 2030 年電動小客車新車年銷售量占所有小客車年銷售量之比例達 30%，於 2035 年達 60%，於 2040 年所有新售小客車均為電動車。

據交通部統計數據顯示，台灣汽機車總數位居亞洲之冠。中央政府為解決汽機車帶來的交通堵塞與空氣污染問題，積極發展綠色能源並擬定政策法規、獎勵補助，推動電動汽機車產業發展。

圖 1-1 臺灣 2050 淨零轉型之十二項關鍵戰略

(資料來源：國家發展委員會)

各國政府為解決能源匱乏問題而積極發展綠色能源產業，因應趨勢潮流，台灣中油總經理李順欽先生提出「2020 年推出自有品牌電池、建置千座智慧綠能加油站，打造智慧綠色生活圈」。依據交通部機動車輛登記數發現，電動運輸載具數量逐年上升，為便捷國人生活型態，勢必得增設充足充電樁設備。

表 1-1 台灣全國汽機車運輸載具數量(交通部)

年份	全國汽機車總數	汽車數量(純電)	機車數量(純電)	純電動汽(機)車佔比(%)
103 年	21,290,279	598	42,315	0.202
104 年	21,400,863	664	52,010	0.246
105 年	21,510,650	733	71,846	0.337
106 年	21,704,365	1,557	114,013	0.532
107 年	21,871,240	2,363	194,633	0.901
108 年	22,111,807	5,672	359,934	1.653
109 年	22,297,000	11,876	455,764	2.097
110 年	22,597,694	19,080	546,438	2.503
111 年	22,844,046	35,532	630,223	2.914
112 年 11 月止	23,124,572	58,100	696,672	3.264

(資料來源：交通部統計資料查詢網(https://stat.motc.gov.tw/mocdb/stmain.jsp?sys=100))

國內地下停車場發展十分迅速，室內停車空間樓層面積不斷擴大且建築結構趨漸複雜，火災隱憂實在不容小覷。一般室內停車空間建築結構防火時效大多為 1~3 小時，此時高溫環境與延燒時間若大於場所設置的防火時效，火勢將快速延燒且對於建築物結構強度有極大的影響，不僅可能大幅降低其耐震能力，甚至因無法承受其高溫而有倒塌的風險。

室內停車空間除停駐電動車外，還有傳統燃油車輛或油電混和車輛等等載具可燃物，當車輛火災無法短時間內撲滅或延燒至隔壁車輛時，其連鎖反應將引起嚴重危害，此外長時間燃燒也會對建築結構產生不可逆的嚴重損壞。因此對於此種建築空間區域，若要推動電動車

普及化或增設電動車充電裝置於室內停車空間，對於現有的消防安全設備、防護要求與避難設施規定是否仍能負荷或應如何調整以增進其安全性，實有必要詳加研究。

室內停車空間屬半封閉空間，故建築與防火設計應具備平時空氣調節及通風量充足，災時具備排煙、阻煙能力，達到防止高溫煙流擴散至人員疏散路線，但同時亦需迅速排除煙氣與熱量於戶外，避免積累過多熱量而引起閃燃疑慮。此外不管傳統燃油車或電動車，其火災發生都會伴隨大量毒性氣體，如何引入大量空氣稀釋環境毒性氣體濃度更為一大挑戰。若要達到稀釋室內停車空間有毒有害氣體、增加安全疏散條件、控制火勢蔓延擴大、提升消防搶救機會。對於室內停車空間之通風排煙設備規劃，參考 97 年內政部建築研究所之研究報告，應加以考量下列情況【5】：

1. 由於地下停車場空間面積大且屬半封閉或封閉狀態，無法利用建築物門窗等開口進行通風與排煙，因此可考慮設置機械排煙設備且排煙量建議採用不小於每小時 6 次。

2. 室內停車空間之空氣調節及通風與災時排煙系統應獨立設置，不應和其它層有相通設置，排煙口的位置建議到防煙分區最遠點的水平距離為 30m 以內。

3. 排煙風機可採離心風機或軸流風機，並應在其機房入口處，設有煙氣溫度超過 280℃時，自動關閉之排煙防火閥並與排風機連動。

4. 通風排煙管道必須採用不燃材料製作，管道和設備的保溫材料、滅音材料和凝結劑應為不燃材料或耐燃材料。

第二節 研究目的

室內停車空間由於位在地下層，四面被泥土包覆，其通風與排煙不易且法規將其定義為非居室，使得該空間場所的防火與排煙要求較為不足。此外停車空間中因停駐大量燃油車輛等可燃物，當發生火災時，室內停車空間因車輛停放位置較於集中，當車輛起火將迅速向四周車輛延燒而造成火勢成長猛烈，因此有效限縮火勢燃燒範圍較撲滅火勢更為重要，若無法在短時間內撲滅將可能造成重大危害，長時間燃燒更容易對該建築物結構產生嚴重傷害。因此對於此種建築空間區域，若要推動電動車普及化或增設電動車充電樁設備於室內停車空間，應對現有消防安全設備、防護要求與避難設施規定探討是否足夠負荷或調整及加強主動式與被動式防火安全防護以增進其安全性。

現階段室內停車空間主要以設置泡沫滅火系統為主，然而現行設置的泡沫或其他撒水設備並無法在電動車起火初期噴撒至電池表面以控制電池熱失控現象。本研究目的為針對電動車輛及其充電樁設備設置於室內停車空間的情況下，透過調整或增設主動式及被動式消防設備來降低電動車起火危害，同時以救災人員的角度，提出電動車及充電樁初期緊急應變措施及消防人員救災安全參考指引。

地下停車空間屬半封閉空間，故建築與防火設計應具備平時空氣調節及通風量充足，災時具備排煙、阻煙能力，防止高溫煙流擴散至人員疏散路線，同時亦能迅速排除煙氣與熱量到戶外環境，避免積累過多熱量而使火場有閃燃疑慮。此外不管傳統燃油車或電動車，其火災發生都會伴隨大量毒性氣體，如何引入大量新鮮空氣稀釋毒性氣體濃度為提升受困人員生存率的一大關鍵。既有室內停車空間天花板下方普遍排佈各種水電管路，若需額外增設煙控系統，恐建築結構與剩

餘空間並無法負荷設置條件。因此若能夠在停車空間加以考量設置防煙垂壁、防火區劃等配置，並根據現行設置的空氣調節及通風設備，達到限縮及控制煙流流動情況，並透過進排氣風機將停車空間的高溫煙流排除，亦為一種主被動式防火安全防護的策略。

本研究及其指引之目的，僅在於降低室內停車空間電動車與充電樁設備之火災風險，以及提升地下停車空間之安全性，並非確保室內停車空間電動車與充電樁設備無火災發生之虞。

本研究預期目標如下：

1. 研提建築物室內停車空間之電動車位及充電樁之設置區域與規劃設計建議。

2. 研提室內電動車位及充電樁設置空間之主動式及被動式防火安全防護設施設備設置參考建議。

3. 完備電動車及充電樁初期緊急應變措施及消防人員救災安全參考指引。

第三節 研究內容

一般建築物火災的應變對策大多以如何讓人員快速避難至安全區為考量，但對於室內停車空間而言，因空間格局屬於半封閉型，同時空間內部集中停放大量車輛，此時不管是燃油車或電動車發生火災，火勢都會迅速向四周蔓延，因此對於此類不易於火勢抑制的場所，加強其內部火載量控管相當重要。現階段國內地下停車場依法定義為非居住用途，因此對於排煙設備以及消防設備設置並沒有特別要求，亦沒有特別針對電動車輛停駐區域的防火安全要求。

室內停車空間由於動線複雜且火災期間無燈光輔助下，當發生各類型火災皆屬高風險且人員較難以快速疏散的情況。現階段我國政府致力於淨零排放目標，通力發展電動車輛，降低移動工具的汙染，可想見未來停車空間將可能遍布設置電動車充電裝置，然而地下層火災有別於地上層火災，不僅救災手段受到限制，當鋰離子電池不易撲滅且長時間高溫侵襲建築結構，將危及建築結構安全。

當室內停車空間遭遇如電池類火災等不易撲滅且燃燒溫度極高的火災特性時，在長時間高溫的侵襲下，受災建築物的空間結構將造成不可逆的損害。基於電池類火災與傳統火災危害與特性的不同，以及電動車火災發生於室內停車空間的潛在風險，本研究團隊將針對室內停車空間與電動車輛火災案例以及電動車輛之防火安全防護策略等進行分析與檢討，同時針對電動車輛停駐於地下停車空間時之主被動式防火安全設備進行設置建議。

第四節 研究方法及進度說明

本研究係針對室內電動車停車空間及充電樁設備提出相應的防火安全對策。本研究計畫採『文獻蒐集』、『實測實驗』、『電腦模擬分析』等研究方法，提出電動車及其充電區域防火安全設置對策研究，並完備電動車火災之初期緊急應變措施與救災安全參考指引。工作項目如表 1-2 所示。

表 1-2 各部份之研究內容表

	項目	研究內容
第一部份	電動車輛種類及其停駐區域之相關使用管理、防火安全防護規定蒐集 **(文獻回顧)**	● 蒐集電動車及室內停車空間火災危害風險。 ● 蒐集國內外室內停車空間之停放電動車輛與設置充電設備相關規定。 ● 蒐集我國現行使用之電動車及充電樁種類、設置空間、安裝方式、使用及管理情形等態樣統計分析
第二部份	室內電動車位及充電樁設置空間之主動式及被動式防火安全防護設備設置建議 **(實測/模擬研究)**	● 現行室內停車空間之消防設備設置要求。 ● 現行室內停車空間之通風設備設置要求。 ● 規劃空氣調節及通風設備及被動式防煙設備之電腦模擬，瞭解其換氣現況與煙流可視化情形並提出設置建議。 ● 建構一縮尺寸車殼模型及規劃滅火實驗，並根據結果提出消防設備設置建議。 ● 針對地下停車空間若發生電動車火災時，對於建築結構之安全性影響。
第三部份	電動車及其充電樁事故之初期緊急應變措施與消防人員救災安全參考指引 **(文獻/數據綜述)**	● 根據實驗及電腦模擬結果，提出電動車及充電樁火災危害特性，研提其初期緊急應變措施及消防人員救災安全指引。 ● 本研究團隊將以計畫執行期間實地現勘場所之平面格局、車位格局與通風設備等進行模型建構，並作為氣流場電腦模擬分析之對象。

(資料來源：本研究整理)

本研究計畫執行將採「文獻回顧」、「實測研究」、「電腦模擬分析」為主。本研究案研究流程如圖 1-2 所示。

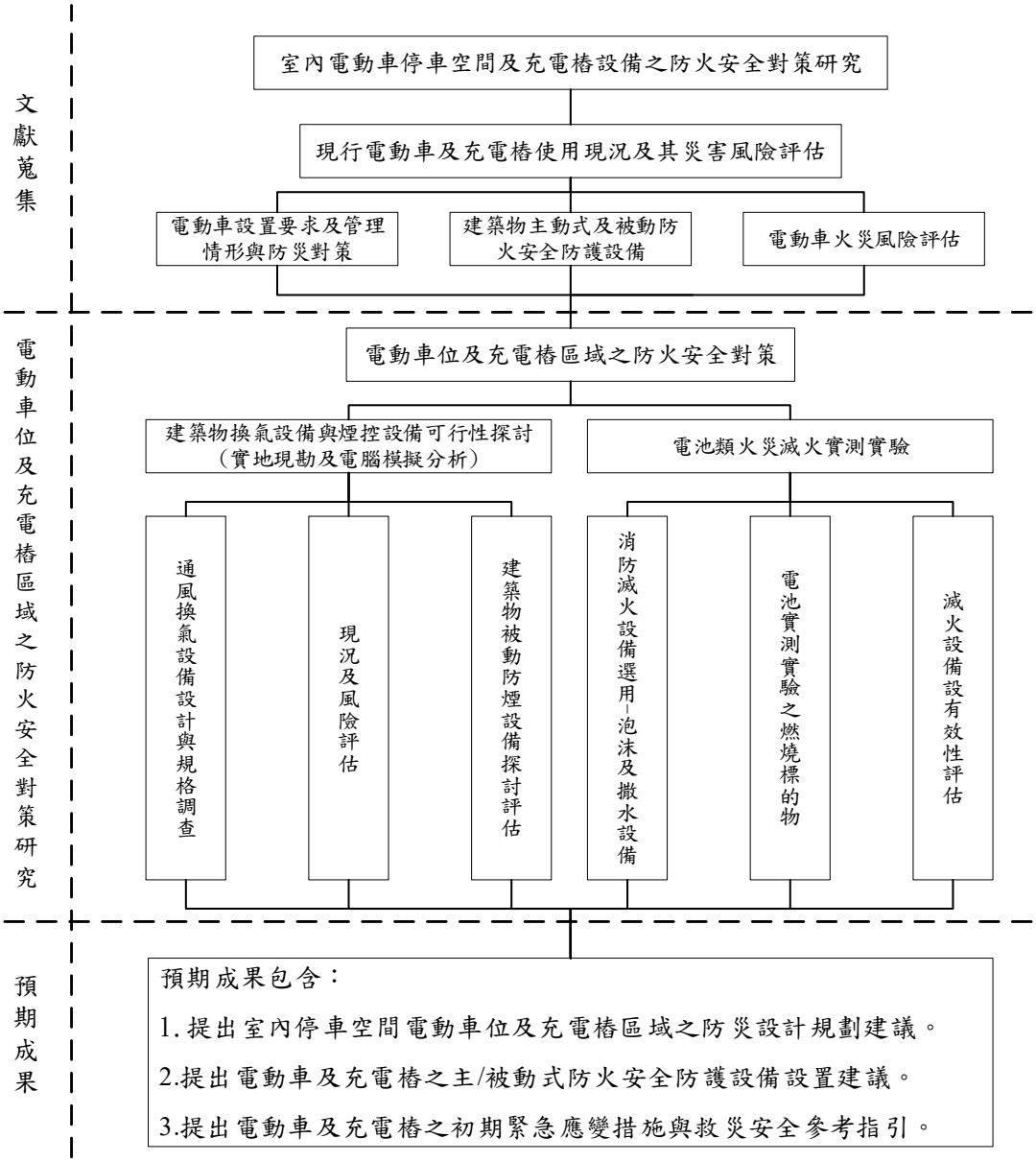


圖 1-2 研究流程圖

(資料來源：本研究整理)

本研究執行進度及預期完成之工作項目如表 1-3 所示：

表 1-3 研究進度及預期完成之工作項目表

月 / 工作項目	第1個月	第2個月	第3個月	第4個月	第5個月	第6個月	第7個月	第8個月	第9個月	第10個月	第11個月	備註
電動車及室內停車空間充電樁設置種類與設置要求文獻蒐集	■	■										
電動車火災危害與煙毒影響文獻蒐集		■	■									
國內外電動車及其充電樁設備安全規範及預防與應變策略蒐集		■	■									
現行室內停車空間滅火設備設置種類及應對電動車火災之滅火效果文獻蒐集		■	■									
探討室內停車空間換氣及煙流可視影響				■	■							
第一次學者專家座談會				■								
期中報告及期中簡報					■	■						
縮小比例模型電池火災實測實驗					■	■	■					
實測實驗結果分析						■	■					
草擬電動車及充電樁初期緊急應變措施與救災安全參考指引						■	■	■				
第二次學者專家座談會								■				
期末簡報及結案報告整理									■	■	■	
預定進度(累積數)	4%	20%	32%	40%	52%	68%	80%	88%	92%	96%	100%	

(資料來源：本研究整理)

第二章 電動車輛停放設置規劃相關文獻分析

第一節 電動車種類及其發展概述

因應極端氣候地球暖化空污嚴重等議題，近期世界各國紛紛宣布2050淨零碳排目標，並將低碳運輸列為首要項目。國內亦致力達到淨零排放目標，達到碳中和承諾，其中運具電動化為運輸領域努力重點。我國經濟部、交通部與環保署為此通力發展電動車輛，降低移動工具的汙染。另因電動車日益普及，我國預計 2040 年新售車輛全面電動化。電動車發展歷程可追溯到 19 世紀末，惟當年由於電動車行駛里程較短且充電不方便及成本太高，使得市場被燃油車給取代。如今隨環保意識抬頭，各國積極推動潔淨無汙染的新興能源，各大車廠也積極開發純電動車的產品。簡述電動車成長歷程如下：

- 1873 年電動汽車出現於英國。
- 1886 年 Karl Benz 發明內燃引擎汽車。
- 1900 年美國生產電動汽車 1,575 輛；內燃機汽車 936 輛。
- 1908 年 Henry Ford 開發汽油車價格為電動車的一半。
- 1920 年電動車逐漸減少而退出一般市場。
- 1997 年氣候變化公約國制定京都議定書，電動車再次受到重視。
- 1997 年豐田汽車(Toyota)發表油電混合車 Prius 省能低污染。
- 2009 年 i-MiEV、Leaf 等多款量產型電動車問世。
- 2015 年超過 50 款電動車量產，銷售超過 100 萬輛。

因應全球氣候暖化變遷所帶動的環境衝擊，各國政府皆朝節能減碳的方向邁進，主要執行方式大多採用補貼購車、財稅補助、基礎充電設施布建、補助研發及示範計畫等政策推動。我國中央政府預計於2040 年所有新售小客車均為電動車，並預計興建約三千座充換電站。

基於各國政府的積極作為，使電動車年銷售量節節攀升。2015 年起全球電動車銷量已超過 100 萬輛，其中以中國、美國、荷蘭、挪威與英國為前五大銷售國。美國加州政府於 1991 年開展『零排放車輛計畫』，此計畫強制汽車生產商必須生產一定比例之潔淨能源車輛；其他州政府則要求某些較大地區必須在州際公路與州道路每隔一英里範圍設置電動車充電設施，並鼓勵設置電動車充電裝置；夏威夷則要求公共設施每 100 個停車位需有 1 個電動車充電裝置系統且設置指示標誌【56】。

內政部營建署於 2019 年修正「建築技術規則建築設計施工編第62 條」，條文新增第 4 款，規定新建物停車空間構造應預留電動車的充電設備與設置空間；舊有建築物若要設置充電樁，則需經過管委會、區分所有權人會議同意方可設置。美國亞特蘭大市政府則通過新法案要求新興建的住宅房屋和公共停車設施，需具備一定比例之電動車適用設施；歐盟要求 2019 年起，會員國所有新屋或翻修房屋均須安裝電動車充電裝置，包括所有商用或大型住宅區，至少需 20%的車位為電動車使用，顯而易見電動車產業推動及發展勢必為未來重要的施政目標，此時室內空間停放電動車及其充電設備的防火安全防護設置更應謹慎探討並提前部署。本研究將對我國現行電動車輛、充電樁種類、設置空間、安裝方式、使用及管理情形等態樣調查統計分析，以完備其主動式及被動式防火安全設施，並強化初期應變及救災安全。

當未來電動車大量使用將對全國電網產生顯著影響，為避免大量

用電載具對區域電網及其供電變壓器造成衝擊，應提前部屬電能整合策略並建立電能管理，降低對全國電力系統的衝擊。電動車對提高車輛耗能標準、導入更多綠色能源、降低車輛 CO_2 排放等有所助益。

電動車輛依電動化程度，由淺而深分別是：油電混合車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)、插電式油電混合車(Plug-in HEV, PHEV)、增程式電動車(Range Extended Electric Vehicle, REEV)、純電動車(Battery Electric Vehicle, BEV)、燃料電池電動車(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)，如表 2-1、圖 2-1 所示。

表 2-1 各種電動車輛綜合比較

電動車種類	HEV	PHEV、REEV	BEV	FCEV
動力來源	馬達、引擎	馬達、引擎	馬達	馬達
電池容量	中	大	很大	很小
動力獲取來源	加油站	加油站(很少) 電網充電設施	電網充電設施	氫氣補充設備
特色	行駛污染低。 燃油經濟性比內燃機高。 行駛里程長，車輛價格高。		行駛零污染或極低污染。 能量效率高。 不全依賴石油。	

(資料來源：參考文獻【55】)

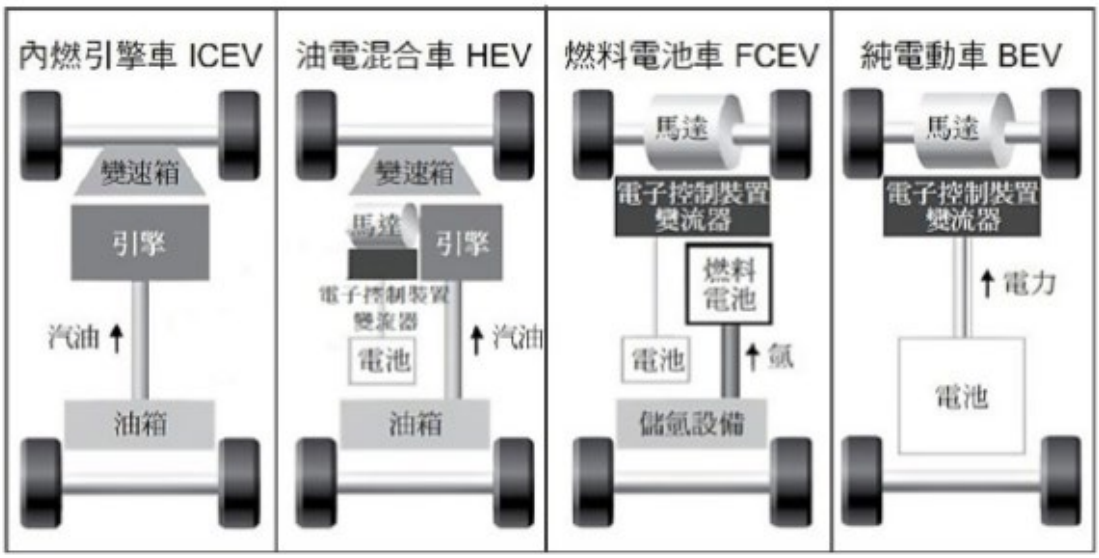


圖 2-1 電動車動力結構比較圖

(資料來源：參考文獻【108】)

油電混合車(Hybrid Electric Vehicle, HEV)：

油電混合車主要電力補充來源為車上引擎，其引擎運轉過程仍會排放污染，但與純汽油車相比可降低污染程度。油電混合車係同時配備電動馬達與內燃機的電動車輛，同時擁有內燃機與電動馬達的優點，使得性能與效率都得到提昇。舉例來說，藉由內燃機燃料添加方便且快速的優點，改善純電動車續航力不足或充電不方便的缺點。其運轉原理根據車輛運行階段相互使用，例如啟動及低負載時，使用電動馬達取代引擎燃燒不良造成油耗高、污染差的缺點；中高車速因引擎效率較佳，則使用引擎驅動；爬坡、加速、高負載時，引擎與馬達一同使用；煞車時可用再生煞車，意即將車子動能轉換為電能；電池電量不足時，使用引擎驅動發電機對電池充電;停車時引擎自動熄火,減少油耗污染【55】。

油電混合車整合電力系統與內燃機，使內燃機可運行在高效率、低污染的範圍。目前依據電動輸出比例與系統功能可細分為：輕型混合動力系統(Micro HEV)、中型混合動力系統(Mild HEV)、全混合動力系統(Full HEV)，簡述三者差異如表 2-2 所示：

表 2-2 油電混合車各系統類型差異說明表

系統類型	差異說明
輕型混合動力系統	具備怠速熄火系統(Start-stop System)。 具備再生煞車充電(Regenerative Brake)。 不具備電動動力輸出。
中型混合動力系統	具備怠速熄火系統(Start-stop System)。 具備再生煞車充電(Regenerative Brake)。 馬達可輸出動力輔助引擎。
全混合動力系統	具備怠速熄火系統(Start-stop System)。 具備再生煞車充電(Regenerative Brake)。 馬達可直接驅動車輛。。

(資料來源：參考文獻【55】)

插電式油電混合車(Plug-in HEV, PHEV)：

插電式油電混合電動車(Plug-in HEV, PHEV)則可使用外部電源充電，例如使用住家插座即可充電，當需行駛較遠或電池電量不足的情況下，將啟動引擎補充動力或對電池充電。插電式油電混合車係整合電力驅動系統，同時具備充電設備與內燃機，其電池可作為電力儲存並能從電網進行充電。插電式油電混合車以高效率鋰離子充電電池配合馬達作為動力來源，具備電能驅動系統的高效率輸出特性。一般平日通勤可採電動車模式運行；若要進行長距離移動時，車載電池模組可透過內燃機引擎持續提供動力，兼顧使用成本、節能、環保與方便等特性【55】。

增程式電動車(Range Extended Electric Vehicle, REEV)：

增程式電動車由於搭載了引擎發電機模組(Genset)的增程器，近年來許多車廠積極投入相關研發，並將其視為解決電動車續航力問題的短期替代方案。增程式電動車是純電動車配備增程器(Range Extender)，可增加續航里程。增程器使用汽油引擎或柴油引擎驅動發電機，用來對電池充電，也可視為串聯式油電混合車的一種，引擎無法對車子提供動力。REEV 一般行駛狀況主要是以電動馬達驅動車輛，根據能量管理控制策略，找出雙電力源(電池、增程器發電機)的最佳能量分配以同時滿足駕駛動力與續航性能需求，可以提高燃油經濟性降低排放污染【55】。

燃料電池電動車(Fuel Cell Electric Vehicle, FCEV)：

燃料電池式電動車，車上的燃料電池是將化學能源-進行氫轉化為電力能源。能源補充是由充氫站或更換儲氫罐完成。燃料電池車具有零排放及高續航力優勢，性能足以與引擎車媲美，是終

極綠能車，各車廠已投入開發數十年，如今終於進入量產階段。2014 年底，Toyota 燃料電池車 Mirai 開始量產開賣，由於產能仍在建置階段，2015 年僅銷售 498 輛，Toyota 計畫在 2017 年將 Mirai 產能提高至 3,000 台。

純電動車(Battery Electric Vehicle, BEV)：

純電動車(BEV)純粹由車載電池模組供動力驅動電動馬達，系統架構如圖 2-1 所示，電池的電力經由電子控制裝置驅動馬達，馬達的動力經由傳動系統驅動車輪。

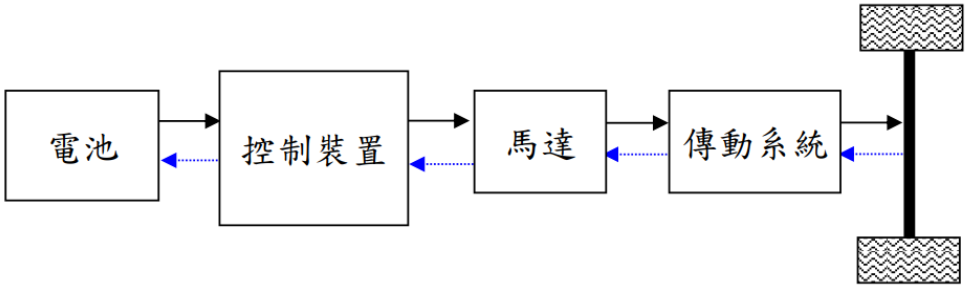


圖 2-2 純電動車(BEV)系統架構

(資料來源：參考文獻【55】)

第二節 電動車充電設備規格及相關管理規範彙整

國際迄今推動電動車現況發現，電動車使用者行為模式以夜間離峰時間於住家充電最佳，但是電動車充電設施不足的情況為推動電動車普及化的最大阻礙之一。目前充交換電站主要設於加油站、百貨公司停車場，但由 CNS 15511-3_電動車輛傳導式充電系統-安全要求中提及，充電設備零件有引起火花電弧的可能性，因此將電池充換電站與加油站設置同一地方，恐有將「汽油與火柴同置一地」的隱憂【59】。

電動車輛充電方式依使用場合有三種：充電站、車載充電器(On-board Charger)、車上發電機充電。充電站類似於加油站功能，充電站設有充電樁可對電動車提供充電功能；車載充電器(On-board charger)則是將充電器安裝於車體，可直接將其插到牆面插座進行充電；車上發電機則是依靠引擎驅動發電機，對電池本體進行充電。

若是公共充電站離家太遠，考慮在家自行安裝充電樁，則須考量下列兩大注意事項：如果居家是獨棟透天厝或是有自己產權的車庫，即無須經過他人同意，車主可從自家電錶直接拉電裝設充電樁；若是附有地下停車場且有管委會的集合式住宅，安裝時則須取得管委會同意，無法自行安裝。此外對於集合式住宅來說，則須視電錶配置方式決定如何安裝充電樁，當住戶電錶統一配置於地下室停車空間，則拉電方式與獨立住宅一樣，可直接從私宅電錶拉電；若電錶放置於每層樓的話，則需考量設置專用獨立電錶或由公用電錶接電。不論採用何種方式接電錶，都須經過管委會同意，並依照管委會要求來安裝，以避免公共區域使用權爭議。

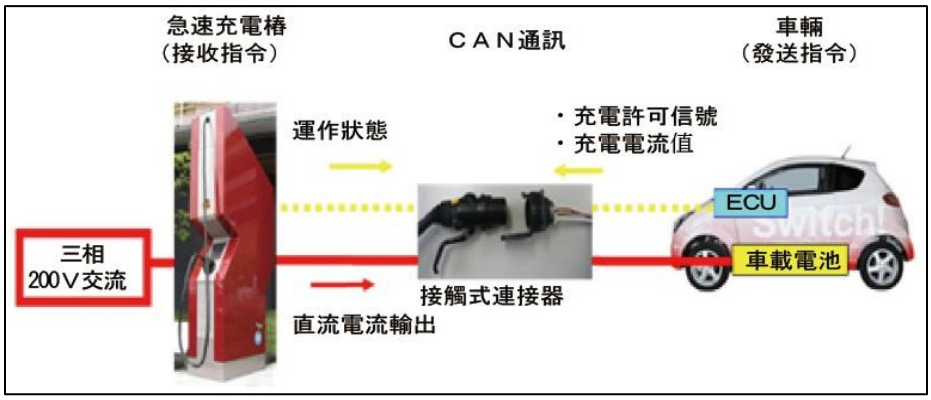
表 2-3 現階段常見充電方式差異表

充電方式	家用充電	目的地充電站	公用充電站
對象	個人用戶	商用合作建置	公共服務
輸出功率	6~22 kW	22~100 kW	50~350 kW
充電時間	4~8 小時	1~4 小時	小於 1 小時

備註：
A. 家用充電：回家後將車輛接入電源即可充電。
B. 目的地充電站：與餐廳、百貨商場、飯店等合作建置。
C. 公用充電站：主要為設置在公路沿線的超級充電站。

(資料來源：本研究整理)

若按照充電效率來區分，則大致分成 AC 交流充電(慢速充電)與 DC 直流充電(快速充電)，AC 交流充電主要透過車內搭載的充電器將交流電轉換成直流電後，對車載電池進行充電，其輸出功率大多低於 20kW 且需數小時才能完全充電，但建置較為簡易，目前住家、商場、辦公大樓等停車場大多設置 AC 交流充電設備為主；DC 直流充電設備則是將原本置於車內的車載充電器移置於車外，並提高能量轉換效率，平均 30 分鐘即可補充 80%車輛電池電能。快速充電設備的基本構成與蓄電系統的基本構成如圖 2-3 所示。



(資料來源：參考文獻【57】)

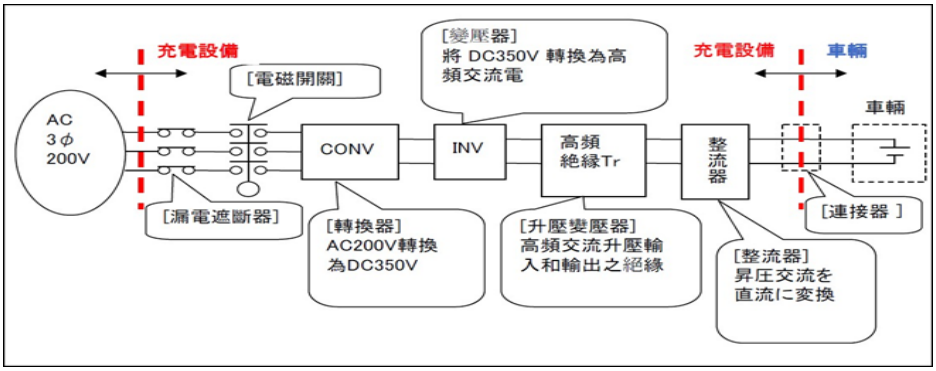


圖 2-3 快速充電設備的基本構成

(資料來源：參考文獻【57】)

一般而言，充電站架構由充電設備、配電設備、管理輔助設備三部份組成，其中充電設備整合斷路器(Breaker)、電路設計、充電插頭加電線、充電設備外殼、通訊模組、計價模組、智慧電錶及電力轉換設備等設備；配電設備包含系統變壓器、高壓保護設備、低壓保護設備以及低壓開關配電設備等電力保護控制裝置；管理輔助設備包含電池模組管理系統、電池儲存架構、軟體控制系統等，充電站組成架構如圖 2-4 所示。

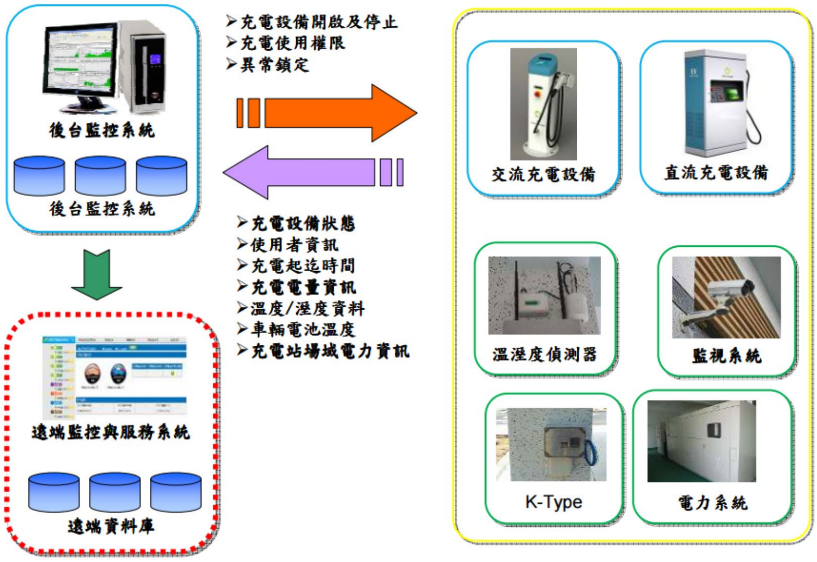


圖 2-4 充電站示意方塊圖

(資料來源：參考文獻【55】)

電池的充放電特性要求充電過程應快速充滿；放電則依車輛行駛所需電力平穩放電。電池充電方式依電池種類分成三種：(1)定電流充電，以固定電流為電池充電，而電壓則依充電情況自然變動；(2)定電壓充電，以固定電壓為電池充電，而電流則依充電情況自然變動；(3)脈衝充電，以固定電流或電壓的脈衝為電池充電，而脈衝的上升時間、寬度、頻率與電壓或電流的數值都需要控制，是較為複雜的充電方式，但充電效率高。

鋰離子電池是一種複雜的化學反應過程，其充放電過程的管理與控制都會對電池壽命產生大幅影響。若要達到高效、省時且不傷害電池的快速充電技術，則需同步監控充電過程的關鍵參數，作為即時調整或控制的條件依據，有效抑制鋰離子電池於充電過程產生的極化效應。圖 2-5 為一個典型鋰離子電池充電曲線，該圖說明充電電流、電池電壓和電池容量隨時間的變化。傳統鋰離子電池充電器都以先採定電流，後採定電壓方式充電(CC-CV)，由於鋰電完全放電後只能以較小電流充電，所以充電器需先檢測電池電壓，若偏低則需以較小電流充電，當電壓回升至一定水平才得以正常電流充電。

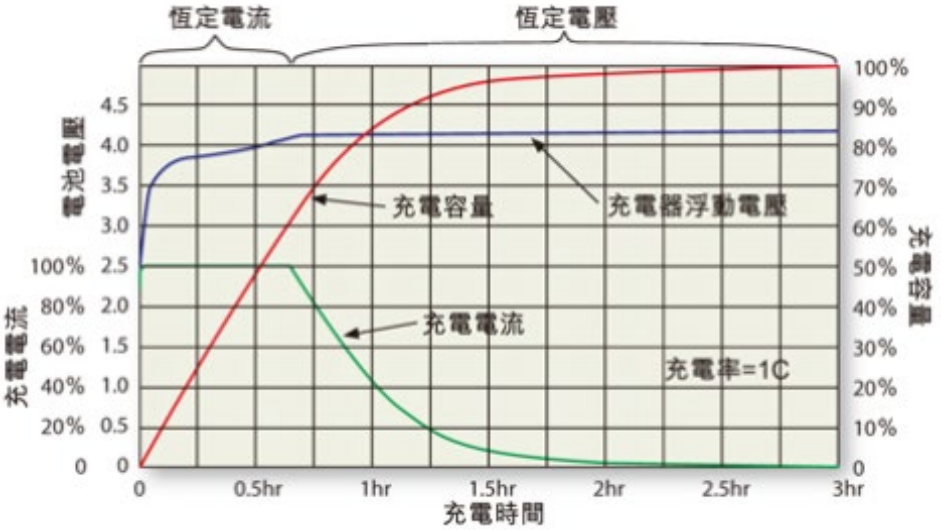


圖 2-5 電池電流、電壓與電池容量的充電曲線

(資料來源：參考文獻)

鋰離子電池常見充電方法包含：階段充電法、脈衝充電方法、最大電流充電法，簡述各種充電方法如下：

一、階段充電法：

階段充電方法顧名思義是將充電過程分為多階段進行，由於此充電方法無需依賴過多資料參數來控制充電切換，因此控制過程相對簡單，但也會因為參數考量不夠細緻而造成充電速度較慢、電池壽命產生衰退等等影響。一般電池在低 SOC 值的情況下，會先採用恆流方式進行充電，當電池即將充飽或達到高電壓時，則轉換成恆壓充電。恆流恆壓充電法(Constant Current Constant Voltage，CCCV)的優點在於相對簡單的控制機制及設置難易度較低，僅需對電流、電壓參數實時檢測，即可控制充電情況。電池充電過程變化曲線如圖 2-6 所示。

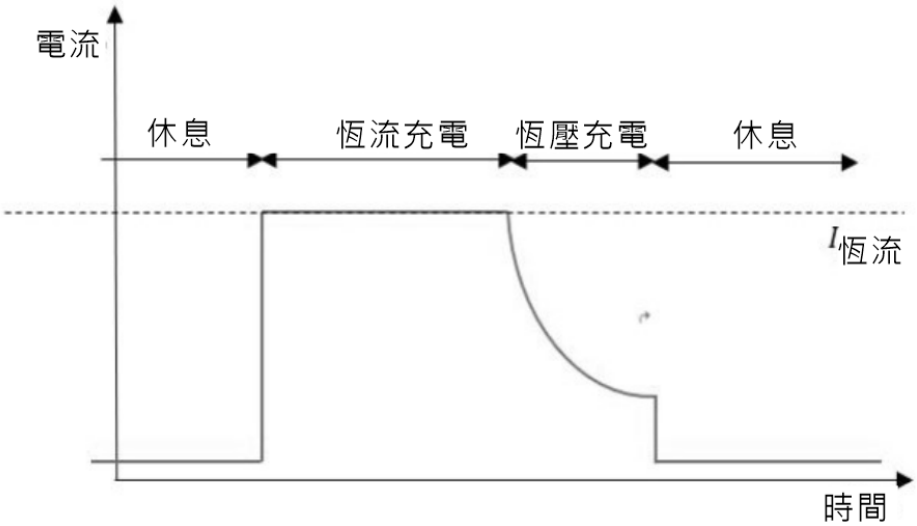


圖 2-6 電池充電過程電流變化曲線

(資料來源：參考文獻【109】)

恆流充電方法在實際充電時，經常會因為充電時間過長而導致電池發熱現象。為解決充電時間過長造成電池發熱，從而破壞電池品質的情況，現階段採用的解決辦法大多改為多階段恆流充電。多階段恆流充電方法是將恆流充電過程進行階段性切割，根據電池 SOC 值與截止電壓作為切割依據，確保充電過程電流逐漸變小。多階段恆流充

電方法如圖 2-7 所示。由圖 2-7 發現，當實際電壓等於截止電壓，就會進入下一個充電階段，等到電流符合達截止電流則充電結束【117】。

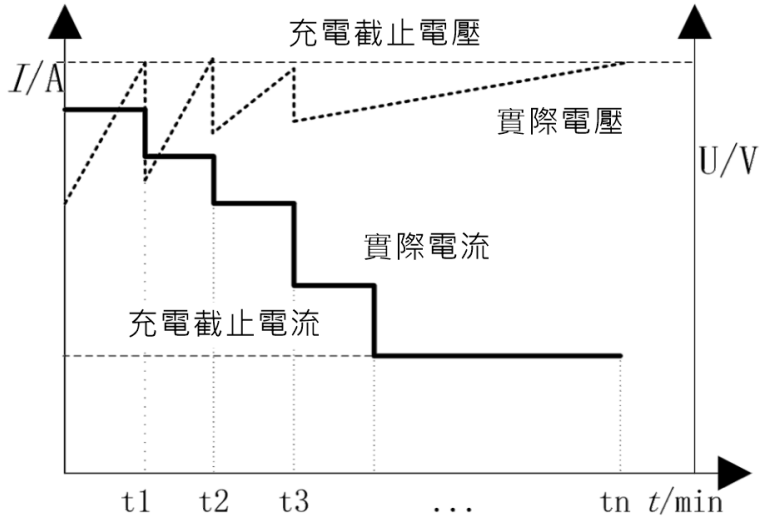


圖 2-7 多階段恆流充電方法

(資料來源：參考文獻【109】)

基於特定充電電流作為充電完成的根據，但是充電截止電流與電池容量最大值並非保持一固定值。因此在充電過程可能出現過充或充電不完全的情況發生。學者 Huang【118】提出一種五步驟充電方案，基於嚴格控制電池溫度上昇的基礎，分成五階段控制充電電壓、充電電流。學者李文華【119】則以極化現象為出發點，研究電池壽命與充電效率之間的相互關係，提出一種分階段恆流脈衝的充電方法，可以緩解充電過程的極化效應，並有效降低充電時間。學者袁臣虎【120】提出一種四階段充電法，各階段分別為預處理、恆流、曲線跟蹤、脈衝充電等階段。每個充電階段都有各自的充電管理策略，達到即時調整充電電流並控制電池溫度上昇量。

二、脈衝充電法：

馬斯三定律提出充電過程若電池存有放電動作能提升下一階段的充電電流接受率，提高電池充電速率。因此鋰離子電池採用正負脈衝充電方法能夠增加電池充電接受率，並且當脈衝持續時間越長，越

能夠提高電流接受率。脈衝充電方法可減緩或控制電池的極化效應，避免充電過程出現不合理的電池升溫現象。

三、最大充電電流充電法：

馬斯三定律提出電池於充電過程中將存在一條最大充電電流曲線，同時最大充電電流值將與電池 SOC 值呈反比。換句話說，電池充電過程所能承受的充電電流值有一個極限，當實際充電電流超出最大電流時，將會使電池內部產生析氣現象，造成電池損害並伴隨大量熱量產生，使電池壽命大幅縮短。最大充電電流充電方法意即利用最大電流曲線範圍內的最大充電電流值進行充電，不僅可達到高充電效率，也能延長電池使用壽命【121】。現階段快速充電技術的研究方向，就是基於電池當前狀態(SOC 值、溫度、迴圈次數)下可接受的最大充電電流持續充電，從而達到電池快速充電的效果。

基於自身結構優勢與性能優勢，鋰離子電池逐漸成為應用水準最高的一種迴圈型蓄電池產品，鋰離子電池的快速充電技術也成為近年來各界關注的焦點。馬斯三定律指出鋰離子電池充電過程會有一條最大充電電流曲線特徵。在充電過程中，一旦充電電流超出其合理範圍，則將導致電池內部出現析氣問題，導致內部溫度上升甚至過熱，加劇電池化學材料的損耗程度影響其正常使用。

馬斯理想充電曲線可利用公式 3.2 說明，其中當實際充電電流值大於最大充電電流曲線將對電池造成損傷。從圖 2-8 發現，當充電過程實際電流高於最大充電電流會導致電池內部出現複雜的副化學反應，引發不同程度的析氣現象；過小充電電流也將造成充電時間過長而使充電效率低。因此充電方式必須平衡充電電流與充電時間，在確保電池性能品質的前提，盡可能提升充電效率。

$$I=I_o\times e^{-\alpha t} \tag{3.2}$$

其中，

I=充電電流(隨時間 t 變化)。

I_o=初始充電電流。

α =充電比。充電初始電流與待充入容量比(I_o/C)。

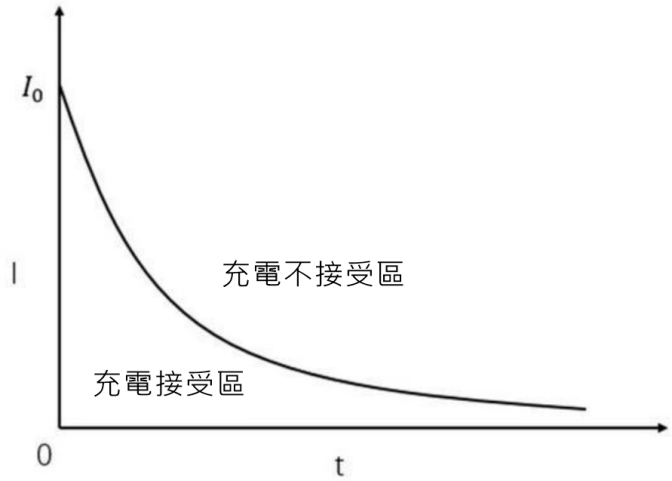


圖 2-8 馬斯三定律示意圖

(資料來源：參考文獻【109】)

極化效應介紹

極化效應意即鋰離子電池於充電過程出現不同形式的內阻而造成的壓降現象【122】。電池充電過程普遍存在極化效應，然而當充電電流過大的情況下，更容易產生顯著的極化效應。極化效應不僅會造成鋰離子電池在充電過程中出現動態變化的充電速度、充電效率，也會使電池壽命受損、內部發熱，甚者造成火災風險【123】。基於極化效應的根本起因，可將其細分為歐姆極化、電化學極化、濃差極化【124】，概述三者極化效應差異如下：

(1)歐姆極化效應：

鋰離子電池充電過程意味著鋰離子由電池正極向負極方向移動，而鋰離子電池結構特徵、組成元素及相互關係都會造成鋰離子的運動型態，這種影響可利用歐姆內阻進行解釋【125】。歐姆極化意即利用歐姆定理對於歐姆內組造成的壓降現象進行說明。

(2)電化學極化效應：

電化學極化現象主要受材料特性差異的影響，電子運動速率與材料表面電化學反應速率出現些許偏差，當前者大於後者的情況下，將導致電子過度累積於電池負極區域，導致正負極發生兩極電位偏離，從而造成電池電壓差異【126】。

(3)濃差極化效應：

當電流流經鋰離子電池的過程中，電池內部同步發生電解反應，導致電極材料出現氧化還原反應，使得電極區域鋰離子濃度上升並受到不同的擴散速度影響，使得鋰離子濃度在電極表面、電解液中出現差異，從而引起電壓差。

因此，鋰離子電池的健康度不外乎與充電方式有著高度關聯性，不同充電方式對於充電速率、充電效率、過充概率、迴圈次數等方面都可能產生明顯差異。鋰離子電池的 SOC 值可用來說明鋰離子電池的剩餘電量，其定義為電池剩餘可用電量與最大可用容量的比值，如公式 3.1 所示【130】。

$$\mathrm{SOC} = \left(1 - \frac{C_r}{Cap}\right) K_N K_T \mathrm{f(I)} \tag{3.1}$$

其中，

C_r 為電池容量；Cap 為標稱電池最大容量；

K_N 為電池不可恢復係數；K_T 為溫度係數；f(I)為電流變化係數。

鋰離子電池實際使用過程中，SOC 值的變化會隨環境溫度、充放電電流、開路電壓等因素造成動態非線性變化【116】。一般而言，溫度會影響電池充放電效率；充放電倍率會影響電池容量；開路電壓會影響電池容量初始值。基於上述影響 SOC 值的參數，從而衍伸 SOC 值的推算公式，常見鋰離子電池 SOC 值估算法如表 2-4 所示。

表 2-4 常見的鋰離子電池 SOC 值估算方法比較表

預測方法	預測方法特點	優點	缺點
安時積分法【110】	通過歷史 SOC 值推算當前 SOC 值	實時估算 SOC 值	誤差累積大
電路模型法【111】	通過線性加權計算	方法簡易	僅適用於小電流的 SOC 值
卡爾曼濾波法【112】	通過最小方差估算	自動修正初始值	雜訊幹擾較大
測量內阻法【113】	通過 SOC 值與電池內阻的相關性估算	適應性強、估算精度高	SOC 值與內阻的相關性較難定義
放電實驗法【114】	控制放電過程的荷電狀態值，反向估算電流與時間的乘積	方法簡易	耗時
OCV 法【115】	測量開路電壓，進而推算 SOC 值	估算精度高	適用靜態量測

(資料來源：參考文獻【109】)

表 2-5 充電樁慢速充電與快速充電充差異表

	慢充(AC)	快充(DC)
適用場所	於家中安裝的充電設備，以慢充為主	一般公共場所的充電站皆配有快充
充電時間	6～8 小時可將電量從 0%充到 100%	30 分鐘可將電量從 0%充到 80%
可跑里程	以 Model 3 為例， 慢充 1 小時約可跑 40 公里	以 Model 3 為例， 快充 1 小時可達 400 公里續航力
優點分析	使用一般家用插頭就能充電， 較方便於自家安裝、使用	充電時間較快，對於急需用車的車主來說，是較方便的選擇
缺點分析	所需的充電時間較長	較容易消耗電池壽命
規格種類	接口規格 / 接口圖示 / 最高充電功率 J1772（Type1） /  / 7kW Mennekes（Type2） /  / 20kW TPC（慢充） /  / 22kW	接口規格 / 接口圖示 / 最高充電功率 TPC（快充） /  / 250kW CCS2（歐規） /  / 350kW CCS1（美規） /  / 400kW CHAdeMO（日規） /  / 50kW

(資料來源：參考文獻【57】)

充電器相關標準與規範：

各國電動車充電器相關標準與規範如表 2-6 所示。台灣目前主要依據用戶用電設備裝置規則；美國則依據 NFPA70、IBC 與 UL2202 等規範，並由各州制定防火安全相關法規；日本除電氣法規之電氣設備技術基準，在消防法規部分亦有以消防法為依據的火災預防條例來對電動車充電設備進行防火與消防安全要求。以特斯拉電動車為例，目前特斯拉超級充電站(DC 直流充電設備)有 V2 及 V3 兩種規格，V2 最大功率為 120 kW；V3 最大功率可達 250 kW，特斯拉電動車主要三種充電方式如表 2-3 所示。日本東京火災預防條例於 2020 年 8 月 27 日修正快速充電設備適用範圍，將其輸出範圍上限值由 50kW 上修至 200kW，意即輸出功率在 200kW 以上的快速充電設備將視為「變電設備」。若設備具備一定安全措施，得排除「變電設備」的條例規定(不可設置於室內停車場、一般使用者不能自行使用、設置於戶外時必須與建築物保持 3 公尺的安全距離等限制)。

不同電動車廠商所使用的充電連結器規格不盡相同。IEC(International Electrotechnical Commission，國際電工委員會)提出 IEC 61851 標準，針對電動車週邊系統或零組件進行規格標準化；歐盟地區大多採用 IEC 標準；SAE(Society of Automotive Engineers，美國自動機工程學會)則是提出 SAE J1772 規格標準化規範，針對電動車用車輛端插頭及車輛連接器，美國地區主要採用 SAE J1772 標準。

現階段各國充電標準簡述如下：美國與歐洲主要使用交流/直流合一的 Combo 型，其採用 PLC (Power Line Communication)的通訊介面，Combo 插座允許電動車慢充和快充，是目前在歐洲應用最廣的插座類型；日本採用 CAN 通訊界面；中國採用 CAN/PLC 通訊界面。

各國電動車充電站規格與標準如圖 2-9 所示。

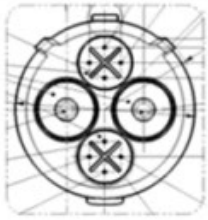
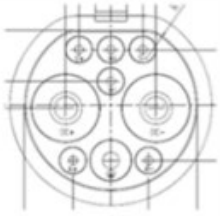
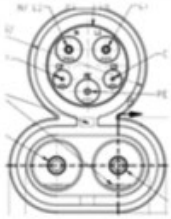
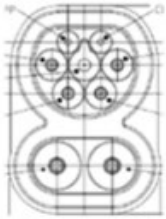
			
IEC 62196-3 Annex AA	IEC 62196-3 Annex BB	IEC 62196-3 Annex EE	IEC 62196-3 Annex FF
CHAdeMO	GB/T 20234.3	美規Combo	歐規Combo
600V/200A 120KW	750V/250A 187.5KW	600V/200A 120KW	850V/200A 170KW
DC		DC+AC	
通訊協定:CAN BUS		通訊協定: PLC (Power Line Communication)	

圖 2-9 各國電動車充電站規格與標準

(資料來源：台灣大電力研究試驗中心)

▲美國慢速充電接頭樣式

▲歐盟慢速充電接頭樣式

▲大陸慢速充電接頭樣式

▲美國快速充電接頭樣式

▲歐盟快速充電接頭樣式

▲日本快速充電接頭樣式

▲大陸快速充電接頭樣式

圖 2-10 各國電動車充電介面樣式

(資料來源：財團法人車輛研究測試中心(ARTC)-電動車安全入門手冊)

表 2-6 鋰離子電池與電動車充電站國外相關標準

項目	適用範圍
美國電工法規	NEC Article 625
電動車充電站測試法規與標準	UL 2594、UL2231、CSA C22.2NO.107.1、SAE J2293、IEC 61851、IEC 61008-1、IEC61009-1
電動車充電電池	UL 2202、UL2230、UL2251、UL2580、ANSI C18.1 PART1、ANSI C18.3PART1、SAND99-0497、SAE J2461
車載充電器測試	UL 2202、SAE J2894
電動車充電線組測試	UL 2251、UL 2231、IEC 61851、IEC 62335、IEC 61540、IEC 61008-1、IEC 61009-1
電動車用電池管理系統	UL 508、UL 991、UL 1998、UL 60730
電動車用電池	IEC619821-3、UL2580、UL2271
鋰電池(Cell)	IEC62660-1、IEC62660-2、UN-T 38.3、GB18333.1
鋰電池(Module)	ISO12405-1、ISO12405-2、UN-T38.3、SAE J1798、SAE J2288、SAE J2380、SAE J2464、QC743
鋰電池(Pack)	ISO12405-1、SO12405-2、UN-T38.3、SAE J1798、SAE J2288、SAE J2380、SAE J2464
電動車用電流轉換變頻器	UL1012、UL498A
電動車馬達控制器	UL508、UL991、UL1998、UL60730、GB18488-1、GB18488-2
電動車充電站	IEC61851-1、IEC61851-21、IEC61851-22、IEC61851-23、IEC61851-24、UL2594、EN61851-1、EN61851-21、EN61851-22、GB18487.3
電動車充電站電錶及設施	IEC61010-1、UL2735、UL61010、EN61010-1、EN621051、EN621052、EN621053、EN621054、EN621055
電動車充電設施	IEC61851-1、IEC61851-21、IEC61851-22、IEC61851-23、UL2202、JEVS G109、JEVS G106、EN61851-1、EN61851-21、EN61851-22、EN61851-23、GB18481.1、GB18487.2、GB18487.3
電動車充電用纜線	IEC60245-1.2.4、IEC60245-3.5.6.7.8、UL62、UL1581
電動車插頭&連接器	IEC62196-1、IEC62196-2、UL2251、SAE J1772、JEVS G105、EN62196-1
電動車電池與充電器連接組件	UL2734
電動車充電控制板	UL508、UL991、UL1998、UL60730
電動車充電電錶	UL61010、UL2735
電動機車	ISO7176-21、EN15194

(資料來源：參考文獻【55】)

表 2-7 鋰離子電池與電動車充電站國內相關標準

領域		國家標準編號	標準名稱	公告年份
共通性		CNS 15514	電動道路車輛－詞彙	2011
整車	動力性能	CNS 15512	電動道路車輛－道路行駛特性	2011
		CNS 15513	電動道路車輛－電能消耗與行駛距離－小客車與商用車試驗程序	2011
	電氣安全	CNS 15499-1	電動推進道路車輛－安全規範－第 1 部:車載可再充電能量儲存系統	2011
		CNS 15499-2	電動推進道路車輛－安全規範－第 2 部:車輛操作安全方法及故障防護	2011
		CNS 15499-3	電動推進道路車輛－安全規範－第 3 部:防止人員觸電防護	2011
電池	鋰電池系統	CNS 15515-1	電動推進道路車輛－鋰離子牽引電池組及系統之試驗規範－第 1 部：高功率應用	2011
	單電池 電池模組	CNS 15369-1	電動車輛推進用二次電池組－第 1 部：試驗參數	2010
		CNS 15369-2	電動車輛推進用二次電池組－第 2 部:動態放電性能試驗與動態耐久性試驗	2010
		CNS 15369-3	電動車輛推進用二次電池組－第 3 部:都會市區運輸車輛用之性能與壽命測試	2010
	單電池	CNS 15391-1	電動車輛推進用二次鋰電池－第 1 部:鋰離子單電池之性能測試	2010
		CNS 15391-2	電動車輛推進用二次鋰電池－第 2 部:鋰離子單電池之可靠度及異常使用效應測試	2010
馬達	電動馬達	CNS 15453	道路電動車輛之旋轉電機	2011
	馬達控制器	CNS 15454	道路電動車輛之控制器	2011
充電系統	充電介面	CNS 15511-2	電動車輛傳導式充電系統－第 2 部：介面要求	2011
	充電安全	CNS 15511-3	電動車輛傳導式充電系統－第 3 部：安全要求	2011

(資料來源：https://www.artc.org.tw/tw/knowledge/articles/2038)

充電樁設置及管理：

隨電動車市占率逐漸上升且逐步開放在室內停車空間設置電動車充電設施的同時，我國若要推動電動車普及化勢必要在停車空間大量設置電動車充電設備。現階段本研究團隊將針對電動車及其充電設備的相關設置規定進行文獻蒐集，作為我國後續室內停車空間電動車停放設置要求之參考。

國內自 2018 年起開放有電動車充電樁設置需求的住戶，可採取錶後拉電的做法，然而錶後拉電隨電動車數量持續將面臨既有線路容量不足的問題。屆時極可能需拆除原有設置的充電線路，並加以新增獨立受電箱、電錶箱及電錶。因此建議未來新建建築物應採用一次到位設置獨立受電箱、電錶箱及電錶，徹底消除用電安全方面的顧慮，同時對集合住宅對建築社區的競爭力也有正向幫助。

以林口《中○麗○》社區為例，其並非一開始便建置電動車充電設備硬體的社區，而是當住戶有購置電動車而產生住家充電需求時，由社區管委會協調與規劃下設置充電樁設備。《中○麗○》採用「專設一戶搭配 EMS 電能管理系統」方案。管委向第一批有意願設置充電樁的住戶收取費用，並成立電動車獨立專款帳戶，供社區公共使用的電動車充電硬體設備相關費用都透過這個專款帳戶來支付，而不會動用到原本的社區經費。

由於這種「使用者付費」的做法，並不會損及當前沒有裝設充電樁需求的社區住戶權益，所以設置充電樁的議案在區權會上也順利通過，隨之吸引有意願的社區住戶進行登記。另外預備建置的電纜線架等基礎設施是以可供全數停車位設置充電樁為前提來建置。《中○麗○》分別於各樓層申請一個用電戶作為充電樁供電使用，實現獨立計費、獨立供電且充電車位也不會對社區原有公用電力造成影響。

面臨整體性規劃且日益增加的充電車位，停車空間若要維持美觀、整齊與安全可透過電纜線整合充電電路來解決，如圖 2-11 所示。若後續社區住戶想新增充電樁也只需從鄰近電纜線架拉設充電線，實現充電彈性擴增的同時也讓拉線施工變得更單純。《中○麗○》為避免對牆壁的結構或防水係數造成影響，充電樁採用懸吊式設計禁止在牆壁上鑽孔。

圖 2-11 電纜線架整合充電線兼顧美觀及擴增彈性
(資料來源：參考文獻【A17】)

《中○麗○》對於充電設備的用電也進行相關規劃設計，兼顧安全性、管理便利性與後續擴充性 EMS 電能管理系統，滿足住戶充電需求且不會對社區整體用電造成影響。台電近年來積極宣導有設置充電樁需求的集合住宅建議設置 EMS 電能管理系統，從根本解決充電設備的用電安全疑慮。《中○麗○》導入的 EMS 電能管理系統是由 DELTA 台達電子提供。EMS 電能管理系統具備即時監看社區所有充電樁的管理介面、針對整體的用電量進行管控，包含充電樁的充電時間、不同時段充電所產生的費用，省去人工計算費用的複雜步驟，能在多輛電動車同時充電時對充電功率進行調配，使整體用電量不會超過契約容量，確保用電安全及避免超約罰款。同時 EMS 電能管理系統最為實用的功能為車主只要透過車輛內建的排程充電功能，居住生活更加便利且無須擔心產生額外充電費用。

圖 2-12 EMS 電能管理系統示意圖
(資料來源：參考文獻【A17】)

依據「電業法」第 32 條及「用戶用電設備檢驗辦法」第 3 條規定：「輸配電業或再生能源發電業對用戶新增設之用電設備及既有設備變更應進行新增設檢驗，經檢驗合格時，方得接電。」充電樁安裝七步驟如下說明：

1.委外評估

2.提出申請(向台電提出申請、需要備妥「屋內線設計圖」)

3.台電評估(檢視用電設備&網路開關)

4.提出需求(向管委會突出設置需求)

5.委外施工

6.成功安裝

7.驗收送電

建築結構層面：

室內停車空間不僅車輛眾多且人員流動頻繁，發生事故容易造成人員傷亡。一般而言，當室內停車空間場所發生火災時，救援團隊應在第一時間進行災情偵察，瞭解停車空間內部火災基本情況，掌握室內停車空間內部消防設備分佈情況及相關設備是否仍能正常運作。彙整建築法、建築技術規則以及各類場所安全設備設置標準等法令，說明現況國內對於停車空間要求，如表 2-8 所示。

供裝設電動車充電設備之場所(包含：整體、附加與獨立之停車場或車庫、封閉地下型停車構造物及農業用建築物)，其設置位置、高度皆有規定，其中「用戶用電設備裝置規則」第 396 條之 18 第 1 款有明文規定其設置位置應位於可直接連接至電動車輛處；同條第 2 款規定其設置高度應距離地面 45cm 以上，1.2m 以下處。但經設計者確認為安全充電之場所者，不在此限。

室內停車空間的火勢延燒非常快速，造成的溫度、熱輻射對人員及建物結構都會造成嚴重威脅。依據《建築技術規則》總則篇第三條規定：「建築物之設計、施工、構造及設備，依本規則各編規定」【33】，該規則內容計有 4 大篇，分別為總則篇、建築設計施工篇、建築構造篇及建築設備篇，有關適用室內停車空間之防火安全，主要規範於設計施工篇，重點條文說明如表 2-9 所示。

表 2-8 國內停車空間相關法令標準

法令名稱	條文	內容簡述
建築法	第 7 條	定義機械停車設備屬於雜項工作物
	第 73 條	停車空間如用途變更者，應申請變更使用執照
	第 77-4 條	建築物昇降設備及機械停車設備，非經竣工檢查合格取得使用許可證，不得使用
	第 102-1 條	建築物依規定應附建防空避難設備或停車空間，其防空避難設備興建因特殊因素確有施工困難或停車空間在一定標準以下等條件，代為興建規定
建築技術規則	第 59 條	建築物附設停車空間之設置數量標準
	第 59-1 條	停車空間設置規定
	第 59-2 條	鼓勵建築物增設營業使用之停車空間規定
	第 60 條	停車空間及停車空間預留車道尺寸之相關規定
	第 61 條	車道之寬度、坡度及曲線半徑規定
	第 62 條	停車空間之車道出入口、有效通風面積、樓層淨高等規定
	第 136 條	規定汽車出入設置緩衝空間寬度及深度
	第 137 條	車庫等知建築物構造應為防火建築物
	第 138 條	供車庫之使用部分之構造及設備之相關規定
	第 139 條	車庫樓地板面積超過 500m^2 者，其設置相關空氣調節及通風設備、入口警示、安全梯之規定
	構造編 第 19 條	作業場、停車場如須通行車輛，其樓地板之活載重應按車輛後輪載重設計之
各類消防安全設備設置標準	第 12 條	室內停車場所、建築物附屬之室內停車場，按用途分類屬丙類場所
	第 18 條	室內停車空間設置水霧、鮑莫、乾粉、二氧化碳滅火設備之規定
	第 68 條	裝置水務滅火設備之室內停車空間，其排水設備規定
	第 71 條	室內停車空間使用泡沫噴頭，使防護對象在其有效防護範圍之規定
	第 73 條	室內停車空間之高發泡出口之泡沫水溶液放射量規定
	第 101 條	供室內停車空間使用之滅火藥劑規定

(資料來源：參考文獻【40】)

表 2-9 室內停車空間相關防火安全規定《建築技術規則》

規範項目	條文編號	條文說明	備註
停車數量	第59條	依都市計畫法令、都市計畫書或第59條規定	
集中設置	第59-1條 第1項 第3款	停車空間部分或全部設置於建築物各層時，於各該層應集中設置，並以分間牆區劃用途	
環境通風	第62條 第1項 第2款	設置戶外空氣之窗戶或開口，其有效通風面積不得小於該層樓地板面積百分之五或依規定設置機械通 風設備	
	第138條 第1項	應有2面以上直通戶外之通風口，或有代替之機械	附設停車空間超過 30 輛
	第2款	通風設備	
	第139條 第1項 第1款	設有各層樓地板面積1/10以上有效通風之開口面積者或設置機械通風設備能供給樓地板面積每1平方公尺25m^3/h以上換氣量。	車庫部分樓地板面積超過500 平方公尺者
	219條	地下建築物，其樓地板面積在1000m^2以上之樓層，應設置機械送風及機械排風；其樓地板面積在1000m^2以下之樓層，得視其地下使用單元之配置狀況，擇一設置機械送風及機械排風系統、機械送風及自然排風系統、或自然送風及機械排風系統。	
排煙設備	第101條 第1項	排煙設備之構造，應依下列規定： 建築物高度超過30公尺或地下層樓地板面積超過1000平方公尺之排煙設備，應將控制及監視工作集中於中央管理室。」	
	第188條 第1項 第7款	地下建築物之地下通道每300m^2應以防煙壁區劃。	
自動撒水設備	第114條 第1項 第2款 第3目	供本編第113條第8款使用，應視建築物各部份使用性質就自動撒水設備、水霧自動撒水設備、自動泡沫滅火設備、自動乾粉滅火設備、自動二氧化碳設備或自動揮發性液體設備等選擇設置之，但室內停車空間之外牆開口面積(非屬門窗部份) 達1/2以上，或各樓層防火區劃範圍內停駐車位數在20輛以下者，免設置。	
樓層淨高	第62條 第1項 第3款	樓層淨高，不得小於2.1公尺	

規範項目	條文編號	條文說明	備註
防火構造	第3章	建築物附設停車空間應依循整體建築物之防火規定	
	第137條 第1項 第2款	設在避難層以外之樓層者，應為防火建築物	附設停車空間超過30輛
	第202條	地下建築物供地下使用單元使用之總樓地板面積在1000m^{2}以上者，應按每1000 m^2，以具有1小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備及該處防火構造之樓地板予以區劃分隔。」	
防火區劃	第79-1條 第1項 第2款	防火構造建築物供左列用途使用，無法區劃分隔部分，以具有1小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火構造之樓地板自成一個區劃者，不受前條第一項之限制。	
安全梯	第139條 第1項 第3款	直通樓梯應改為安全梯	車庫部分樓地板面積超過500 m^{2}者

(資料來源：本研究整理)

第三節 電動車火災對建築結構安全影響

一、停車場火災行為

目前室內停車場對於車輛種類限制條件多是以高度來限制車種與尺寸，但不會以動力種類來限制車輛。目前室內停車多是以小型汽車為主，但是燃油汽車與電動車是混雜停放。當有火災發生時這二種汽車皆會有被引燃起火的可能性。火災依據我國滅火器認可基準可分為 A、B、C、D 四類：【134】

(1) A 類火災：指木材、紙張、纖維、棉毛、塑膠、橡膠之可燃性固體引起之火災 。

(2) B 類火災：指石油類、有機溶劑、油漆類、油 脂 類等可燃性液體及可燃性固體引起之火災。

(3) C 類火災：指電氣配線、馬達、引擎、變壓器、配電盤等通電中之電氣機械器具及電氣設備引起之火災。

(4) D 類火災：指 鈉 、鉀、鎂、鋰與 鋯等可燃性金屬物質 及禁水性物質引起之火災。

燃油汽車發生火災因為其油箱存有大量燃油，通常歸類為 B 類火災，滅火方式可採掩蓋法隔離氧氣，採窒息方式滅火，亦可移除可燃物或降低溫度，所以停車場多配置泡滅火裝置。對於停車場火災行為調查，內政部建研所於 2009 年實際以小汽車進行火災模擬燃燒實驗【135】。模擬情境是車輛遭人縱火之情境，兩側之前車窗皆開啟，而引火源為 2 公升之汽油倒於駕駛座處，車體置於無頂蓋之框架中，產生之煙氣由 10MW 集煙罩收集並計算其熱釋放率與總熱量，在車體內外均設有熱電偶以量測實驗進行中之溫度變化。

而實驗中之熱釋放率變化及總熱量實驗結果顯示，車輛空燒其總熱量(THR)約在 3500MJ 上，而熱釋放率之變化可與實驗歷程對照:由

點火到火勢在中段車輛完全成長，僅費時約 200 秒，而在 864 秒全車引燃前，火勢被局限於中段車廂，其熱釋放率約為 1.7MW；在全車引燃後，熱釋放率(HRR)快速上升至最大值約 5MW 而後逐漸下降直到實驗結束。

實驗過程中車輛上方溫度測點於前車窗處，其測得之溫度最高，可達約 700℃，所測得之最高溫度隨遠離中央而下降。車輛側面溫度與車輛上方之溫度相較下，側面測得之溫度均較低，最高約在 300℃至 400℃，但是鄰車間距若不足或無適當阻隔，很容易引起車輛延燒。

圖 2-13 汽車火災燃燒試驗

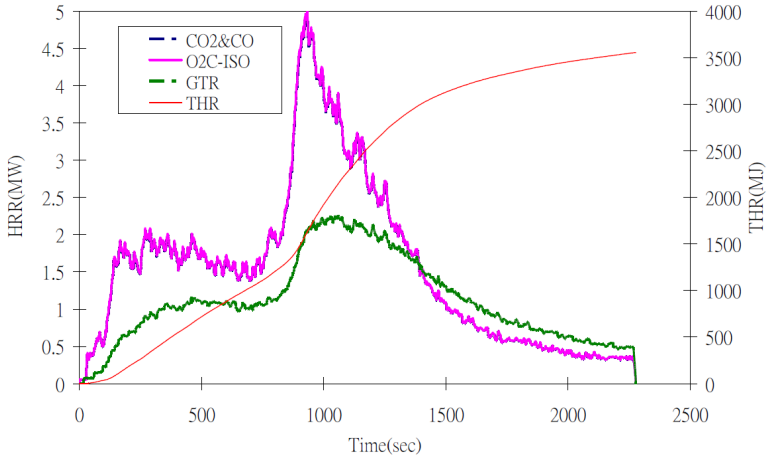


圖 2-14 汽車火災模擬燒實驗時間與熱釋放曲線圖

(圖 2-13、圖 2-14 資料來源：參考文獻【137】【135】)

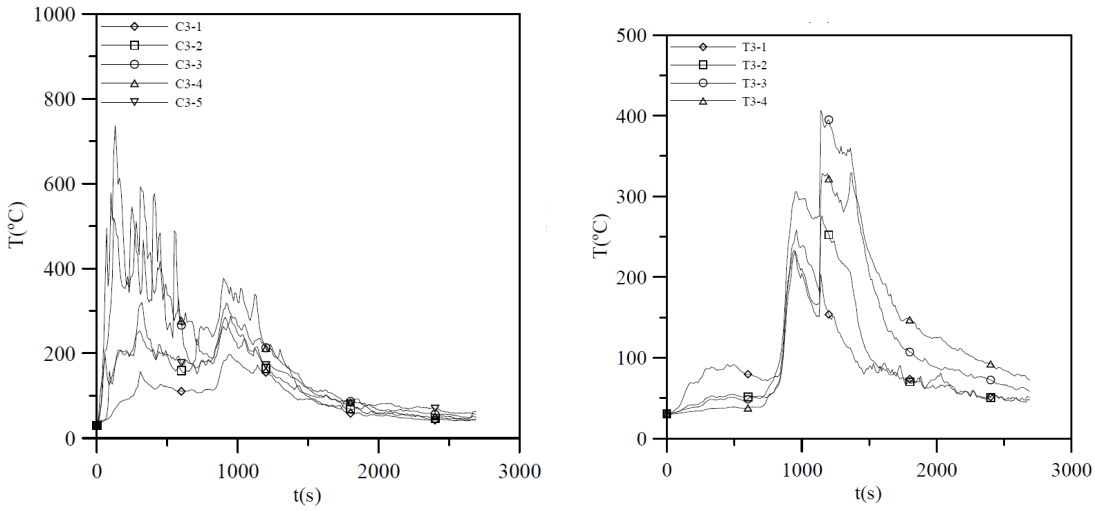


圖 2-15 汽車火災模擬上方(左)；側邊(右)溫度圖【135】
(資料來源：參考文獻【137】【135】)

二、電動車火災燃燒行為

電動車目前尚無太多的火災案例，依據文獻指出，現有汽車火災統計數據得出的主要結論是，電動車造成火災的機率並不比燃油汽車起火的機率高，以起火致災的角度而言電動車相對是較為安全。【136】有關汽車燃燒的熱性質，車輛火災通常持續 60-90 分鐘，熱釋放率 HRR 峰值約在 1.5～10MW，總熱釋放量 THR 平均值約為 5.9GJ。依據目前汽車起火燃燒的數據顯示，電動車與燃油汽車在車輛火災燃燒的熱性質二者比較，熱釋放率 HRR 峰值與總熱釋放量 THR 值沒有顯著差異。

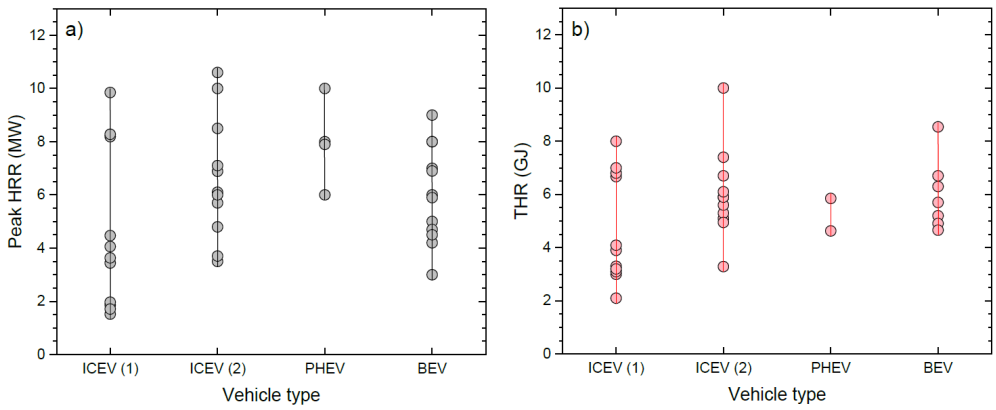


圖 2-16 不同動力源車輛燃燒熱釋放性質比較圖
(資料來源：參考文獻【137】【136】)

Sungwook(2022)【137】以載有目前常用高能量密度鋰電池電動車 BEV (battery electric vehicle)進行電動車實尺寸燃燒實驗，在測試過程中，BEV 火災的燃燒持續了大約 70 分鐘，測得熱釋放率峰值(pHRR）為 6.51～7.25MW、總熱釋放（THR）為 8.45-9.03 GJ。實驗過程中還觀察到，pHRR 和 THR 主要是受座艙中可燃材料的燃燒特性控制，而不是受燃燒的鋰離子電池包中特定內容物的燃燒特性控制。相反，從鋰離子電池組集中噴出的噴射火導致火焰快速蔓延到鄰近可燃部件，從而加速火勢蔓延。

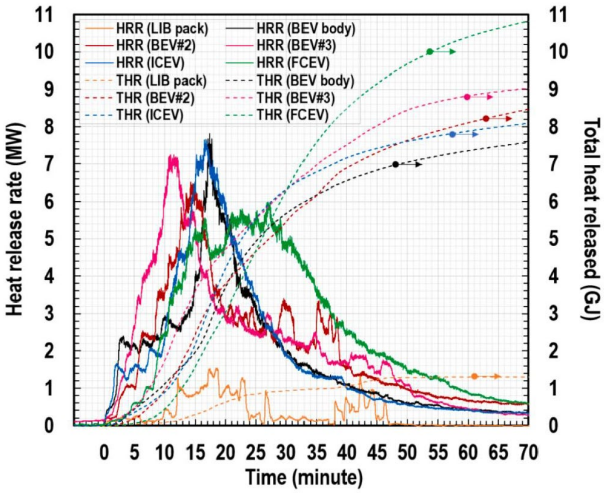
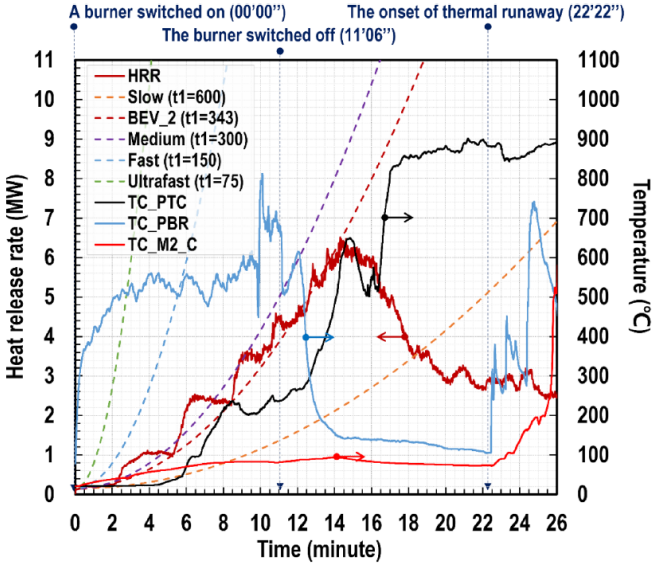


圖 2-17 電動車火災模擬燒實驗時間與熱釋放曲線圖



(a) BEV_2 in Test 3

圖 2-18 電動車火災模擬燒實驗時間與溫度曲線圖

(圖 2-17、圖 2-18 資料來源：參考文獻【137】)

近些年電動汽車因電池熱失控而引發的爆炸自燃事故時常發生，不僅消費者可能對其安全產生顧慮，其產業發展勢必亦產生負面影響【7】。學者 Egelhaaf 【64】發現，與傳統燃油車起火相比，鋰離子電池火災在撲滅後會釋放大量煙氣，同時對於電動汽車火災而言，不僅起火當下存在熱失控威脅，當撲滅後或轉移失事車輛過程，都可能再次復燃的風險。

電池熱失控過程可能持續數小時，並且經常有失控後數小時又再次復燃的案例，因此對於失控後電池的監測尤為重要【61】。由兩起發生在室內停車空間的火災事故發現(2021.11.24.比亞迪電動車起火及 2022.02.14.Volkswagen ID.3 電動車起火)，室內停車空間火災時，火災產生煙氣將在極短時間瀰漫於整個樓層空間，因此控制火災煙流動向將是擬訂電動車火災之防火安全策略的重要環節【5】。

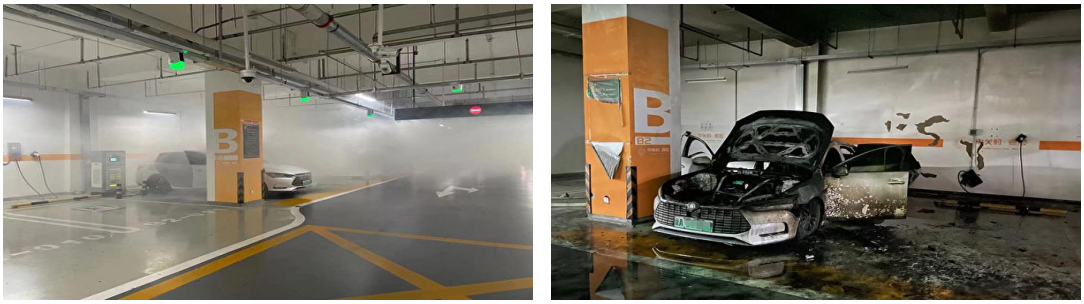


圖 2-19 (中國)比亞迪電動車「充電中起火」新聞報導

圖 2-20 (荷蘭)Volkswagen ID.3 電動車室內停車場起火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A12】、【A16】)

2009 年，美國國家消防協會(NFPA)開始與美國能源部(DOE)和汽車行業合作，為緊急應變人員製定、實施與提供安全培訓的計劃，使其可以安全處理電動汽車的事故。為了加強 NFPA 和汽車工程師協會(SAE)針對涉及電動汽車(electric drive vehicle，EDV)的火災緊急情況，進行了全面的滅火測試，以收集數據並評估電動汽車(EDV)火災與傳統內燃機(internal combustion engine，ICE)相比的差異。

圖片說明：丙烷燃燒器點火（左上）、後方起火（右上）、第一次滅火（左下）、完成滅火（右下）

圖 2-21 國外全尺度試驗過程

(資料來源：參考文獻【79】)

美國國家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration，NHTSA) 對配備高壓電池的電動汽車和混合動力汽車的臨時指南描述 EDV 危害相關的潛在後果，並提出 EDV 事故發生後，保護緊急應變人員、拖曳或回收、存儲、維修的通用程序。當前對 EDV 滅火策略與 ICE 滅火策略基本一致：識別車輛；固定車輛；

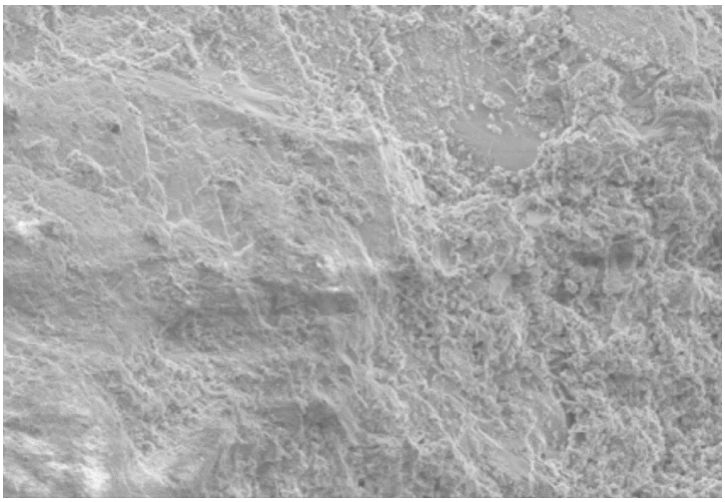
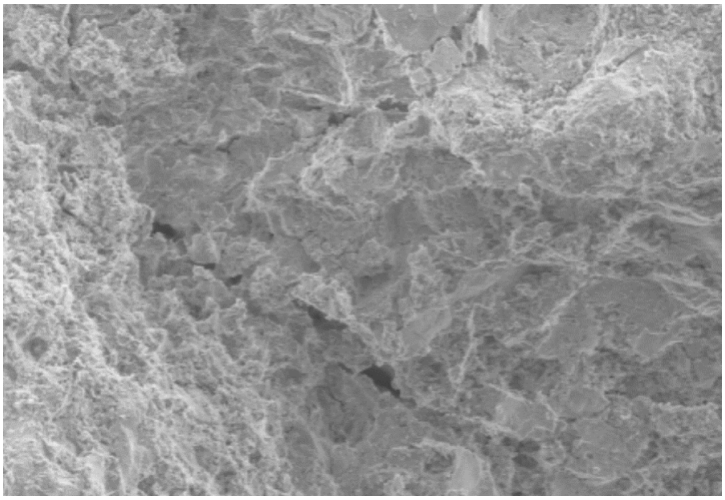
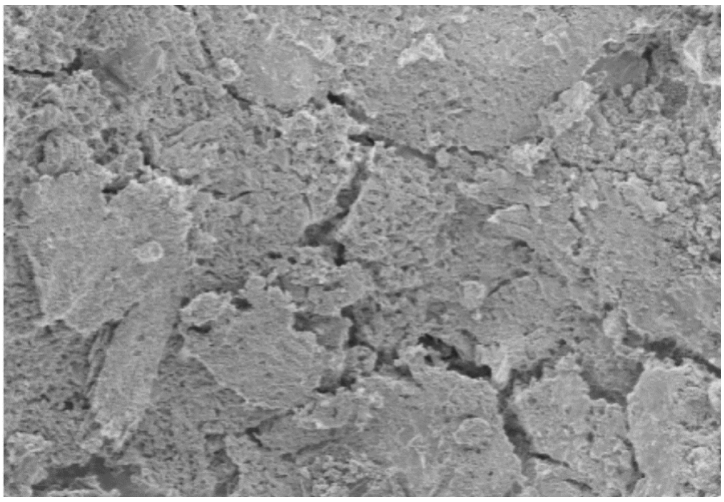
使車輛熄火或關閉；救援；滅火。ICE 和 EDV 策略之間的主要區別包括：需要大量的水來撲滅 EDV 電池起火、EDV 相關的高壓電氣危險，以及建議在火災後將所有損壞的 EDV 存放在距離其他結構或車輛 50ft 以外的地方。

三、電動車火災對室內建築結構影響

鋼材雖然不屬於易燃材料，但其強度與剛度會在高溫環境發生塑性變形，強度大幅下降。舉例來說，當鋼材溫度為 550℃時，其強度僅為常溫一半；溫度上升至 600℃時，其強度僅為常溫時的 1/3。然而一般室內停車空間發生火災，其內部溫度遠高於 600℃，對建築物結構強度將受到嚴重影響，當災情時間拉長時，恐有坍塌風險。

鋼筋混凝土(RC)建築物當遭受火災侵襲後，雖然可能從外觀無法辨認受損狀況，但其結構內部可能已造成嚴重的強度衰退。學者黃彰斌【36】研究發現，高溫環境下的鋼筋與混凝土，因材料膨脹係數不同，將造成混凝土覆蓋層剝落，使鋼筋直接暴露於高溫中，這將降低鋼筋承載能力。學者 Wang G.【37】研究長齡期混凝土老化與環境條件暴露下對於混凝土的影響中發現，隨著混凝土使用年限拉長，其結構性能將隨時間延長而降低。學者劉白梅【38】研究發現，當建築物受火害的影響愈久則結構抗壓強度愈低，當斷面溫度超過 700℃時，混凝土抗壓強度將可能無任何作用【32】。高溫後混凝土力學性能與其內部的變化密切相關。學者白亮【39】利用顯微鏡觀察混凝土於不同溫度的作用下，其內部顯微結構變化如表 2-10 所示。

表 2-10 混凝土在高溫環境的微觀結構圖

混凝土溫度條件	微觀結構圖
溫度≤300℃時： 混凝土微觀結構比較均勻緻密。	
溫度達 700℃時： 內部結構多孔疏鬆。	
溫度達 900℃時： 內部結構多孔疏鬆，缺陷、裂紋增多，強度下降。	

(資料來源：參考文獻【39】)

(一)、鋼筋混凝土結構於高溫火害中之性質變化

所謂的「停車空間」在國內、外有不同的名詞定義。在「停車場法」第 2 條名詞定義，停車場是指依法令設置供車輛停放之場所，而建築物附設停車空間是指建築物依建築法令規定，應附設專供車輛停放之空間。室內停車空間的建築物多為鋼筋混凝土構造，少部分為鋼構造。

混凝土是由水、水泥、粗、細粒料經拌和後產生水化作用膠結而成。當混凝土受火害高溫作用時，其熱學性質、化學性質及力學性質等是隨拌和之材料、配比而定，並隨溫度之變化而產生變化。鋼筋混凝土受高溫作用下之化學性質【138】如下：

1. 膠結材受熱之變化

混凝土組成中之膠結材與粒料材於高溫作用下之變化，通常當加熱至 100~110 ℃材料內部的孔隙水及吸附水可全部消失。而礦物晶格中之結晶水扮演著結構的重要角色，因受晶格的約束力比材料表面之吸附水大得多，一般都在 200~500 ℃間。而當水泥漿體超過 650 ℃時，分解後之水泥原料，會重新燒結成水泥熟料，產生化學變化使其重新具有鍵結力。

表 2-11 水泥漿體受熱變化

溫度(℃)	水化反應之產物
常溫～105	毛細水及吸附水蒸發
105～440	矽酸鈣水化物鍵結水之裂解 C-S-H→C-S+H(佔水泥漿體之 55%)
440～580	氫氧化鈣結晶水之裂解 C-H→C+H
605～1000	碳酸鈣結構水分解 $C_aCO \rightarrow C_aO+CO$

(資料來源：沈進發與陳舜田，1999)

2. 粒料材之熱學性質

粒料材在混凝土材料所佔體積比例相當大，一般依其成份可分為矽質骨材，及石灰質骨材，矽質骨材之主要成分為石英礦物，通常矽質骨材所含之成份為石英，石英在受熱 573℃時，因晶相之轉換，導致比熱增加且體積膨脹約 0.4%。其與水泥 C-S-H 膠體之失水體體收縮，兩者應變方向不同，在界面處極易產生裂痕，破水泥膠體與粒料之結合力。

3. 強度

Georgali and Tsakiridis (2005)指出當混凝土受火害後表面溫度會依其成分產生顏色的變化，溫度達 300 至 600 ℃時，混凝土的表面顏色會由正常顏色轉變為粉色偏紅色，當 600 至 900 ℃會呈現白灰色，900 ℃以上時則呈現褐色。其強度變化為當溫度於 200 至 250 ℃時，其抗壓強度會開始產生下降；達 300 ℃其抗壓強度下降約 15 至 40 %；550 ℃時約下降 55 至 70 %。

4. 高溫作用後鋼筋的強度變化【139】

鋼筋在火災中，且在高溫狀態下，鋼筋之降伏強度會隨溫度之升高而減少，當溫度超過 260℃，降伏曲線平臺消失，且在 593℃時，其極限強度降至 WSD 設計中之容許應力範。火災後，鋼筋所受之溫度若未超過其變態點(約 770℃左右)，以安全程度觀點而言，未超過 600℃者，尚可恢復受災前之強度，若其變形在可修復之程度內，應可繼續使用·但假若超過變態點，降伏點產生不明確現象，強度亦隨減弱。

(二)、電動車火災高溫對於建築結構安全性造成的影響

技術規則關於建築物防火構造之規定，其目的在防止建築物因火災發生而倒壞，並提供建築物使用者有足夠逃生避難之安全時間。電動車火災高溫對於建築結構安全性造成的影響，可以依據建築物的防火時效參考其對於建築物的結構防火安全性能。技術規則關於主要構造防火時效的規定主要規定於建築設計施工編第三章第三節「防火構造」乙節。該節規定了防火構造建築物範圍；防火構造建築物其主要構造的防火時效；主要構造及非承重外牆、屋頂、樓梯關於三小時、二小時、一小時、半小時防火構造的構造方式。

表 2-12 主要構造物防火時效性能表

層數 主要構造部分	自頂層起算不超過四層之各樓層	自頂層起算超過第四層至第十四層之各樓層	自頂層起算第十五層以上之各樓層
承重牆壁	一小時	一小時	二小時
樑	一小時	二小時	三小時
柱	一小時	二小時	三小時
樓地板	一小時	二小時	二小時
屋頂	半小時		
(一)屋頂突出物未達計算層樓面積者，其防火時效應與頂層同。 (二)本表所指之層數包括地下層數。			

(資料來源：建築技術規則建築設計施工編第 70 條)

防火構造之建築物，其主要構造之柱、樑、承重牆壁、樓地板及屋頂應具有的防火時效可以參考鋼筋混凝土構建的保護層規定。通常住宅大樓的停車空間多設置於地下樓層，而樓高若超過 15 層樓以上，則低樓層(包含地下樓層)之柱樑主結構之防火性能，至少為 3 小時防火時效。依據前述依據目前汽車起火燃燒的數據顯示，電動車與燃油汽車在車輛火災燃燒的熱性質二者比較，熱釋放率 HRR 峰值與總熱釋放量 THR 值沒有顯著差異。所以電動車火災高溫對於建築結構安全性造成的影響與燃油汽車差異性不大，則目前的建築結構設計是可以對應電動車火災燃燒情境。

第四節 電動車位及充電樁設備設置建議

電動車的政策推廣應從多方面角度考量車輛停放及充電問題，例如：電動車停放過程自燃、充電過程釋放的可燃氣體濃度危害等問題。因此就室內停車空間的火災風險及電動車的火災特性，電動車位及充電樁應設置其設置建議與要求。

一、室內停車場火災特性

地下層室內停車空間當車輛停放位置過於集中，不管是燃油車或電動車發生火災，其火勢都會迅速向四周車輛蔓延而造成火勢控制不易的情況，故停車空間火載量控管相當重要。此外電動車充電過程可能產生火花電弧外，某些種類的電池充電過程亦釋放可燃氣體，因此室內停車空間若空氣調節及通風能力不佳，恐會造成使用者或居民的身體危害或者演變成重大災害。停車空間的火災主要火載量主要可分為汽車內部車內艙室的內裝物(座椅、泡棉、塑膠等)，與油箱內的燃油。所以室內車輛火災的特性主要為燃燒迅速、火勢猛烈、濃煙密佈、現場通風排氣不易等，所以可歸納幾點特性如下所述：

（一）空間封閉，外部氧氣供應受阻，易因為不完全燃燒而產生大量濃煙。

（二）由於封閉無窗戶及對外開口，煙層便經由人行（避難）通道擴散，致使人員疏散、避難困難。

（三）火災時煙熱不易排出而造成蓄積及高溫。

（四）地下停車場停放車輛，車輛起火後由於車內座椅及燃料與機油皆具易燃性，因火載量大及Ｂ類火災具延燒快速、流動性及延展性等特性，極易延燒。

二、電動車高溫輻射量風險評估

學者賈春芬【22】等人分析室內停車空間的火災特性，提出下列觀點：汽車火災大多按 t^2 快速火發展，火災增長係數(α)為 0.04689kW/s；汽車著火的臨界熱流量為 16kW/m^2；室內停車空間不會發生閃燃的臨界條件為 T_s＜456°C且 H_{somke}≥1.6m；相鄰汽車不被引燃的臨界條件為 $I_{car}+I_{somke}$＜16kW/m^2。因此當電動車火災在短時間內未受到控制時，其所產生的熱輻射量則可能引燃相鄰汽車。

三、室內停車空間法規規定事項

現有停車空間除路邊停車場較無涉防火及消防安全外，室內停車空間設置考量防火及消防的相關規定，多規範於建築法、建築術規則及各類場所消防安全設備設置標準等。

(一)、防火避難相關規定

1.停車空間防火構造

停車場若採防火構造檢討，則依據建築設計施工編第七十條規定，防火構造之建築物其主要構造之柱、承重牆壁、樓板及屋頂應具防火時效之規定。

2.停車空間防火區劃規定

有關水平區劃部分，依建築設計施工編第七十九條之一規定，像停車空間及其他類似用途建築物防火構造建築物，無法區劃分隔部分，以具有一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火構造之樓地板自成一個區劃者，亦可達到水平區劃要求;因此大部分停車空間多僅在樓層間車道做防火鐵捲門做為樓層區劃，除少部份高價值建築物以防火設備做面積區劃外，多數對地下停車空間各層停車場部份之面積區劃皆採免予檢討。

3.停車空間避難逃生規定

停車空間在建築法規中屬非居室，除兩方向避難外，無其他規定來予檢討，僅採一般居室相關避難設施規定檢討包含：出入口、直通樓梯、安全梯或特別安全梯等項目。

(二)、消防安全設備相關規定

「各類場所消防安全設備設置標準」(民國 110 年 06 月 25 日版)檢討室內停車空間消防安全設備設置包括：

1. 第三十一條滅火器每200m^2以上之車庫要有一滅火效能值之滅火器。
2. 有關滅火設備部分，室內停車空間在第一層樓地板面積 500m^2 以上者;在地下層或第二層以上樓地板面積在 200m^2 以上者;在屋頂設有停車場樓地板面積在 300m^2 以上者，應選擇水霧、泡沫 CO_2、粉末等一種滅火設備。
3. 有關警報設備部分,依規定 500m^2 以上之停車空間必須設置;但建築物地下層依「各類場所消防安全設備設置標準」第一百十八條規定檢討應設置偵煙式探測器時，對於已檢討設置泡沫滅火設備之地下層停車場部分，其感知裝置於啟動時能將信號移報至火警受信總機者，該地下層停車場部分得免重複設置偵煙式探測器。
4. 應設標示、緊急照明及避難逃生等設備。

(三)、設置充電設備相關規定

建築設計施工編第六十二條規定：

停車空間應依用戶用電設備裝置規則預留供電動車輛充電相關

設備及裝置之裝設空間，並便利行動不便者使用。

(四)、既有建築物應符合公寓大廈管理條例規定

若屬集合住宅之既有建築物增設電動車位或充電樁之設置，需依據公寓大廈管理條例之程序辦理，取得管理委員會同意或依區分所有權人會議之決議為之。

四、電動車位及充電樁設備設置及救災策略建議_小結：

根據相關統計數據和文獻綜述的結果，並未顯示在停車空間給電動車充電會導致火災的可能性增加。若依據規定設置電動汽充電樁，則在停車空間充電而引起的火災風險是在容許風險中。防止充電時發生火災重要因素是要避免使用非用於車輛充電的牆壁插座，並避使用延長線。【141】

目前停車空間有增加火災風險的因素，包含現代汽車中的易燃塑料和複合材料明顯增多，會增加燃燒的火載量。目前汽車製造為降低燃料的使用，提升燃料使用效率，汽車輕量化是降低油耗最直接且有效的途徑，汽車金屬零部件開始逐漸以塑膠材料替代。所以油箱若是由塑料製成，則火災時溫度可能會將之熔化並且導致漏油，而影響火勢的蔓延。此外休旅車 SUV 的銷售數量有增加的趨勢，因為車輛尺寸增加則意味著停放汽車之的距離縮短，這也會導致停車空間發生火災時容易產生延燒增加火災規模。

國內目前並無別針對電動車停車空間的防火及消防的相關規定。參考國外的相關資料可以綜整出室內停車空間之電動車位及充電樁之設置區域規劃設計建議【140】【142】：

(一) 新建集合住宅或供公眾使用之建築物規劃設計原則：

1. 充電樁位置：電動車火災事故部分原因為充電起火或事故自撞導致車內佈置的鋰離子電池熱失控而起火。由於地下停車空間電池類火災搶救不易，為了可以方便取用大量的水進行電動車火災的救援行動，建議電動車充電樁設置以在地面層為主，或地下層靠近車道出入口並在室內外消防栓救援範圍內之區域，以方便消防人員進出。

2. 防火區劃：如果建築物混合停車與其他使用，則停車場空間與其他使用區域須以至少一小時防火時效性能之防火區劃區隔，以減少其他使用區域可能遭受火災和濃煙的損害。若是設置於地下空間之防火區劃構造則防火性能須具備至少為 2 小時防火時效。

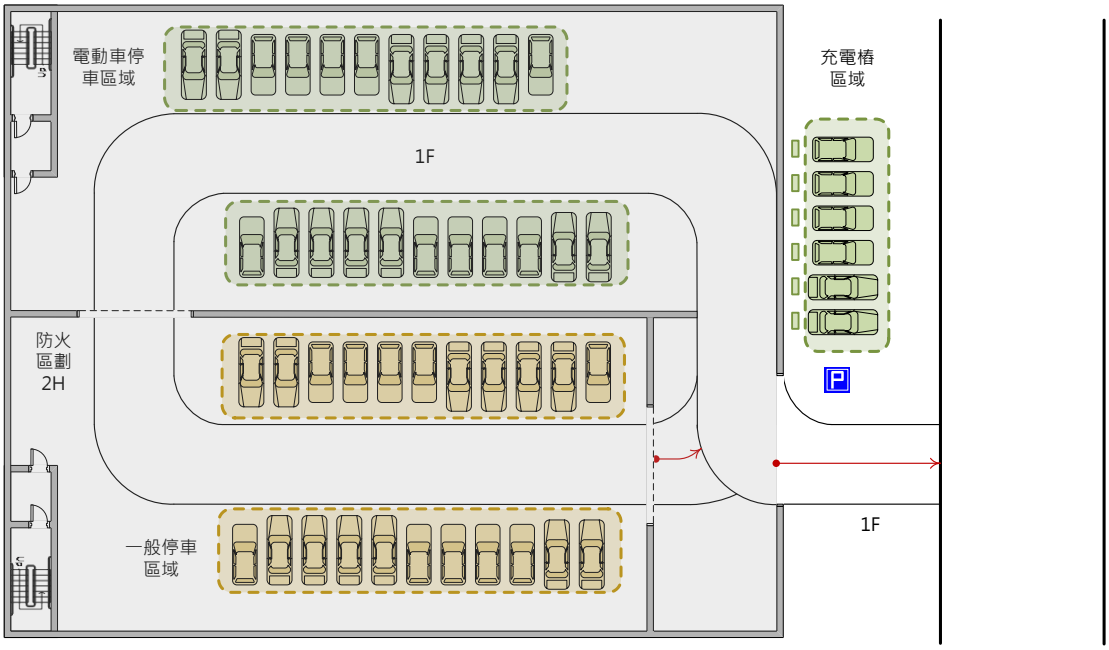


圖 2-22 充電樁和電動車停車區防火區劃示意圖
(資料來源：本研究整理)

3. 火災探測：為電動車充電和停車區配備自動火災探測設備。

4. 排煙系統：電池故障和火災事件可能導致可燃氣體的釋放。如

果這種情況發生在密閉區域(例如建築物內)可燃氣可能會積聚並發展成爆炸危險。設置排煙系統使可燃蒸氣保持在可燃下限(25%以下)。

5. 自動滅火設備：封閉式電動停車空間應設置自動滅火設備。自動滅火設備可以有效控制控制火勢蔓延，但是燃燒的電動汽車電池被車身保護不容易完全撲滅，後續仍需由消防人員進行滅火處置。

6. 排煙系統：因為鋰離子汽車電池的火災可以長時間燃燒(幾個小時)，且釋放具有毒性之氣體，應設置獨立電動車充電專用區域並設置專用排煙設備。且排煙設備對外口應設置有毒成份過濾網，防止有毒氣體逕自排放而造成地上層環境汙染。

7. 電池燃燒後以粉塵或蒸氣形式釋放的重金屬電解質化學物質與滅火水結合形劇毒混合物可能會污染水源，因此滅火後之廢水排放需注意避免破壞環境。

8. 設置水槽式電動車輔助滅火設備：電動車起火與燃油車起火相比，明顯需要更長的滅火時間及耗費更多的水量。其中造成水量與時間增加的原因，主要來自於需要持續將電池模組降溫到不會繼續熱失控所造成。由國外全尺度電動車火災測試中發現，電池火焰再熄滅後仍發生復燃，其原因可能來自於電池內部溫度過高而再次引發熱失控現象。因此基於救災團隊的人身安全而言，應長時間對失控電池進行撒水降溫或泡水，避免電池內部仍處於高溫而再次引燃。

(二) 既有集合住宅或供公眾使用之建築物規劃設計原則：

1. 充電設備使用空間原則：充電設備及管線不得妨害或破壞防火避難設施、消防設備、防火區劃及主要構造，不得妨礙避難逃生動線，停車位不得違章使用。

2. 充電設備注意事項：充電設備的位置與使用不得妨礙社區公設、逃生與消防安全或其他住戶停車權益，須採用合格安全充電設備，及由合格電器承裝業廠商安裝施工，充電設備須設置合格斷路器。

3. 建築物開(穿)孔原則：

   (1) 免申請變更審查許可：樓板或分間牆穿孔直徑或邊長小於 4 公分且未穿樑柱，未損及鋼筋，2 孔間開孔中心間距 15 公分以上者。

   (2) 依程序辦理變更使執照：主要構造(樑、柱、承重牆壁、樓地板及屋頂)與防火區劃構造之開(穿)孔。

   (3) 防火填塞施作：若於防火區劃構造開(穿)孔除須依程序辦理變更使執照，並須將配管後孔隙依據該防火區劃構造之防火性能要求進行防火填塞。

4. 消防設備設置原則：

   (1) 火災探測：每一台電動車充電和停車區域配備自動火警探測設備。

   (2) 滅火設備：每一台電動車充電位置配置 CO_2 滅火器、每一社區或大樓停車區域配置滅火毯等。

(三) 各主管機關與相關單位建議注意事項參考：

建議注意事項 ＼ 主管機關與相關單位		內政部國土管理署	內政部消防署	經濟部標檢局	台灣電力公司	建商與建築師	消防設備師	電氣設備廠商	電動車廠商	大樓管理單位	車主
1	建築物是否預留電動車的充電設備與設置空間?	✔				✔					
2	電動車充電設備與充電系統是否符合檢驗標準?			✔				✔	✔		
3	電動車鋰離子電池是否符合檢驗標準?			✔					✔		
4	充電樁設備與電動車是否定期檢修保養?							✔	✔	✔	✔
5	充電樁供電是否穩定? 配線是否符合電力法規?				✔	✔		✔		✔	
6	地下停車空間是否設置自動滅火設備?		✔			✔	✔			✔	
7	電動車位及充電樁設置位置是否易於救災搶救?		✔			✔	✔	✔		✔	
8	電動車位是否設置獨立防火區劃?	✔				✔				✔	
9	是否設置充電區劃專用排煙設備?		✔			✔	✔			✔	
10	是否加強地下停車空間避難逃生設施設備?	✔	✔			✔				✔	
11	是否考量設置熱像儀溫度警報設備		✔							✔	✔
12	火災初期是否關閉地下停車空間空氣調節及通風設備?		✔							✔	
13	災後建築物結構評估，確認建築物是否有安全疑慮?	✔				✔				✔	

第三章 電動車及其充電空間之主被動式防火安全防護設置建議

電動車雖為國人生活便利帶來躍進，但潛在安全問題亦成為消費者的購買顧慮。作為電動車動力來源的鋰離子電池其熱失控風險對國人生命財產造成潛在的安全隱憂，如何能夠早期預警並提高電池安全性為現今社會努力突破的重要方向。電動車火災與一般火災在滅火性質上有極大的不同，若救援人員在未知條件與環境下，採用一般火災的滅火處置方式搶救，將會使救援人員身處險境之中，謹慎處置電動車火災將是現今迫切需探討與解決的重要課題。

當室內停車空間發生車輛火災時，起火車輛將釋放大量熱能並迅速往四周快速擴散，從而造成火勢擴大及蔓延。火場溫度決定煙流的運動規律，周圍物體受煙流熱輻射與熱對流作用，將導致其表面溫度升高。當熱量被周圍環境物件吸收且達到可燃物自燃溫度點時將起火燃燒而衍伸火勢蔓延現象。一般而言，木材、可燃性裝修材料等材料自燃溫度點大多位在 400℃至 500℃之間【34】；而汽油車火災中，學者張曉鴿【35】研究發現，油箱附近溫度若高於 200℃且長時間接觸時，該車輛即有可能引起燃燒。

第一節 電動車燃燒情形

傳統汽/柴油車與電動車之火災燃燒產物截然不同，汽/柴油車燃燒時的燃燒產物包含：二氧化碳(CO_2)與水(H_2O)及其它不完全燃燒產物(例如：一氧化碳(CO)與氮氧化物(NOx)等其他有毒氣體)，但電動車起火燃燒不僅會產生上述燃燒產物，還會產生劇毒氣體(例如：HF、HCl、HBr、HCN、SO_2)產生，其中電動車起火會產生比燃油車起火更多的氟化氫(HF)，氟化氫(HF)是一種有毒、腐蝕性、重量輕的氣體，

可以滲透某些類型的安全防護裝備，同時 HF 在低濃度時便會對刺激人體【51】，因此電動車火災所伴隨的毒性氣體排除為救援過程的重點所在。學者 GOLUBKOV 等人【97】通過採樣分析鈷酸鋰電池（LCO）、鎳鈷錳酸鋰電池（NMC）、及磷酸鐵鋰電池（LFP）的燃燒產生氣體成份，其研究結果發現氣體組成成分大致包含 CO、H_2、CO_2、C_xH_y 等氣體，其中 CO、CO_2、H_2 的占比高達 70%以上，電池產氣成份占比如圖 3-1 所示。

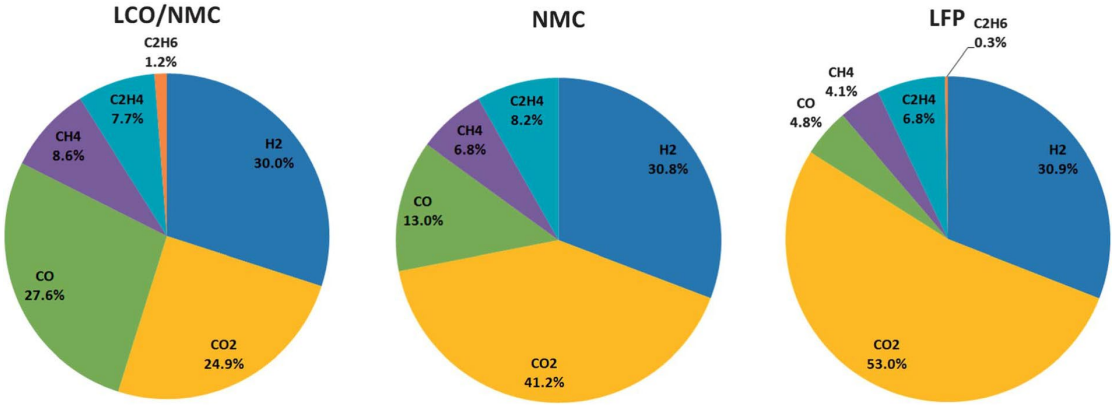


圖 3-1 熱失控產生的氣體的採樣組成

(資料來源：參考文獻【97】)

學者張沁南【100】利用 FDS 軟體對垂直立體停車庫火災進行模擬分析，探討排煙系統與撒水系統的啟動耦合關聯性發現，最終學者提出下列建議：不要單獨使用排煙系統，應同時使用噴淋系統和排煙系統，方能對室內停車空間火災起到控制作用。綜合上述文獻資料分析，電池類火災初期會冒出大量含有多種毒性氣體的濃煙，因此室內停車空間設置的空氣調節及通風設備應能夠在發生電池類火災的時候，及時的將毒性濃煙排出，降低火場受困人員的危害。與此同時，若將未經氣體處理的高溫有毒濃煙排出於戶外也會對地上層或環境造成汙染，因此是否在排煙設備末端設置有毒成份過濾網，將排出濃煙的毒氣成份稀釋也能確保災情區域的擴大。

一、(美國)特斯拉起火：

2018 年 12 月 21 日，美國一名民眾行駛一台特斯拉，疑似汽車爆胎被拖吊至附近汽車修理廠。期間 Model S 因不明原因起火燃燒，消防人員動用 2,000 加侖的水才以撲滅火勢。消防人員於救援過程中發現，當撲滅一開始的火勢後不久，車輛開始冒出蒸汽並開始復燃。而後該車輛轉移至附近拖車場置放時，又再次起火。此事件共計花費數十個小時在控制電動車火災。

圖 3-2 (美國)特斯拉起火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A3】)

二、(荷蘭) BMW i8 起火：

2019 年 03 月 26 日，荷蘭一家經銷商展示的 BMW i8 因不明原因冒煙，該經銷商立刻尋求當地消防局協助，消防人員為確保火勢得到完善控制，將汽車直接浸入水中，並放置 24 小時。

圖 3-3 (荷蘭)BMW i8 起火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A5】)

三、(中國)特斯拉 Model S 停車場起火：

2019 年 04 月 21 日，一輛停放在地下室的特斯拉電動車(Model S)自燃起火。該案電動車並非在充電過程起火，事故判斷可能是車底高壓電池受到撞擊而引起電池內部電芯損傷，最終導致起火。本事故共計花費 50 分鐘才控制火勢。

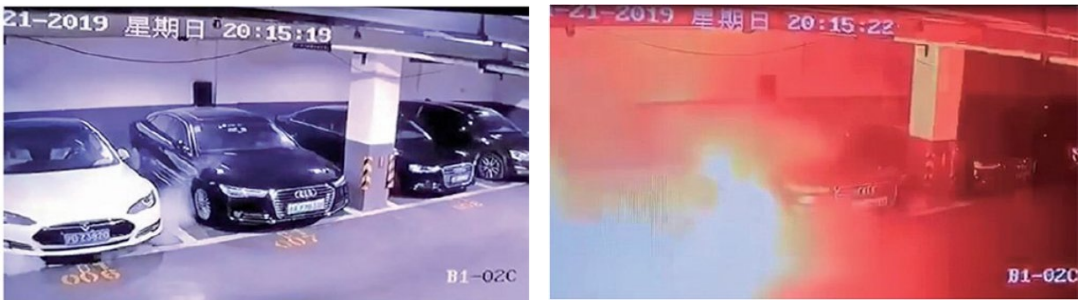


圖 3-4 (中國)特斯拉起火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A4】)

四、(高雄)大樓地下室電動機車竄出無名火：

2020 年 04 月 26 日，高雄市一棟住商混合大樓，該棟大樓為地上 25 樓、地下 3 樓建築物。火警發生在地下一樓停車場，濃煙從通道竄出，起火點是室內停車空間的一台電動機車，本事故僅一台電動機車被燒到剩骨架、周圍 3 公尺處的一部汽車被燻黑，另部分輕鋼架雜物遭波及。火場鑑識人員不排除起火原因為人為縱火。

圖 3-5 (高雄)大樓地下室電動機車燃燒新聞報導

(資料來源：參考文獻【A7】)

五、(台南)特斯拉自撞起火：

2021 年 07 月 06 日，特斯拉電動車失控自撞民宅騎樓梁柱後起火。特斯拉車底不斷冒出火焰，消防人員共計動用 20 噸水量，相當於 6 部水箱車。由本事故分析得知，相較於電動車起火，一般燃油車只需 1/3 的水量(即 2 部水箱車)就能夠撲滅火勢，因此電動車起火的救援行動需著重考量水線補給是否即時且足夠。

圖 3-6 (台南)特斯拉自撞起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A11】)

六、(美國)喬治亞州服務中心 Tesla Model S 起火：

2021 年 10 月 01 日，該輛特斯拉 Model S P100D 停在服務中心時起火，因多數損壞的地方靠近前座，因而認定可能是起火的最初位置。由本事故發現，若將水流直接從汽車底部噴撒，有助於快速撲滅電池類火災。

圖 3-7 (美國)喬治亞州服務中心 Tesla Model S 起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A9】)

七、(中國)比亞迪電動車「充電中起火」:

2021 年 11 月 24 日，比亞迪電動車在北京某停車場充電中起火，雖火勢被立即撲滅，但車頂仍被燒光。

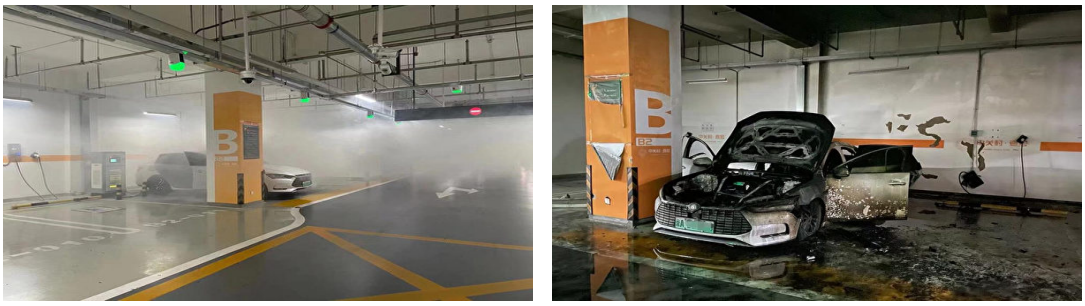


圖 3-8 (中國)比亞迪電動車「充電中起火」新聞報導
(資料來源：參考文獻【A12】

八、(中國)電動車住宅充電起火：

2022 年 02 月 09 日，住戶將電動單車的鋰電池放在臥室內，電池因故障而引發火災，並引燃周遭傢俱、棉被等雜物，最終釀成大火。本事故造成 3 人死亡。

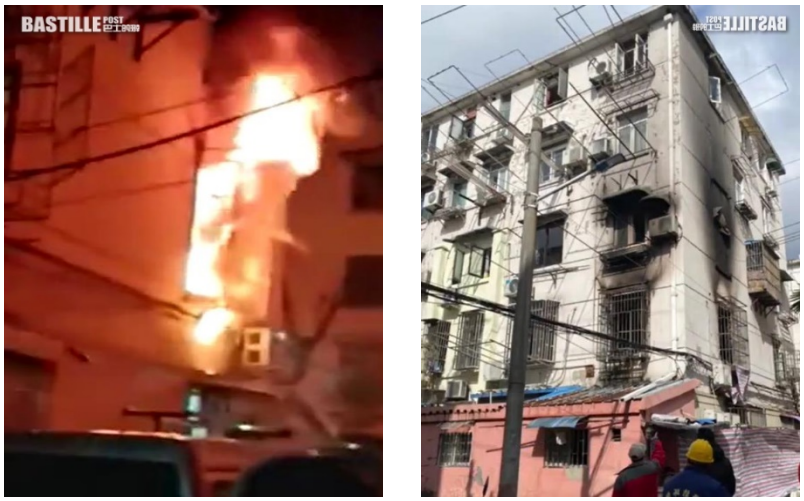


圖 3-9 (中國)電動車住宅充電起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A9】)

九、(台南)永康電動車倉庫起火：

2022 年 02 月 13 日，台南市永康區 1 處電動車倉庫廠房冒出明火濃煙，現場為一層鐵皮建築物，燃燒面積 1,400m^2，倉庫內堆放大量電動車零件(例如：輪胎、鋰離子電池等)。由於火場道路狹窄無法供救災人員進入搶救，因此消防人員除射水防護，避免火勢波及相鄰廠房外，同時跟相鄰廠房借道滅火。本事故共延燒 3 小時才被撲滅。


圖 3-10 (台南)永康電動車倉庫起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A8】)

十、(荷蘭)Volkswagen ID.3 電動車室內停車場起火：

2022 年 02 月 14 日，一輛 Volkswagen ID.3 在室內停車場起火，起火時汽車處於靜止狀態，當地消防人員在初步撲滅火勢後，並將其浸入水中，防止再次復燃。


圖 3-11 (荷蘭)Volkswagen ID.3 電動車室內停車場起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A16】

十一、(印度)TSRTC 汽車站充電巴士充電時火：

2022 年 02 月 22 日，TSRTC 的一輛電動巴士在充電時起火，消防人員抵達現場共計花費 30 分鐘才撲滅火勢，然而因電池類火災的燃燒溫度較一般燃油車更高，因此在短短 30 分鐘內，巴士已嚴重損壞，幾乎僅剩下車架殘骸。

圖 3-12 (印度) TSRTC 汽車站充電巴士充電時火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A13】

十二、(新北)電動車行起火：

2022 年 03 月 01 日，新北市一間電動車行發生火警，警消接獲通報後，派遣 51 輛救援車輛前往現場(包括：44 輛消防車、5 輛救護車)，共計消防人員 136 人佈水救援。本事故初步調查燃燒面積約 25m^2；共計 15 台電動車燒毀。

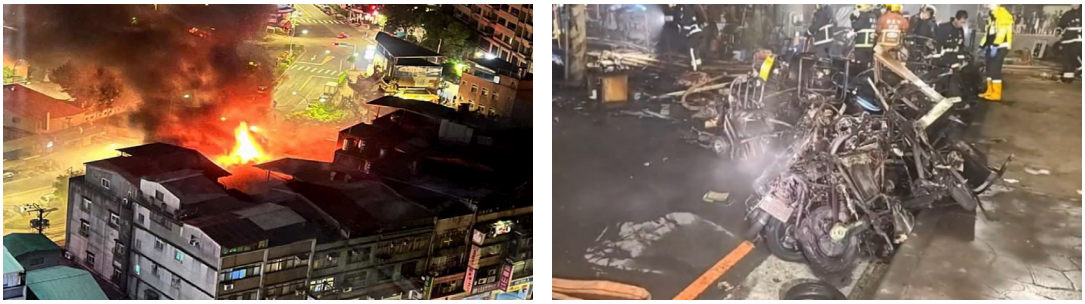


圖 3-13 (新北)電動車行起火新聞報導

(資料來源：參考文獻【A15】

十三、(新北)濃煙竄天疑電動車「電池起火」，延燒 12 機車：

2022 年 04 月 13 日，新北市土城一間科技廠發生電動機車火警。總共 12 輛機車受到波及且幾乎被燒剩骨架。經消防人員初步調查，疑似為電動車電池自燃起火所釀成。

圖 3-14 (新北)電動機車電池起火延燒 12 輛機車

(資料來源：參考文獻【A21】)

十四、(美國)電動車電池室內起火燃燒 滅火不及釀 7 人受傷：

2023 年 03 月 05 日，美國紐約一家超市竄出大量濃煙，總共有 200 名消防員趕赴現場。起火原因為停在超市後門的電動自行車電池起火所導致。雖消防隊獲報後 4 分鐘就趕到，但仍造成 7 人受傷。

圖 3-15 (美國)電動車電池起火燃燒新聞報導

(資料來源：參考文獻【A22】

十五、(美國)特斯拉 Megapack 變電站著火：

2022 年 09 月 21 日，作為電池存儲設施的特斯拉 Megapack 起火。雖然電池立即自動斷開與電網連接，但燃燒仍超過 10 小時未被撲滅，迫使一旁的 1 號高速公路關閉且改變車流方向。

圖 3-16 (美國)特斯拉 Megapack 變電站起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A27】)

十六、(新北)淡水電動公車發動突起火：

2022 年 10 月 23 日，新北市淡水客運總站的一輛電動公車充飽發動時冒煙及起火，火舌迅速延燒至另一輛電動公車。此場事故造成 2 輛公車只剩骨架，損失超過 2,000 萬元。

圖 3-17 (新北)淡水電動公車起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A23】)

十七、(桃園)駕特斯拉自撞後 5 秒起火：

2022 年 07 月 22 日，Tesla Model X Long Range 於桃園市蘆竹區中正北路路口迴轉時，因不明原因撞上機車分隔島，車輛當場起火。

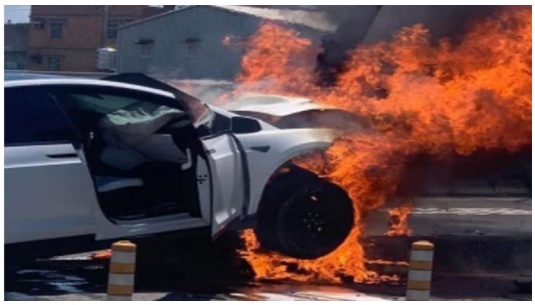


圖 3-18 (桃園)特斯拉自撞後 5 秒起火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A24】)

十八、(美國)特斯拉移動式超充站失火，MegaPack 整座燒毀：

2023 年 01 月 01 日，美國加州一座特斯拉超級充電站，起火源頭疑似現場儲電設備 Megapack。特斯拉公司會在某些高用量充電站以拖車方式搭載 Megapack，作為臨時充電樁供車主充電。

圖 3-19 (美國)特斯拉移動式超充站失火新聞報導
(資料來源：參考文獻【A26】)

第二節 電動車滅火相關研究綜述

現階段各類研究指出，鋰離子電池火災的最佳滅火方式，是尋找一種能夠高效將鋰離子電池釋放熱量快速排除或冷卻，即可降低鋰電池熱失控的危害及抑制熱失控發展，若無法將鋰離子電池釋放的熱量排除，將會使災害變得不可收拾。

美國國家消防協會(NFPA)研究報告發現，與傳統汽車火災相比，電動車或油電混合車火災需要更大量的水與更長的滅火時間 [160]。研究發現，撲滅油電混合車需要 1~4 公升水與 15~56 分鐘的滅火時間；撲滅電動車需要 4.4~10 公升水與 36~60 分鐘的滅火火時間；撲滅燃油車則僅需要 5 分鐘的時間【84】。

學者 Long【61】2013 進行電池火災實驗發現，鋰離子電池火災撲滅的最大困難點在於準確向火源撒水，以電動車為例，其動力電池一般放置於車底，造成建築物設置的固定式滅火設備由上往下的噴撒方式，僅能對車體外殼進行冷卻，很難將滅火物質直接覆蓋在電池表面，間接造成電池難以在短時間撲滅的原因。因此該學者在火災實驗中發現，鋰離子電池火災會有多次復燃的問題。

FAA 機構於 2014 年的鋰電池火災撲滅技術研究報告【3】提到水基型滅火劑(如水，AF-31，AF-21)相較於非水基型滅火劑(如 FM-200，FE-36)對於鋰電池火災抑制效果更好。目前對於鋰離子電池火災的撲滅研究發現，鋰離子電池火災使用水或水基型的滅火設備並不會對救援人員造成觸電危險【61】【83】。學者徐雪春【82】研究發現採用全室噴水或水霧滅火系統難以侵入電池內部；但若使用水及低膨脹泡沫等熱容量高的滅火劑，則能夠降低流體表面張力而提高流體滲透的可能性，改善純水無法有效侵入電池內部的問題。

水滅火系統被廣泛應用於各種建築場所，其滅火介質為相對廉價、可再生、環境無污染的水。純水雖然可用於撲滅電池類火災，但用水量大，因此需額外加入其他添加劑，例如：全氟己酮、水成膜泡沫、F-500、Firesorb 添加劑等具有較大的比熱容，能夠對電池火災起到有效撲滅效果。學者 Larsson【86】研究發現，水可作為鋰離子電池火災的滅火流體，但撲滅過程產生的有毒廢水，可能對生態造成汙染，因此需研究後續撲滅廢水的處理。

現今『鋰電池或其他電池類火災撲救技術』普遍採取第一時間切斷與鋰電池互相聯結的電源及周圍電源，防止鋰電池因過度充電或內部溫度持續上升而發生起火爆炸。因此若能夠快速得知鋰電池起火位置，便可盡早啟動滅火設備，避免因燃燒猛烈、蔓延迅速，導致滅火時間延長或波及相鄰鋰電池，造成連環起火爆炸等災害發生。然而鋰電池燃燒過程中，金屬鋰的密度僅為水的一半，滅火劑打到火源表面容易使滅火劑沉沒而無法覆蓋，因此使用的滅火設備需具備快速降溫及隔絕氧氣的特性才足以撲救火災。最終當電池內部化學反應完全且內部電量已通過接地線流失或者將其置入水中，才可算解除電池類火災危害。

FAA 機構【107】研究報告提出哈龍滅火劑無法抑制鋰電池火災且該機構 2014 年鋰電池火災撲滅技術研究報告提及水基型滅火劑(如水，AF-31，AF-21 等)相較於非水基型滅火劑(如 FM-200，FE-36 等)對於鋰電池火災抑制效果更好。其他專家學者針對不同相態滅火設備研究發現：固體滅火劑對撲滅鋰電池火災效果不佳；氣體滅火劑雖具備無顆粒物、無腐蝕、無殘留的優點，但因降溫效果有限，不適合應用於鋰電池火災；液體滅火劑具有強大的降溫能力，為抑制鋰電池火災中效果最佳的選擇。依據本研究團隊過往進行電池抑制實驗的經驗

指出，鋰離子電池主要難以撲滅的原因主要來自於兩個原因，其一為電池中斷噴撒降溫動作時，會有溫度回彈現象，此時當回彈溫度達復燃溫度時便會二次復燃或回彈溫度引燃周遭燃點較低的材質，從而引起二次火災；另一方面則為現行水滅火系統將撒水頭設置於天花板，而運輸載具一般將其鋰離子電池放置於底部車盤，因此由上而下的噴撒並無法將滅火流體噴撒在電池表面，從而無法降低電池溫度。

國外 Fireisolator 機構表示沒有辦法僅以單一救援手段來撲滅或控制電動車火災，主要原因來自於電動車鋰離子電池難以被直接撲滅。因此電動車火災初期緊急應變措施應分成限縮火勢及解除風險兩方向。限縮火勢主要對失控電池持續降溫，避免火勢波及相鄰電池或者引燃周遭可燃物；解除風險則為將短時間失控鋰離子電池轉移放置於水池中以破壞內部化學材料的活性，防止其再次復燃。Fireisolator 機構提出 4 個步驟的電動車火災滅火流程：限縮火勢範圍→失控電池持續降溫→電池置入水中→災害解除。本研究將彙整本年度研究結果(包含：主動式及被動式防火安全防護設施設備設置建議及空氣調節及通風與煙控系統評估)，基於如何有效抑制電池類火災的方式且說明電動車起火的潛在火災風險草擬救災安全指引。

第三節 建築空氣調節及通風設備及防煙區劃設置建議

我國法規將室內停車空間定義為非居室，因此對於該空間場所的防火與排煙要求較為不足。然而室內停車空間四面皆被泥土、樓板包覆且無門窗等與外氣直通的通風面，因此當發生火災時，燃燒產生的高溫煙流將迅速瀰漫在整個空間區域，使得能見度大幅下降，此時如何控制煙流動向及排除大量煙氣將為室內停車空間救災的重點所在。

一、室內停車空間火場煙流特性

室內停車空間之火災煙氣流動與蔓延特性與地上層建築火災有明顯差異，室內停車空間因可燃物種類繁多，柴油、塑膠、橡膠等有機物燃燒會產生大量煙氣，當吸入過多毒性氣體時將對人體造成傷害。此外地下建築空間一般無自然採光，而是依靠輔助燈具照明，同時相比於地上層建築物而言，室內停車空間的通風口較少，通風效果差。因此災害發生當下，室內停車空間因氧氣濃度較低，造成燃燒不完全而產生大量煙氣，此時電源供應系統受災害而被切斷，大量煙氣瀰漫且在有限的緊急照明的環境下，空間能見度將迅速下降，對於人員逃生十分不利【95】。

室內停車空間由於有天花板樓高限制，因此火災安全應考量火焰與煙流撞擊天花板後向四周擴散的問題。火災中煙流會造成能見度降低而阻礙人員避難逃生。能見度的高低取決於煙的成份、濃度、微粒的大小與多寡、分佈情況、照明設備及人員現場的心理狀態。火場高溫熱煙如果濃度過高或暴露在其中的時間過長則容易導致吸入過多煙氣而導致昏迷、休克，嚴重甚至會造成死亡。這兩個因素互相的影響大小，取決於建築物內部的情況差異。針對火場的煙流特性，可分為以下幾種特性：

表 3-1 室內停車空間煙流特性

特性	說明
煙囪效應	因建築物內部空氣與室外空氣溫度不同產生壓力差所造成。在建築物內部垂直通路內，產生上升的氣流稱為正煙囪效應；氣流下降即為反煙囪效應。影響氣流流動方向的主要因素，取決於建築物內部空氣與室外空氣的溫度差異高低。
煙的熱浮力效應	因火焰上方的高溫氣體與周圍冷空氣之間的密度不同，煙的密度較低，相對的產生煙的浮力。
風的影響效應	在建築物不同方位之開口，因風向的關係，便有不同的壓力。當建築物所有門窗或開口部都緊閉時，風的影響便極輕微，但所有建築物都有或大或小的孔隙，如：門縫，窗縫等，這些孔隙將因風的影響，使建築物內部的空氣產生流動。
機械通風系統	由於現有建築物以密閉空間居多，大都採用空調通風系統，例如：中央空調系統可通達各樓層，當某樓層發生火災所產生的煙氣，將隨空調系統的管路將煙氣轉移到其他地方。

（資料來源：本研究整理）

電動車起火將伴隨大量毒性氣體產生，此時人體若暴露於上述煙流將可能昏厥甚至死亡。此外火場高溫煙流的熱輻射效應，更會造成人體嚴重傷害。當人體皮膚在超過 1.7 KW/m^2 的環境下便會受到傷害，依傷害程度不同可分為輕度、重度灼傷，嚴重者甚至於死亡。熱輻射值達 3.0 KW/m^2 時，皮膚暴露超過 10 秒就會造成傷害，而達 7.0 KW/m^2 時，暴露超過 2 秒即會燒傷。人體能承受危害程度的指標分析，如表 3-3 所示。

此類煙氣大多為有機煙粒及酸性氣體，如遭受 HCl 此種氣體刺激會快速引起眼睛、呼吸道及肺的疼痛，接著造成呼吸困難等症狀。在未達閃燃點前火災中所產生的痲痺性有毒氣體其成份主為一氧化碳與氰化物。火災中除有毒氣體外，高溫煙流所伴隨的高溫也會經由對流、傳導效應與輻射效應對人體造成皮膚及呼吸道灼傷，而濃煙微粒也會使人員在避難路線上遭受封阻。

表 3-2 人體承受危害程度之指標分析表

	承 受 極 限
火場溫度	氣流溫度需低於 60°C
有毒氣體	CO 濃度需低於 1400ppm CO_2 濃度需低於 50,000ppm
煙層濃度	能見度不得低於 8m
熱輻射值	不得超過 1.7 KW/m^2

（**資料來源：【102】**）

表 3-3 人體暴露在有毒氣體症狀表

一氧化碳濃度 (ppm)	症狀
100	8 小時內尚無感覺
200	2-3 小時後，輕微頭痛、乏力。
400～500	1 小時內尚無感覺；1-2 小時內，前額痛；3 小時後，威脅生命。
600～700	1 小時內感覺頭痛、噁心、呼吸不暢
800	45 分鐘內，眼花、噁心、痙攣；2 小時內，失去知覺；2-3 小時內，死亡。
1000～2000	5-10 分鐘內，頭痛、眼花、噁心；2 小時內意識矇矓、呼吸困難、昏迷；逾 2 小時即死亡
3000～5000	20～30 分鐘內即死亡。
6400	1-2 分鐘內，頭痛、眼花、噁心；10-15 分鐘內，死亡。
10000	1 分鐘內即死亡。
二氧化碳濃度 (%)	**症狀**
1～2%	數小時內安全
3～4%	1 小時內安全
5～7%	30 分鐘～1 小時即有危險
20%以上	短時間內即可死亡

（**資料來源：【95】、【103】**）

依據《建築技術規則建築設計施工編 139 條》規定，室內停車空間之樓地板面積超過 500m^2 者，應設置能供給樓地板面積 25m^3/m^2・hr 以上換氣量之機械通風設備。此外依據「用戶用電設備裝置規則」第 396-18 條規定，建築物設置電動車充電設備應考量其電池類型，若電動車輛使用非開放式蓄電池，並經設計者確認可用於建築物內充電而不需通風者，不需設置機械式通風；其餘則需經設計者確認是否應設置機械式通風。通風應同時具有進氣及排氣設備，且應永久裝設於建築物內供外面空氣引入或排出口。僅經特殊設計之正壓通風系統得用於經設計者確認適用之建築物或區域。

表 3-4 每部電動車輛應設置最小通風量計算表

分路額定（安）	分路電壓				
	單相		三相		
	110V	220V 或 110/220V	190V 或 190Y/110V	220V	380V 或 380/220V
15	1.0	1.9	-	-	-
20	1.3	2.6	3.8	4.4	7.7
30	1.9	3.8	5.7	6.7	11.5
40	2.6	5.1	7.7	8.9	15.3
50	3.2	6.4	10	11	19
60	3.8	7.7	11	13	23
100	6.4	12.8	19	22	38
150	-	-	29	33	57
200	-	-	38	44	77
250	-	-	48	55	96
300	-	-	57	67	115
350	-	-	67	78	134
400	-	-	77	89	153

（資料來源：用戶用電設備裝置規則） **單位：（m^3/min）**

二、空氣調節及通風設備及煙控系統介紹

地下層建築與地上層建築火災相比，由於出入口相對較少，當燃燒過程供氧不足將造成可燃物不完全燃燒並產生大量有毒煙氣，短時間內將擴散至整個室內停車空間，對火場內部尚未安全逃生的人員造成生命威脅。此外聚集於火場的煙流溫度極高，可能在短時間達到800°C以上【14】，因此對於室內停車空間而言，通風及排煙系統設計須具備平時通風，災時排除火場燃燒產生的大量煙氣與熱量，以及稀釋火災產生的有害氣體濃度(例如：一氧化碳、氮氧化合物、碳氫化合物與揮發汽油)，防止煙氣蔓延及保障人員生命與財產安全之目的。

學者 B. Merci【98】等人進行全尺寸室內停車空間火災研究發現，機械通風系統的能夠有效降低停車空間內部的環境溫度。學者肖淑衡【99】等人利用 PHEONICS 對室內停車空間火災煙流情況進行模擬，提出頂排系統的排煙性能優於側排系統，同時該學者認為排煙系統的性能優劣與其排煙方式、排煙口位置、火源強度和排煙量等參數有高度關聯性。

表 3-5 煙霧濃度與可視距離的關係表

可視距離	狀況說明
20-30m	煙霧剛發生時之淡薄濃度，煙霧探測器開始有反應，此時對不熟悉建築物動線的人會有避難障礙
5m	對於熟悉建築物動線的人亦會有避難障礙
3m	感覺昏暗時的濃度，避難人員需摸黑前進
1~2m	幾乎看不見前方
低於 1m	火災旺盛期之濃度，幾乎完全看不見，誘導燈也看不見

(資料來源：【101】)

多數學者建議室內停車空間設置機械排煙設備時，其排煙量不小於 6 次/h；換氣方法可考慮車道自然換氣(車道進風面風速建議小於0.5m/s)或採用機械供氣系統，但同時為避免火場有毒氣體從車道溢

出，送風量應小於排風量(一般建議為排風量的 80%~90%)。建築場所之排煙類型一般分成自然排煙與機械排煙，簡述兩者差異如下：

（1）自然通風：

利用室外風力與高溫氣流浮力的相互作用，將高溫煙氣從建築物與外部空間直接相通的孔洞排出，這種排煙方式被稱為自然通風。常見自然通風排煙方式包含豎井排煙與採光窗井排煙【42】。

（2）機械排煙：

在設置區域之場所內部設置完整的排煙系統(包括：排煙風機、排煙風管、排煙風口、防火閘門等)，利用排煙風機將防護區域內部的煙氣流進行強制排煙。

三、防火防煙區劃介紹

對於電動車停車區域的建築格局的消防設計規劃上，主要有防火區劃與防煙區劃等兩個部分。其中防火區劃主要防止火煙蔓延擴大，有利於搶救和人員的疏散。室內停車空間的防火分區的劃分，應考量汽車的流通和停放數的合理性，且要兼顧建築平面分割的方便性。防煙區劃則是在火災發生期間，避免煙氣侵入非火災區域，影響人員逃生且作為提供搶救過程的有利條件。防煙區劃一般採用防煙垂壁、隔牆或者從天花板下突出的樑柱劃分。

煙是火災發生時無可避免的一種產物。在火場中，可燃物因氧化作用而迅速放熱增溫，引起極速猛烈的燃燒。燃燒過程中更有一種「熱分解反應」或被稱為【熱解】的現象產生。熱解係指物質由於溫升而產生無氧化的一種不可逆化學分解，會造成大量煙氣產生。火場煙霧通常由下列三種型態所組成：

(一)、從燃燒物質中釋放出高溫蒸氣與有毒氣體。

(二)、已分解和凝固的未燃燒物質。

(三)、大量的空氣被火焰加熱進而造成渦旋型式的流動。

建築空間消防設計規劃主要分成防火區劃與防煙區劃等兩個部分。其中防火區劃主要防止火煙蔓延擴大，有利於搶救和人員的疏散，因此室內停車空間的防火區劃劃分應考量汽車的流通和停放數的合理性，且要兼顧建築平面分割的方便性；防煙區劃則是在火災發生期間，避免煙氣侵入非火災區域，影響人員逃生且作為提供搶救過程的有利條件。防火區劃與防煙區劃設置用途說明如下【5】：

防火區劃：

防火區劃用於防止火煙蔓延擴大，造成救援及人員疏散的阻礙。室內停車空間防火分區的劃分，應考量汽車流通與車位停放數量的合理性，並兼顧建築平面分割的方便性，每個防火分區間可以使用防火牆進行分隔。中國《GB50067》第 5.1.1 條指出，室內停車空間的單一防火區劃所允許的最大建築面積為 2,000m^2，若區劃內部設有自動滅火系統則可擴大到 4,000m^2。

有關水平區劃部分，依建築設計施工編第 79 條之 1 規定，防火構造建築物總樓地板面積在 1,500m^2 以上者，應按每 1,500m^2 具有 1 小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火構造之樓地板區劃分隔。防火設備並應具有 1 小時以上之阻熱性；但室內停車空間及其他類似用途建築物防火構造建築物，無法區劃分隔部分，以具有 1 小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火構造之樓地板自成一個區劃者，亦可達到水平區劃要求。

防煙區劃：

防煙區劃主要用於火災發生時，避免火場高溫煙氣入侵非起火區域。多數國家規定每個防煙分區的建築面積為 500m^2，且不能跨越防火區劃。防煙區劃一般以防煙垂壁、隔牆或天花板下方凸出固定尺寸樑來劃分。防煙垂壁材質必須使用非燃材料製作。

第四節 室內停車空間之主動排煙系統電腦模擬分析

鑒於室內停車空間未來可能發生的電動車火災事故，如何精進電動車及其充電設備區域的防火安全防護為本研究主軸與目的。室內停車空間由於空間較為狹隘且無外氣連接口，如何將煙氣快速排出為救災第一考量。本研究團隊實地勘察我國某室內停車空間，並利用電腦模擬軟體(Pyrosim)分析空氣調節及通風設備及煙控系統的配置，使其具備控制火災高溫煙毒流向及稀釋可燃與毒性氣體濃度的功能，降低火害危險性與受困人員或救災團隊的人員風險。

一、電腦模擬模擬規劃

本研究預計使用 Pyrosim 進行電腦模擬分析，Pyrosim 是由美國 Thunderhead Engineering 公司所開發的火災模擬軟體，其數值運算架構與 FDS 相同。FDS 為美國國家標準及技術研究院 NIST(National Institue of Standrad and Technology)和建築物與火災研究實驗室 BFRL(Building and Fire Research Laboratory)所發展的火災模擬軟體。主要用於預測火災發生時火場的壓力、溫度、速度和煙流動等等火災的物理數據，並可搭配數據後處理軟體(Smokeview，SMV)將模擬結果以 2D 或 3D 的方式呈現。

Pyrosim 電腦模擬軟體具有以下特點：具有直接回饋幾何形狀的優點，大幅度降低建構空間及設置邊界條件的困難度、可由外部匯入 2D 或 3D 的圖檔，能快速建構模擬之幾何輪廓，以及確保轉換之 FDS 文件輸入格式及語法正確，省略除錯的時間。本研究將使用 Pyrosim 版本為 2023.3.1208 版，其運算架構版本為 FDS 版本 6.8.0 版。

二、模擬空間建構及參數規劃

本研究團隊實地勘察我國預設充電樁的私有集合住宅停車空間配置發現，該類場所通風設備為透過誘導式風機循環引導氣流並推向該樓層設置的排氣風機。此外由於地下停車空間非屬居室用途，依法無須設置煙控設備，但現階段從文獻資料發現，電池類火災具有難以快速撲滅且燃燒溫度高於其它類型火災的特性，如何防範電動車火災所產生的高溫煙流將十分重要。本研究案模擬條件設置如下：

(一)、停車空間格局

本研究團隊挑選一處地下 4 層集合住宅進行模型建構，其室內格局如圖 3-22、圖 3-23 所示。該區域長度約為 56m；寬度約為 42m；樓高為 2.9m。各平面車位皆預留一電線槽孔(地面)可供住戶依自身需求增設充電樁或其他用電設備。本案各層停車空間僅一處人員逃生口、兩處車道出入口，為瞭解電動車火災起火之最嚴苛的情況的煙流影響，本研究團隊將把起火位置設置於距離人員出入口之最近車位。

圖 3-20 預留電線槽孔示意圖

(資料來源：本研究整理)

該處集合住宅單層停車空間共設置 12 台誘導式風機(單台風量為 15 CMM)；排風機共計 2 台(單台風量為 450CMM)，進風機 1 台(單台風量為 450 CMM)，如圖 3-21、圖 3-22 所示。

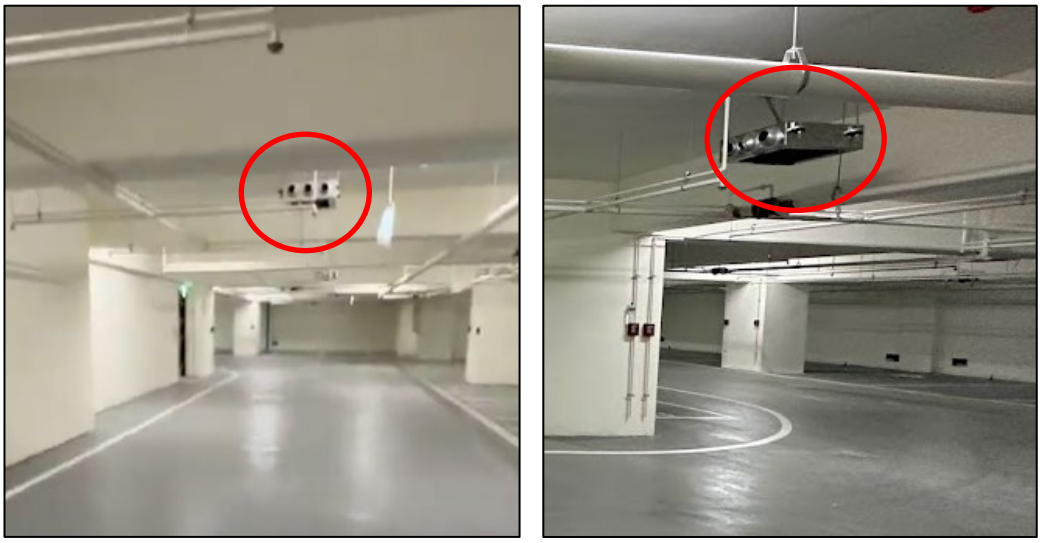


圖 3-21 誘導式風機示意圖

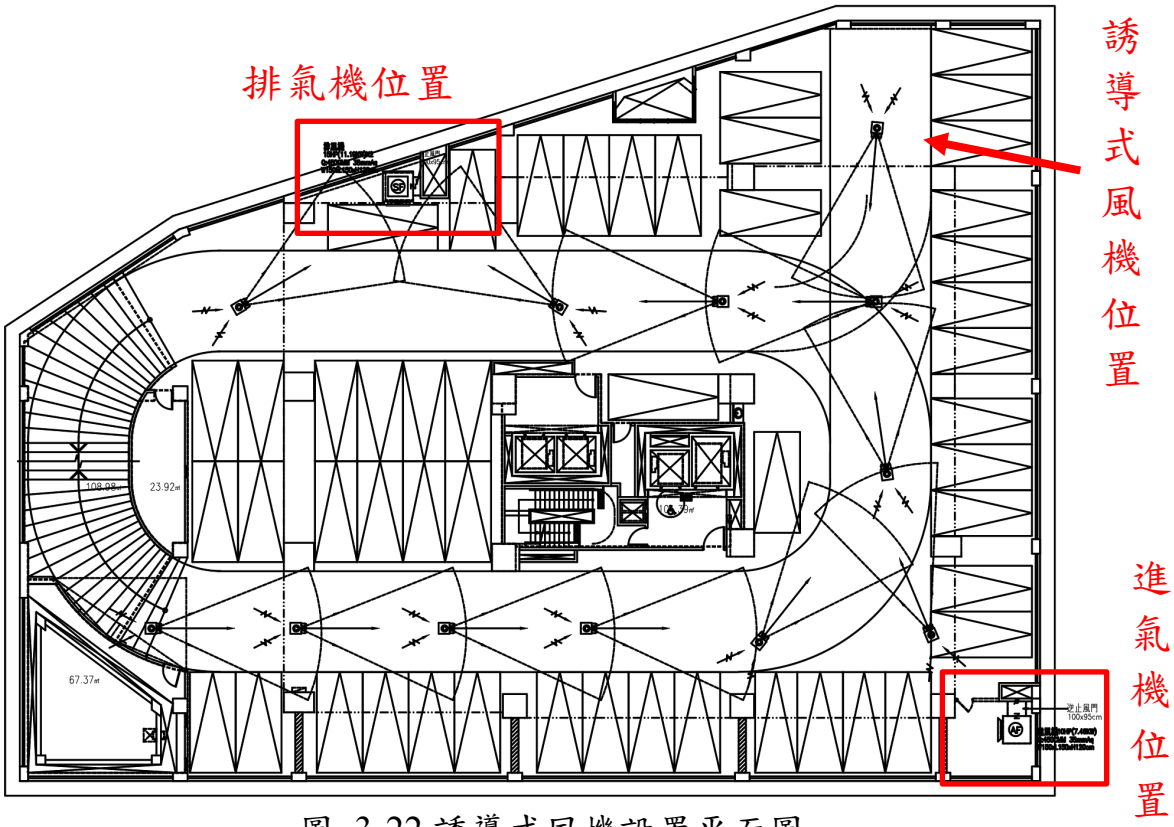


圖 3-22 誘導式風機設置平面圖

(圖 3-21、圖 3-22 資料來源：本研究整理)

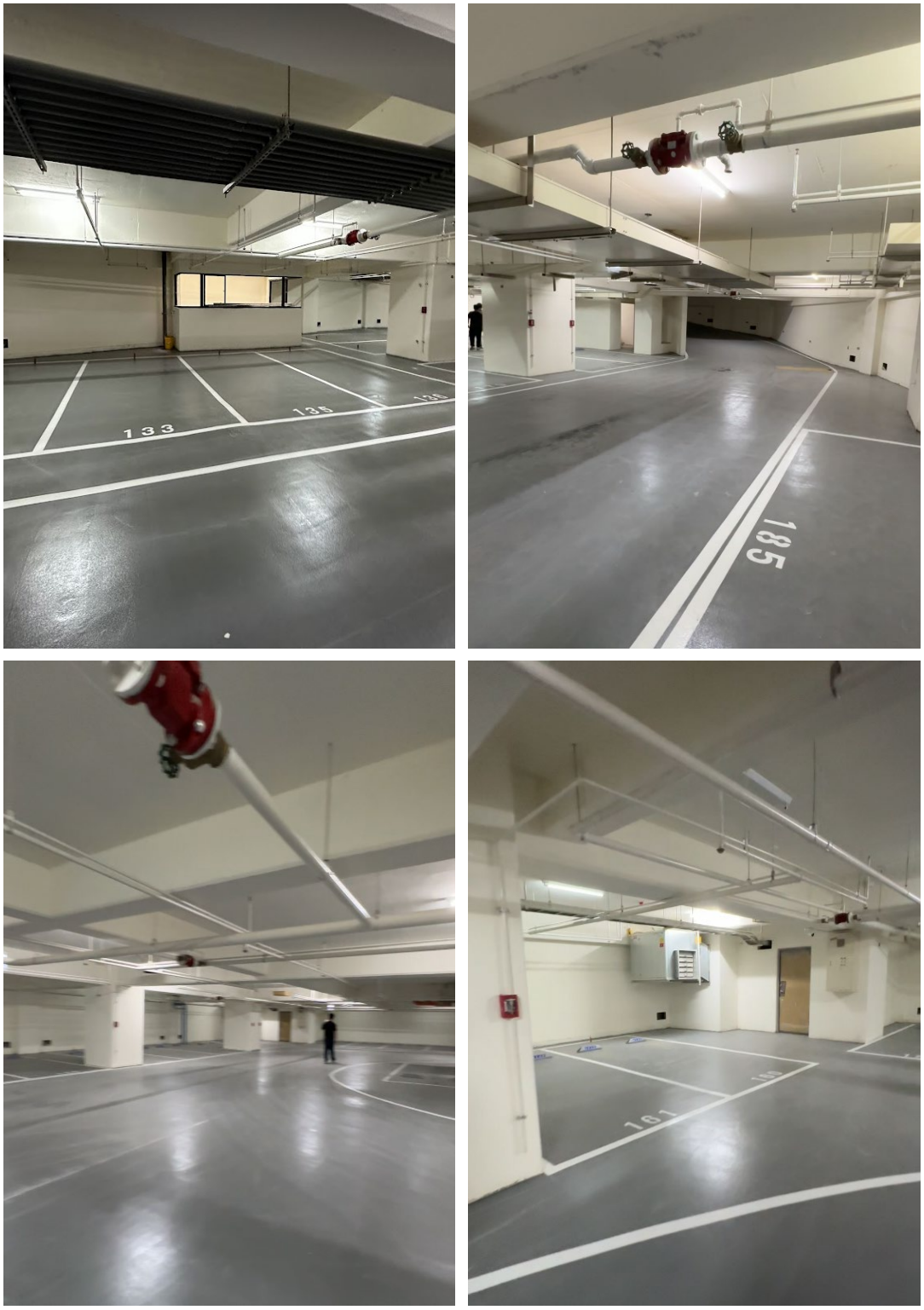


圖 3-23 實際現勘圖

(資料來源：本研究整理)

(二)、模擬火源參數設置

本研究團隊參考 NRC 機構【74】進行的電動車全車燃燒實驗數據作為本研究案的火源熱釋放率設置條件。由圖 3-25 發現，電動車熱釋放率最高可達 8MW 且車頂溫度高達 800～1000 度左右。彙整本研究模擬 6 個情境的熱釋放率隨時間變化圖發現(圖 3-25)，其誤差值約為正負 5%左右，可明確回饋電動車火災發生的熱能釋放情形。

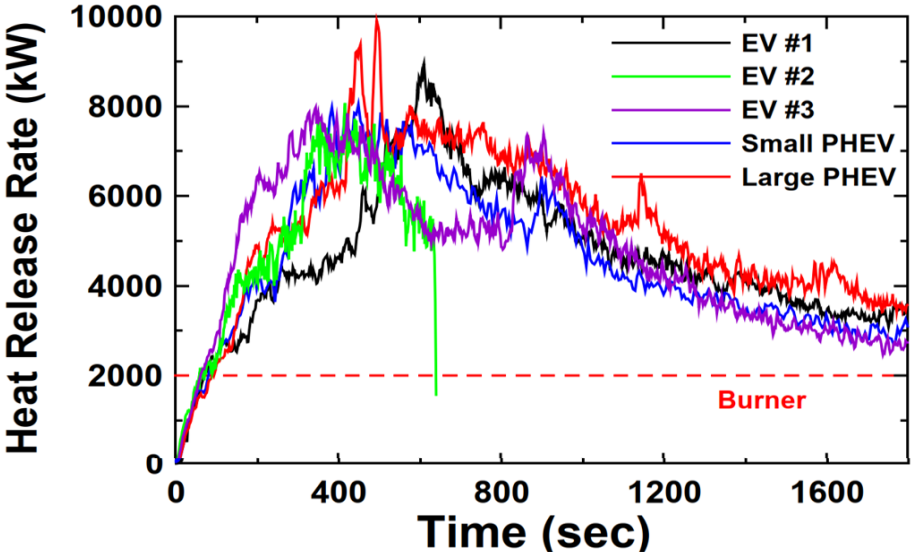


圖 3-24 NRC 電動車熱釋放率圖

(資料來源：參考文獻【74】)

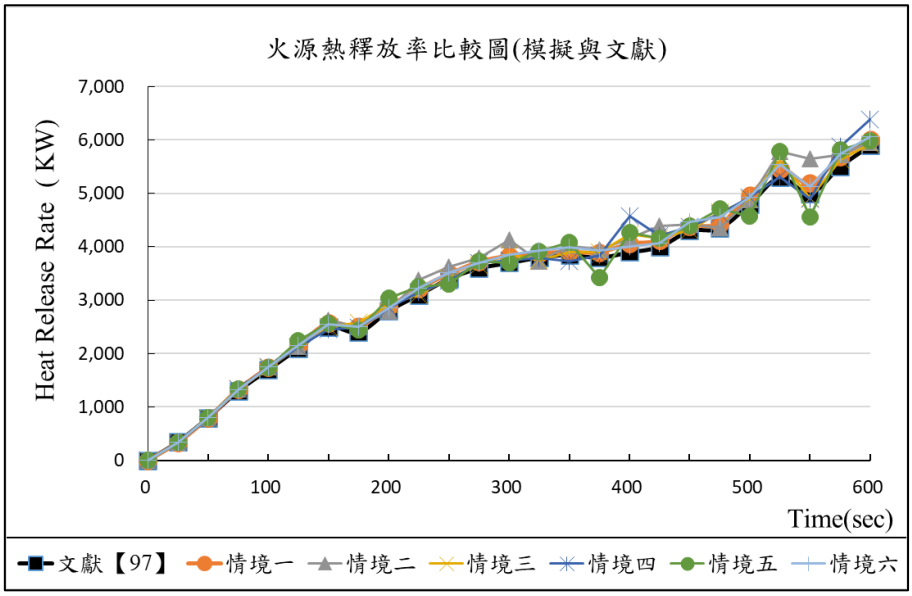


圖 3-25 本案模擬熱釋放率與 NRC 數據比較圖

(資料來源：本研究整理)

(三)、網格格點分析

電腦數值模擬可以用於將火災數值模擬結果與實測實驗結果相互結合比較，在保證良好重複性的基礎上，觀察實測實驗過程不易捕捉的諸多參數，從而更好地掌握火場煙氣與溫度分佈發展規律【95】。本研究團隊參照 Pyrosim 用戶手冊之網格尺寸進行計算，即選用火源特徵直徑計算火源附近網格尺寸大小，其公式如 3.1 所示。過往研究學者針對 FDS 電腦模擬之格點分析發現，當網格使用 0.1D*~0.12D* 時，模擬結果與實驗結果吻合度較高。

$$D^{*}=\left(\frac{Q}{\rho_0 C_p T_0 \sqrt{g}}\right)^{2/5} \tag{3.1}$$

其中，公式 3.1：

D*為火源特徵直徑(m)；Q 為火災熱釋放率（kW）；

ρ_0為流體密度（kg/m^3）；C_p 為環境空氣比熱（kJ/(kg·K)）；

T_0 為環境溫度（K）。

假設火源熱釋放率平均值為 4,475(kW)；空氣流體密度為 1.29（kg/m^3）；空氣比熱 0.718 kJ/(kg·K)；環境溫度為 300(K)。利用公式 3.1 計算可得火源特徵直徑(D*)為 1.925m，本研究團隊將火源特徵直徑採 2m 計算。

由表 3-6、圖 3-26 發現，網格尺寸大小將影響模擬結果的數值收斂程度，隨網格尺寸不斷變小，各情境誤差值逐漸縮小。本研究團隊為確保計算精度，統一採用 0.1D*(0.2m)進行本研究案兩處模型的格點設置。

表 3-6 模擬空間網格數量表

尺寸(m)		網格數量
0.05D*	0.1	5,912,027
0.1D*	0.2	716,688
0.25D*	0.5	49,020
0.5D*	1.0	6,063

備註：火源特徵直徑(D*)為 2m。

(資料來源：本研究整理)

圖 3-26 格點劃分示意圖

(資料來源：本研究整理)

(四)、溫度量測點設置

本研究團隊於模擬空間內部設置溫度量測點以量測火場溫度變化，其中包含：火源附近(1 點)；人員與車道出入口(4 點)；停車空間(6 點)，共計 11 點量測點。各溫度量測點設置高度為 1.8m。詳細溫度量測點設置如表 3-7、圖 3-27 所示。

表 3-7 溫度量測點設置表

溫度量測點位置標示圖													
量測點編號		火源	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
座標(m)	X	37.8	37.8	38.6	31.6	12.8	28.8	44.8	12.8	28.8	44.8	46.6	46.6
	Y	4.2	7.8	12.8	24.2	9.8	9.8	9.8	26.8	26.8	26.8	37.8	17.8
設置高度		1.8m											

圖 3-27 溫度量測點設置示意圖

(表 3-7、圖 3-27資料來源：本研究整理)

(五)、能見度量測點設置規劃

本研究團隊於模擬空間內部設置能見度量測點以量測空間煙氣流動情況，其中包含：火源附近(1 點)；人員與車道出入口(4 點)；停車空間(6 點)，共計 11 點量測點。各能見度量測點設置高度為 1.8m。詳細溫度量測點設置如表 3-8、圖 3-28 所示。

表 3-8 能見度量測點設置表

能見度量測點位置標示圖													
量測點編號		火源	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
座標(m)	X	37.8	37.8	38.6	31.6	12.8	28.8	44.8	12.8	28.8	44.8	46.6	46.6
	Y	4.2	7.8	12.8	24.2	9.8	9.8	9.8	26.8	26.8	26.8	37.8	17.8
設置高度		1.8m											

圖 3-28 能見度分析點設置空間示意圖

(表 3-8、圖 3-28資料來源：本研究整理)

三、空氣調節及通風設備模擬規劃及模擬結果

目前新建建築物室內停車空間大多採誘導式通風系統而非傳統風管通風系統。然而誘導式通風系統並沒有抽除煙流的功能，因此當火災發生時啟動，是否會將煙氣推(帶)動至其他非起火區域而使其瀰漫煙霧仍須進一步討論。基本上避難人員最少需要 8～10m 的可視距離才能通過煙區，而當避難人員因視線不良無法辨識避難路線時，將可能因避難受阻而造成嚴重傷亡。

為完善室內停車空間電動車位及其充電設置空間之主動式及被動式防火安全防護設施設備設置建議。針對室內停車空間現況設置的空氣調節及通風設備進行電腦模擬分析，探討其通風設備於火災發生是否應啟動或適時調整。本研究電腦模擬規劃如表 3-9 所示。

表 3-9 電腦模擬規劃表

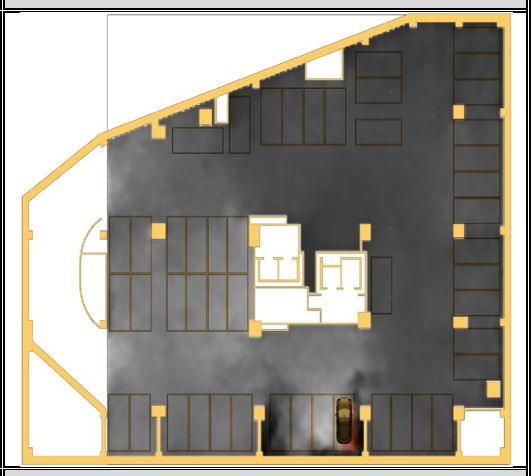
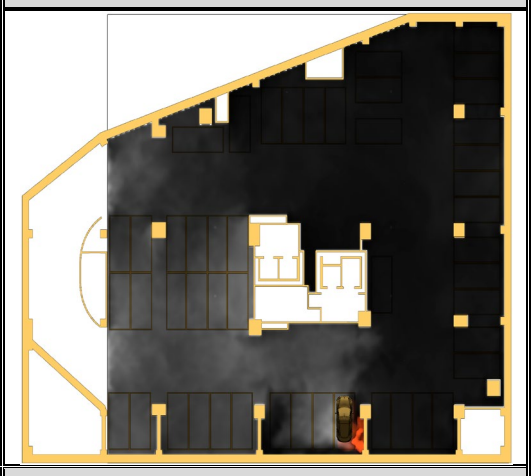
項次	撒水	進排氣風機	誘導式風機	區劃方式
情境一	無	無	無	無
情境二		開(1 進 2 排)	開(11 台)	無
情境三		開(1 進 2 排)	無	無
情境四		開(2 進 4 排)	開(11 台)	無
情境五		開(2 進 4 排)	開(11 台)	車道設置捲門
情境六		開(2 進 4 排)	開(11 台)	防煙垂壁(兩區)
情境七	有	無	無	無
情境八		開(1 進 2 排)	開(11 台)	無
情境九		開(1 進 2 排)	無	無
情境十		開(2 進 4 排)	開(11 台)	無

備註：

1. 單台進排風機風量為 450CMM；誘導式風機風量為 15CMM。
2. 【1 進 2 排】之意義為一台進風機，兩台排氣機；同理，【2 進 4 排】為兩台進風機，四台排氣機。
3. 【2 進 4 排】設置方式採對稱設置，左上、左下排氣；右上、右下進氣。

情境一_【模擬動畫圖】

表 3-10 情境一之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境一_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-29、圖 3-30 發現，其中鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 356°C；車道出入口最高溫度為 95°C。

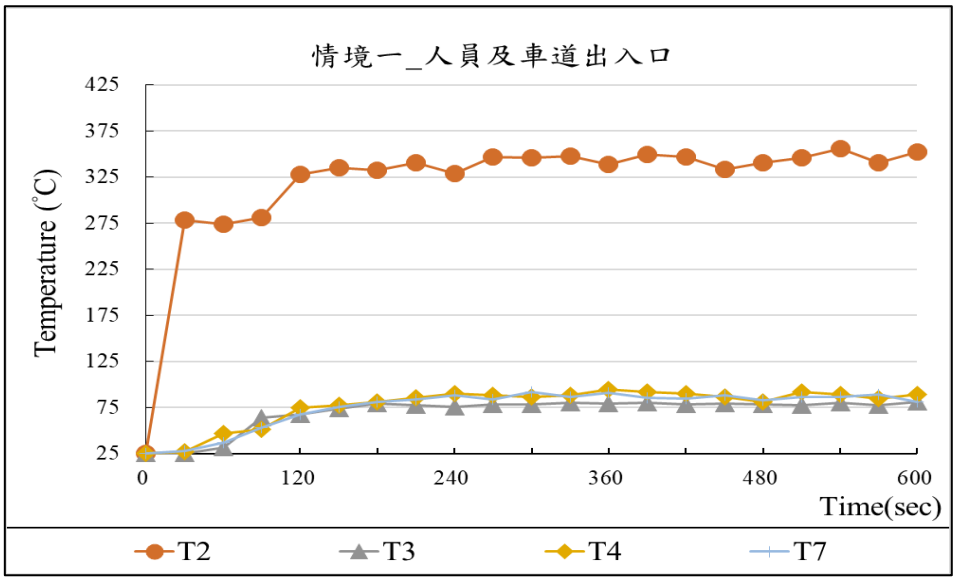


圖 3-29 情境一_溫度變化圖(人員及車道出入口)

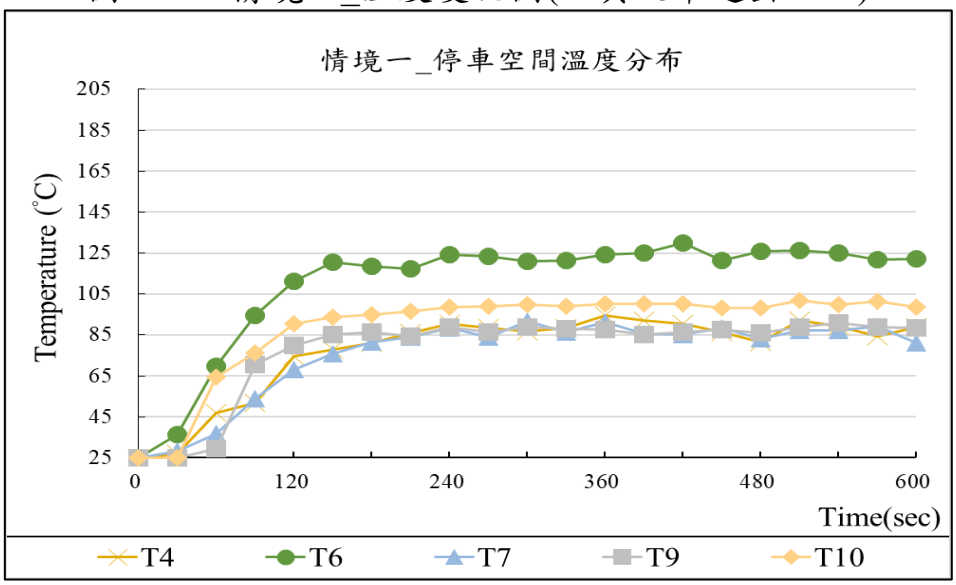
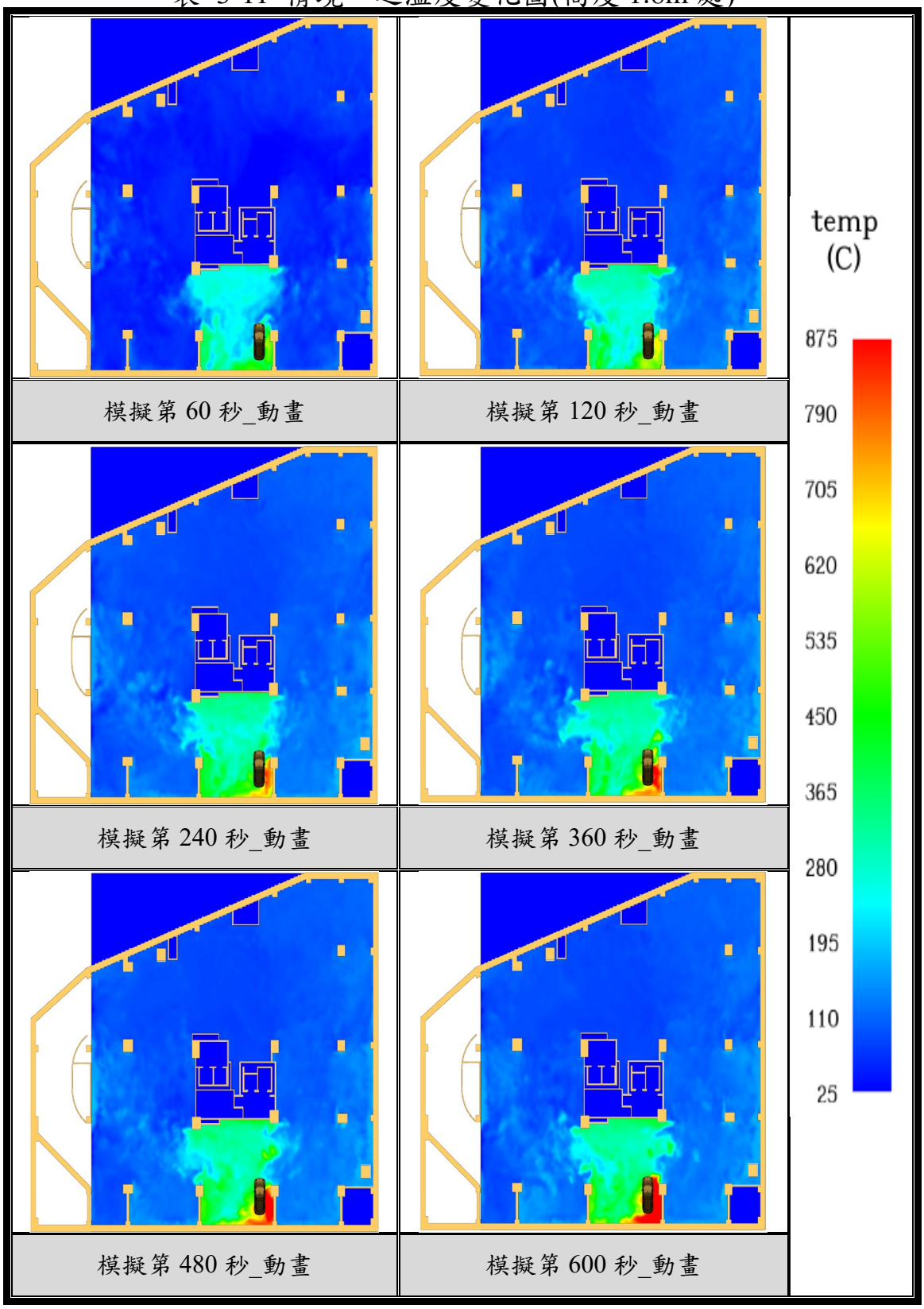


圖 3-30 情境一_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-29、圖 3-30 資料來源：本研究整理)

表 3-11 情境一之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境一_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-31、圖 3-32 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘至 2 分鐘間，即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

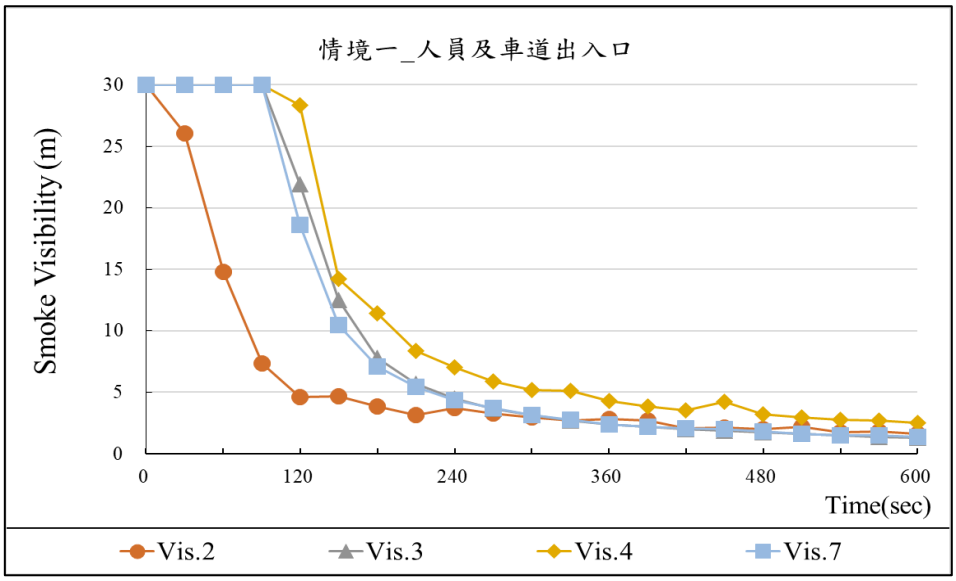


圖 3-31 情境一_能見度變化圖(人員及車道出入口)

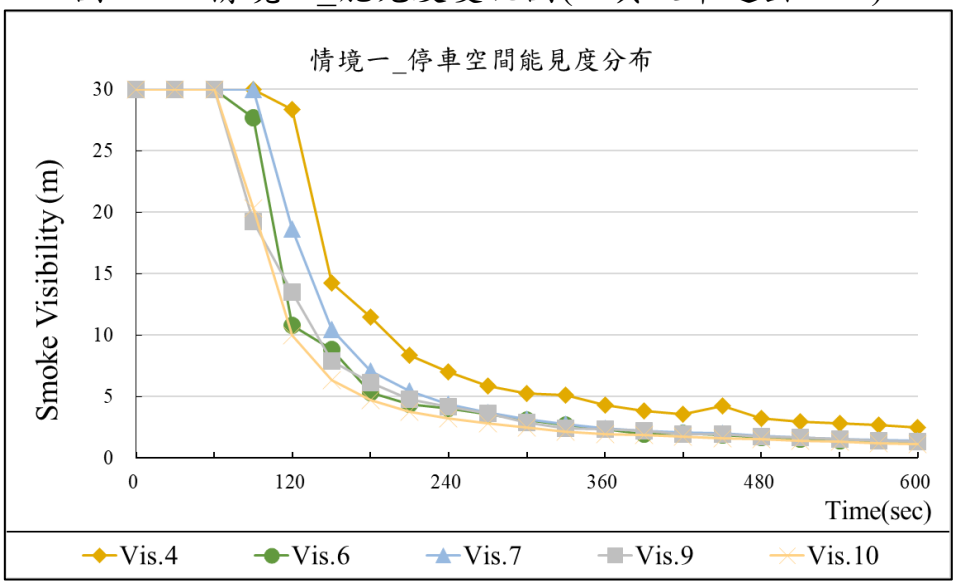
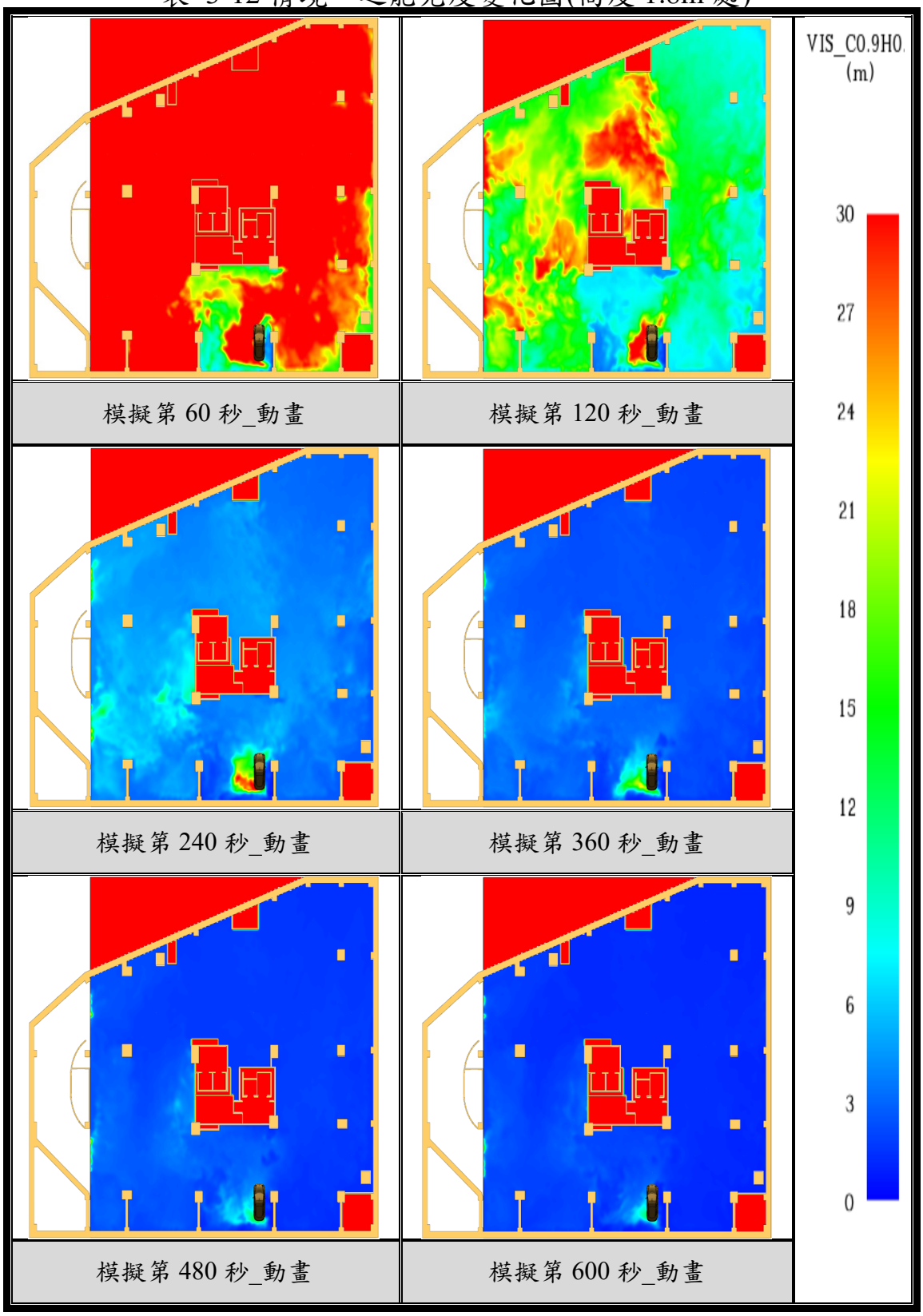


圖 3-32 情境一_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-31、圖 3-32 資料來源：本研究整理)

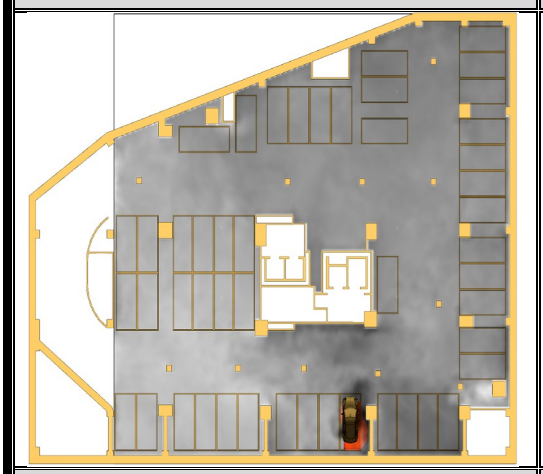
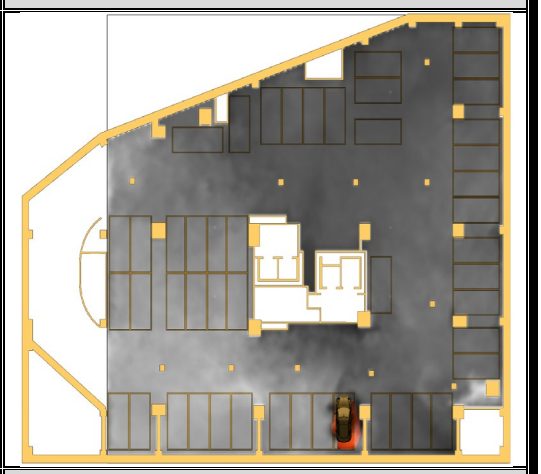
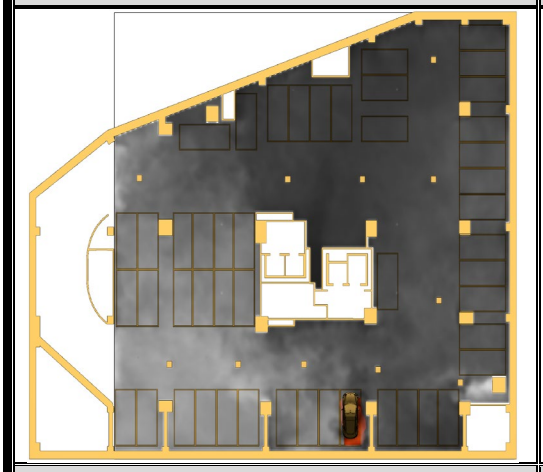
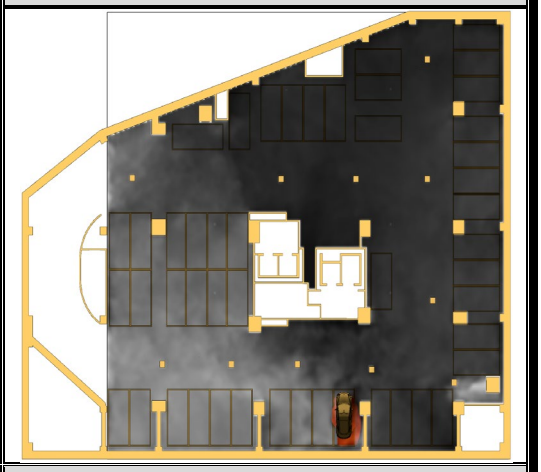
表 3-12 情境一之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境二_【模擬動畫圖】

表 3-13 情境二之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境二_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-33、圖 3-34 發現，鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 364°C；車道出入口最高溫度為 93°C。

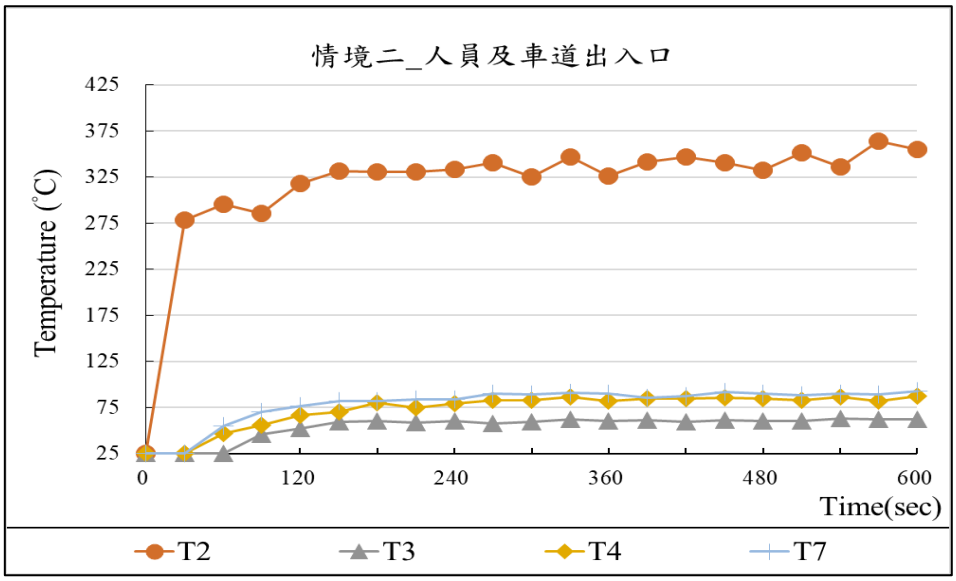


圖 3-33 情境二_溫度變化圖(人員及車道出入口)

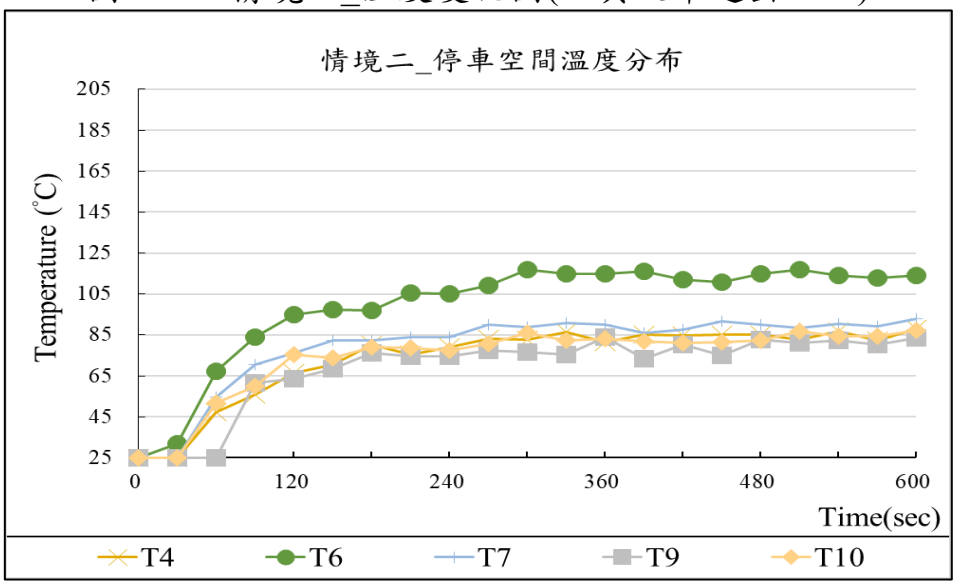
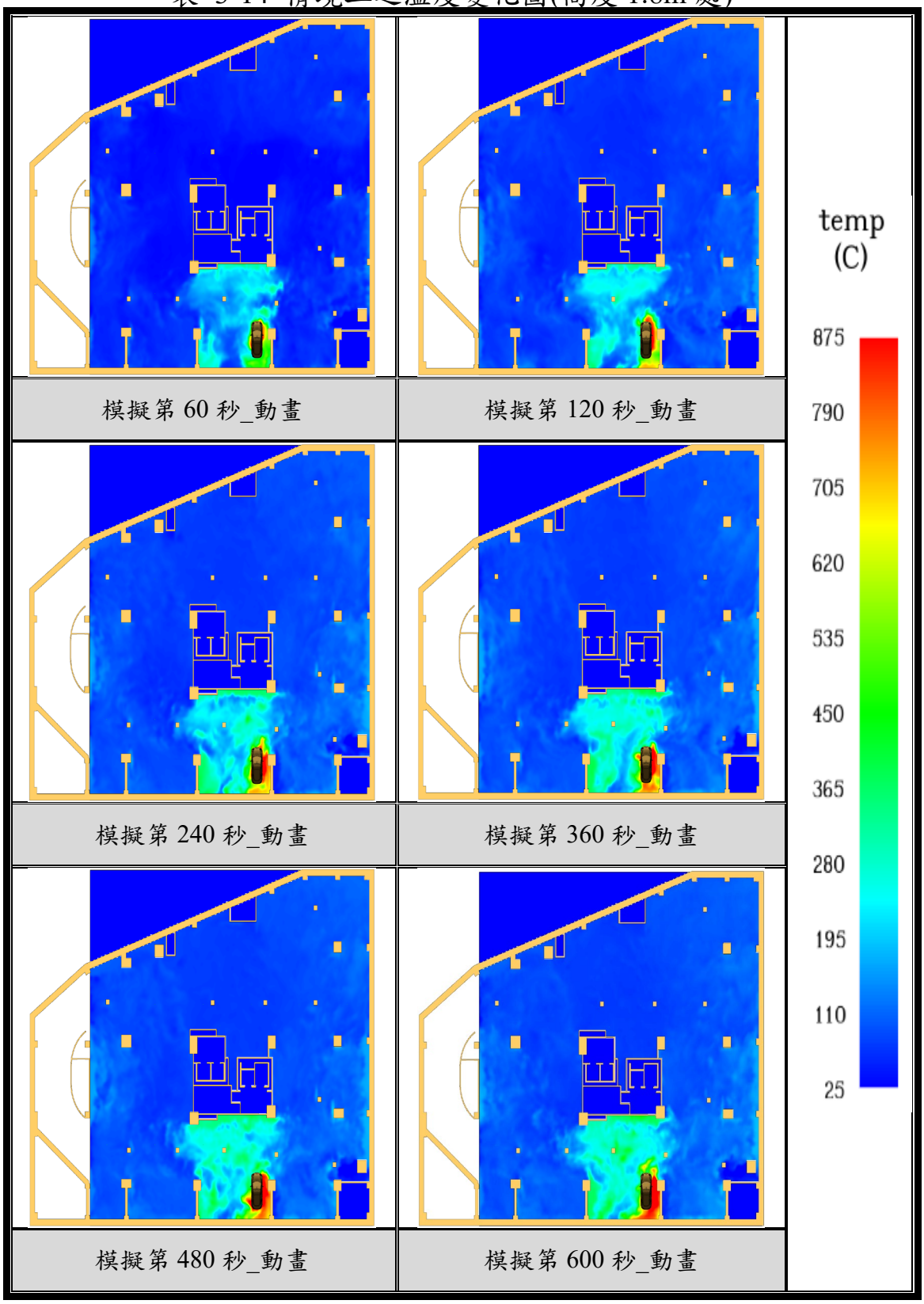


圖 3-34 情境二_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-33、圖 3-34 資料來源：本研究整理)

表 3-14 情境二之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境二_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-35、圖 3-36 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘左右即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

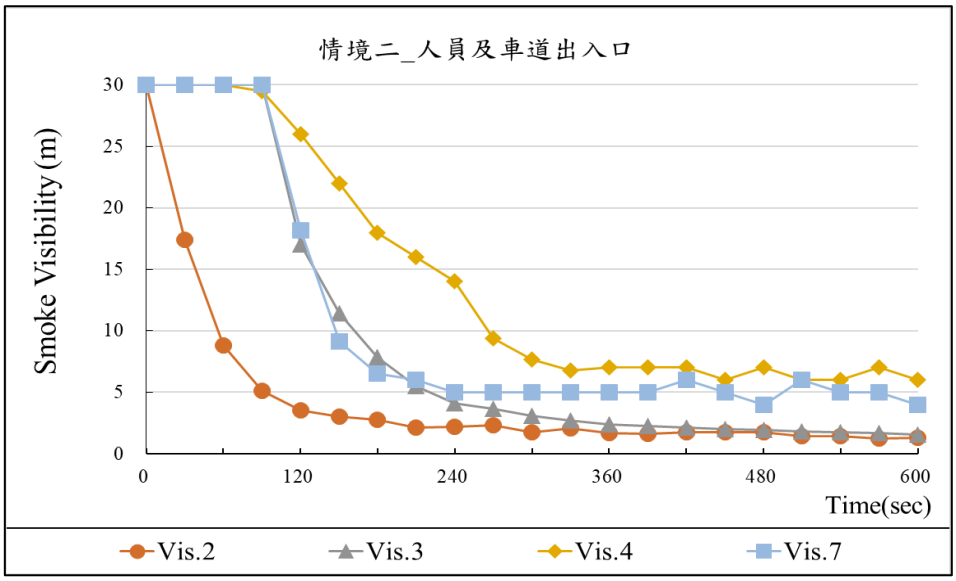


圖 3-35 情境二_能見度變化圖(人員及車道出入口)

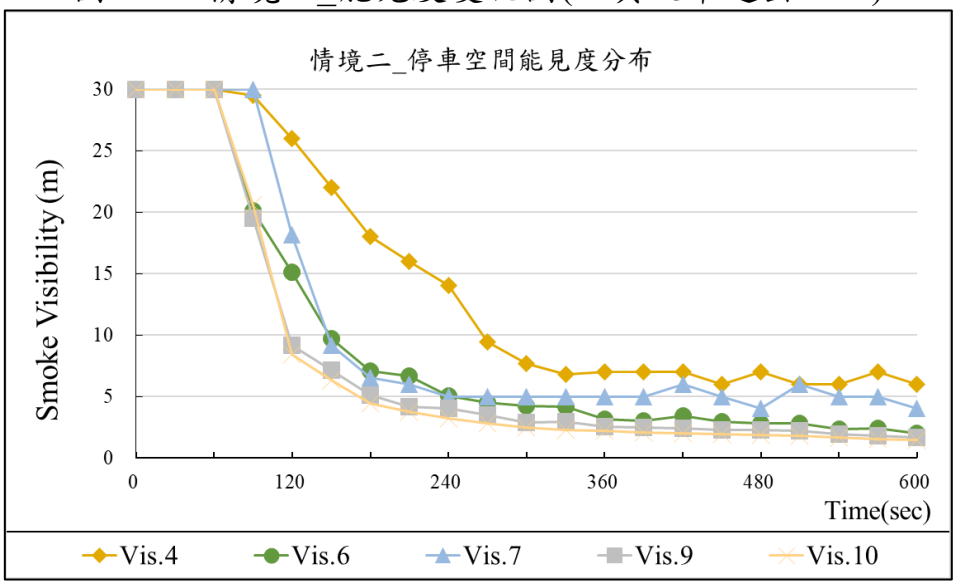
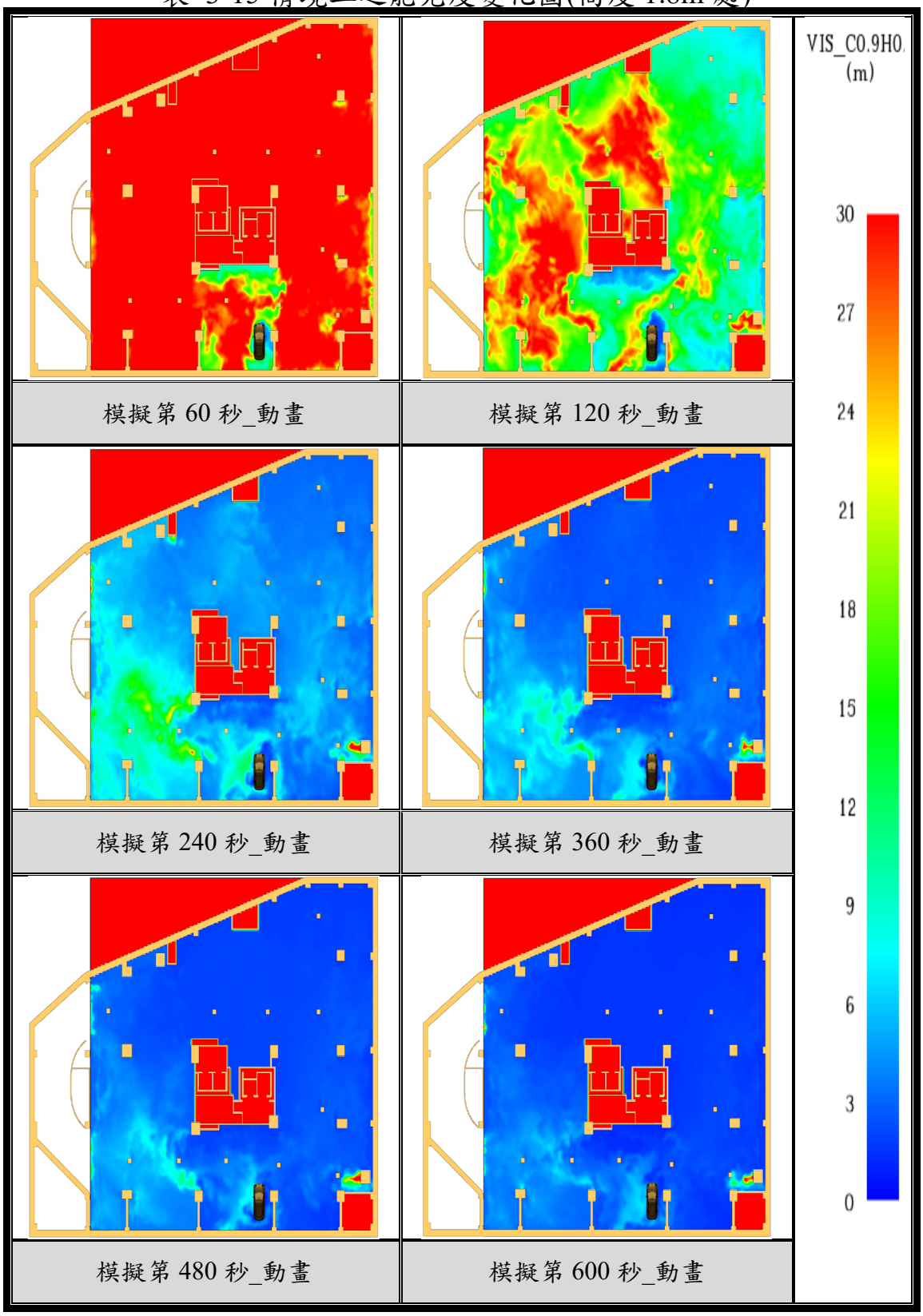


圖 3-36 情境二_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-35、圖 3-36 資料來源：本研究整理)

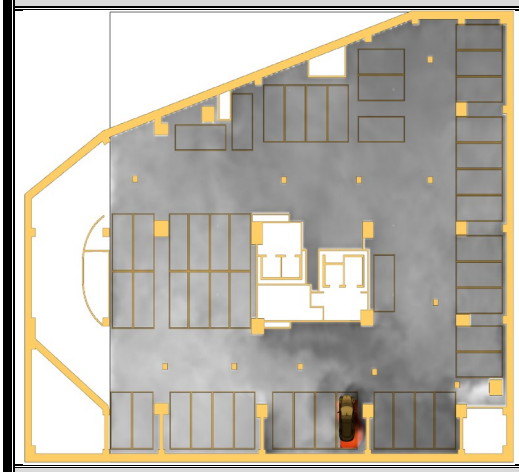
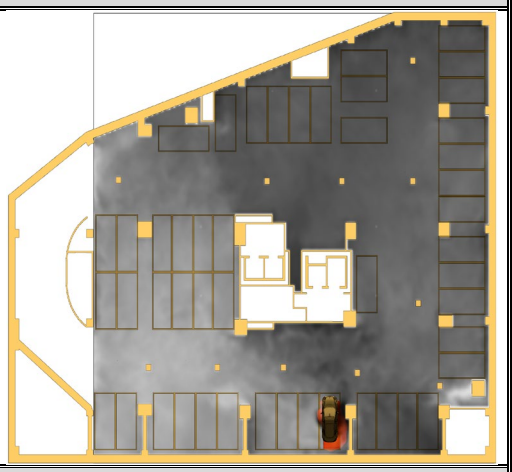
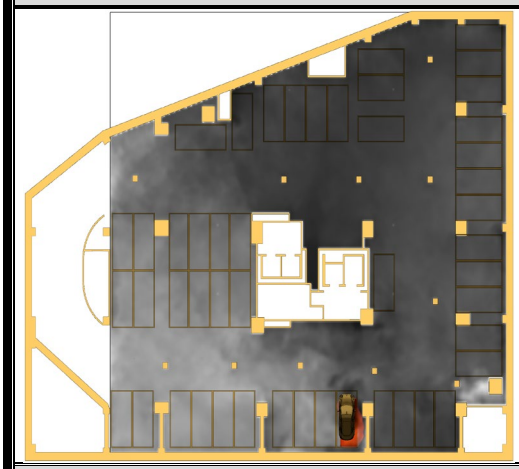
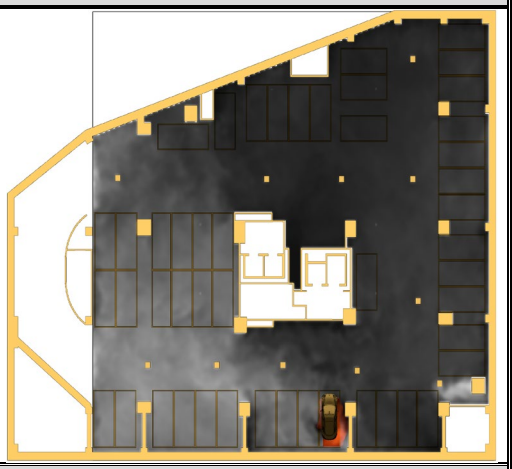
表 3-15 情境二之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境三_【模擬動畫圖】

表 3-16 情境三之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境三_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-37、圖 3-38 發現，鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 368°C；車道出入口最高溫度為 93°C。

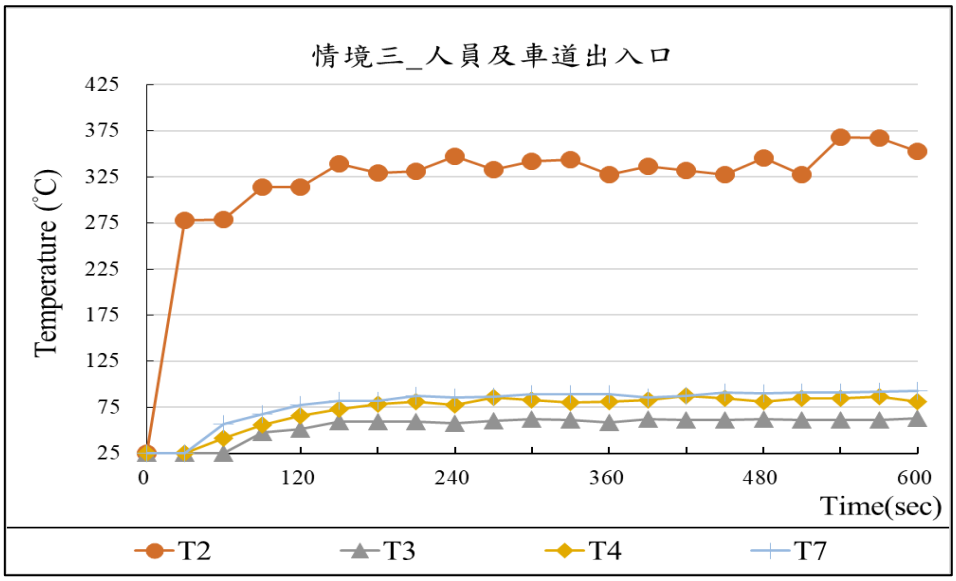


圖 3-37 情境三_溫度變化圖(人員及車道出入口)

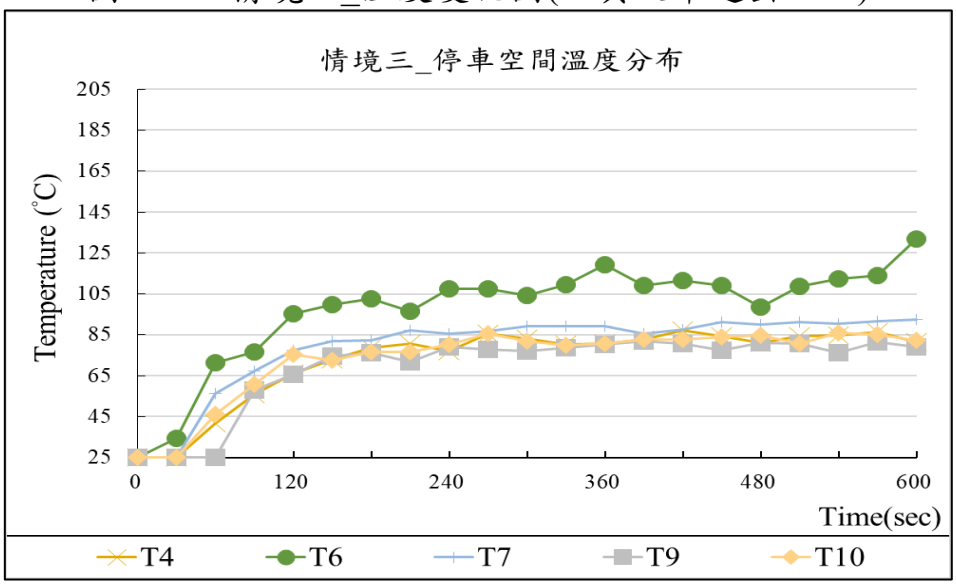
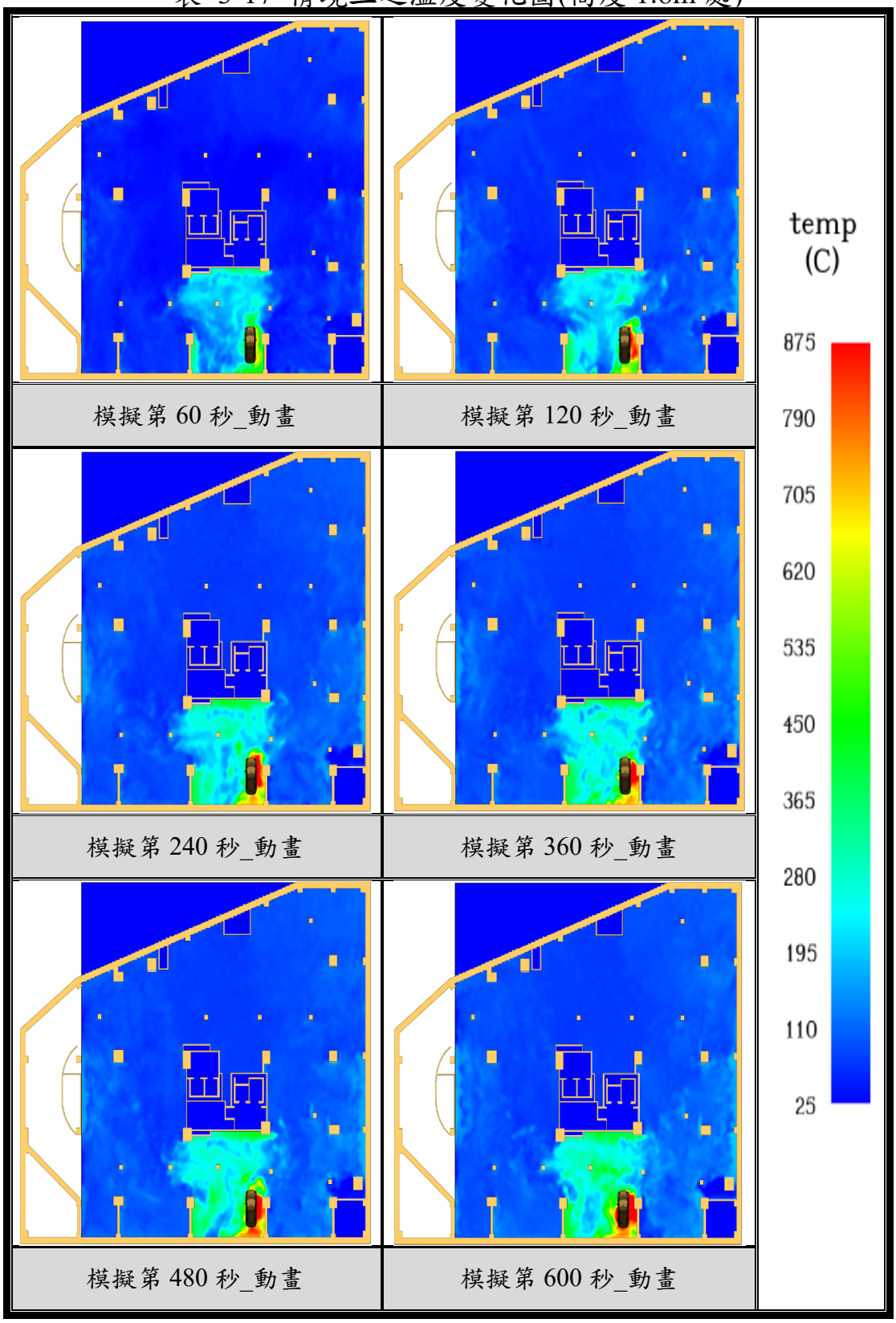


圖 3-38 情境三_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-37、圖 3-38 資料來源：本研究整理)

表 3-17 情境三之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境三_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-39、圖 3-40 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘左右即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

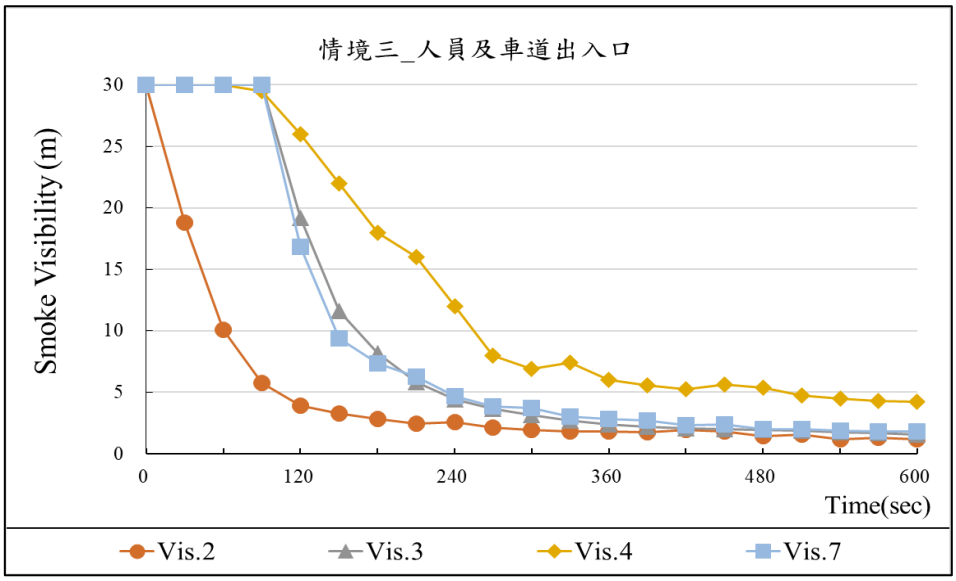


圖 3-39 情境三_能見度變化圖(人員及車道出入口)

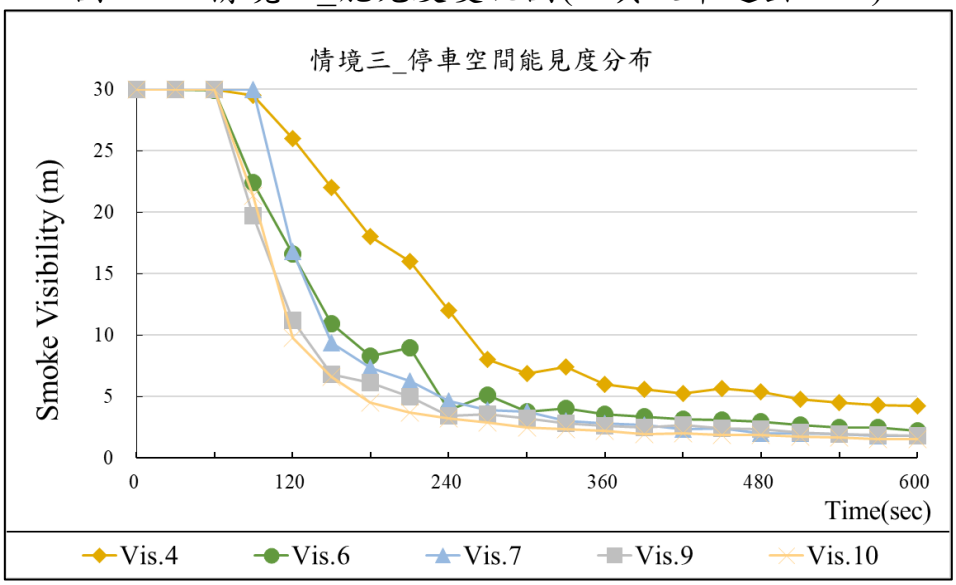
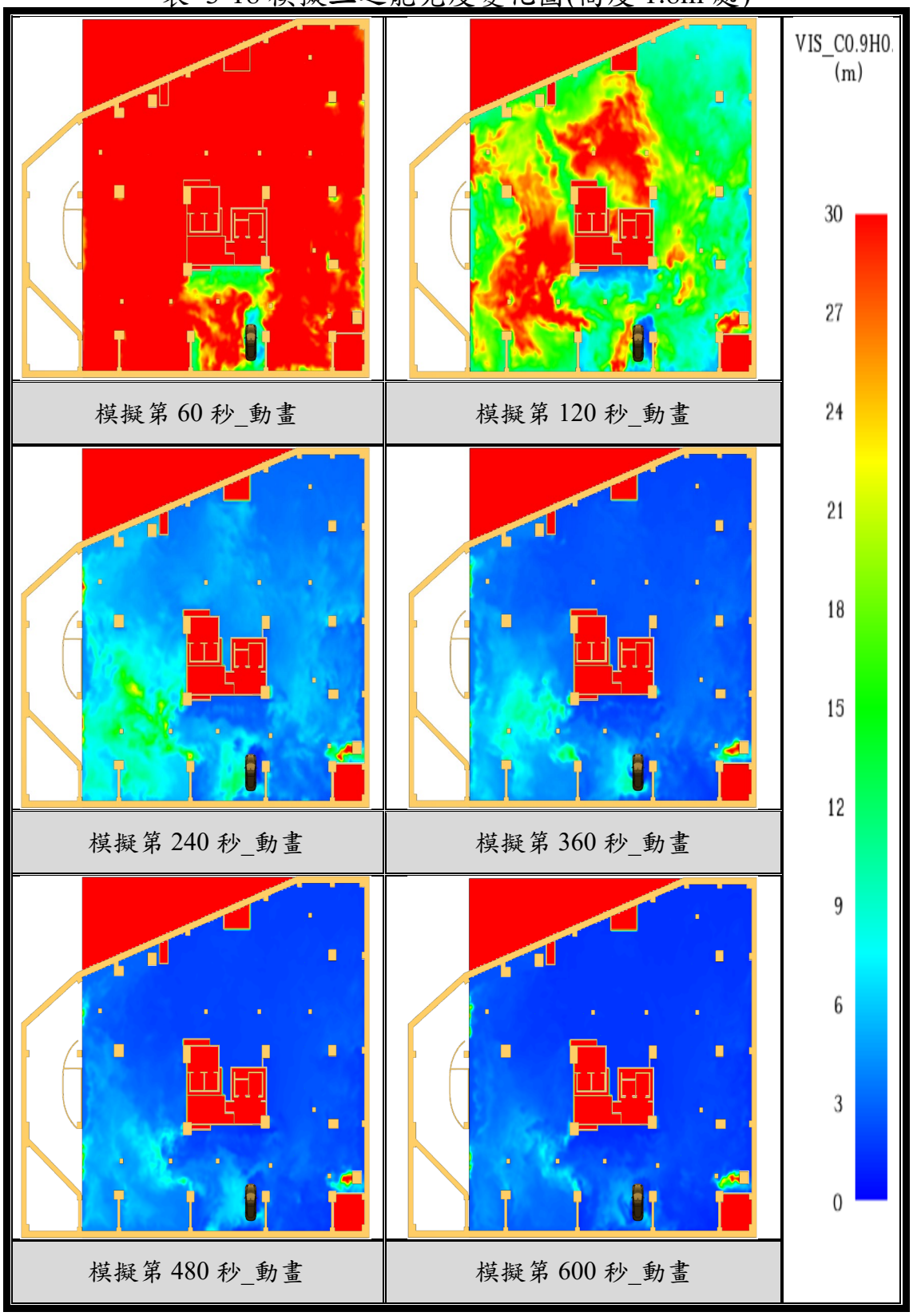


圖 3-40 情境三_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-39、圖 3-40 資料來源：本研究整理)

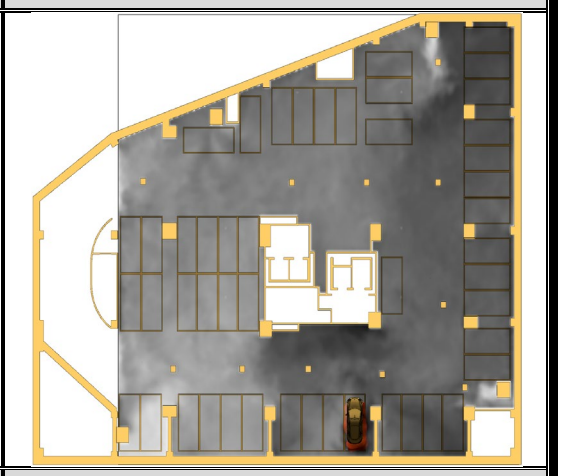
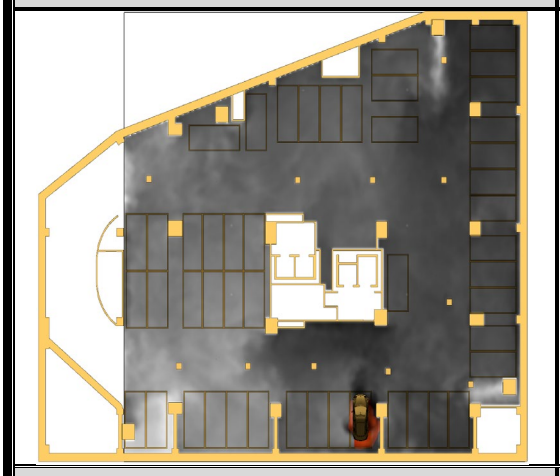
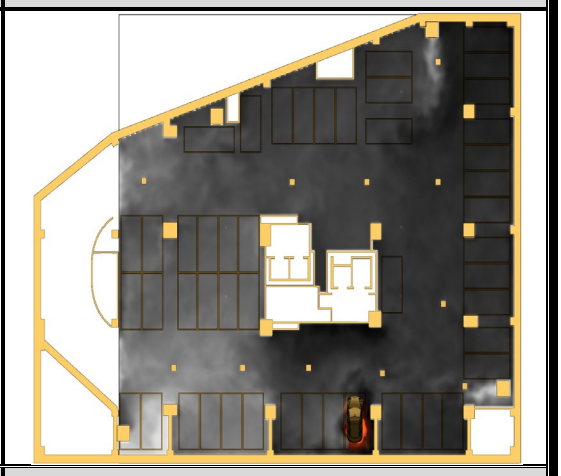
表 3-18 模擬三之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境四_【模擬動畫圖】

表 3-19 情境四之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境四_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-41、圖 3-42 發現，鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 377°C；車道出入口最高溫度為 85°C。

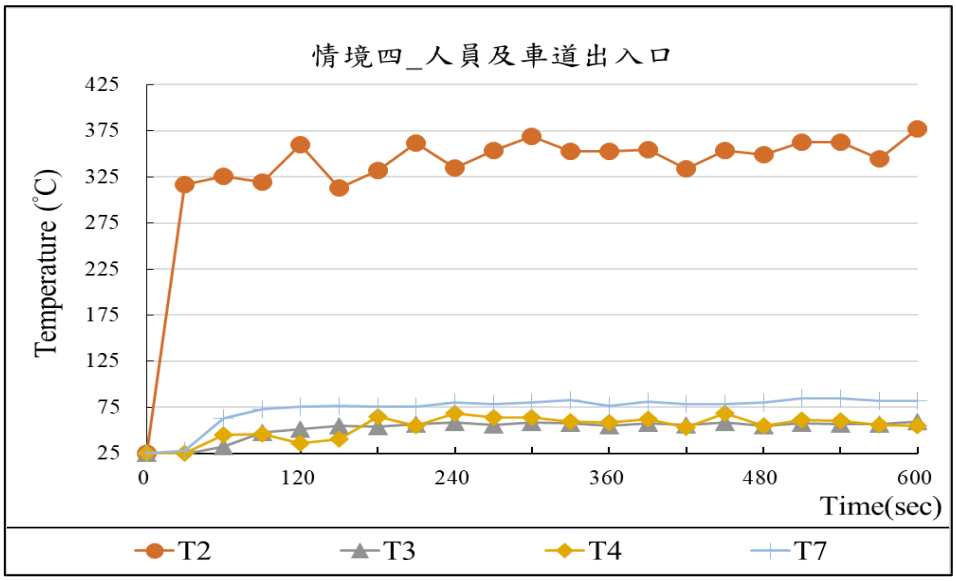


圖 3-41 情境四_溫度變化圖(人員及車道出入口)

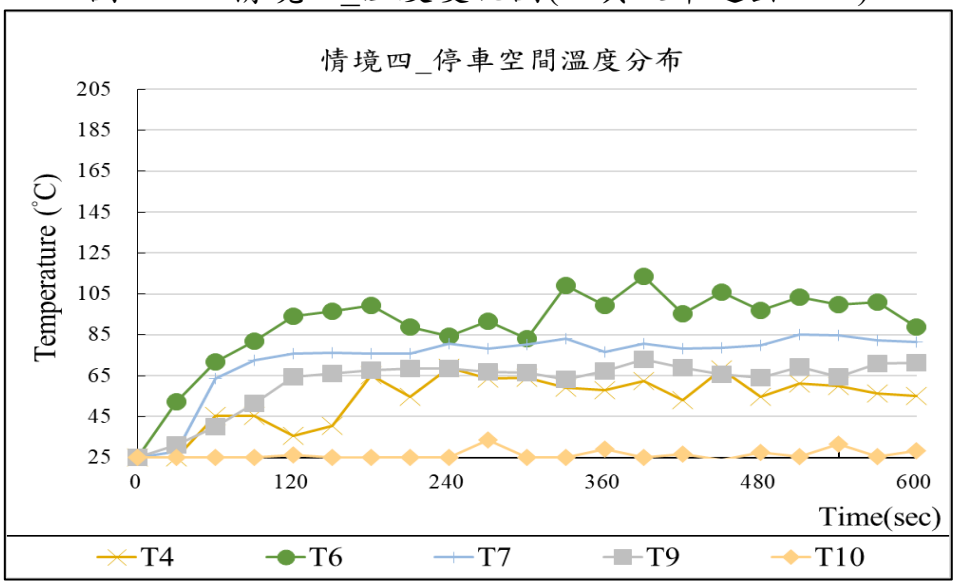
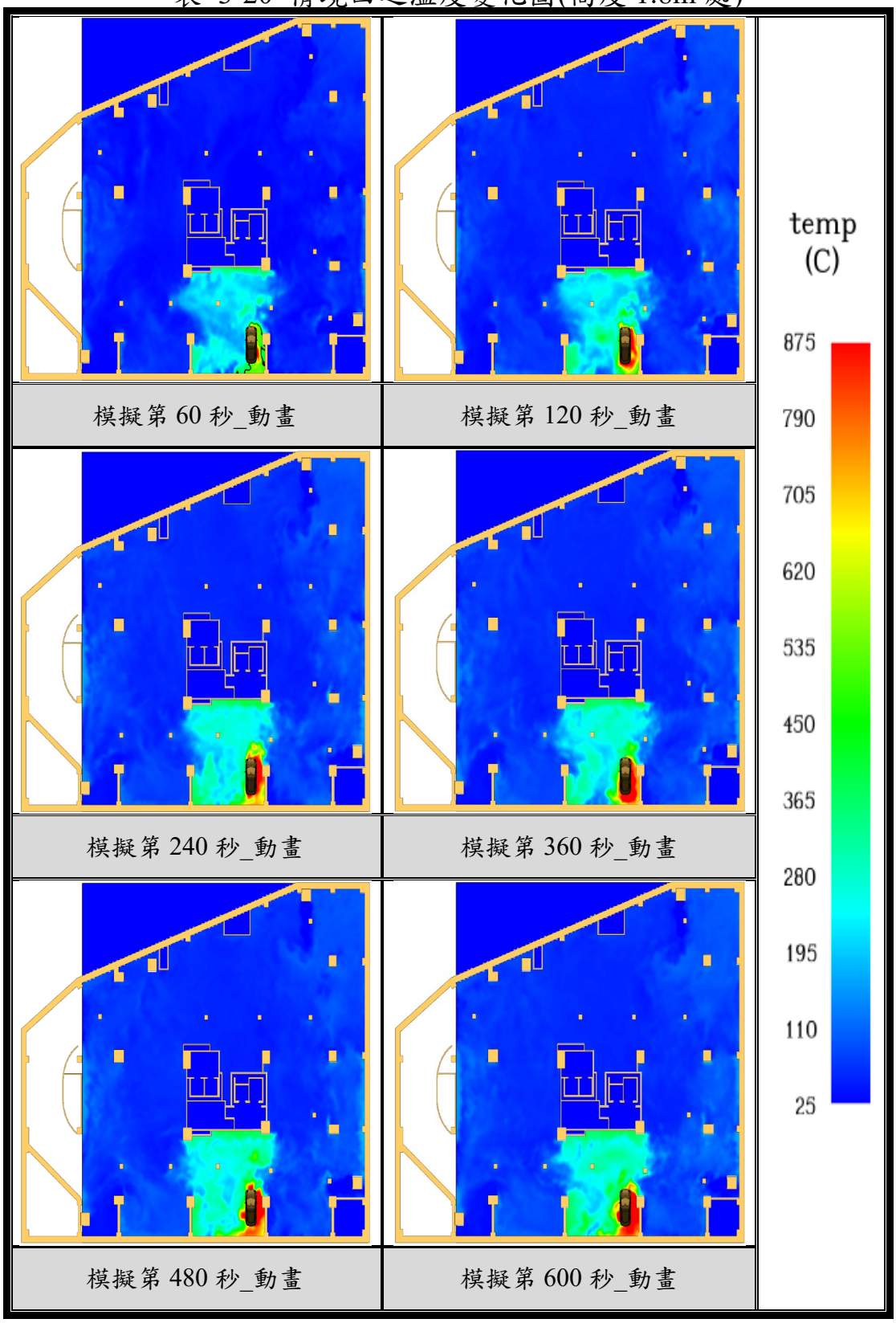


圖 3-42 情境四_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-41、圖 3-42 資料來源：本研究整理)

表 3-20 情境四之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境四_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-43、圖 3-44 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘左右即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

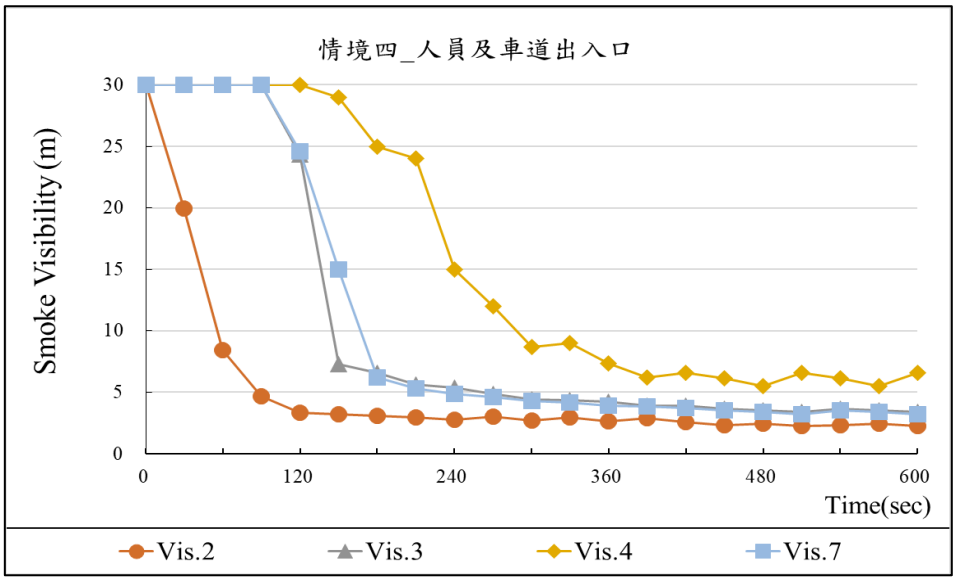


圖 3-43 情境四_能見度變化圖(人員及車道出入口)

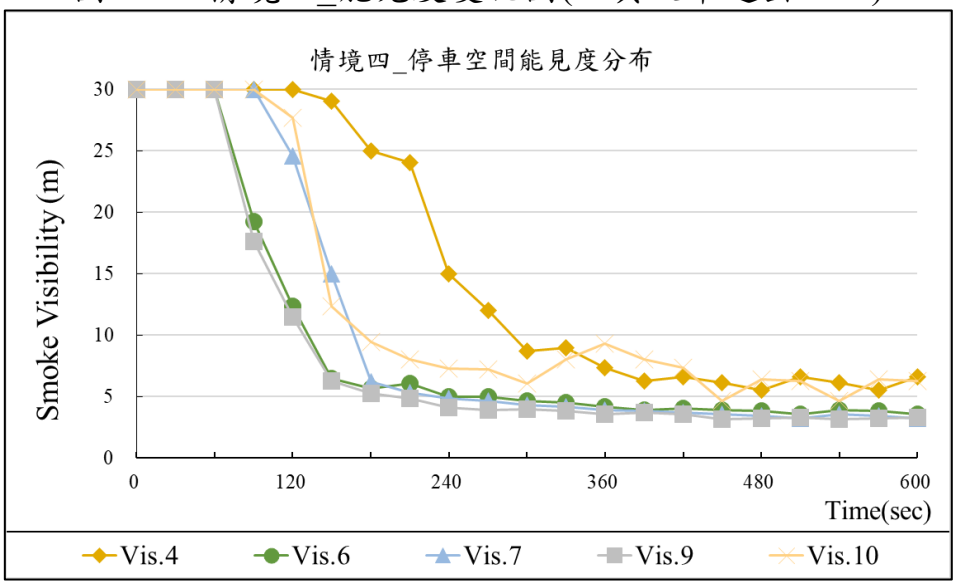
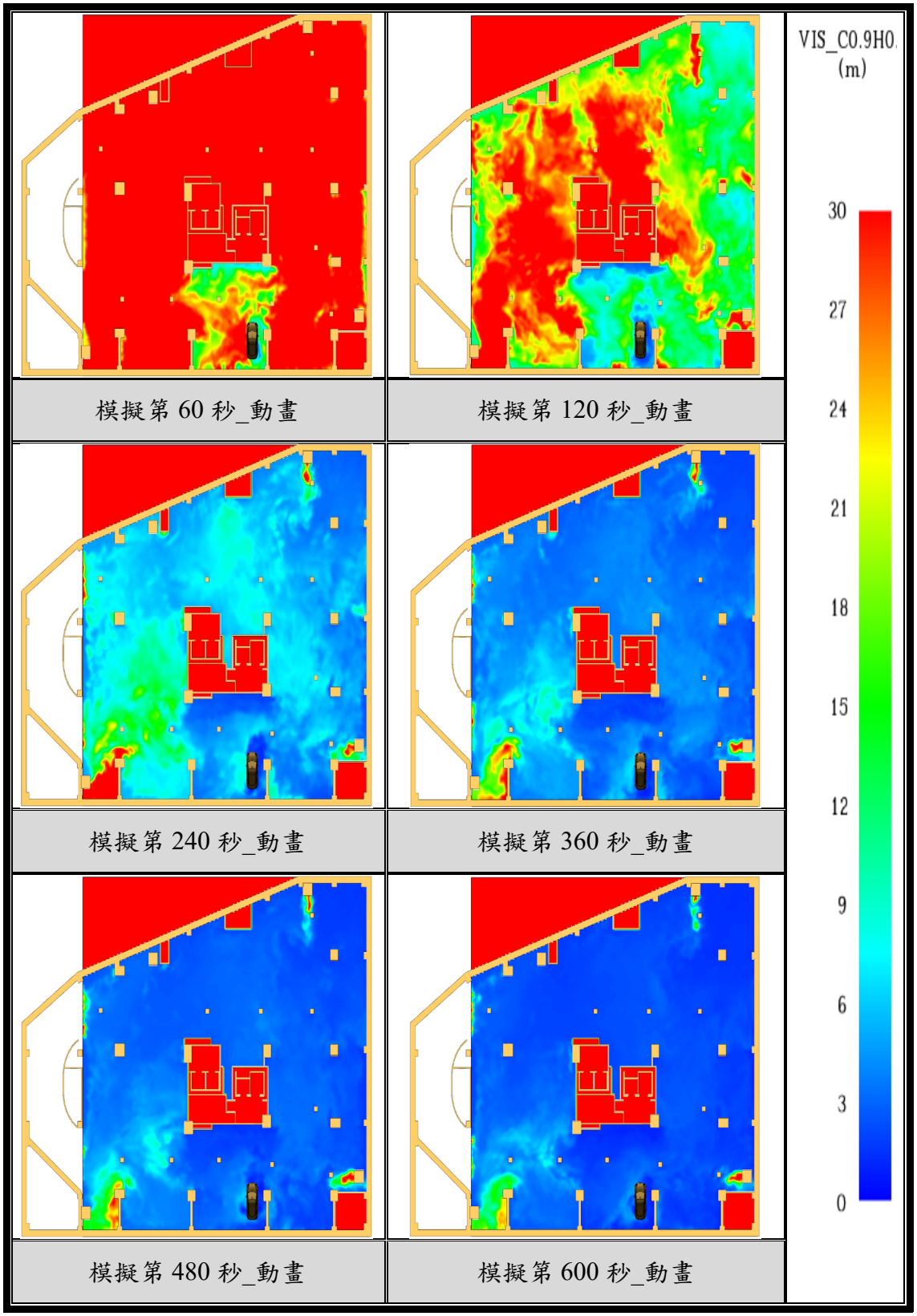


圖 3-44 情境四_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-43、圖 3-44 資料來源：本研究整理)

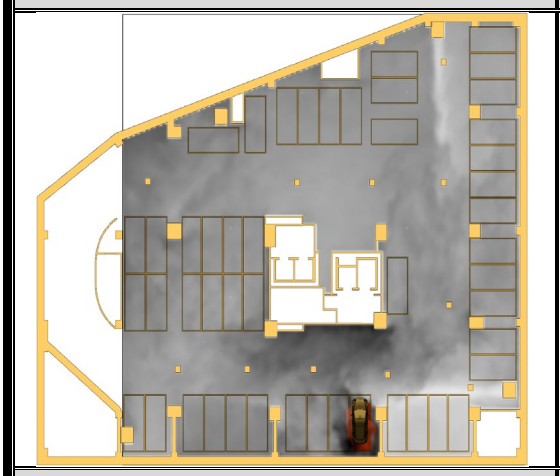
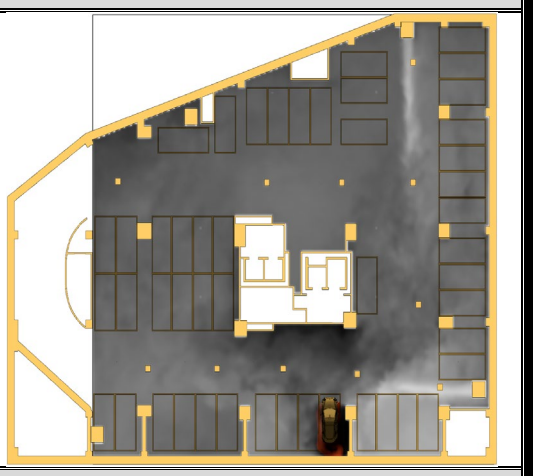
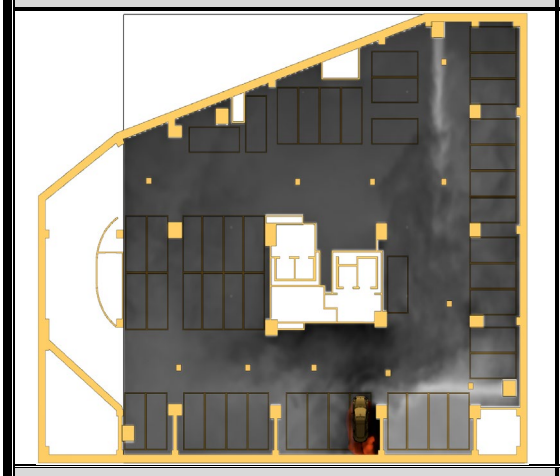
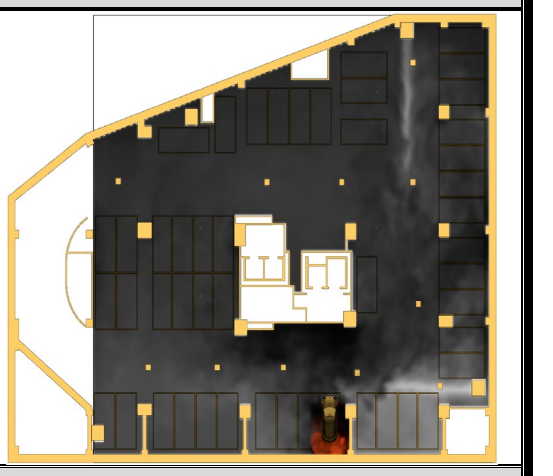
表 3-21 情境四之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境五【模擬動畫圖】

表 3-22 情境五動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境五【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-45、圖 3-46 發現，鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 366°C，；車道出入口最高溫度為 131°C。

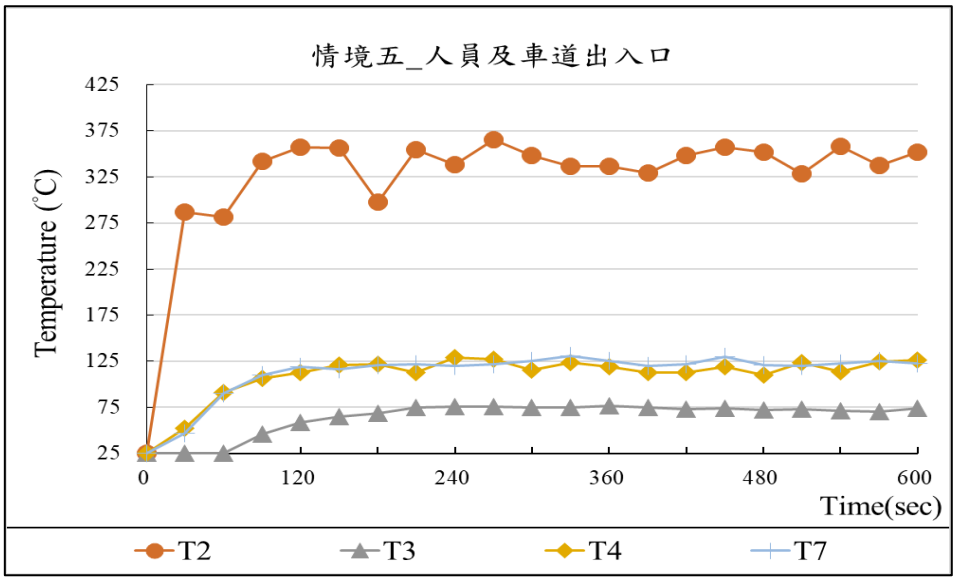


圖 3-45 情境五_溫度變化圖(人員及車道出入口)

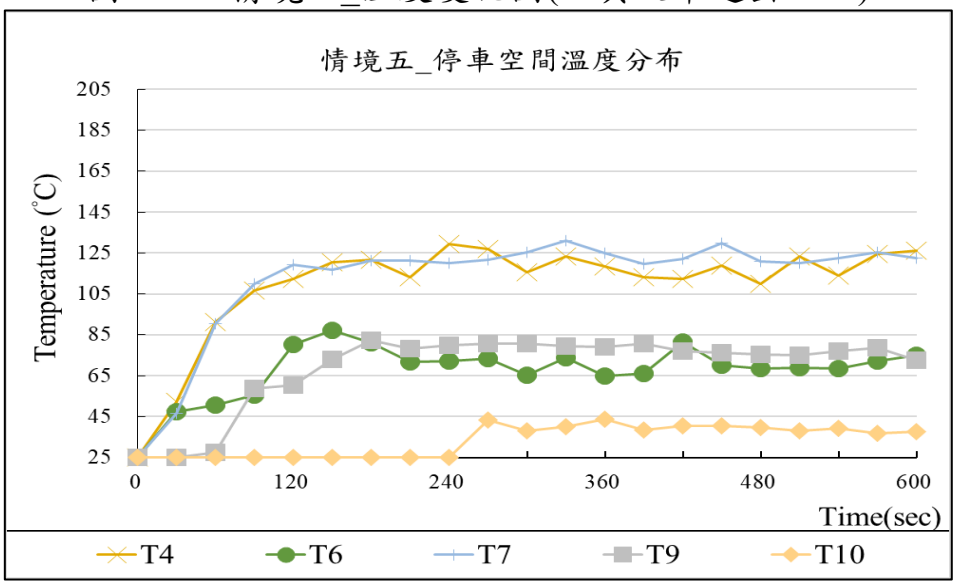
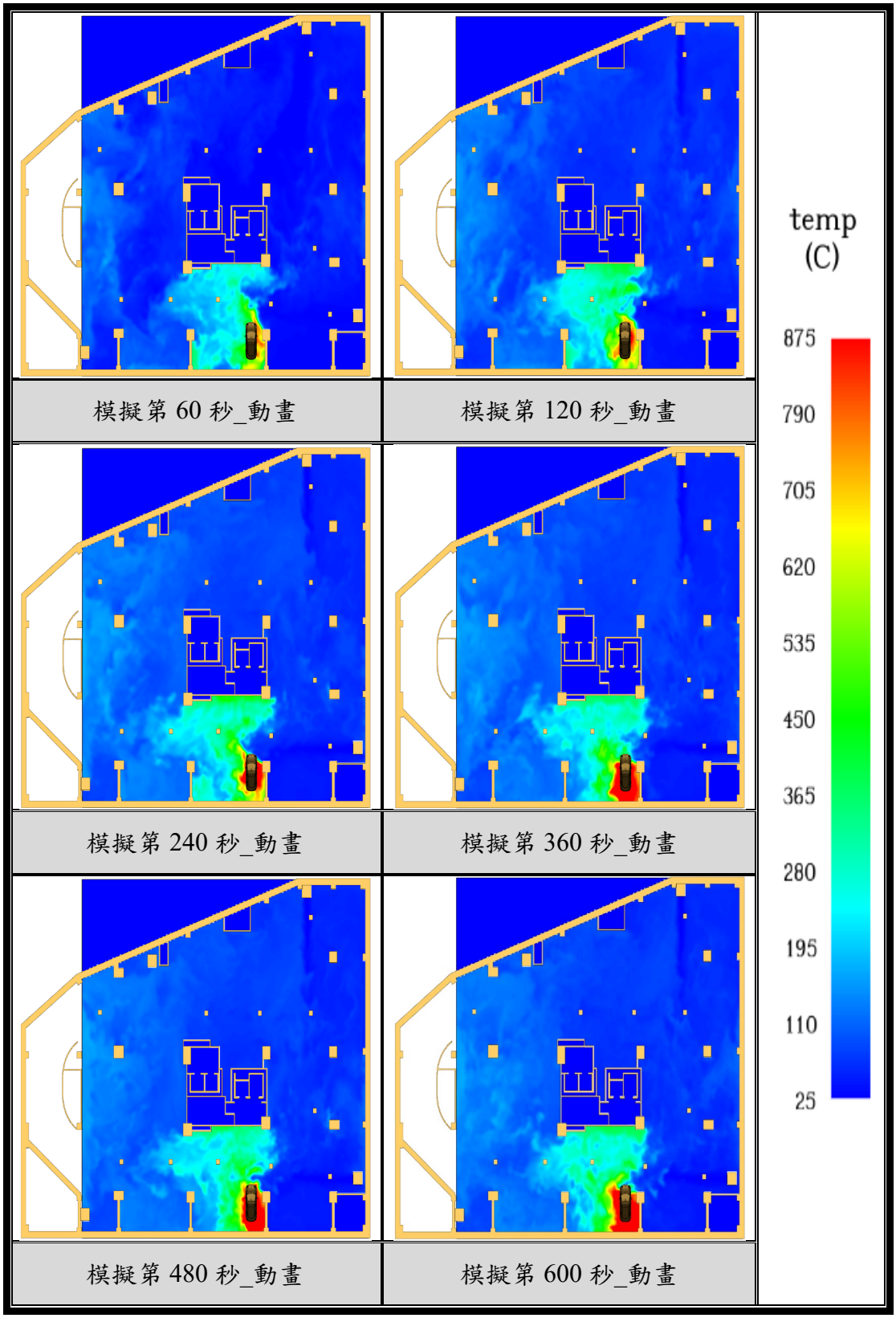


圖 3-46 情境五_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-45、圖 3-46 資料來源：本研究整理)

表 3-23 情境五之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境五【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-47、圖 3-48 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘左右即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

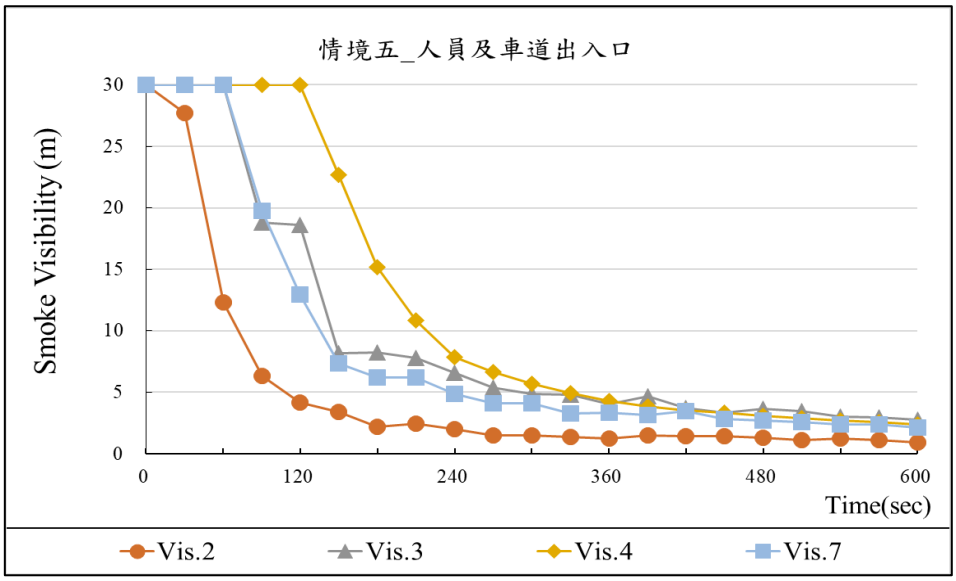


圖 3-47 情境五_能見度變化圖(人員及車道出入口)

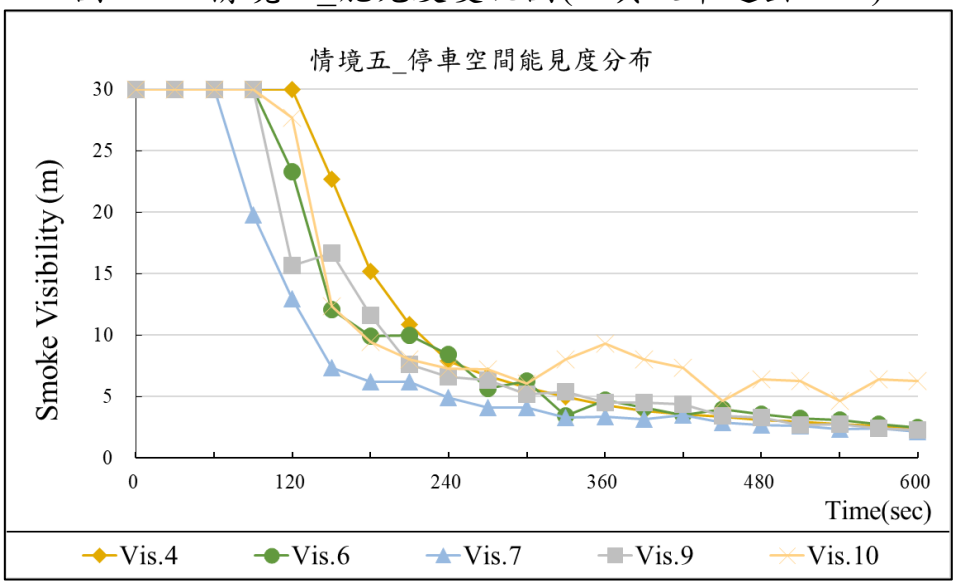
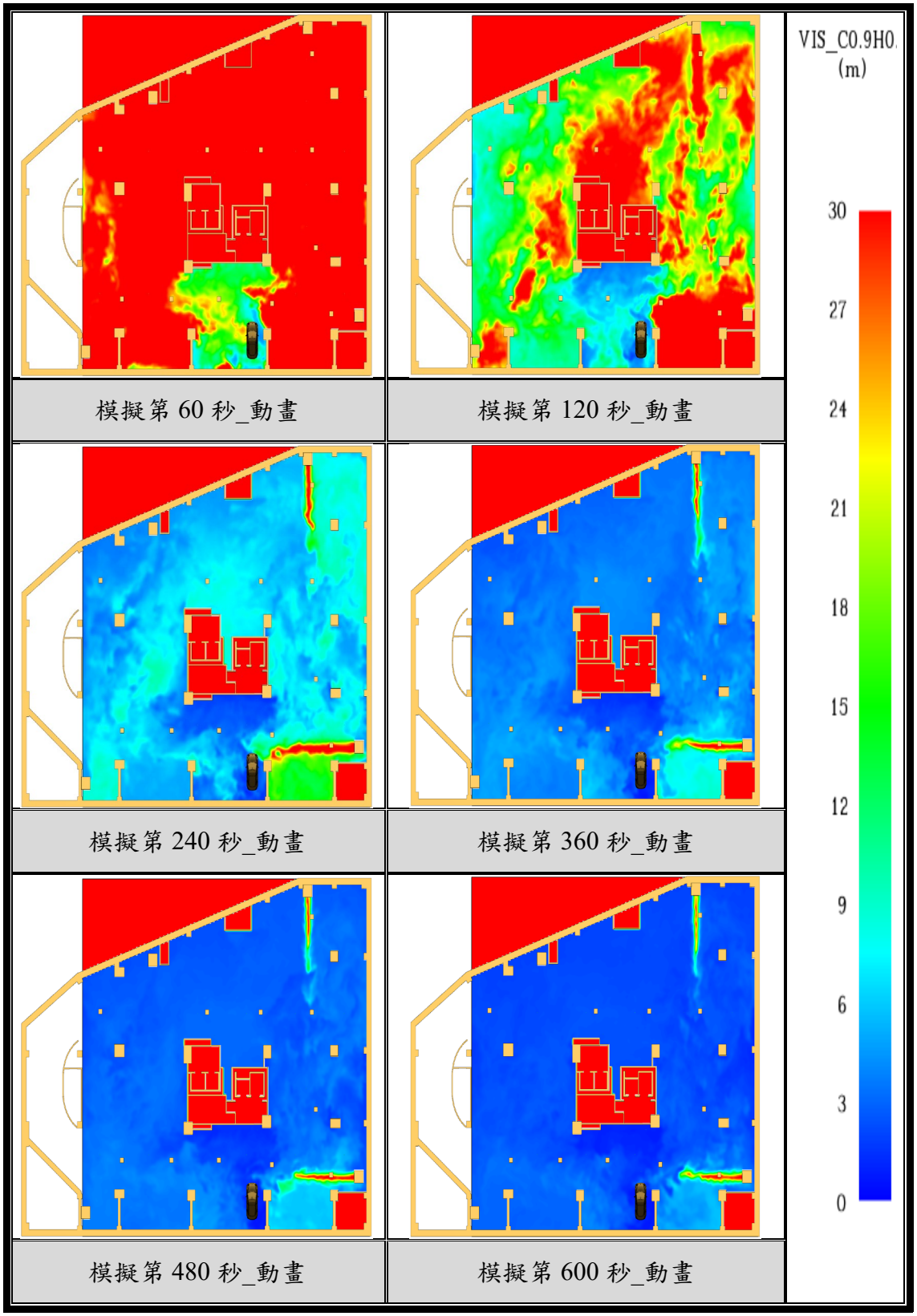


圖 3-48 情境五_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-47、圖 3-48 資料來源：本研究整理)

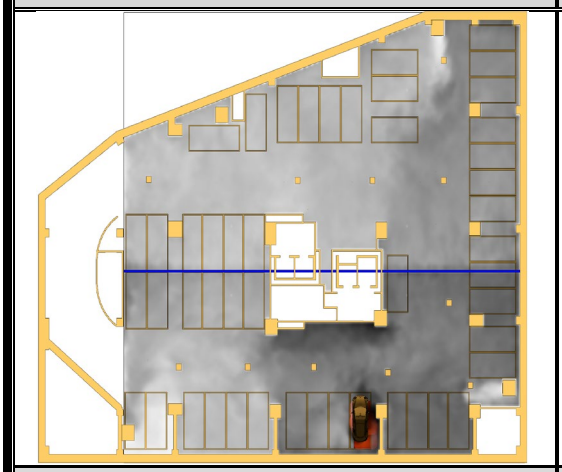
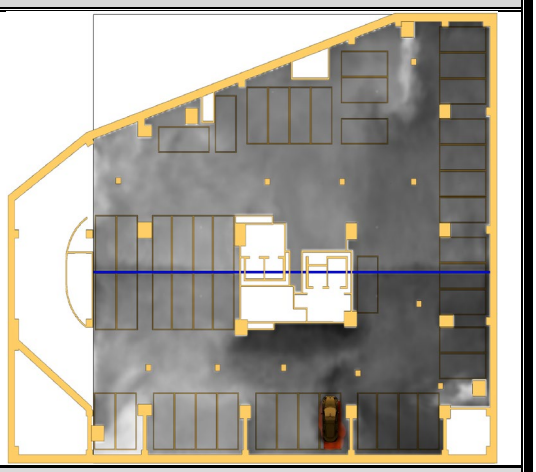
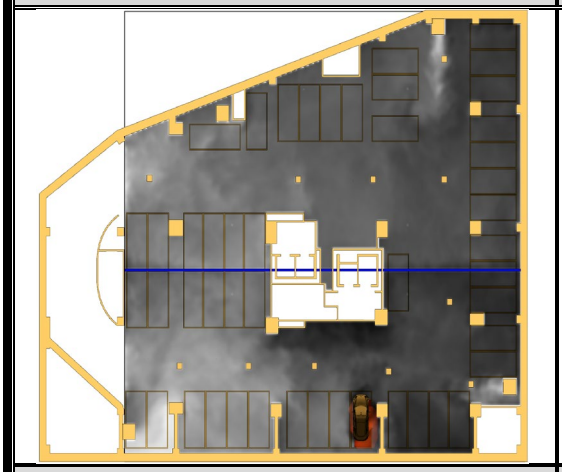
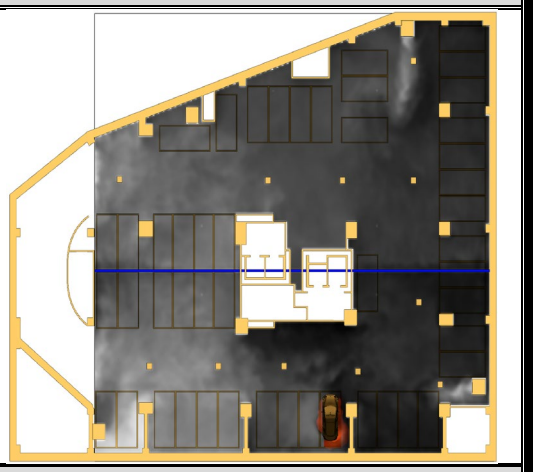
表 3-24 情境五之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境六【模擬動畫圖】

表 3-25 情境六之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境六【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-49、圖 3-50 發現，鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 368°C；車道出入口最高溫度為 105°C。

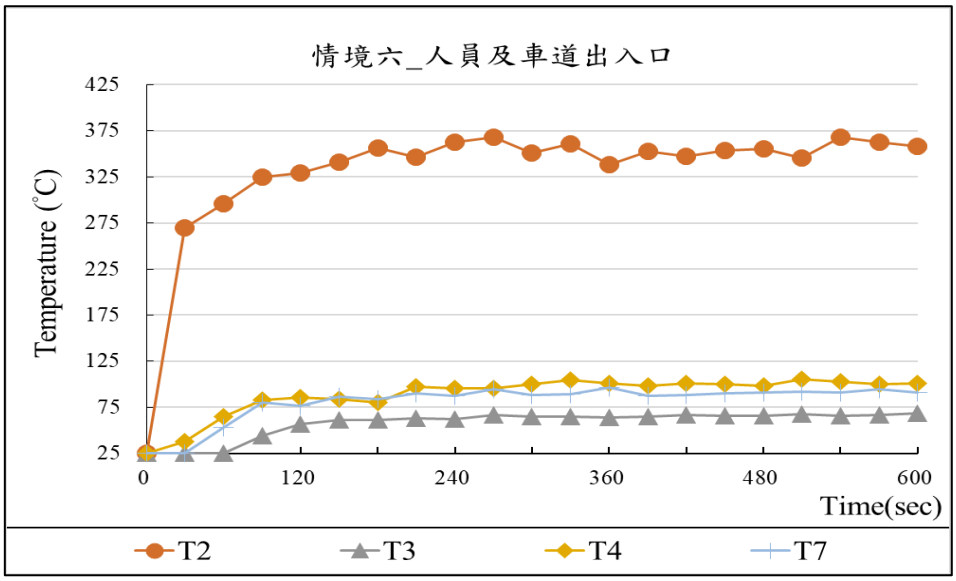


圖 3-49 情境六_溫度變化圖(人員及車道出入口)

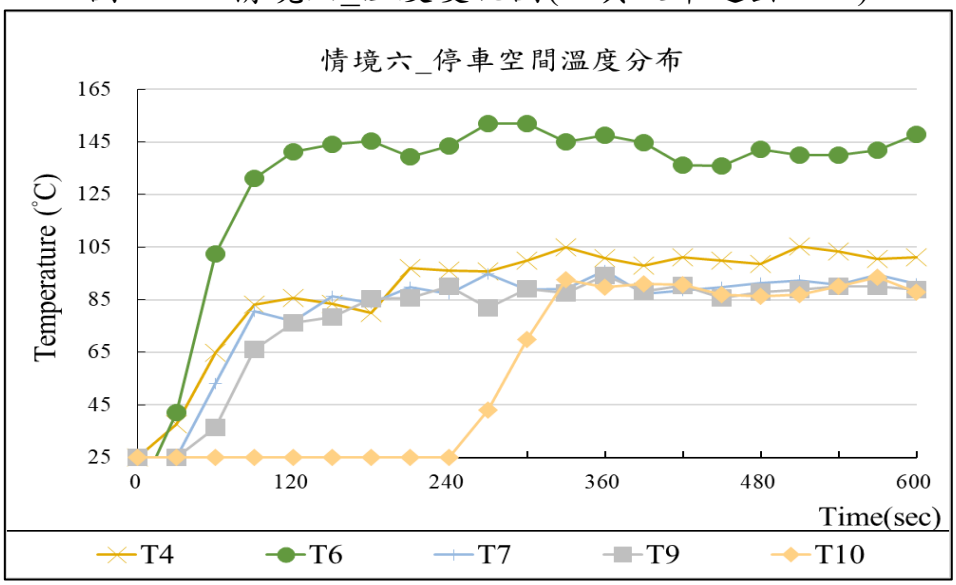
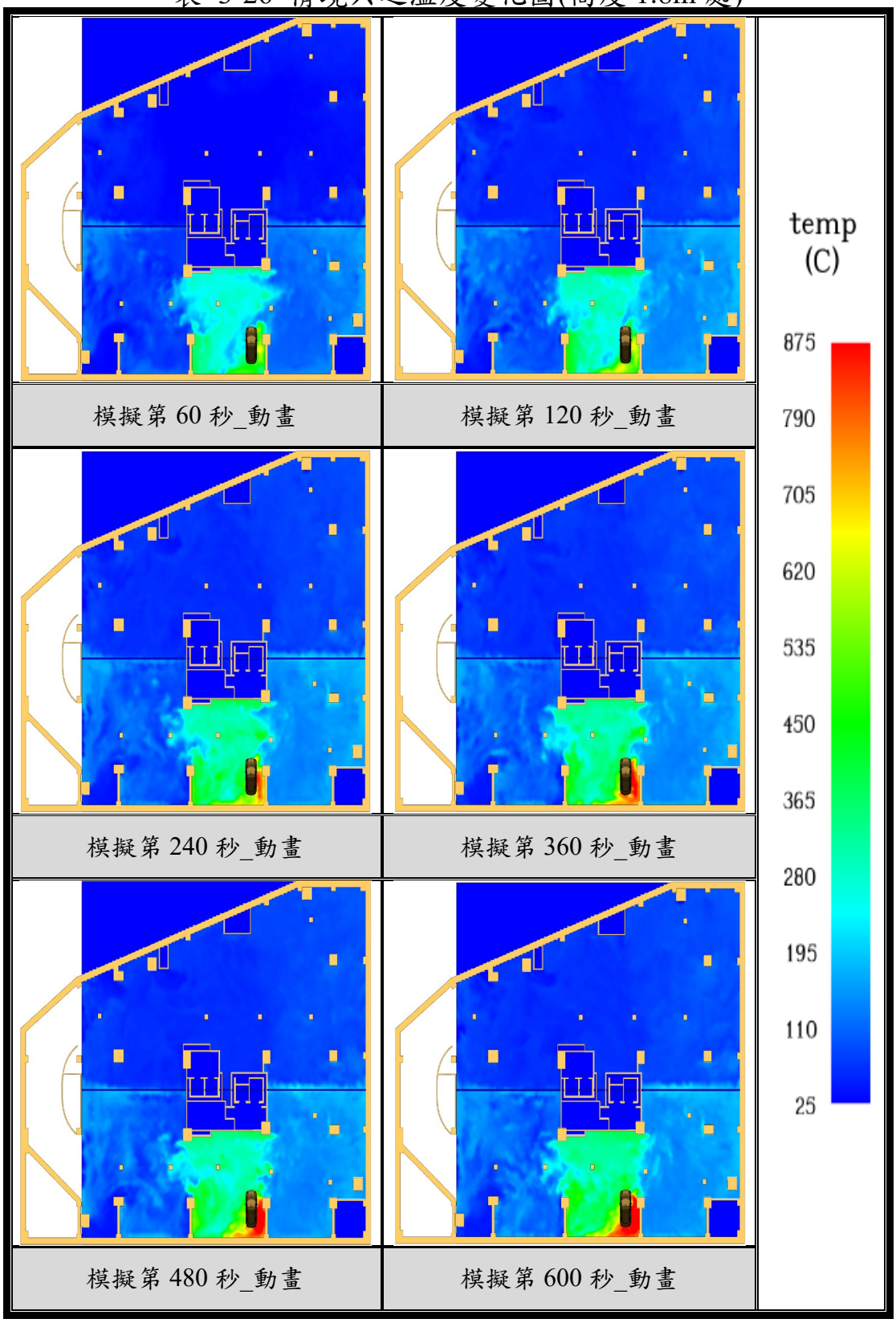


圖 3-50 情境六_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-49、圖 3-50 資料來源：本研究整理)

表 3-26 情境六之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境六【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-51、圖 3-52 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘左右即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

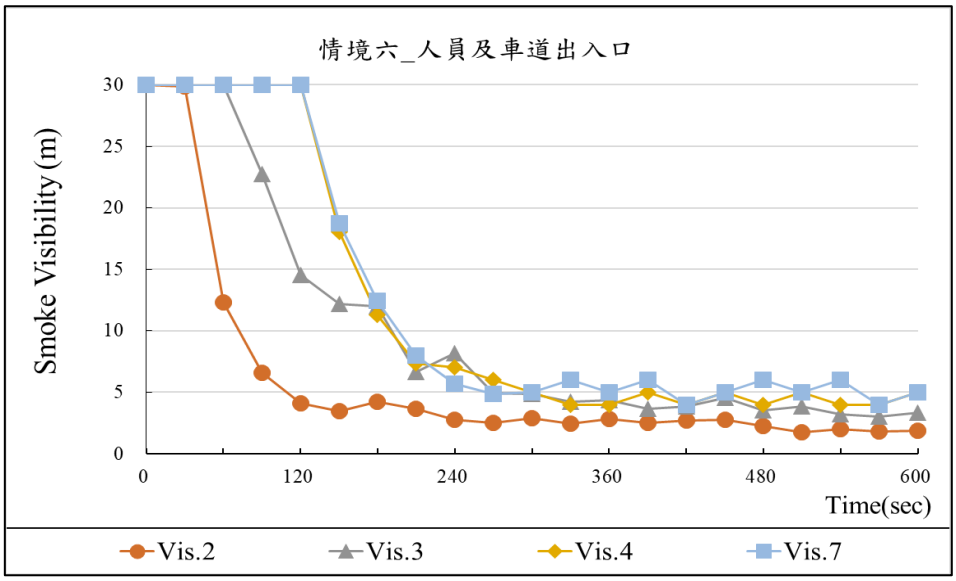


圖 3-51 情境六_能見度變化圖(人員及車道出入口)

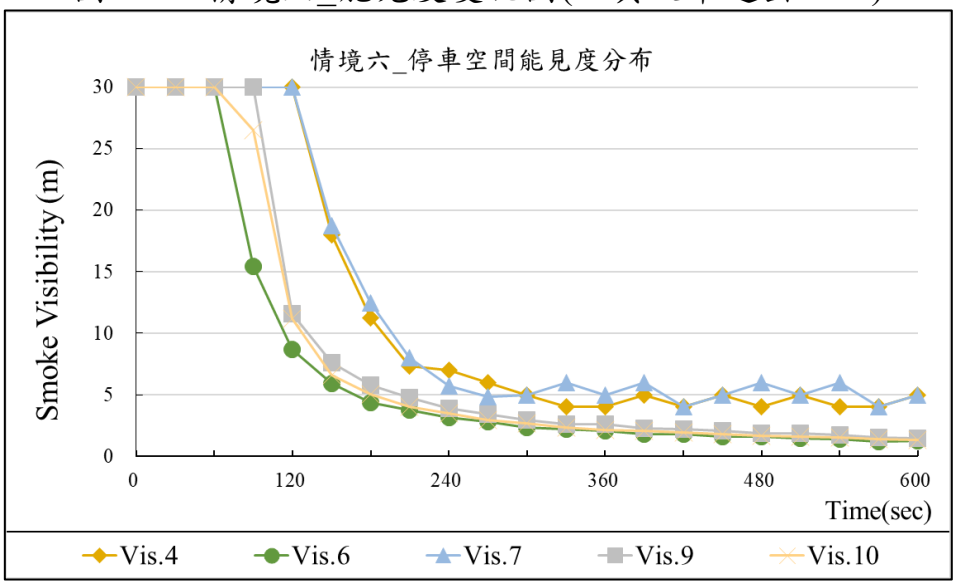
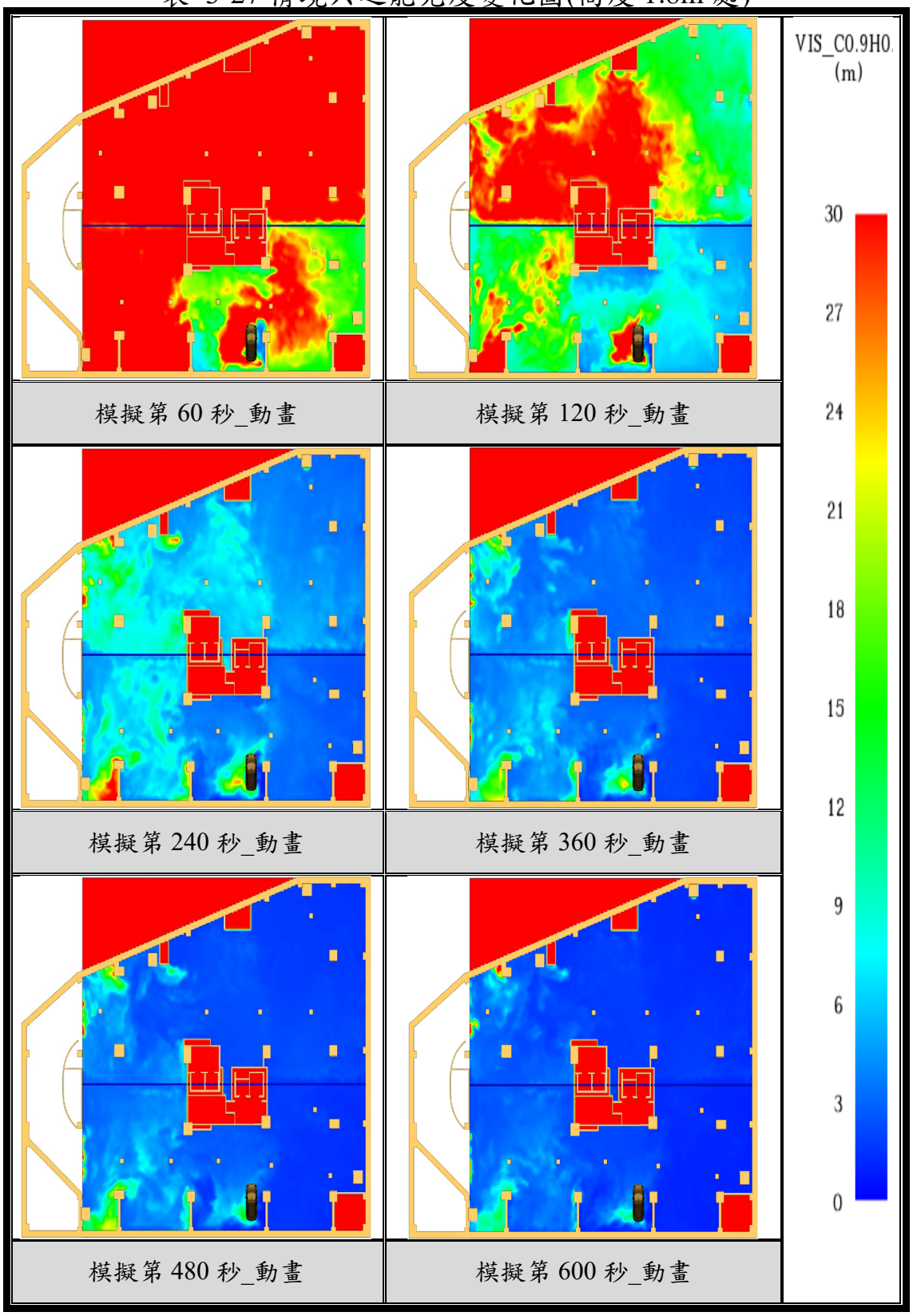


圖 3-52 情境六_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-51、圖 3-52 資料來源：本研究整理)

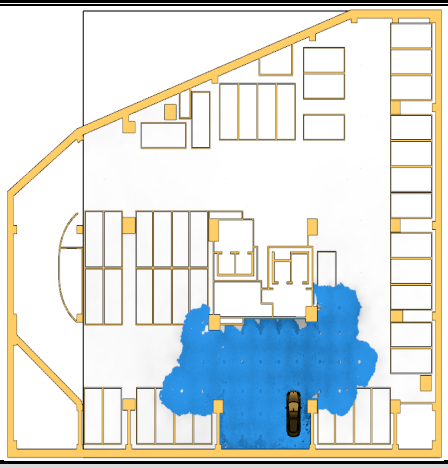
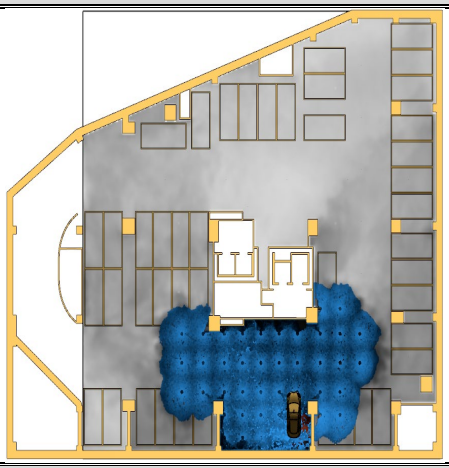
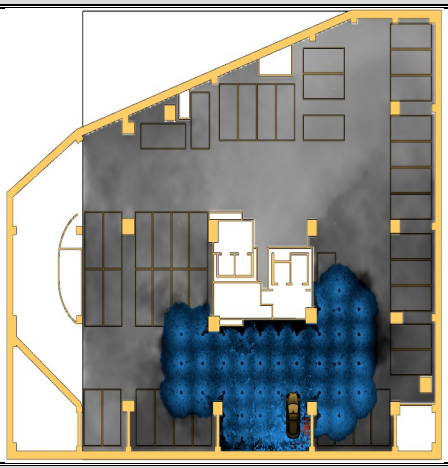
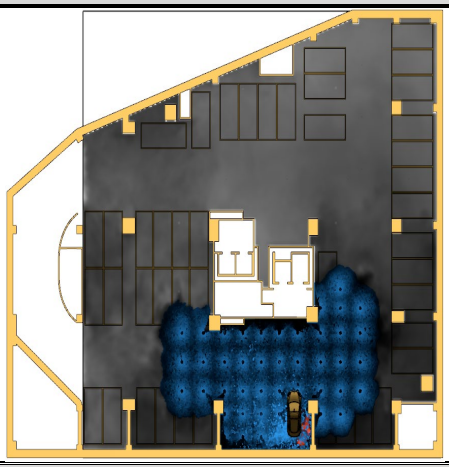
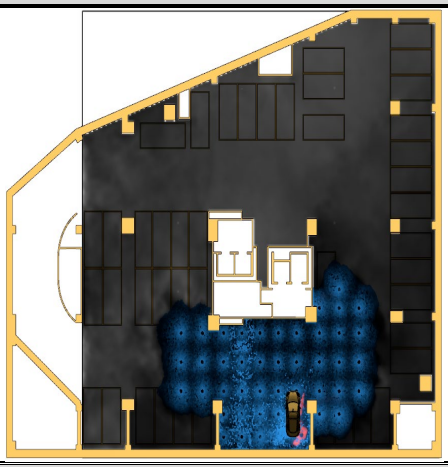
表 3-27 情境六之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境七_【模擬動畫圖】

表 3-28 情境七之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境七_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-53、圖 3-54 發現，其中鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 128°C；車道出入口最高溫度為 34°C。

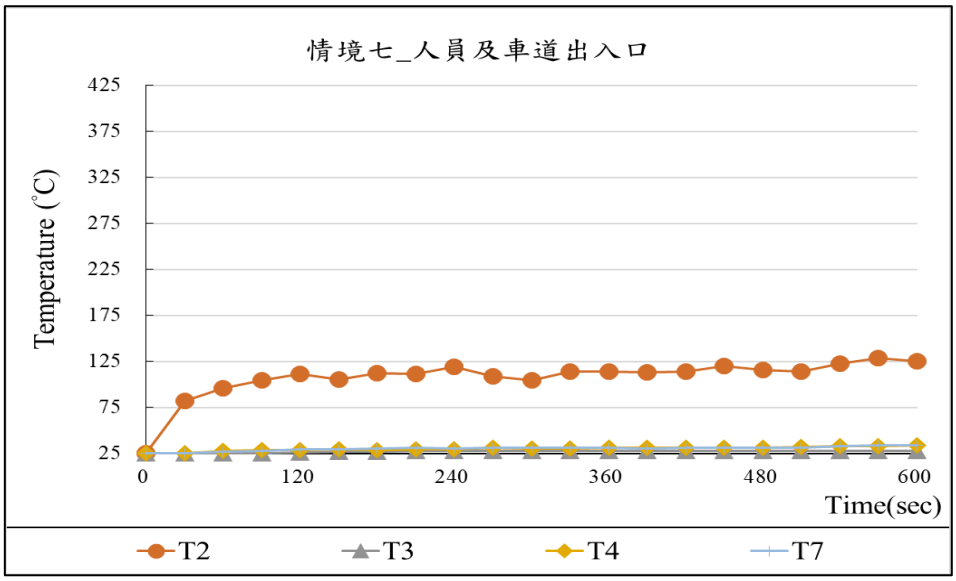


圖 3-53 情境七_溫度變化圖(人員及車道出入口)

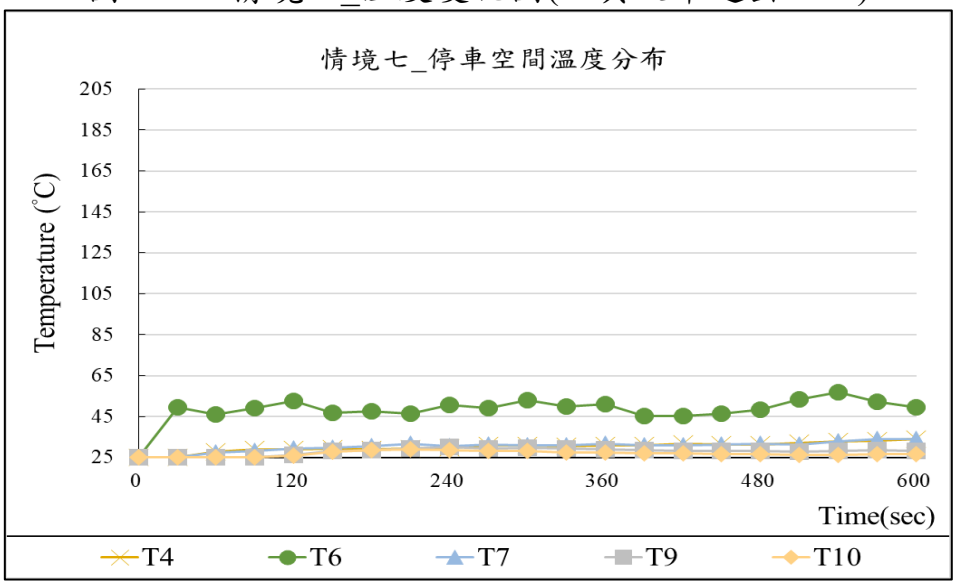
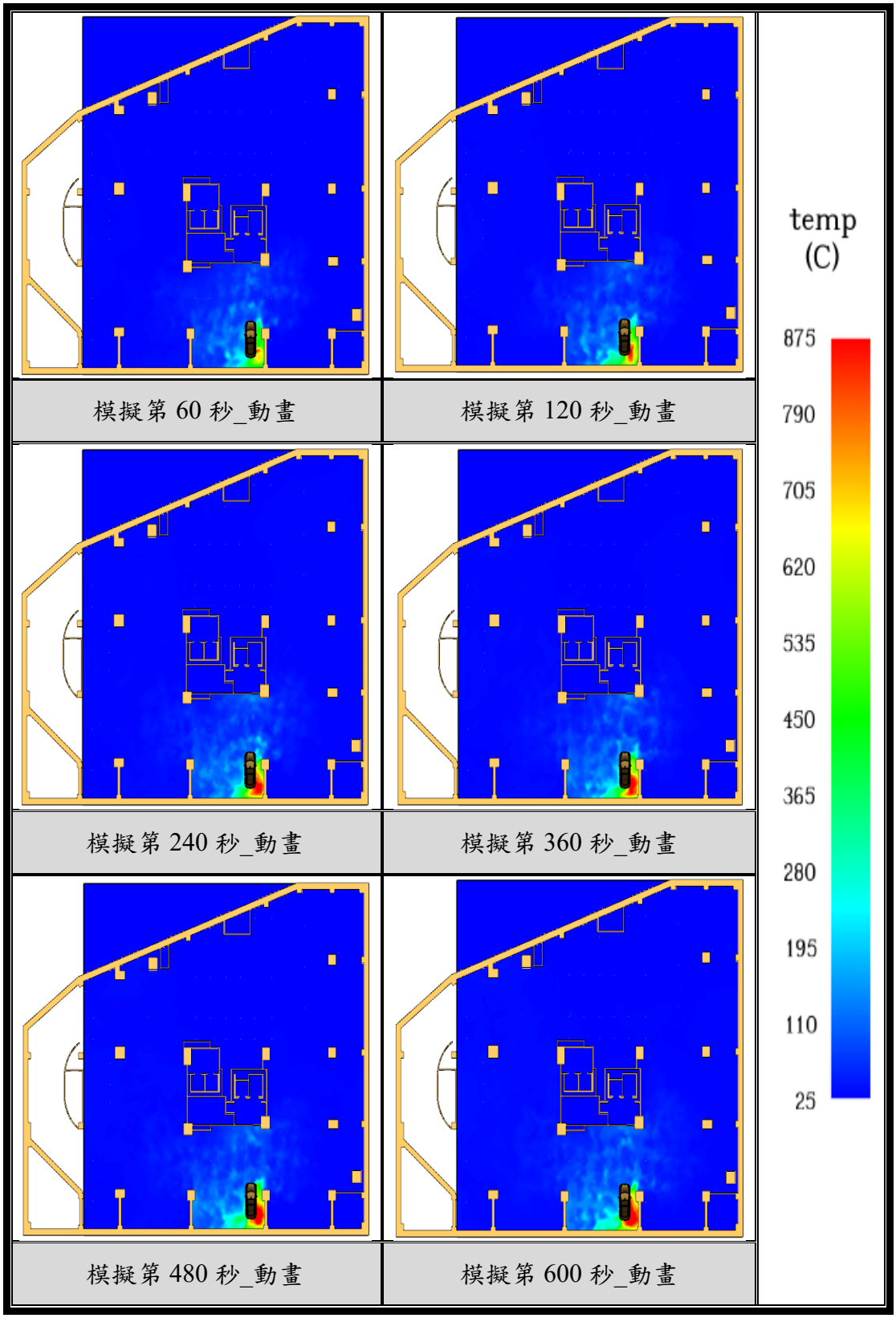


圖 3-54 情境七_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-53、圖 3-54 資料來源：本研究整理)

表 3-29 情境七之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境七_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-55、圖 3-56 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘至 2 分鐘間，即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

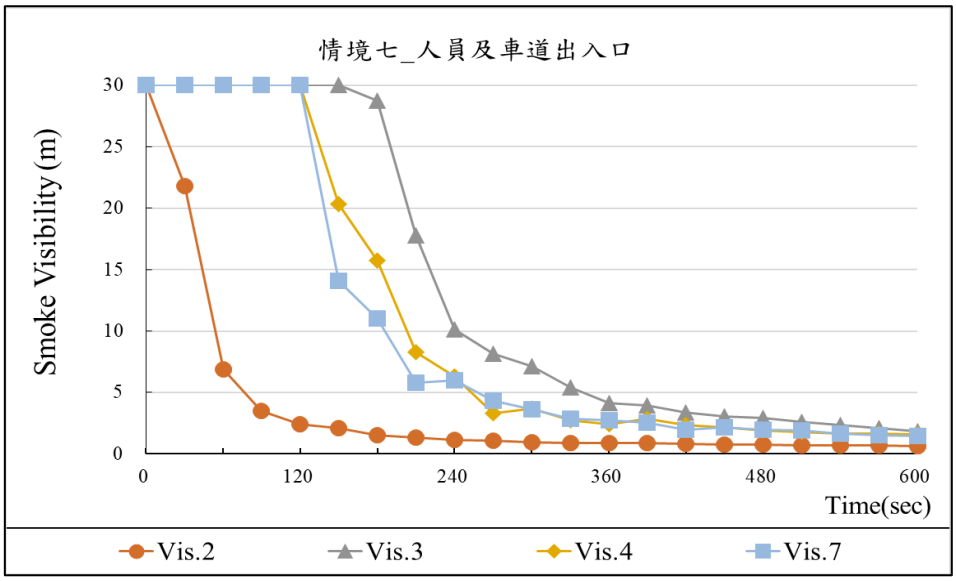


圖 3-55 情境七_能見度變化圖(人員及車道出入口)

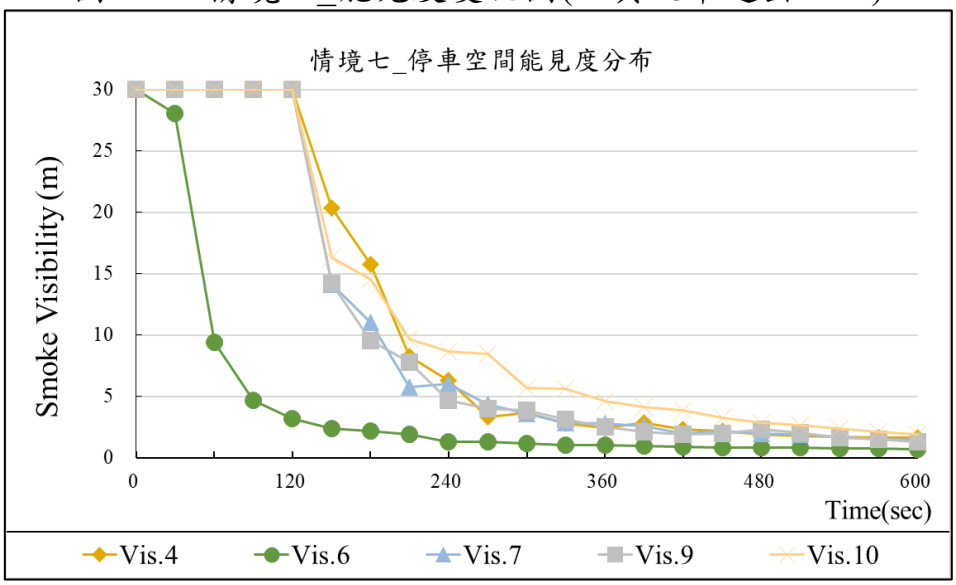
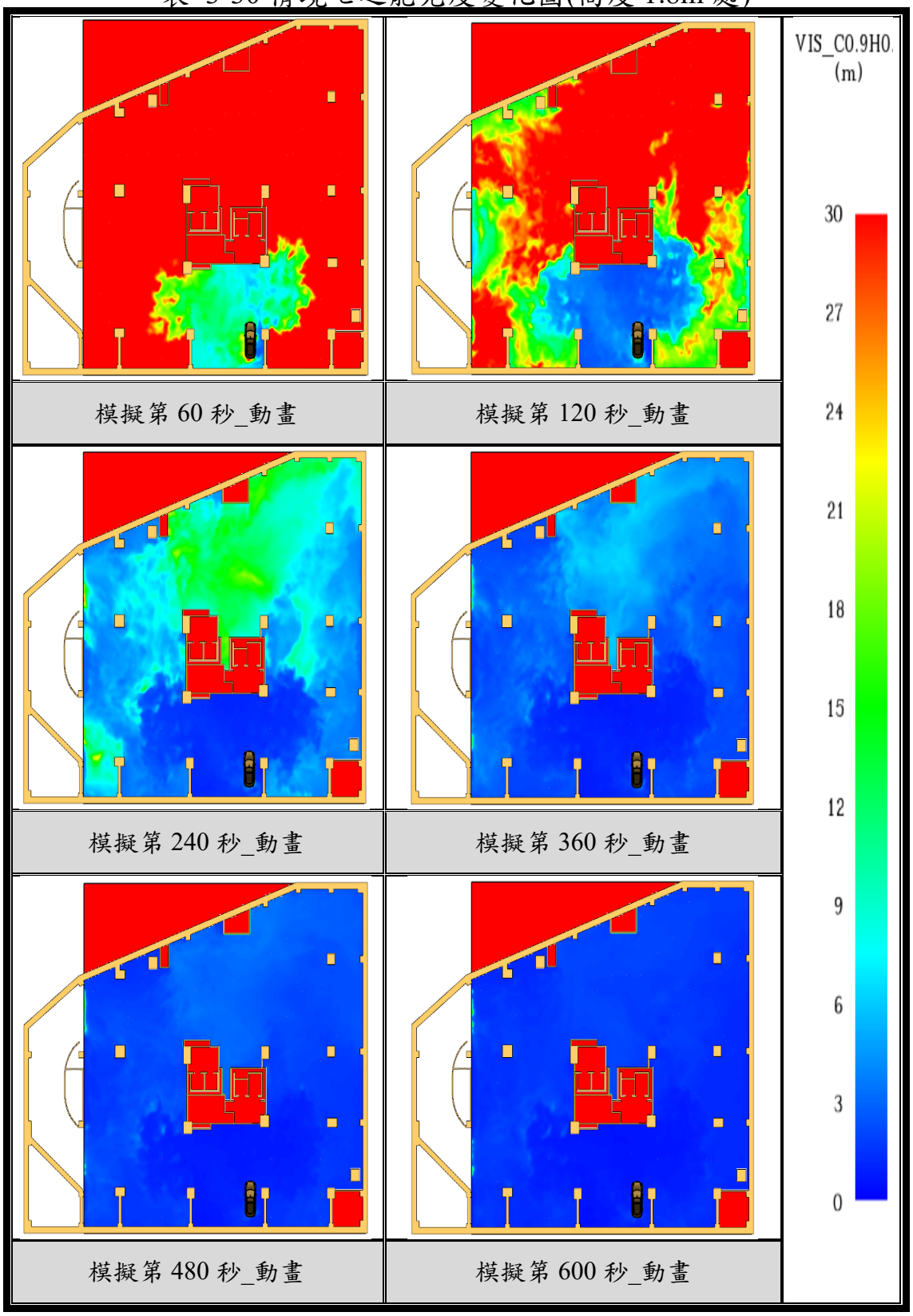


圖 3-56 情境七_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-55、圖 3-56 資料來源：本研究整理)

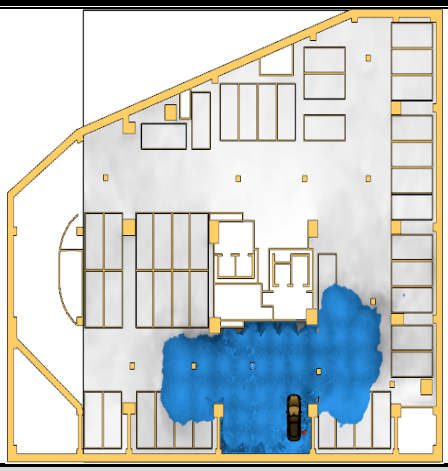
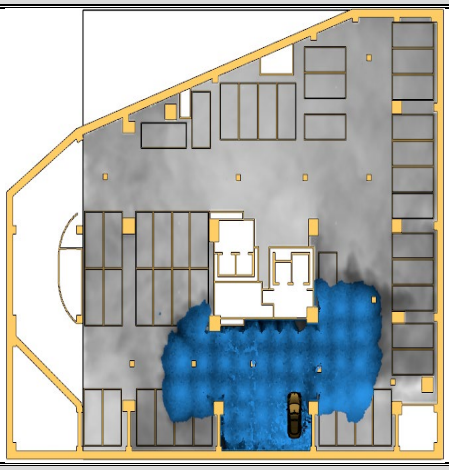
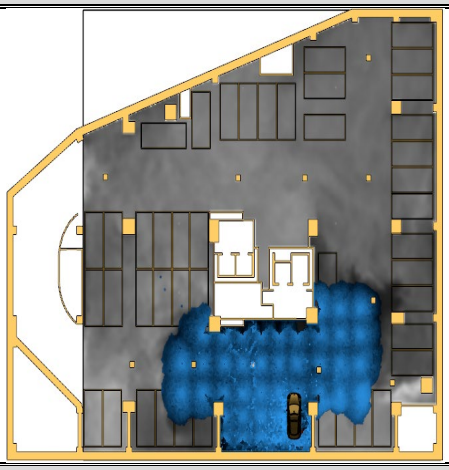
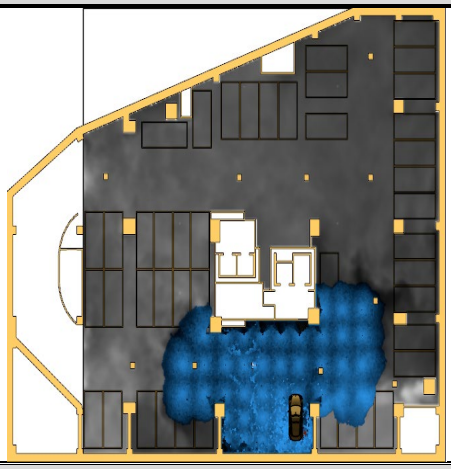
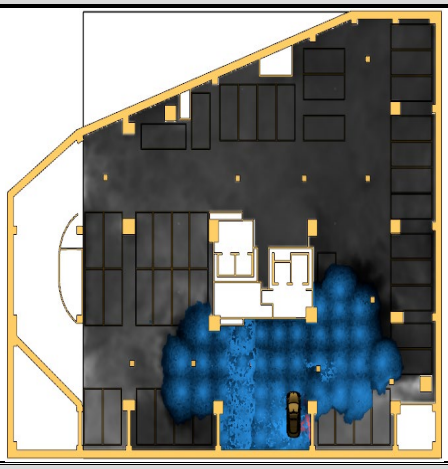
表 3-30 情境七之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境八_【模擬動畫圖】

表 3-31 情境八之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境八_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-57、圖 3-58 發現，其中鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 127°C；車道出入口最高溫度為 33°C。

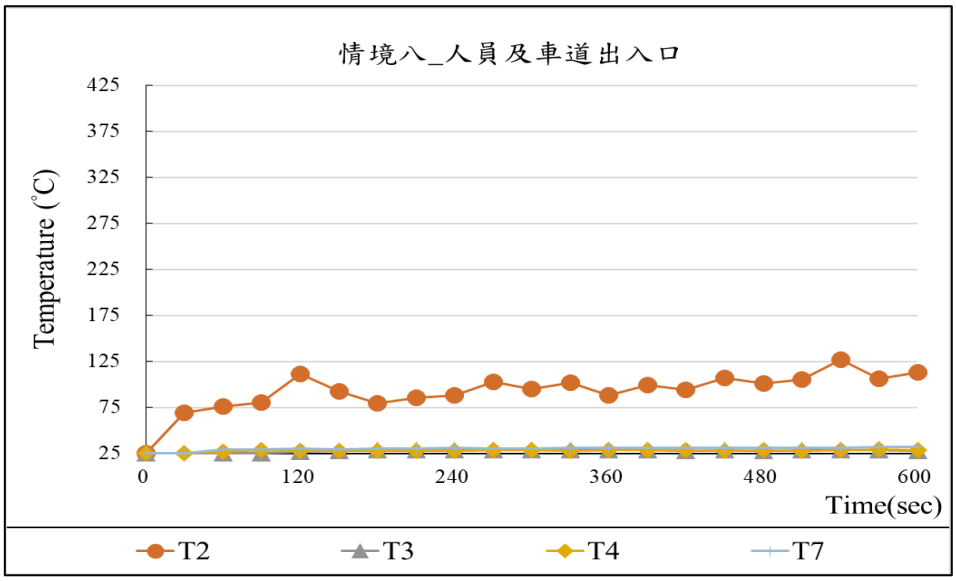


圖 3-57 情境八_溫度變化圖(人員及車道出入口)

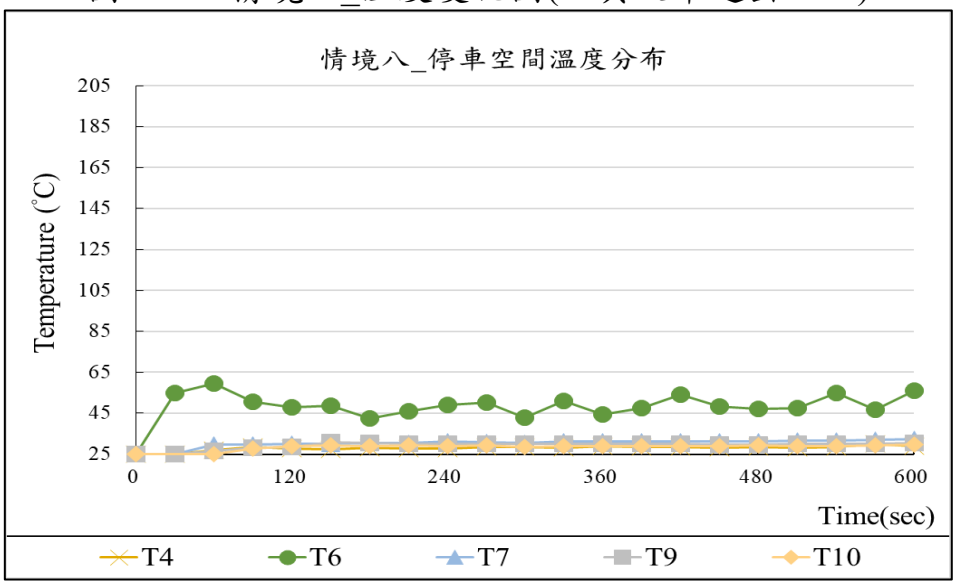
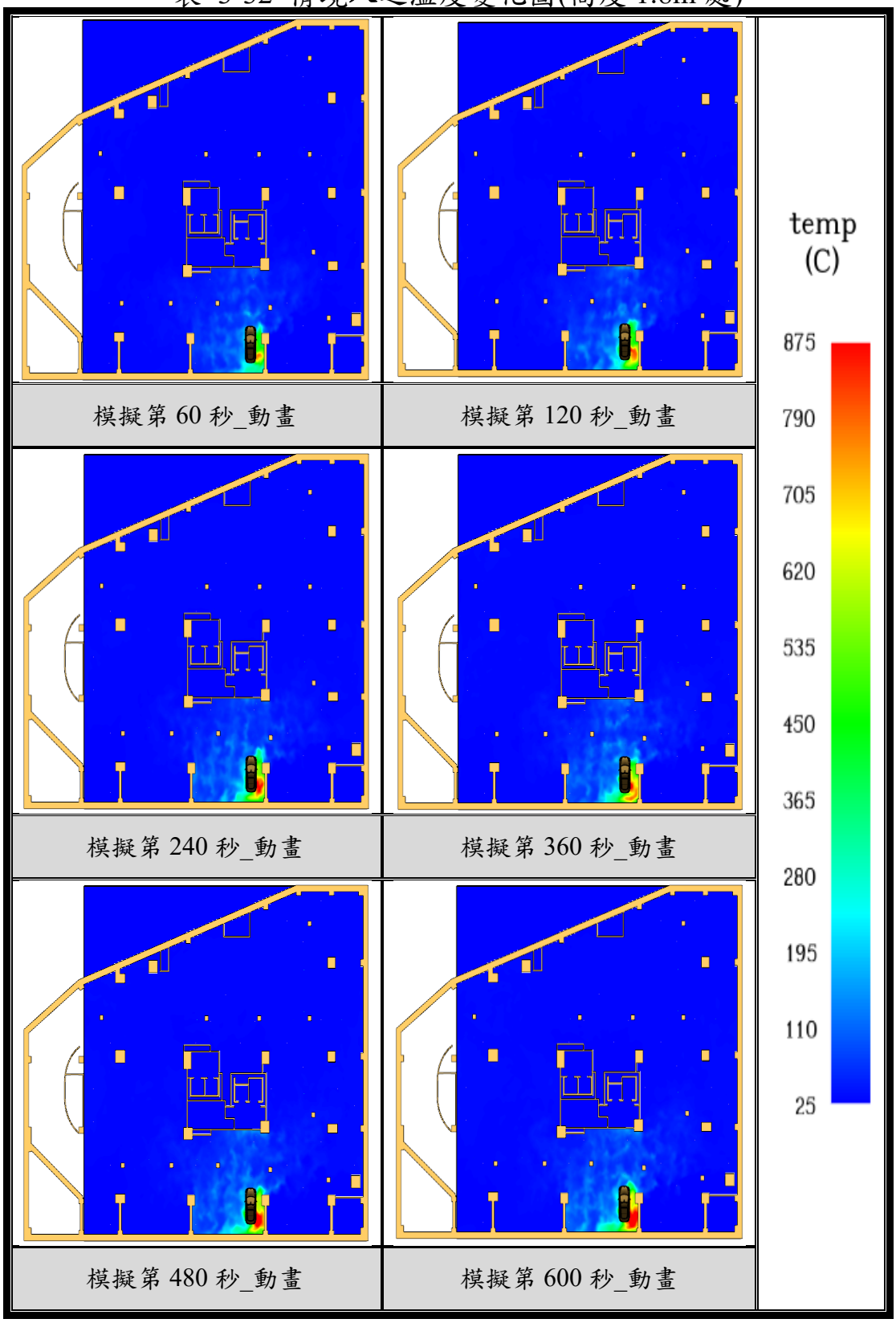


圖 3-58 情境八_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-57、圖 3-58 資料來源：本研究整理)

表 3-32 情境八之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境八_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-59、圖 3-60 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘至 2 分鐘間，即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

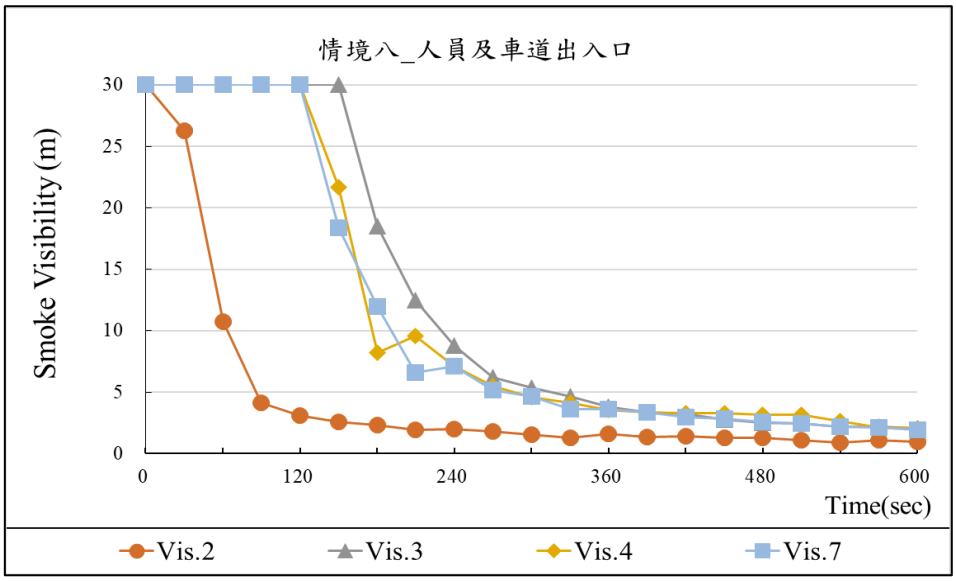


圖 3-59 情境八_能見度變化圖(人員及車道出入口)

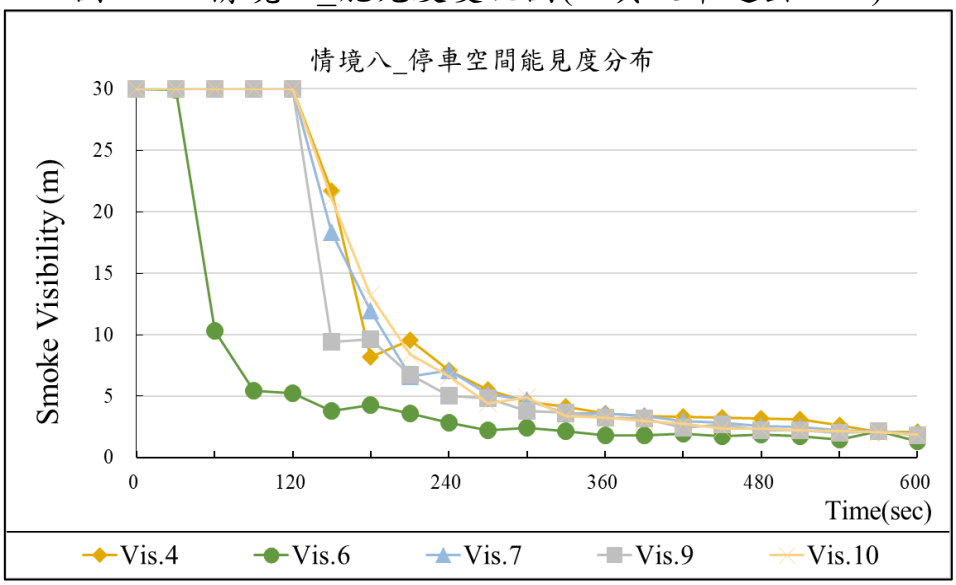
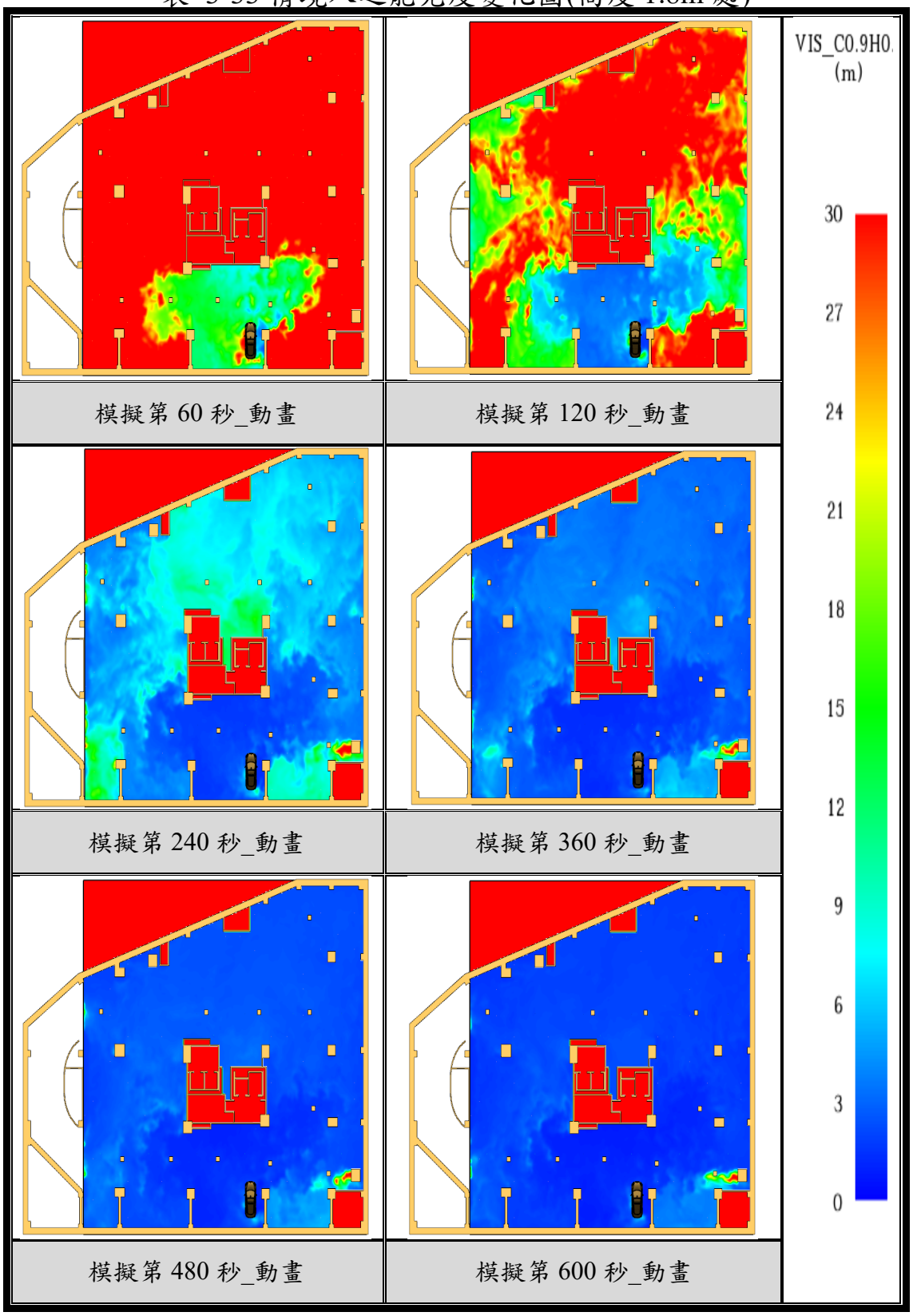


圖 3-60 情境八_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-59、圖 3-60 資料來源：本研究整理)

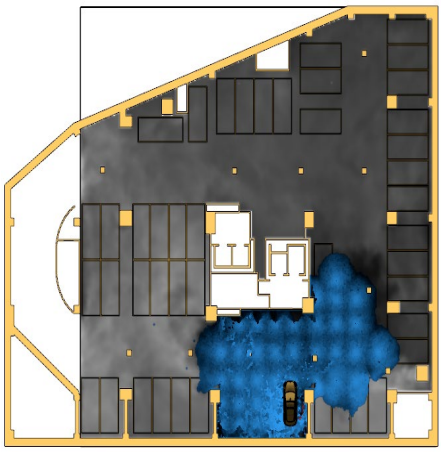
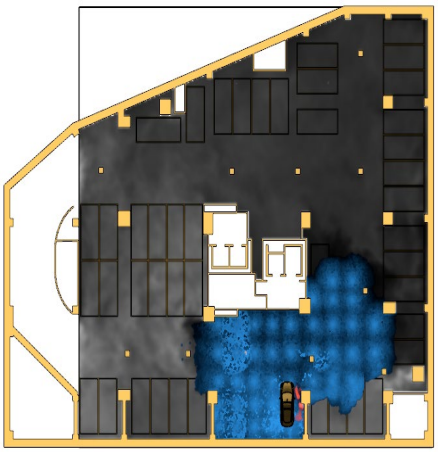
表 3-33 情境八之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境九_【模擬動畫圖】

表 3-34 情境九之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境九_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-61、圖 3-62 發現，其中鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 126°C；車道出入口最高溫度為 40°C。

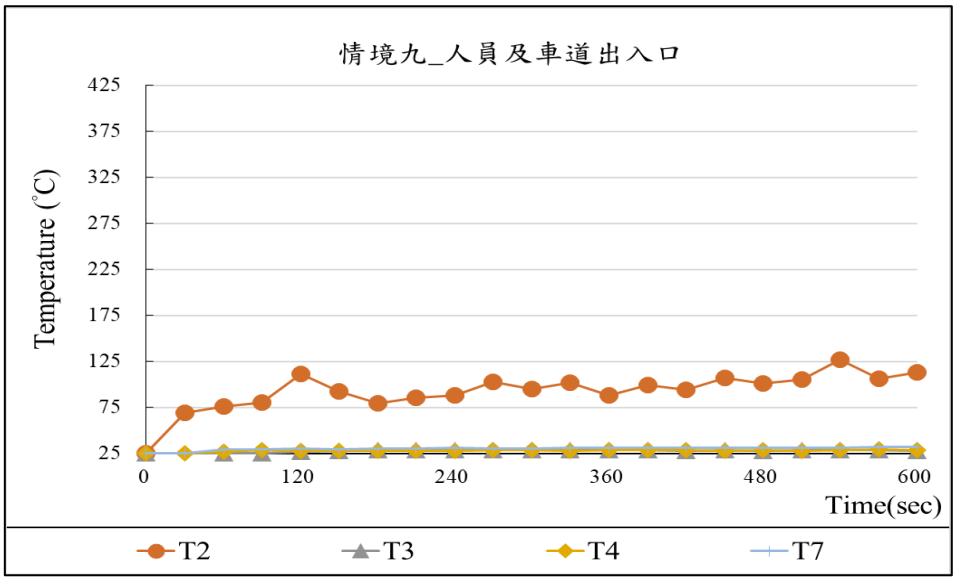


圖 3-61 情境九_溫度變化圖(人員及車道出入口)

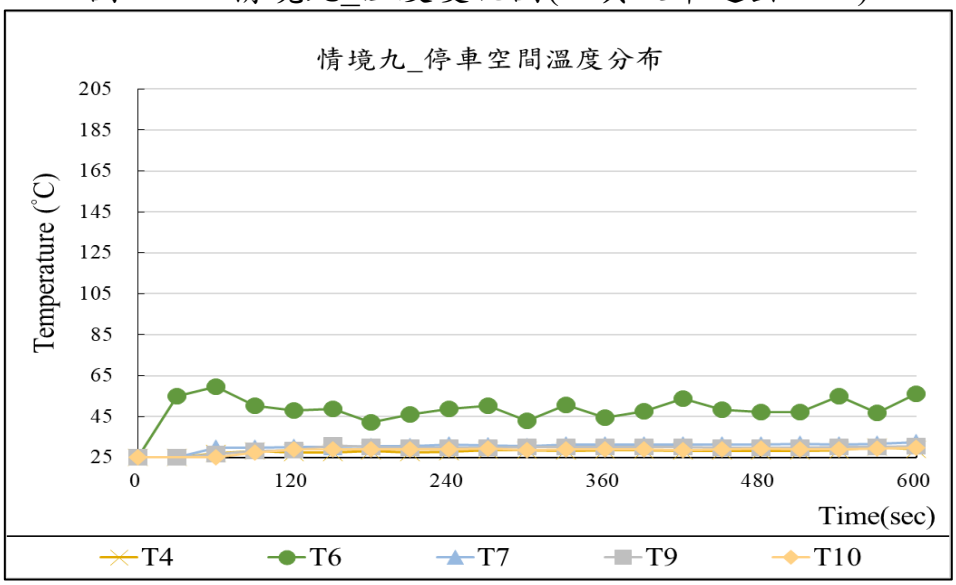
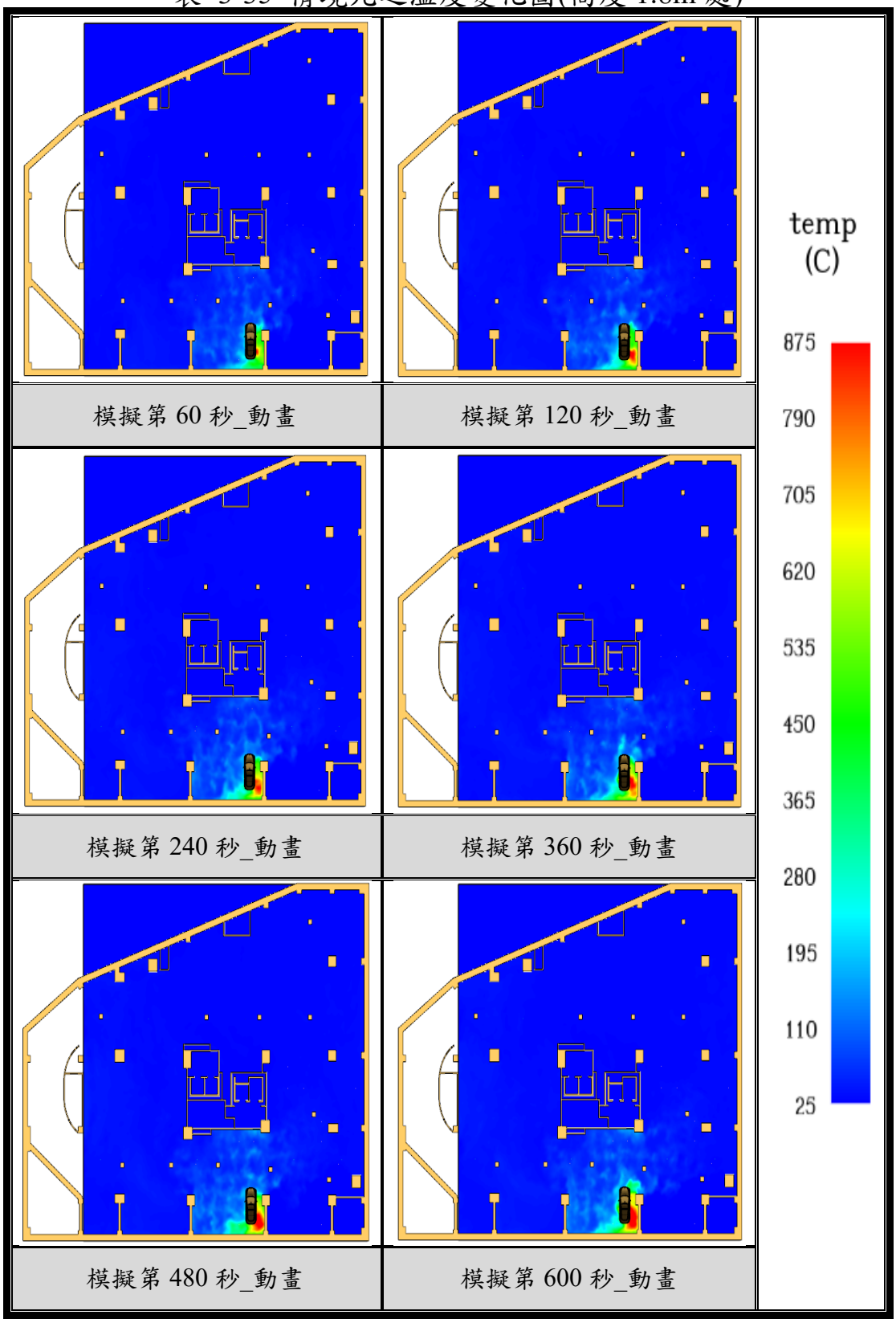


圖 3-62 情境九_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-61、圖 3-62 資料來源：本研究整理)

表 3-35 情境九之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境九_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-63、圖 3-64 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘至 2 分鐘間，即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

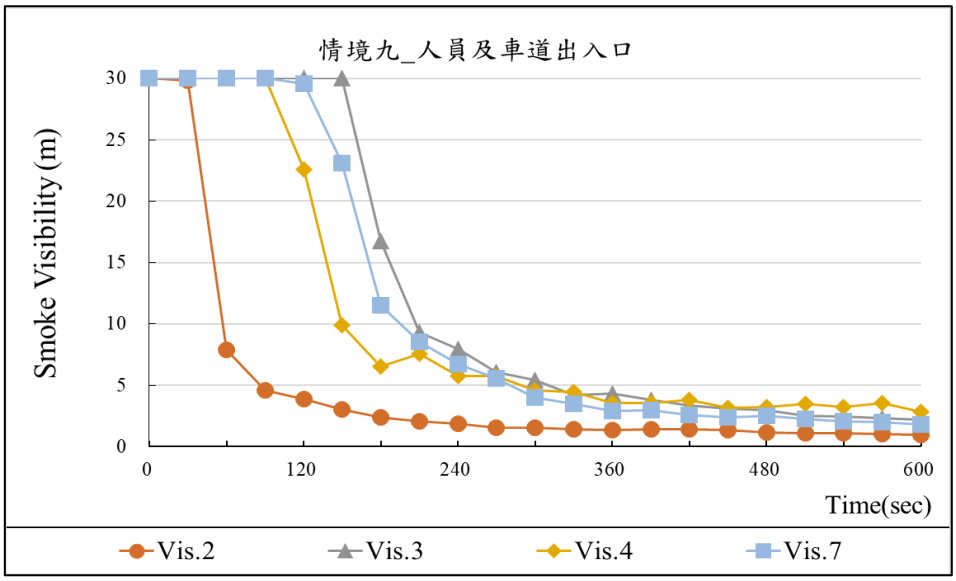


圖 3-63 情境九_能見度變化圖(人員及車道出入口)

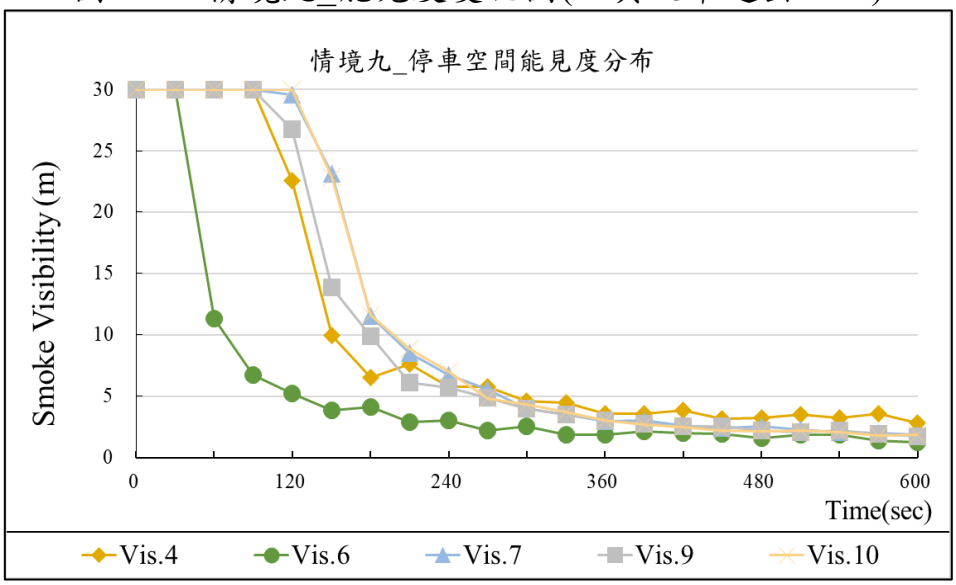
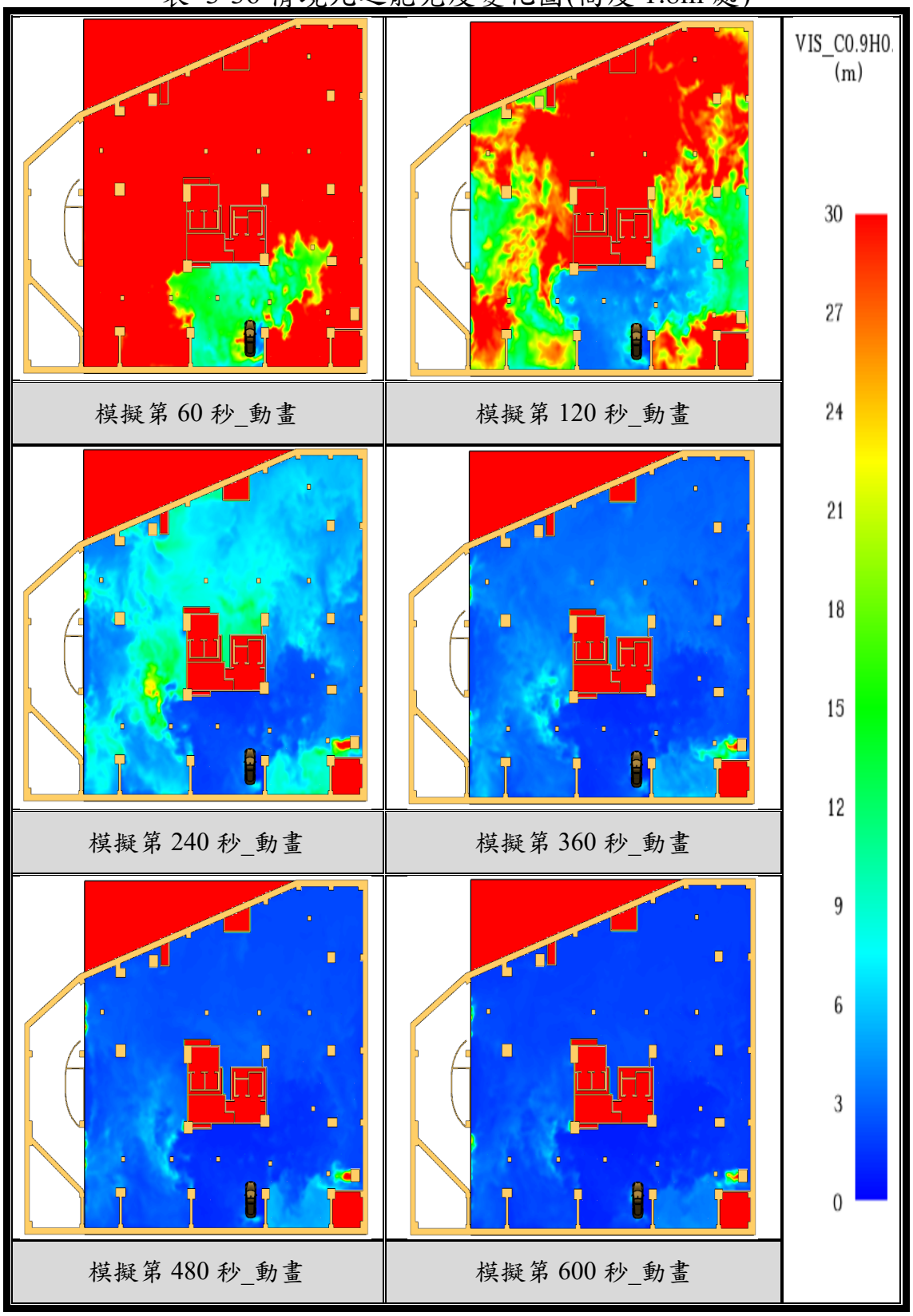


圖 3-64 情境九_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-63、圖 3-64 資料來源：本研究整理)

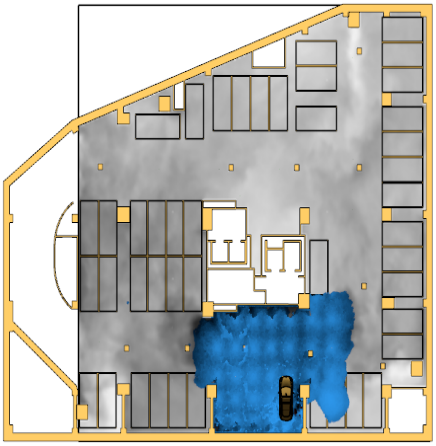
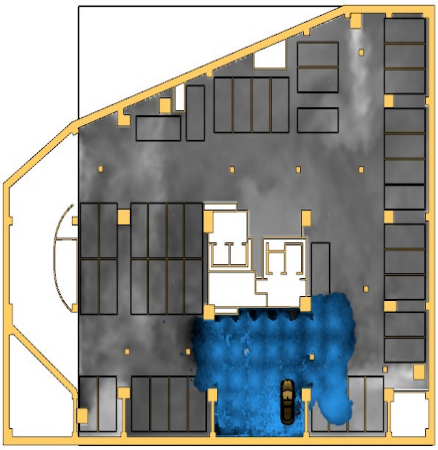
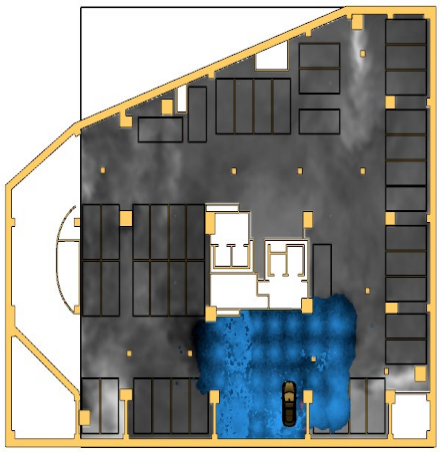
表 3-36 情境九之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境十_【模擬動畫圖】

表 3-37 情境十之動畫表

	
模擬第 60 秒_動畫	模擬第 120 秒_動畫
	
模擬第 240 秒_動畫	模擬第 360 秒_動畫
	
模擬第 480 秒_動畫	模擬第 600 秒_動畫

(資料來源：本研究整理)

情境十_【溫度結果】

人員生存極限溫度(Breathing level temperature)約為 131°C，但當室內溫度高於 60°C 時，人員便難以忍受且易造成逃生行為遲緩。由圖 3-65、圖 3-66 發現，其中鄰近火源 1m 範圍內溫度最高值為 120°C；車道出入口最高溫度為 38°C。

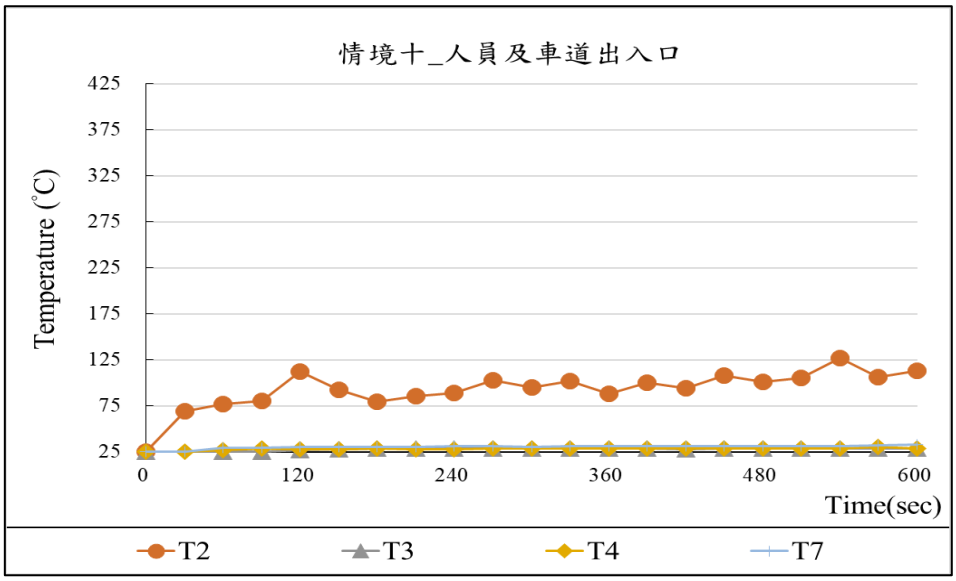


圖 3-65 情境十_溫度變化圖(人員及車道出入口)

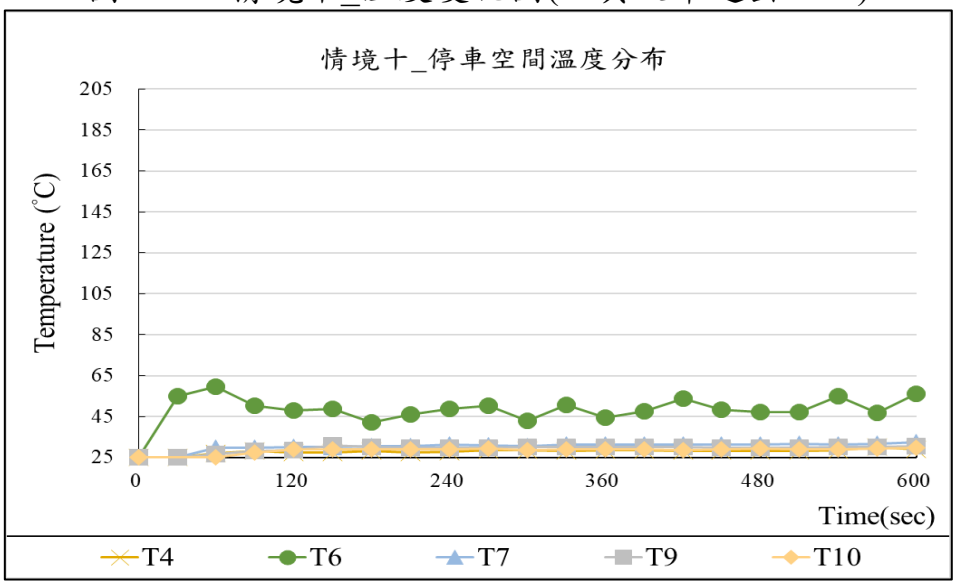
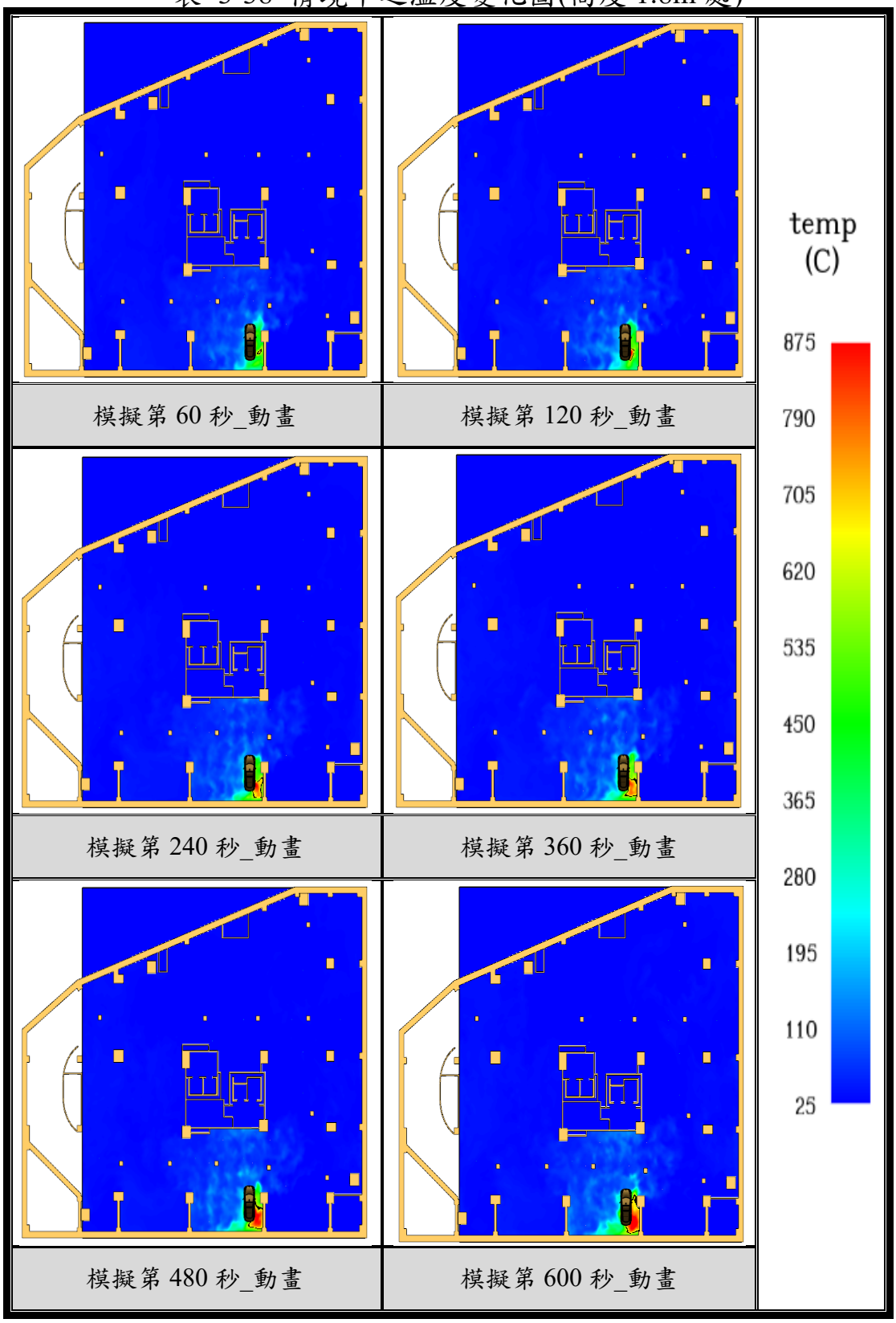


圖 3-66 情境十_溫度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-65、圖 3-66 資料來源：本研究整理)

表 3-38 情境十之溫度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

情境十_【能見度】

基於滿足人員生命安全無虞的前提下，本研究團隊探討電動車燃燒煙流堆積至離地 1.8m 處之火場能見度情形。由圖 3-67、圖 3-68 發現，人員出入口(02 點)於模擬 1 分鐘至 2 分鐘間，即低於人員逃生所需最低能見度要求(10m)。

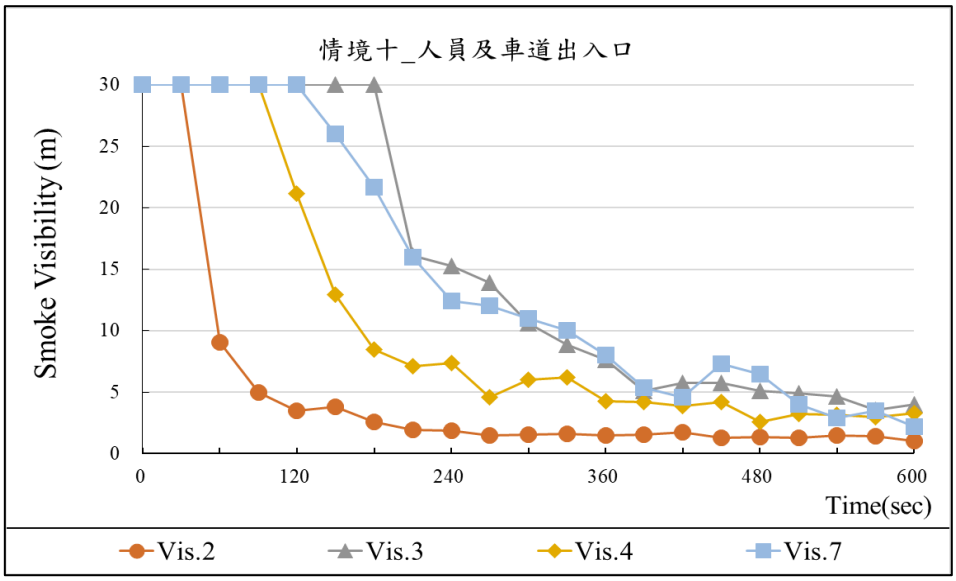


圖 3-67 情境十_能見度變化圖(人員及車道出入口)

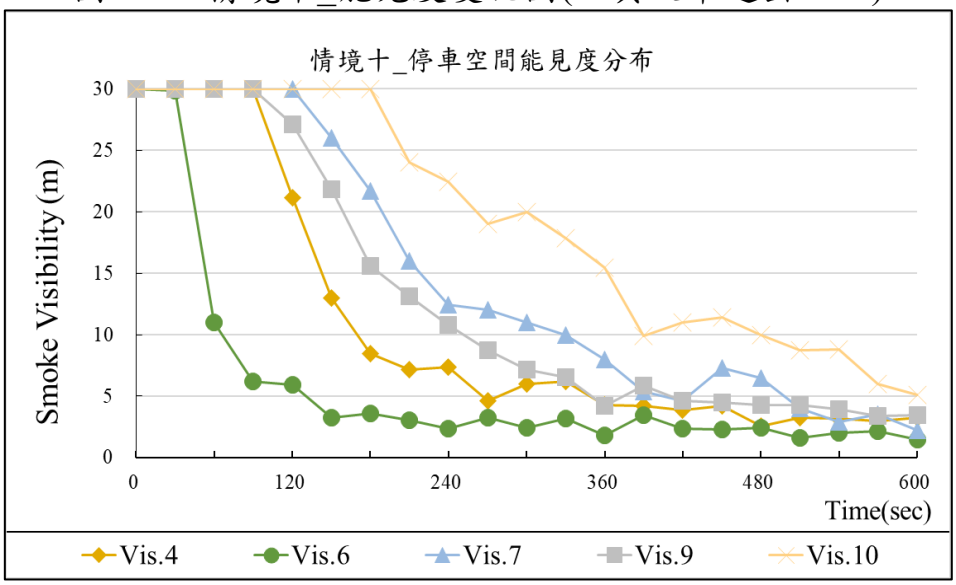
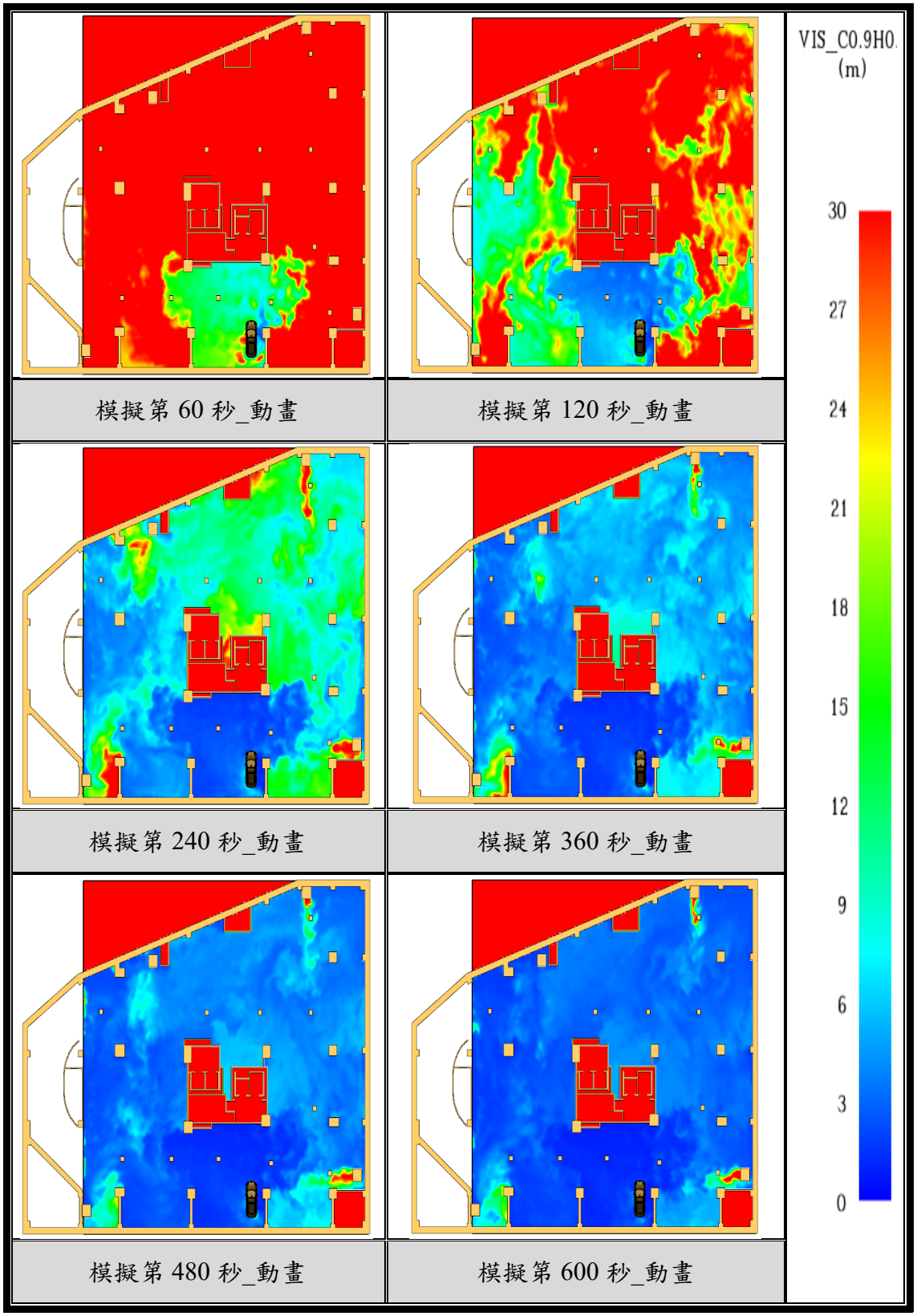


圖 3-68 情境十_能見度變化圖(停車空間分布)

(圖 3-67、圖 3-68 資料來源：本研究整理)

表 3-39 情境十之能見度變化圖(高度 1.8m 處)



(資料來源：本研究整理)

四、模擬小結

本研究係針對建築地下停車空間之電動車位及其充電區域，提供其應對電動車火災之防火安全防護設置建議參考，首先依據現勘停車空間的空氣調節及通風設備設置情況進行模擬分析，探討空氣調節及通風設備對於火災煙流影響以及提出相應防火防護設置建議規劃。

(一)、各空氣調節及通風策略之溫度與能見度結果影響統整：

本案停車空間樓高為 2.8m 且樓地板面積為 2,053m^2，由電腦模擬結果發現，起火電動車的車頂溫度約為 750~950°C 左右；鄰近火源 1m 範圍內溫度約為 325°C 左右，因此當地下停車空間發生火災時，若無法在初期階段控制火害範圍及排除燃燒產生的高溫煙流，此時高溫長時間侵襲建築物結構將使建築物產生不可逆的損毀，災後受損建築物是否存有安全疑慮等問題，需要請專業技師針對災後建築物結構進行慎重評估。

(二)、進排氣風機與誘導式風機對於火場煙流控制之影響：

避難人員基本最少需要 8～10m 的可視距離才能通過煙區，當停車空間無設置排煙設備而僅設有空氣調節及通風設備時，當空氣調節及通風設備採用誘導式風機搭配進排氣風機時，誘導式風機並無抽除煙氣的功用，因此當停車空間充滿火災煙氣時，避難人員將可能因視線不良而無法辨識避難路線，造成嚴重傷亡。

由圖 3-69 與圖 3-70 發現，開啟空氣調節及通風設備並無明顯抑制溫度與增加能見度的效果。啟動進排風機與軸流風機 60 秒後，相較於未啟動風機之情境，溫度高約 24°C；啟動進排風機與軸流風機 10 秒後，相較於未啟動風機之情境，能見度減少約 9m。由電腦模擬結果可知，地下停車空間發生火災時，啟動空氣調節及通風設備(包含進排風

機+軸流風機)，對於溫度與能見度的控制，並無顯著的幫助。甚至有可能因為在空氣調節及通風設備的作用下，原本因熱浮力上升的濃煙，會降低高度，影響採取低姿態避難的人員。

(三)、設置防煙捲門及防煙垂壁對於地下停車空間的煙流影響：

將車道出入口關閉雖可避免煙霧流竄至其他樓層，但該樓層會因煙氣宣洩口較少的關係，造成火場溫度上升。因此對於地下停車空間而言，恐會對其建築結構造成嚴重影響；設置防煙區劃有助於延緩煙霧流竄至其他區劃，但停車空間樓層高度一般而言相對較低，其效果較不明顯。

(四)、專屬排煙設備有助於控制電動車火災煙流：

- 依據《建築技術規則建築設計施工編》第 139 條之規定：「車庫部分之樓地板面積超過 500m^2 者，應設置能供給樓地板面積 25m^3/hr/m^2 以上換氣量之機械通風設備。」
- 依據《用戶用電設備裝置規則》第 396-18 條之規定：
  - 「電動車輛使用非開放式蓄電池，或電動車供電設備符合第三百九十六條之七第二款規定，並經設計者確認可用於建築物內充電而不需通風者，不需設置機械式通風。」
  - 「電動車供電設備符合第三百九十六條之七第三款規定，並經設計者確認可用於建築物內充電，並須通風者，應設置機械式通風。通風應同時具有進氣及排氣設備，且應永久裝設於建築物內供外面空氣引入或排出口。僅經特殊設計之正壓通風系統得用於經設計者確認適用之建築物或區域。同時可被充電之全部電動車輛，其每部之最小需要通風量依下列規定擇一辦理：

(1) 符合表三九六之十八～一(通風量單位：立方公尺／分鐘）或表三九六之十八～二(通風量單位：立方英尺／分鐘）之規定。

(2) 依下列公式計算最小需要通風量：

- 單相：

$$通風（立方公尺／分鐘）=\frac{（伏）（安）}{1718}$$

- 三相：

$$通風（立方公尺／分鐘）=\frac{1.732（伏）（安）}{1718}$$

- 《各類場所消防安全設備設置標準》第 188 條之規定：「排煙機應隨任一排煙口之開啟而動作。排煙機之排煙量在每分鐘 $120m^3$ 以上；且在一防煙區劃時，在該防煙區劃面積每 $1m^3/m^2/min$ 以上；在 2 區以上之防煙區劃時，在最大防煙區劃面積每 $2m^3/m^2/min$ 以上。」
- 若依據《建築技術規則建築設計施工編》第 139 條規定所設定之通風設備之排氣量，僅為依據《各類場所消防安全設備設置標準》第 188 條規定排煙設備法定排煙量之 42%，故建議應考量設置地下停車空間專屬排煙設備。[4]

[4]註：《用戶用電設備裝置規則》第 396-18 條規定之通風量，係以**同時可被充電之全部電動車輛**其每部之最小需要通風量計算，通風量將隨車輛數而有所不同(通風量=車輛數×1.9～153m^3/min)，故無法與《建築技術規則建築設計施工編》第 139 條規定所設定之通風設備之排氣量，以及《各類場所消防安全設備設置標準》第 188 條規定之排煙量一併比較。

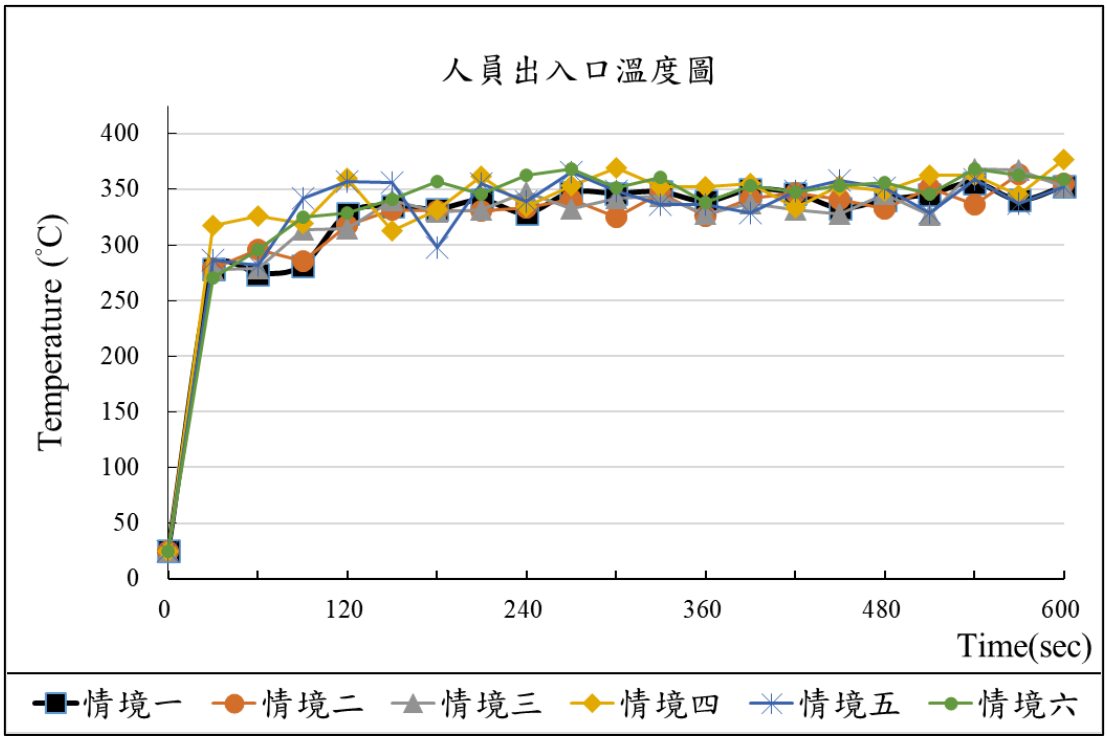


圖 3-69 電腦模擬各情境人員出入口溫度圖(無撒水情境)

(資料來源：本研究整理)

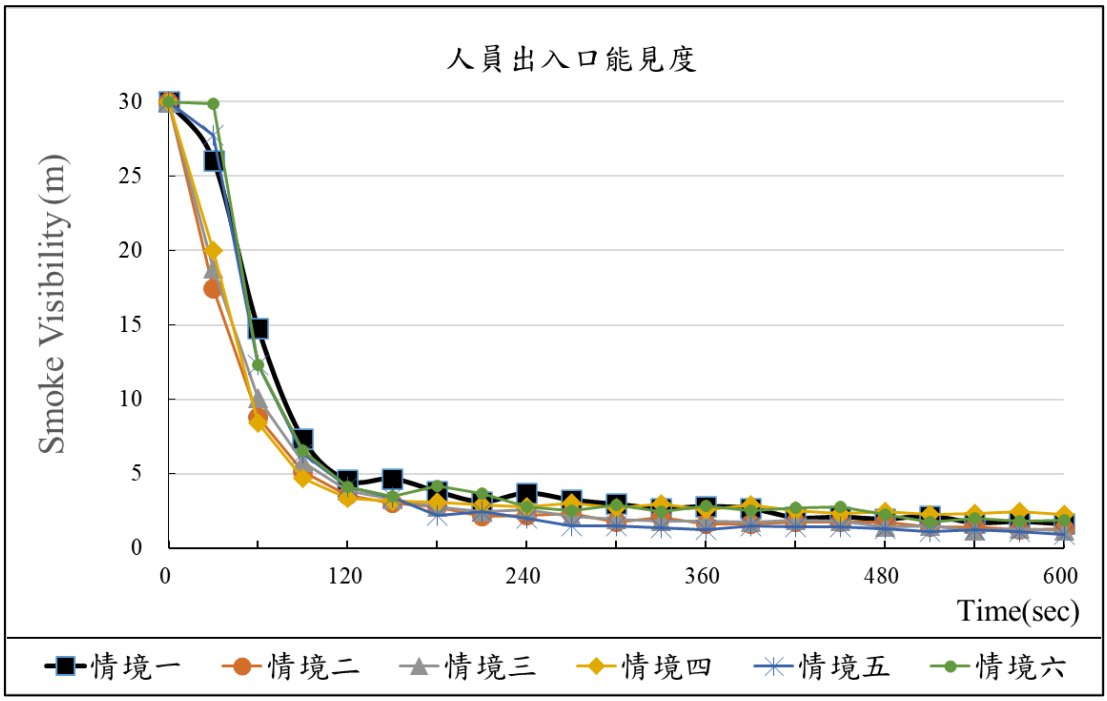
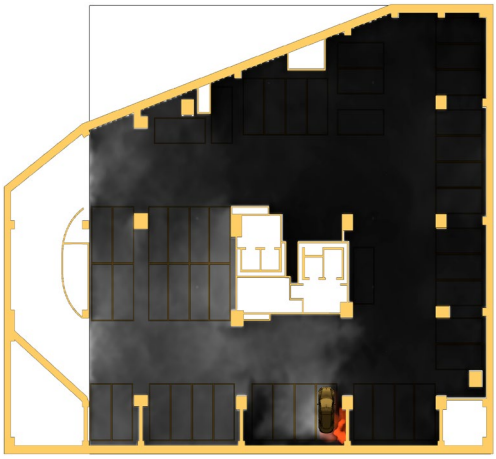
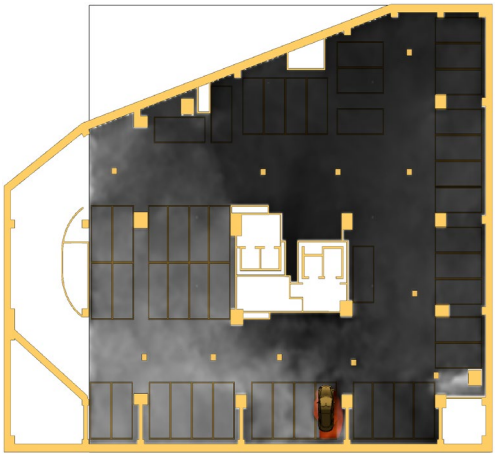
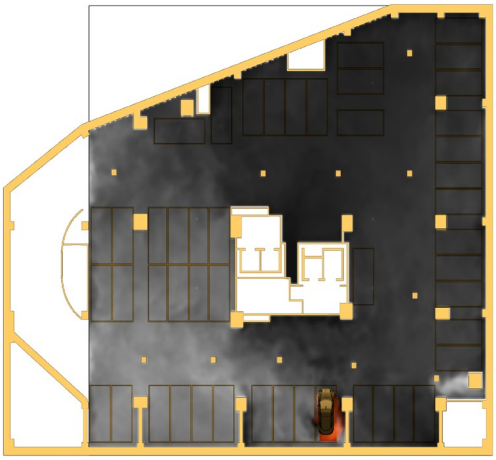
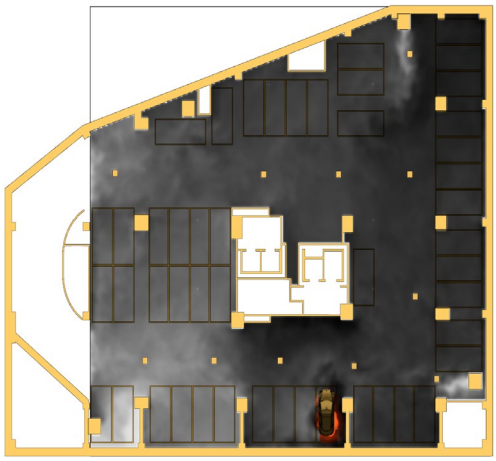
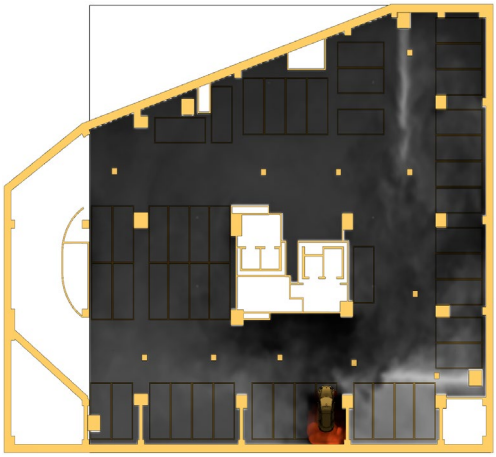
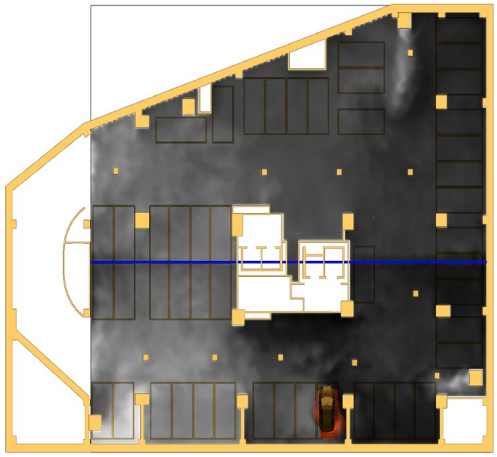


圖 3-70 電腦模擬各情境人員出入口能見度圖(無撒水情境)

(資料來源：本研究整理)

表 3-40 本研究各情境(無撒水)之 600 秒動畫圖

	
情境一	情境二
	
情境三	情境四
	
情境五	情境六

(資料來源：本研究整理)

第五節 室內停車空間之煙流實驗分析

鑒於室內停車空間未來可能發生的電動車火災事故，如何精進電動車及其充電設備區域的防火安全防護為本研究主軸與目的。室內停車空間由於空間格局較為狹隘且無外氣連接口，如何將煙氣快速排出為救災第一考量。本節主要為討論火災煙氣與空氣調節及通風設備間的競合影響，其中本研究團隊經實地勘察我國某室內停車空間，考量實驗過程對於操作人員與建築物的安全要求，以及採用非破壞性實驗方式，本研究將不採用第四節模擬所設定之火載量進行，而是利用消防演練煙霧機(環保無害)模擬火場煙流情況。

一、室內停車空間格局介紹

本研究實地勘察一處集合住宅建案之地下二樓停車空間並進行實際發煙測試，該停車空間格局為長度約 56.0m；寬度為 42.0m；樓高為 2.9m，室內停車空間格局如圖 3-71 所示。

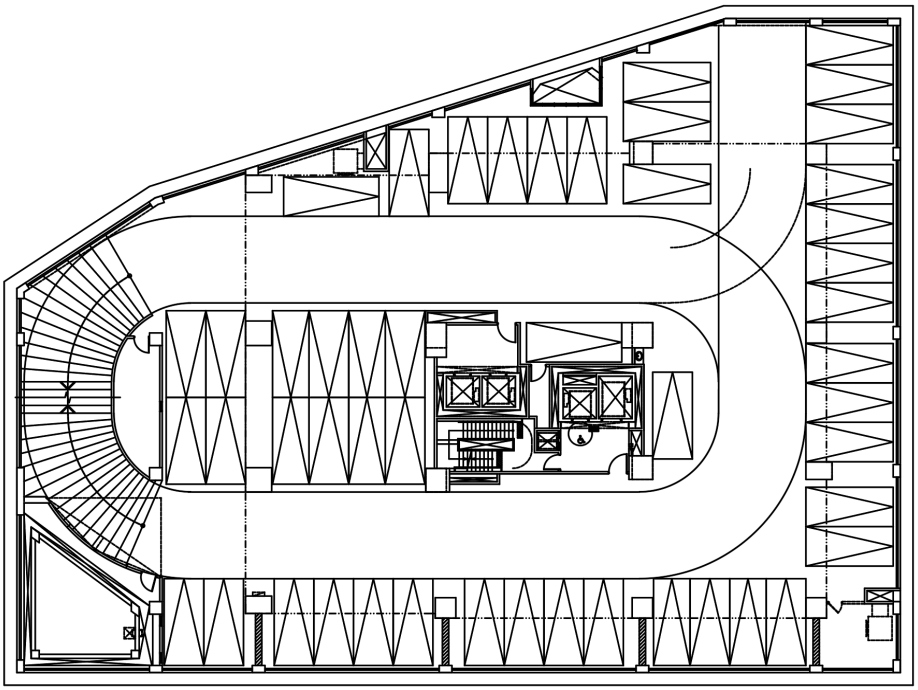


圖 3-71 停車空間平面圖

(資料來源：本研究整理)

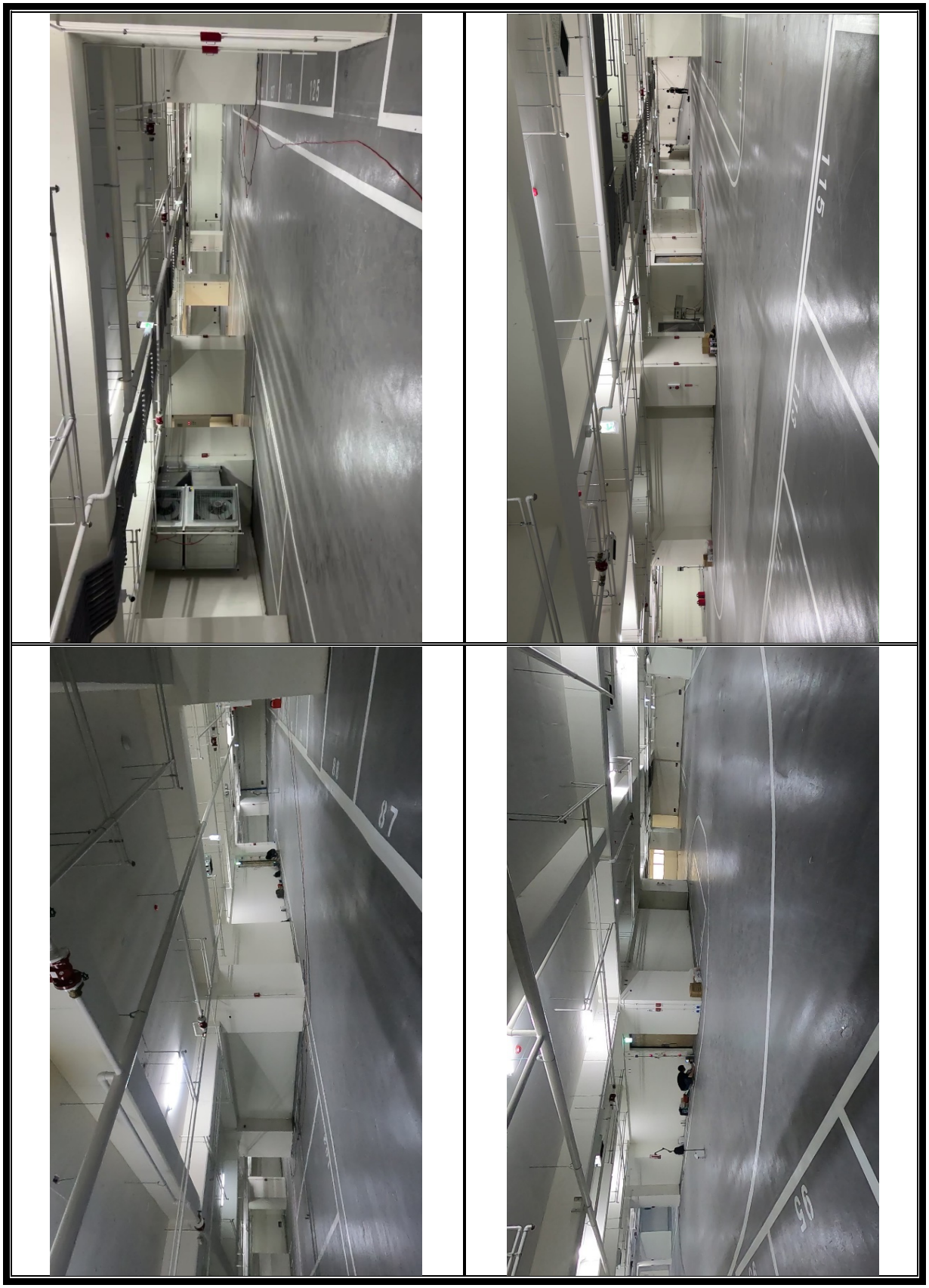


圖 3-72 實際現勘圖

(資料來源：本研究整理)

經實地勘查，該建案室內停車空間共配置 11 台誘導式風機（單台風量為 14CMM）、2 台排氣風機（單排風量為 450CMM）、1 台進氣風機(單台風量為 450CMM)，詳見如圖 3-73、圖 3-74。

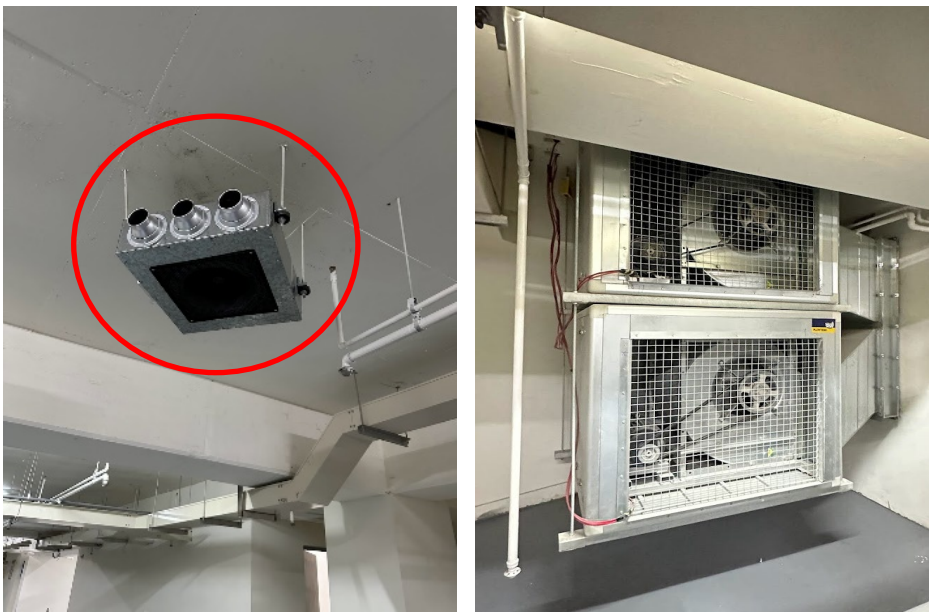


圖 3-73 誘導式風機及排風機示意圖_集合住宅建案

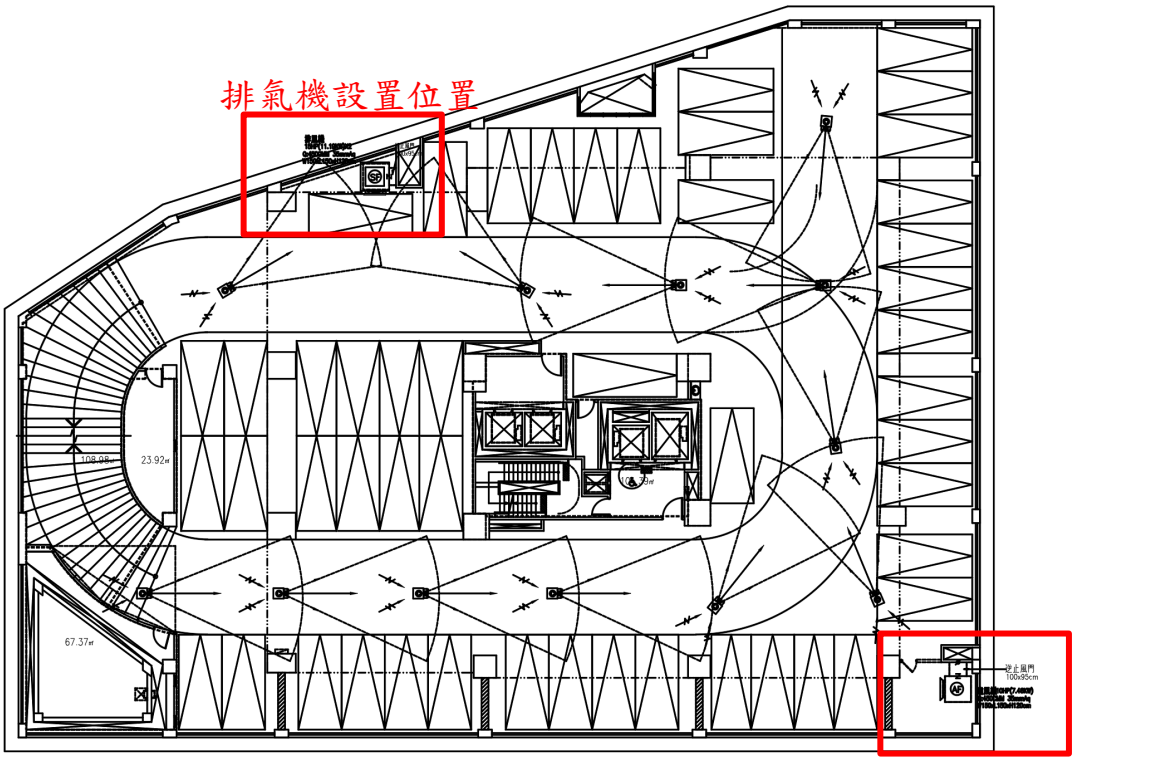


圖 3-74 誘導式風機設置平面圖

(圖 3-73、圖 3-74 資料來源：本研究整理)

二、煙流實驗設備及實驗規劃

本煙流實驗之目的為探討現有空氣調節及通風設備對火災期間之煙流影響，利用消防演練煙霧機(環保無害)進行模擬火場煙流。單次實驗時間為 600 秒。煙流實驗規劃如表 3-41 所示。煙流實驗設備儀器包含：消防演練煙霧機、數據收集系統、雷射煙層量測設備等，說明如下：

表 3-41 實驗情境規劃表

項次	通風設備啟動	實驗目的
實驗一	否	本實驗目的為探究我國建築物地下停車空間之現有空氣調節及通風設備，對於火災發生期間之煙流影響。
實驗二	是	

(資料來源：本研究整理)

(一)消防演練煙霧機

消防演練煙霧機作為本次煙流實驗之假想火災煙氣，如圖 3-75 所示。該煙霧機具有穩定的煙霧產生能力，並能夠模擬不同煙霧濃度和密度，作為可視化空氣調節及通風設備之煙氣擾動行為。煙流實驗將採用兩台消防演練煙霧機(型號為 FT-200)，選擇 100%的輸出量進行持續輸出(每分鐘約消耗 270ml 發煙油)。

圖 3-75 消防演練煙霧機_實機操作煙霧產生效果

(資料來源：本研究整理)

(二)數據收集系統

數據擷取裝置的主要功能是在實驗過程中，對煙氣量測設備（遮蔽率）所獲得的量測數值進行實時傳輸和記錄。因此數據收集系統必須具備高頻率和多點數據收集能力，並且具有大容量的儲存空間，以便根據該數據進行後續分析和評估，從而保證煙流實驗結果的可靠性，本實驗數據蒐集如圖 3-76 所示。

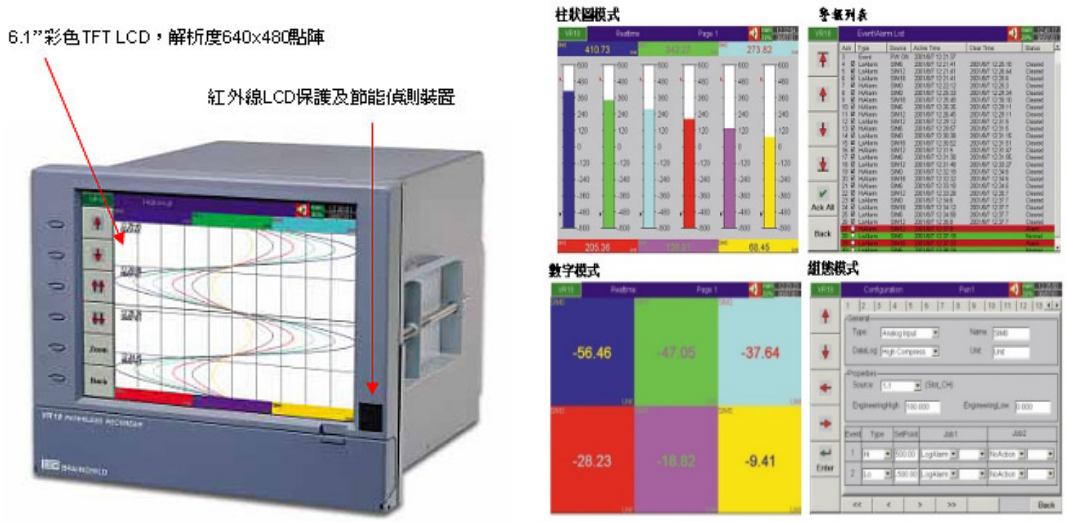


圖 3-76 無紙式紀錄器數據收集系統主機及量測畫面
(資料來源：本研究整理)

(三)雷射煙層量測設備

本實驗透過光電式分離型探測器對能見度距離進行精確偵測。該儀器由傳送端與接收端組成，傳送端負責發射光信號，而接收端則負責分析信號強度。在光線路徑中，若遭遇煙霧遮擋，將對光電子受光量造成影響，進而導致光散射與電阻降低，並產生電流變化，從而計算出能見度。該系統具有即時偵測與判斷能力，可準確分析現場煙霧濃度與能見度距離（單位：m）之間的關係。

雷射煙層量測設備設置於人員出入口，以天花板下方 0.5m 為第一點，每隔 0.5m 加設一點，共計 4 點。實驗過程將全程以攝影機錄製煙流流動情況。

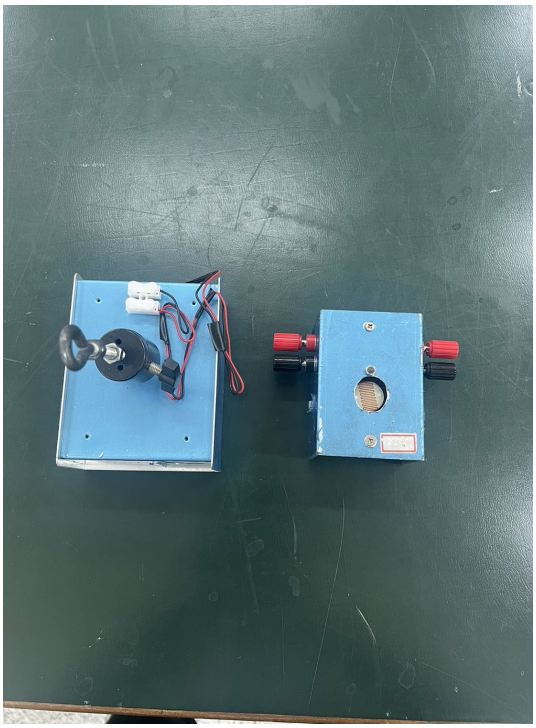
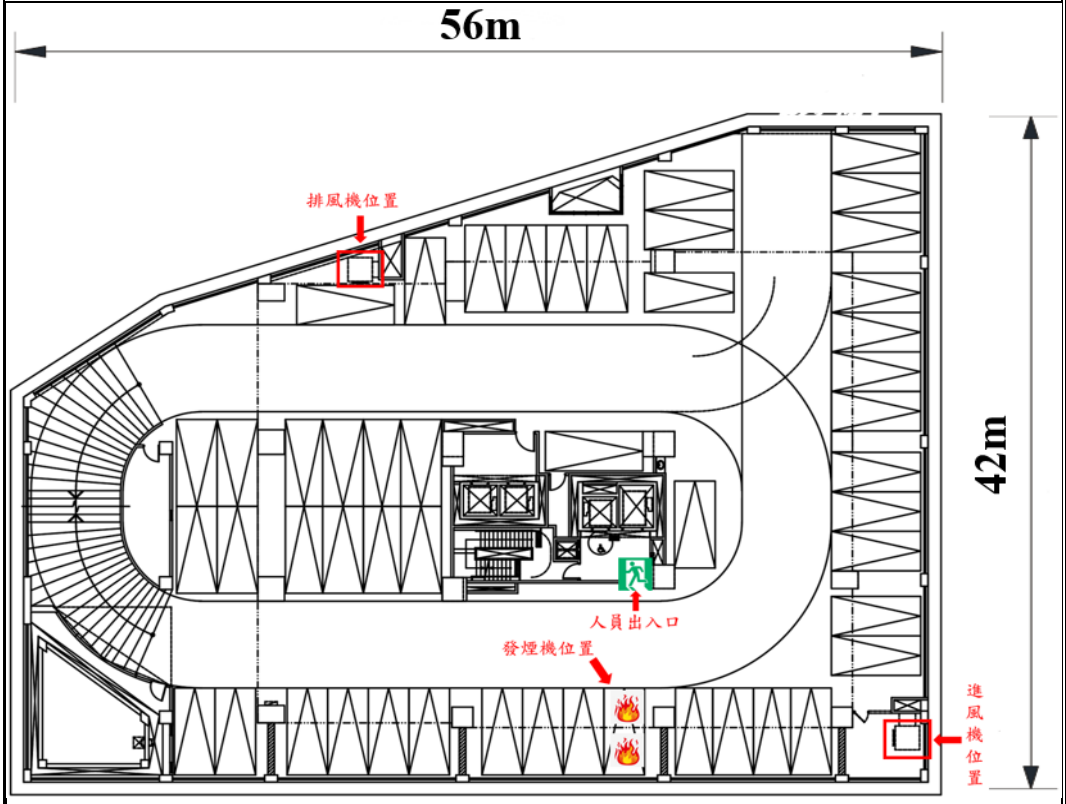


圖 3-77 雷射發射端與接收端及現場雷射煙層量測架設規劃
(資料來源：本研究整理)

三、煙流實驗結果_實驗一

實驗一	情境設計		
	關閉空氣調節及通風設備		
	進氣風機數量/單台風量	排氣風機數量/單台風量	誘導式風機數量/單台風量
	1 台/450CMM	2 台/450CMM	11 台/14CMM

實驗配置平面圖



實驗操作步驟

(一) 實驗前準備：架設消防演練煙霧機、攝影設備、數據收集系統與雷射煙層量測設備。實驗開始前將再次確認空氣調節及通風設備、設備量測訊號及傳輸功能正常。

(二) 實驗開始：同時啟動兩台發煙機，並確認煙流量測設備及攝影設備正常使用。

(三) 實驗時間：600 秒(10 分鐘)。

(四) 實驗結束：當實驗過程滿 10 分鐘後即結束實驗，將各項數據進行儲存。同時將地下停車空間的白色煙霧進行排出。當所有的量測數值均回歸至初始設定條件，則可立即開始進行後續實驗。

(資料來源：本研究整理)

實驗一_雷射煙流量測結果分析

本研究係探討煙流沉積情況，在人員出入口位置設置煙流高度量測設備，並以天花板下方 0.5m 為第一點，每隔 0.5m 加設一點，共計 4 點進行煙流能見度量測。根據圖 3-78、表 3-42 分析，人員出入口於實驗進行約 90 秒時，煙層點(2.0m)的遮蔽率已達到 93%，最高遮蔽率達 94%，平均遮蔽率為 88.10%。煙層點(1.5m)於實驗進行約 90 秒時達到 66%的遮蔽率，最高遮蔽率達 89%，平均遮蔽率為 61.81%。煙層點(1.0m)於實驗進行約 90 秒時達到 4%的遮蔽率，最高遮蔽率達 42%，平均遮蔽率為 8.03%。煙層點(0.5m)於實驗進行約 90 秒時達到 4%的遮蔽率，最高遮蔽率達 13%，平均遮蔽率為 4.45%。

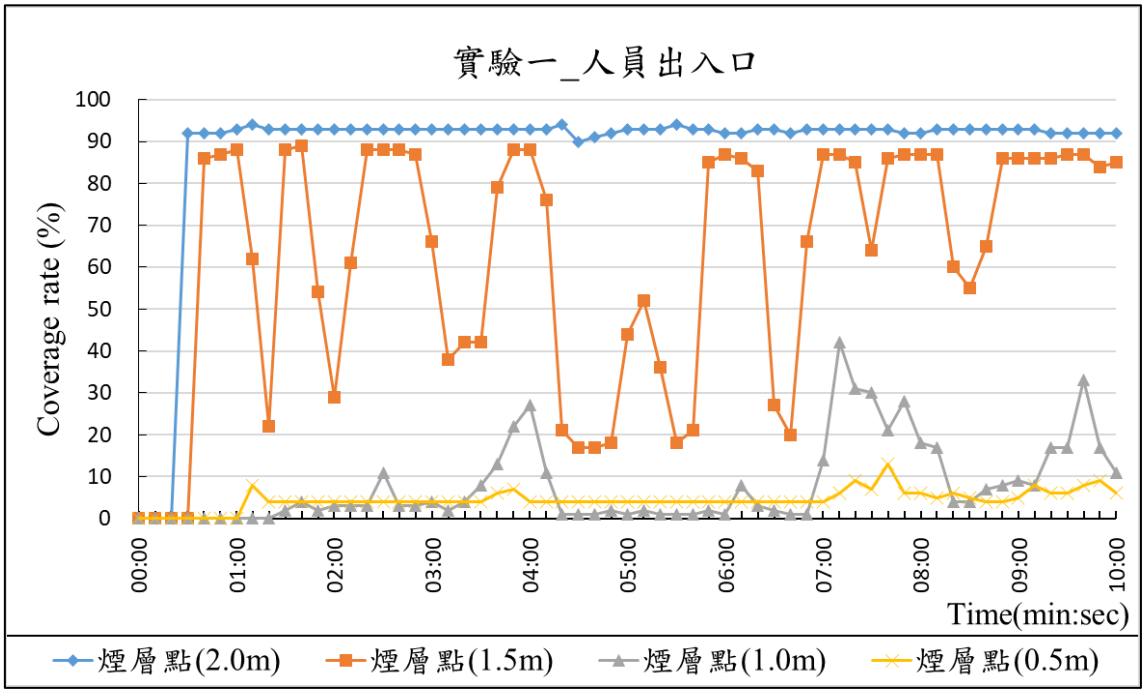
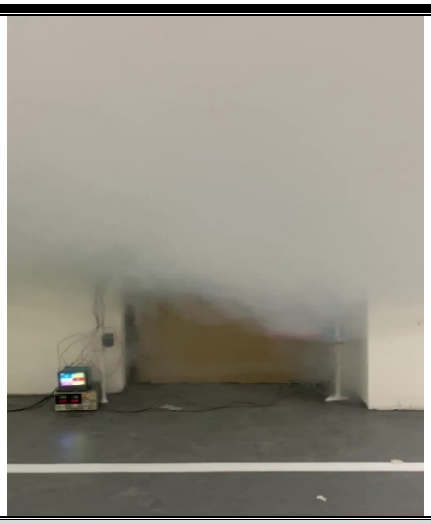


圖 3-78 實驗一_遮蔽率變化圖(人員出入口)

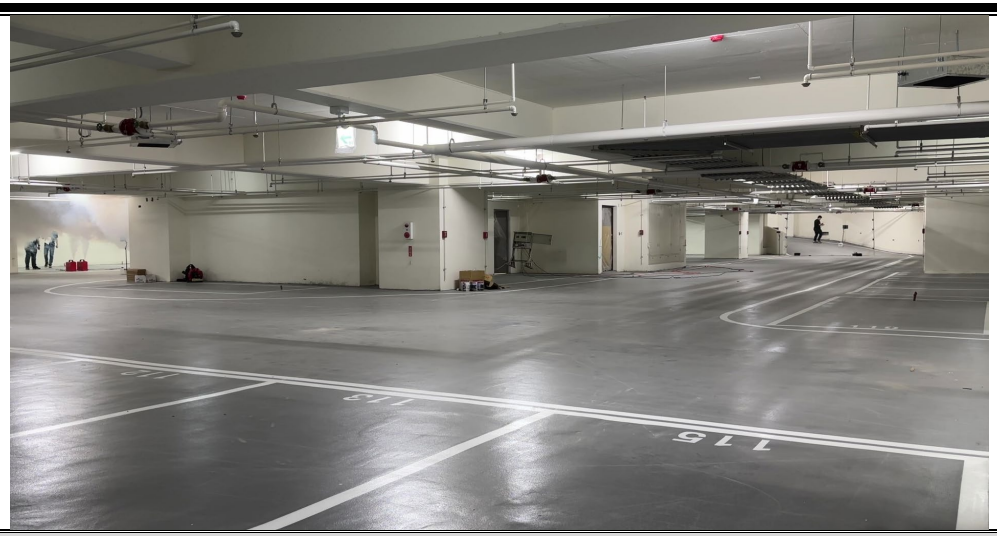
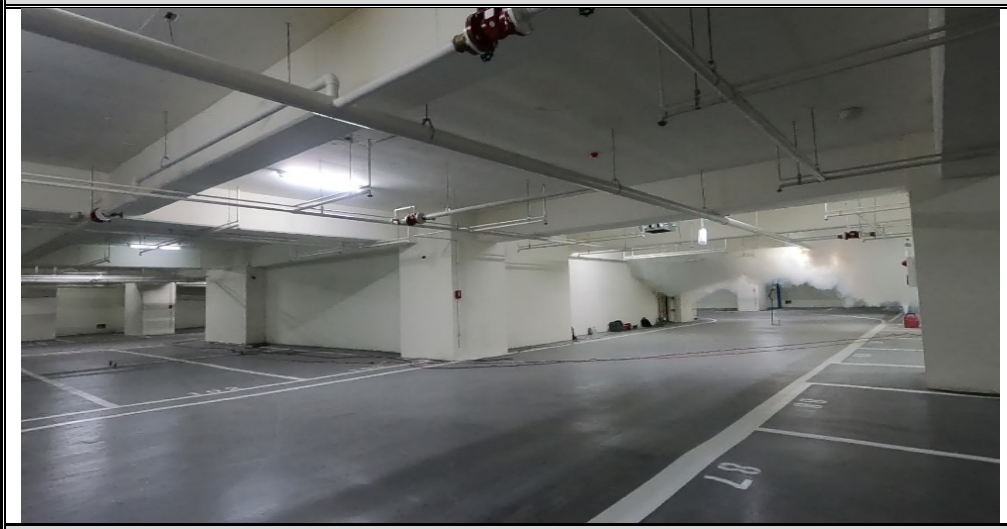
(資料來源：本研究整理)

表 3-42 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_人員出入口

	
30 秒	60 秒
	
180 秒	360 秒
	
480 秒	600 秒

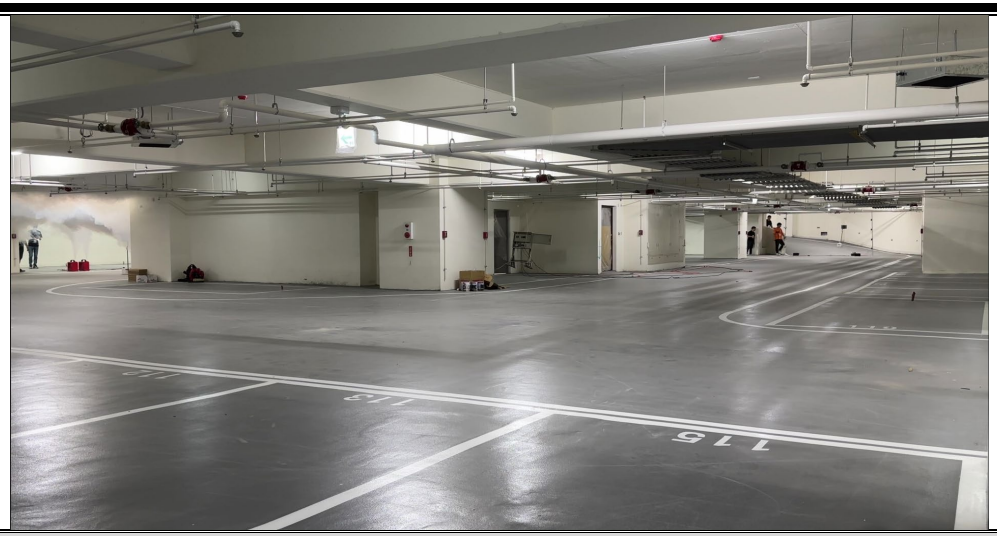
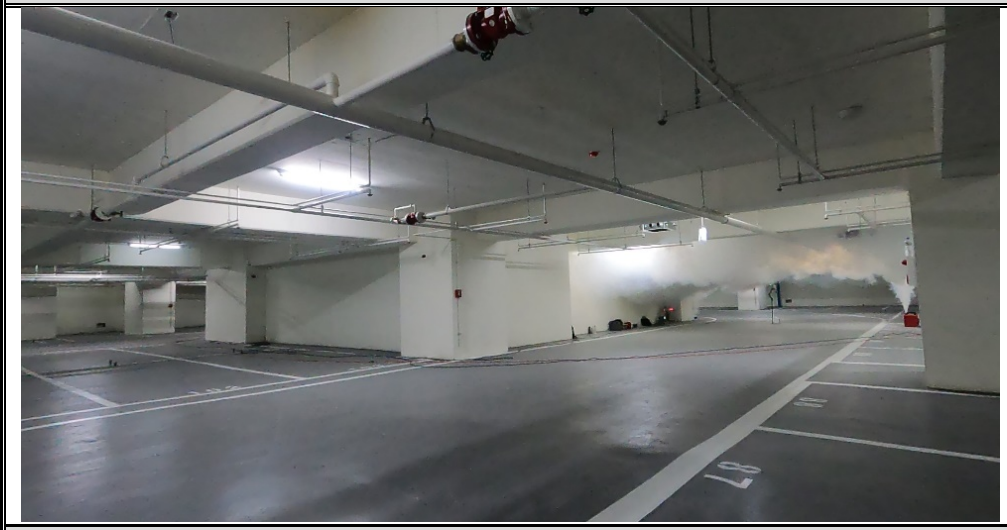
(資料來源：本研究整理)

表 3-43 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 30 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

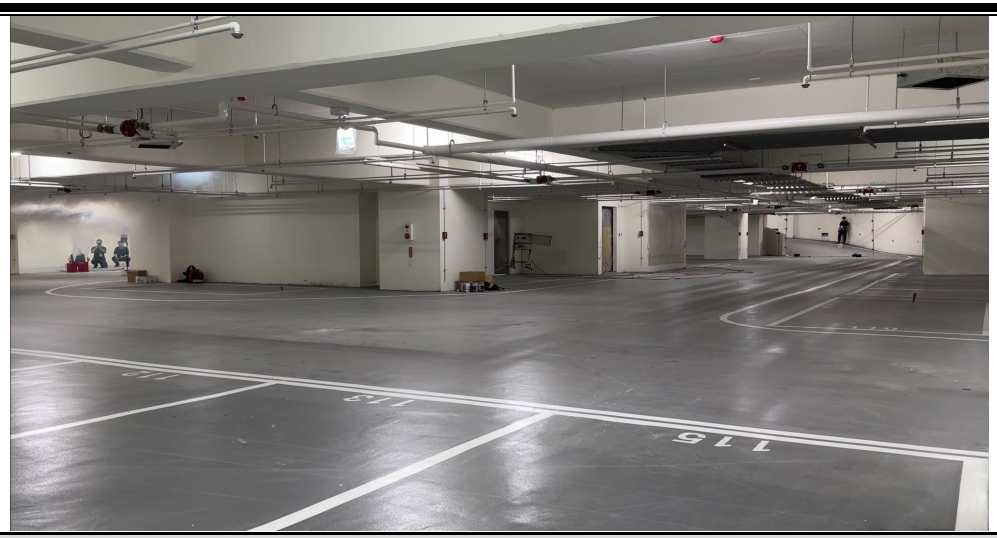
(資料來源：本研究整理)

表 3-44 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 60 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

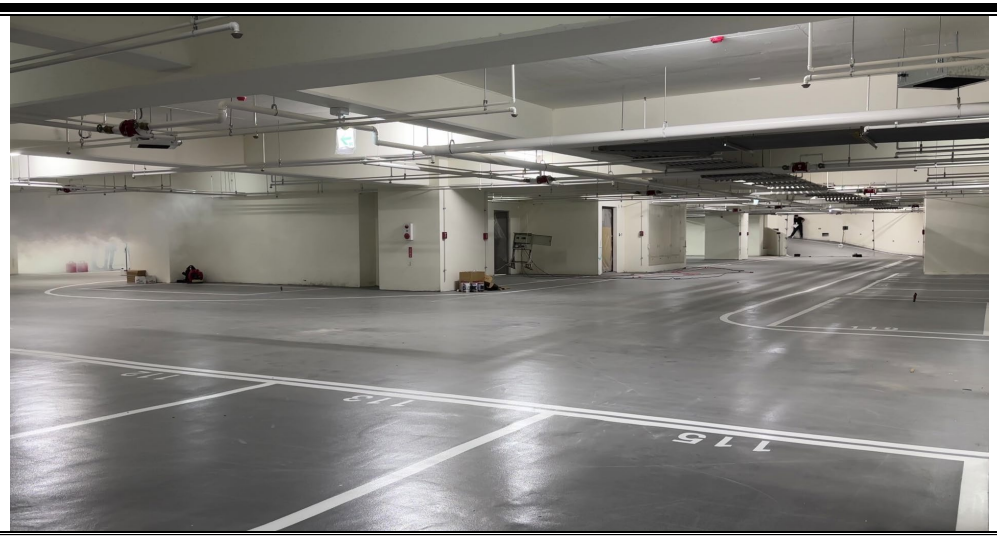
(資料來源：本研究整理)

表 3-45 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 180 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

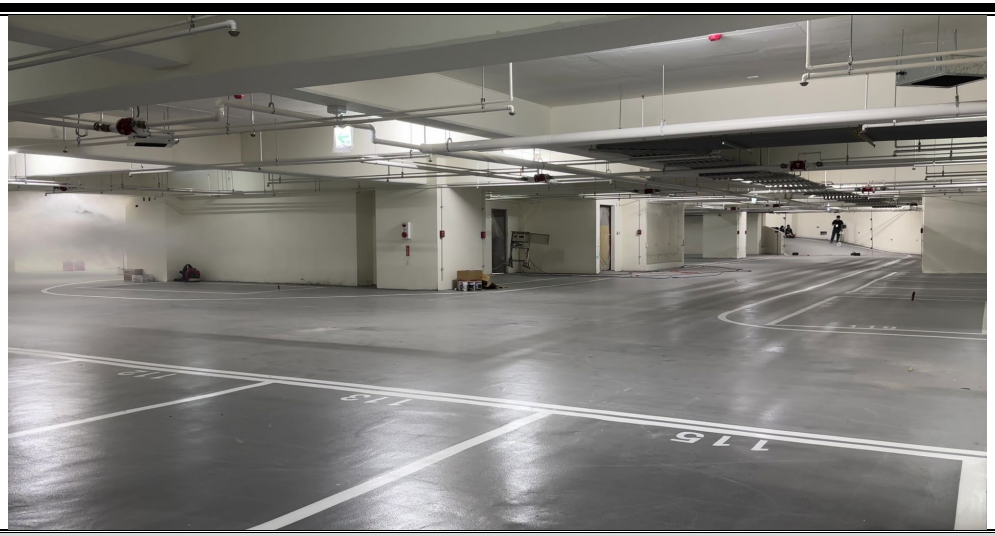
(資料來源：本研究整理)

表 3-46 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 360 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

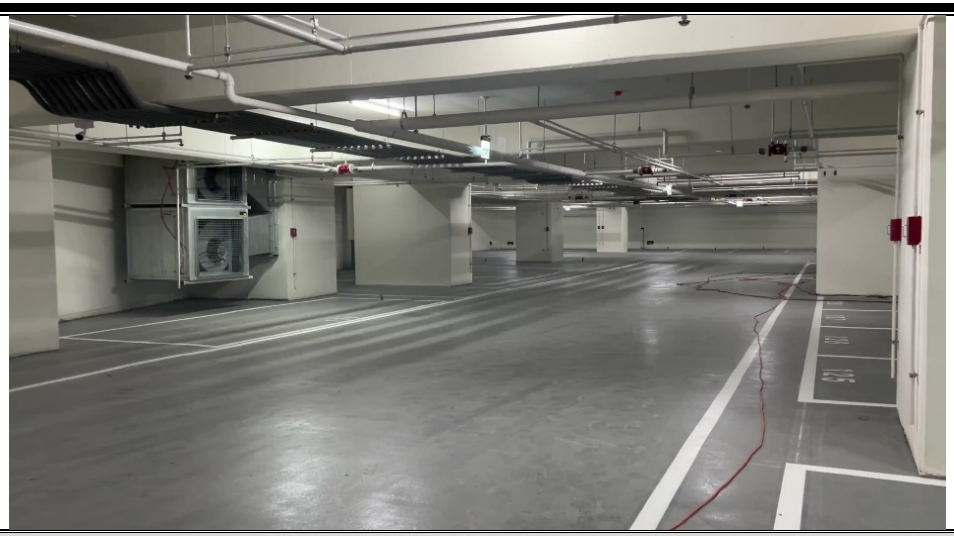
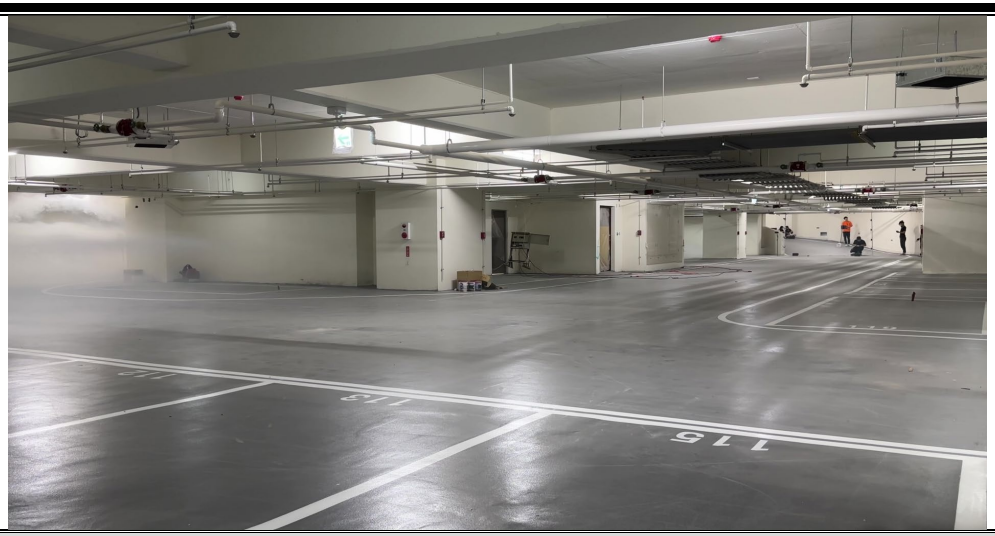
(資料來源：本研究整理)

表 3-47 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 480 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

(資料來源：本研究整理)

表 3-48 實驗一_關閉空氣調節及通風設備_實驗第 600 秒

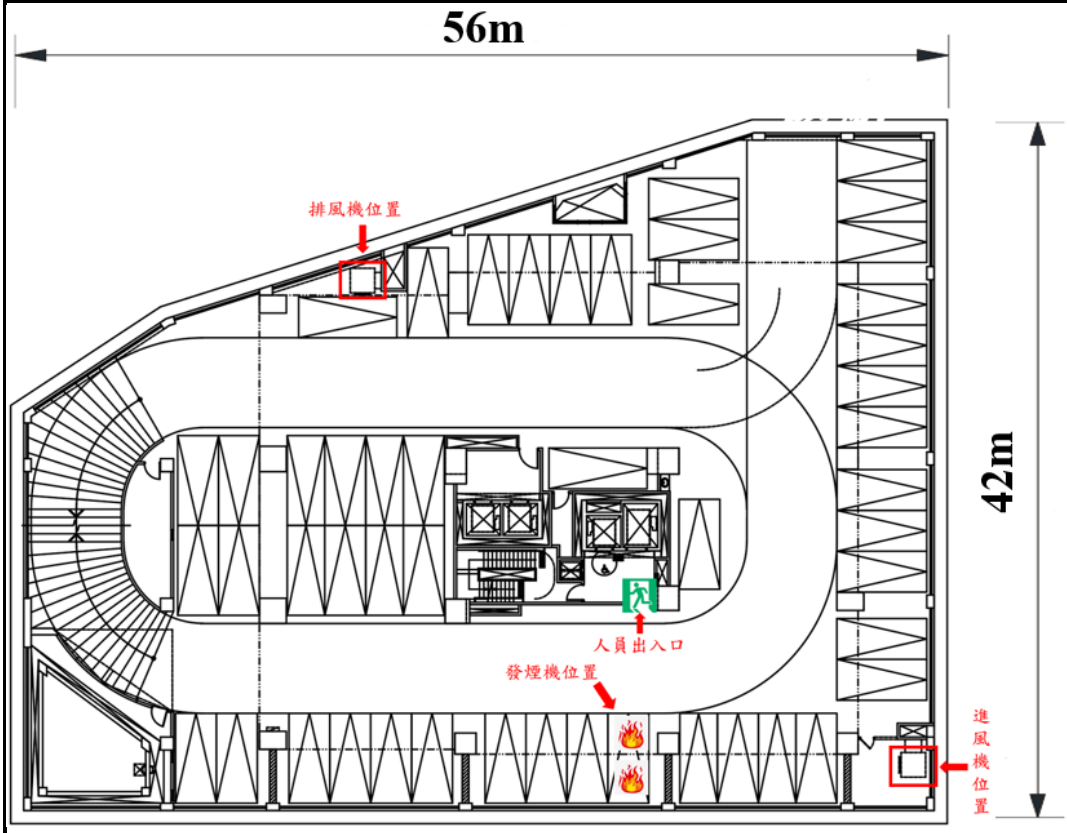
	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

(資料來源：本研究整理)

四、煙流實驗結果_實驗二

實驗二	模擬情境		
	開啟空氣調節及通風設備		
	進氣風機數量/單台風量	排氣風機數量/單台風量	誘導式風機數量/單台風量
	1 台/450CMM	2 台/450CMM	11 台/14CMM

實驗配置平面圖



實驗操作步驟

(一) **實驗前準備**：架設消防演練煙霧機、攝影設備、數據收集系統與雷射煙層量測設備。實驗開始前將再次確認空氣調節及通風設備、設備量測訊號及傳輸功能正常。

(二) **實驗開始**：同時啟動兩台發煙機，並確認煙流量測設備及攝影設備正常使用。

(三) **實驗時間**：600 秒(10 分鐘)。

(四) **實驗結束**：當實驗過程滿 10 分鐘後即結束實驗，將各項數據進行儲存。同時將地下停車空間的白色煙霧進行排出。當所有的量測數值均回歸至初始設定條件，則可立即開始進行後續實驗。

(資料來源：本研究整理)

實驗二_【雷射煙層量測點結果】

本研究係探討煙流沉積情況，在人員出入口位置設置煙流高度量測設備，並以天花板下方 0.5m 為第一點，每隔 0.5m 加設一點，共計 4 點進行煙流能見度量測。由圖 3-79、表 3-49 發現，人員出入口於實驗進行約 90 秒時，煙層點(2.0m)的遮蔽率已達到 89%，最高遮蔽率達 91%，平均遮蔽率為 55.01%。煙層點(1.5m)於實驗進行約 90 秒時達到 78%的遮蔽率，最高遮蔽率達 83%，平均遮蔽率為 53.14%。煙層點(1.0m)於實驗進行約 90 秒時達到 70%的遮蔽率，最高遮蔽率達 82%，平均遮蔽率為 39.44%。煙層點(0.5m)於實驗進行約 90 秒時達到 61%的遮蔽率，最高遮蔽率達 78%，平均遮蔽率為 32.22%。

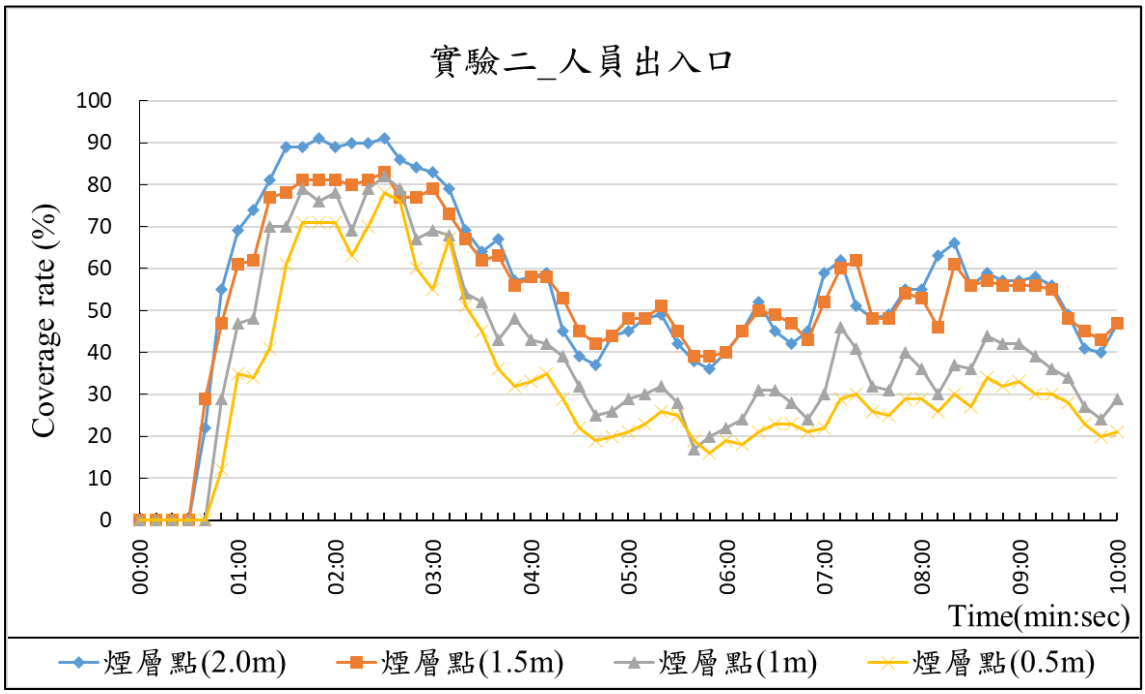
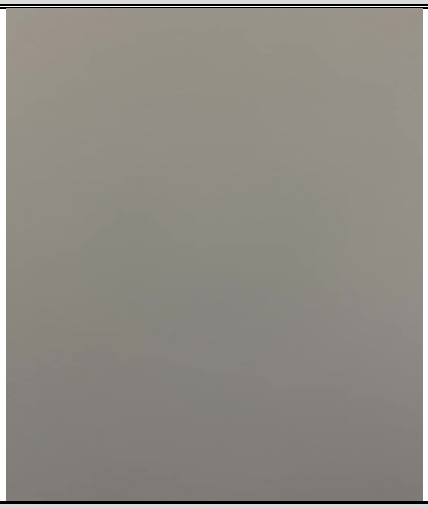


圖 3-79 實驗二_遮蔽率變化圖(人員出入口)

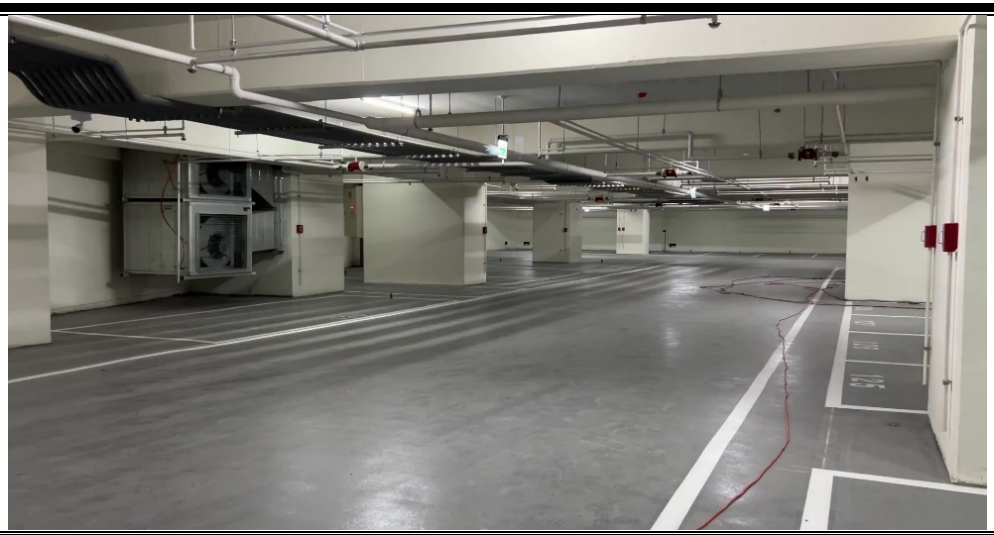
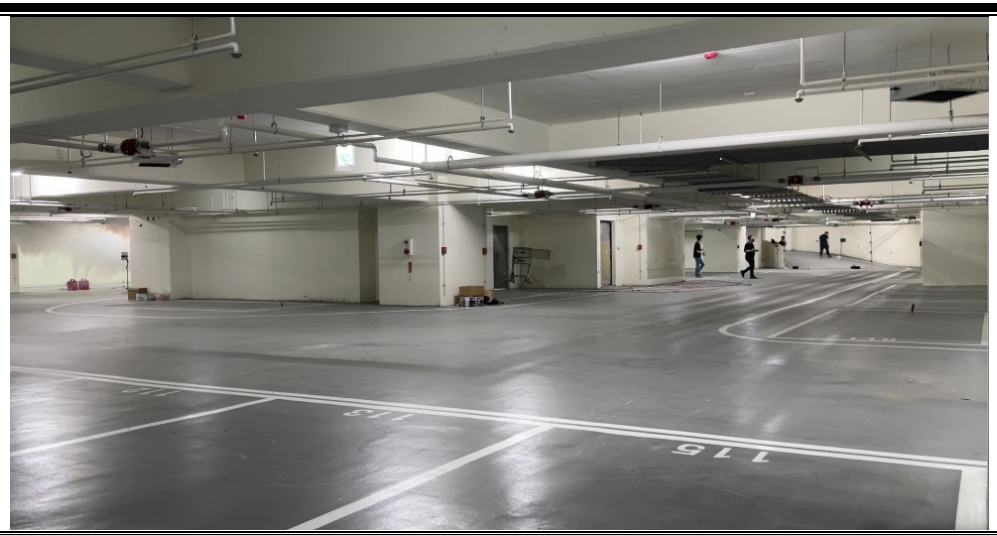
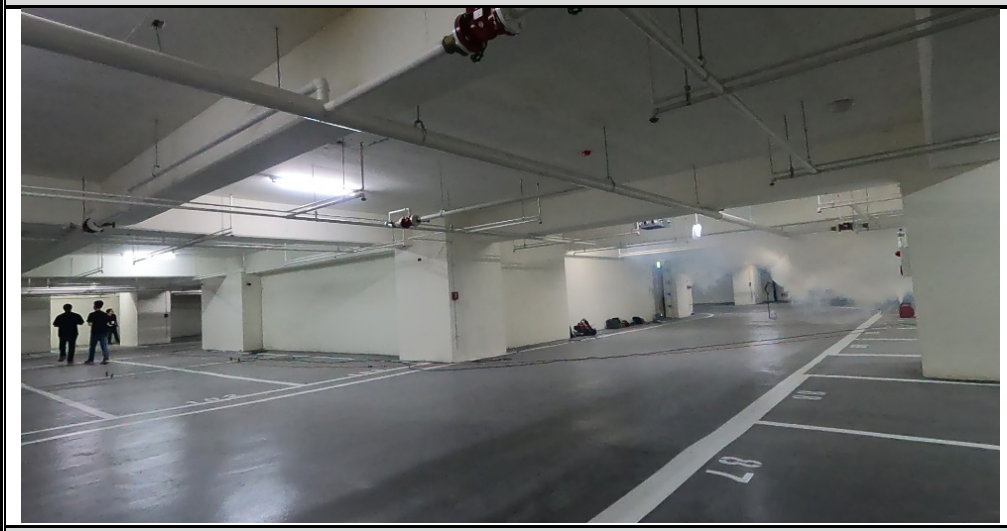
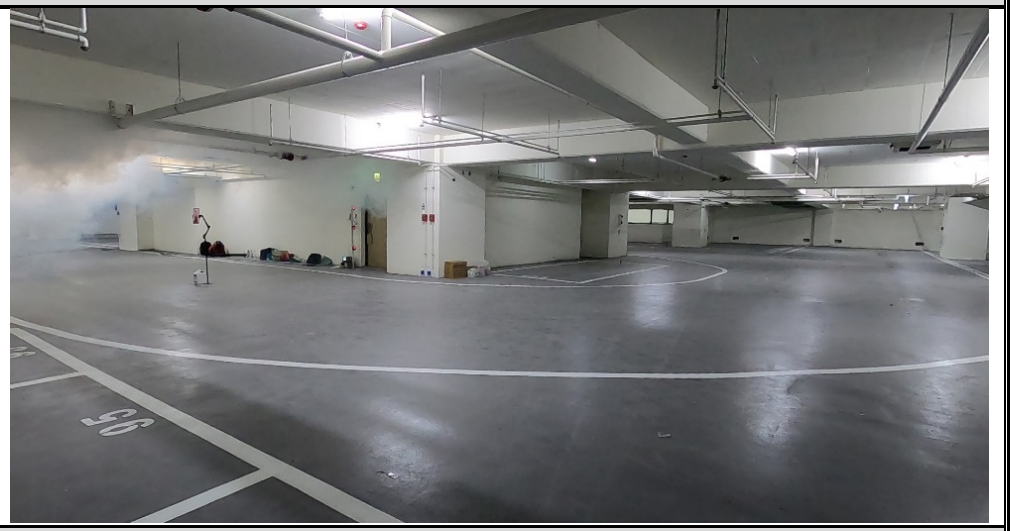
(圖 3-79 資料來源：本研究整理)

表 3-49 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_人員出入口

	
30 秒	60 秒
	
180 秒	360 秒
	
480 秒	600 秒

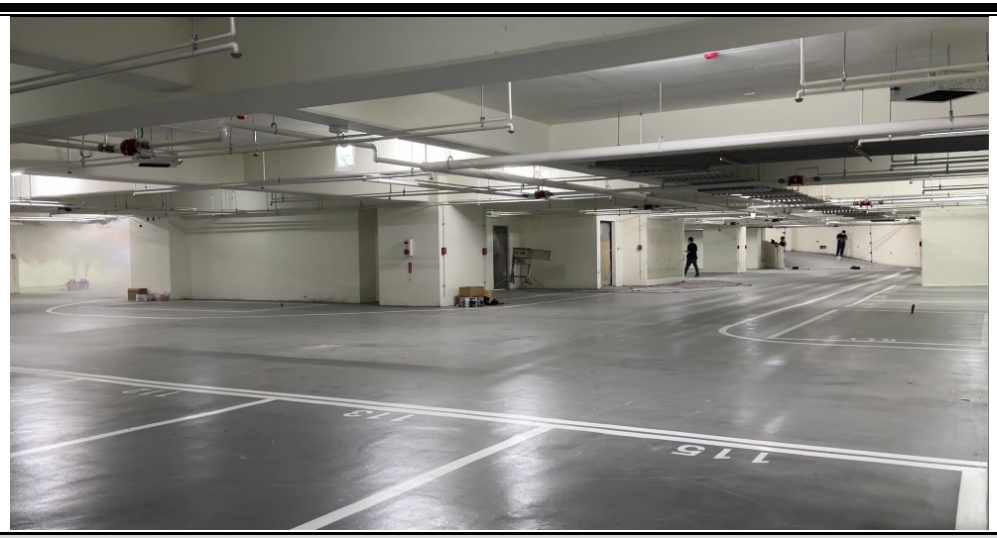
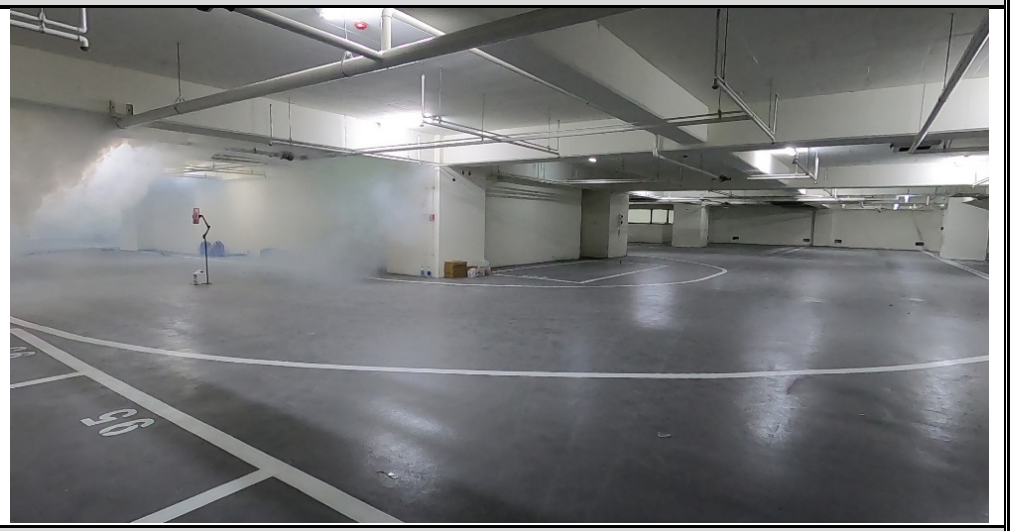
(資料來源：本研究整理)

表 3-50 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 30 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

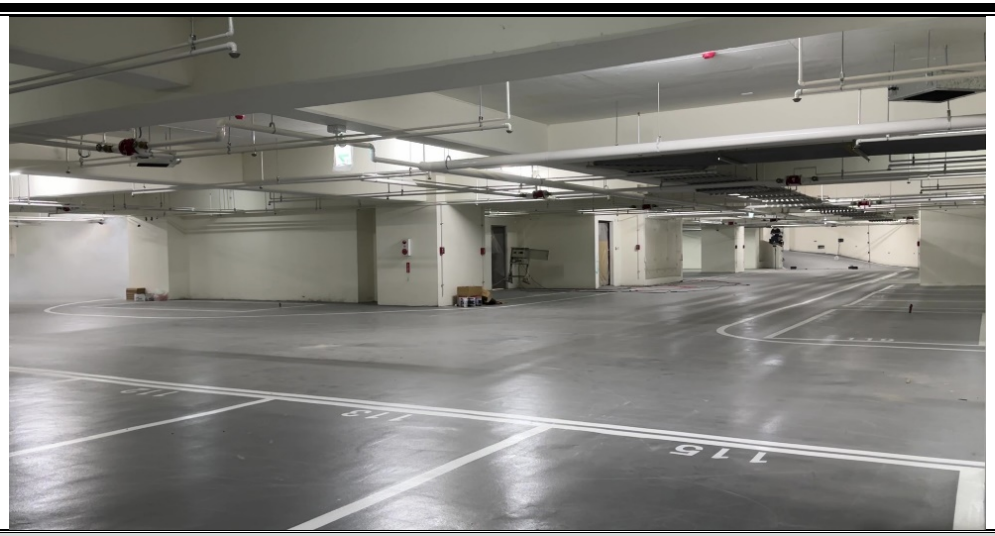
(資料來源：本研究整理)

表 3-51 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 60 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

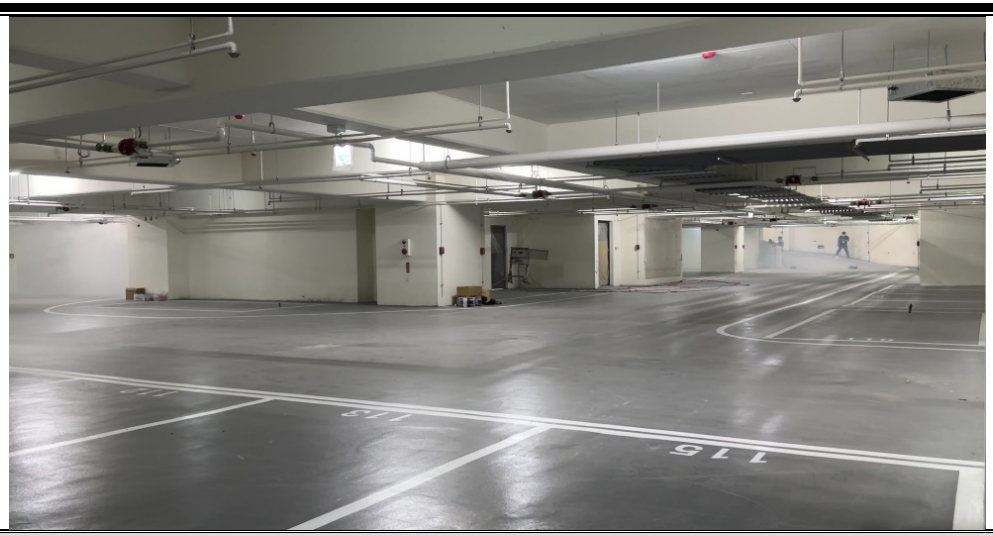
(資料來源：本研究整理)

表 3-52 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 180 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

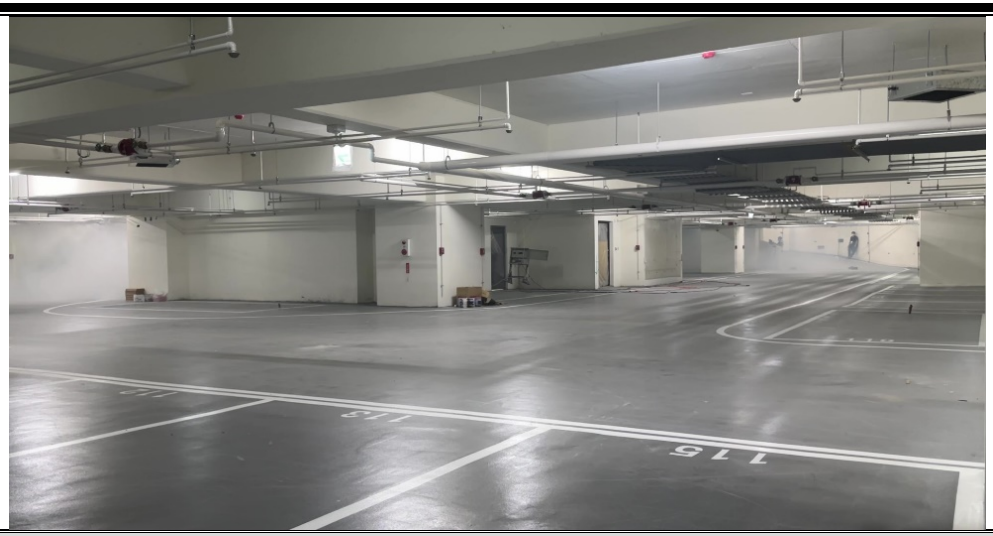
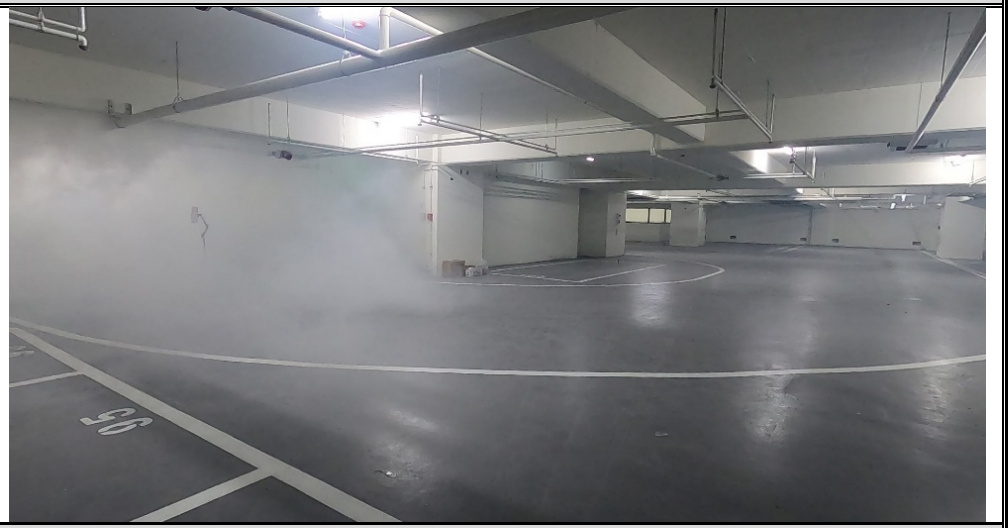
(資料來源：本研究整理)

表 3-53 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 360 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

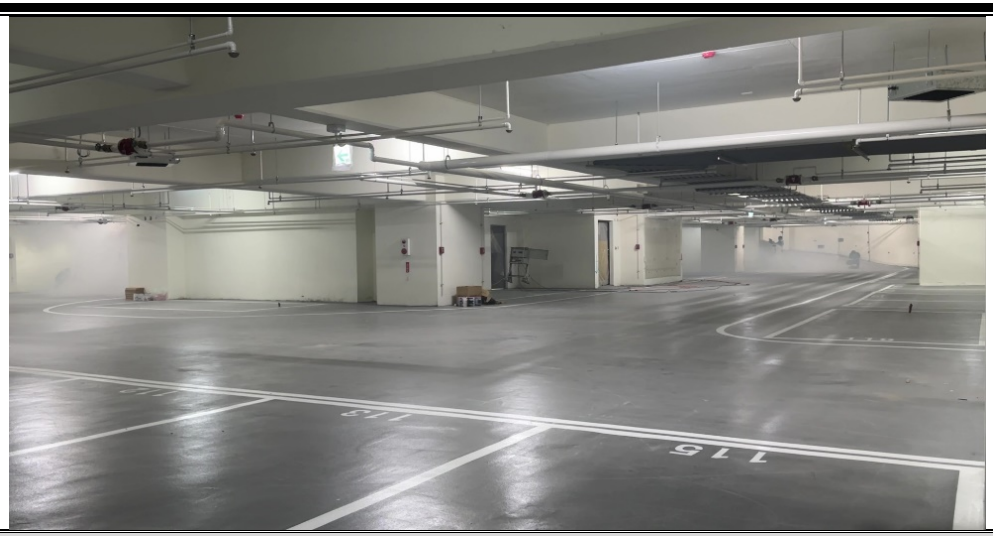
(資料來源：本研究整理)

表 3-54 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 480 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

(資料來源：本研究整理)

表 3-55 實驗二_開啟空氣調節及通風設備_實驗 600 秒

	
左上視角	右上視角
	
左下視角	右下視角

(資料來源：本研究整理)

五、煙流實驗結果分析

由於地下停車空間的獨特性質，例如密閉空間、複雜的通風系統和有限的逃生出口，此類場所在火災發生時可能造成嚴重的生命及財產損失。因此基於目前地下停車空間依法無須設置排煙設備的同時，瞭解此類場所發生火災時之煙流行為並探討其排放及控制策略尤為重要。本研究團隊將利用消防演練煙霧機(環保無害)模擬火場煙流情況。各情境實驗結果分析如下：

實驗一_關閉空氣調節及通風設備：

本實驗情境設定為關閉任何空氣調節及通風設備。從實驗過程發現，人員出入口於實驗開始後約 90 秒時，煙層點(2.0m)的遮蔽率達到 93%；煙層點(1.5m)遮蔽率達 66%；煙層點(1.0m) 遮蔽率達 4%；煙層點(0.5m)遮蔽率達 4%。

實驗二_開啟空氣調節及通風設備：

本實驗情境設定為開啟現況空氣調節及通風設備。從實驗過程發現，人員出入口於實驗開始後約 90 秒時，煙層點(2.0m)遮蔽率下降至 89%(相較於關閉通風設備降低 4%)；煙層點(1.5m)遮蔽率為 78%(相較於關閉通風設備上升 12%)；煙層點(1.0m)遮蔽率為 70%(相較於關閉通風設備上升 66%)；煙層點(0.5m)遮蔽率為 61%(相較於關閉通風設備上升 57%)。

由表 3-56 發現，開啟空氣調節及通風設備對於火場煙流會產生顯著影響。當啟動空氣調節及通風設備時，距離地面較近的量測點(0.5m、1.0m)有明顯的遮蔽率上升情況；但對於距離地面較遠的量測點(1.5m、2.0m)則有降低遮蔽率的功用。綜整上述發現，開啟空氣調

節及通風設備後，對於火場煙流有推阻及破壞煙流分層的現象，造成空間平均遮蔽率升高。因此在火場發生時，啟動空氣調節及通風設備雖能夠在一定程度上降低煙霧遮蔽率，但對於距離地面較近區域則可能提升遮蔽率，從而造成視線條件變差，這主要受到誘導式風機運轉帶動的氣流效應，該效應使得煙氣產生拖曳擾動，從而導致較低處的煙霧遮蔽率增加。

本研究團隊總結煙流實驗結果提出，在無專用排煙設備前提下，若要在火災前期提供良好的能見度，應關閉誘導式風機，避免煙氣流吹佛至火場各處而造成人員視線受阻；火災中後期階段，由於地下停車空間格局相對封閉，溫度將隨火勢成長而逐漸上升，此時為避免高溫對人員及造成建築結構損害，則可考慮啟動空氣調節及通風設備，降低溫度(主要因素)並排除煙霧。空氣調節及通風設備可以提供良好的空氣流通，幫助降溫，減少熱灼傷的風險，但相對能見度不佳，因此地下停車空間建議設置專用的排煙設備較佳。

表 3-56 人員出入口煙層量測結果彙整表

煙層量測點		關閉通風設備	啟動通風設備
2.0m	實驗第 90 秒遮蔽率	93%	89%(-4.0%)
	最高遮蔽率	94%	91% (-3%)
1.5m	實驗第 90 秒遮蔽率	66%	78%(+12%)
	最高遮蔽率	89%	83%(-6%)
1.0m	實驗第 90 秒遮蔽率	4%	70%(+66%)
	最高遮蔽率	42%	82%(+40%)
0.5m	實驗第 90 秒遮蔽率	4%	61%(+57%)
	最高遮蔽率	13%	78%(+65%)

(資料來源：本研究整理)

第六節 電動車火災之滅火設置影響

2019 年 04 月 21 日，一輛停放在中國上海某一處地下室的特斯拉電動車(Model S)自燃起火。事故判斷可能是車底高壓電池受到撞擊而引起電池內部電芯損傷，最終導致起火。本事故共計花費 50 分鐘才控制火勢。2022 年 10 月 23 日，新北市淡水客運總站的一輛電動公車充飽發動時冒煙及起火，火舌迅速延燒至另一輛電動公車。此場事故造成 2 輛公車只剩骨架，損失超過 2,000 萬元。

本研究課題為探討我國電動車及充電樁設置空間之安全規範，研提其主動式及被動式防火安全防護設施設備設置參考建議。基於室內停車空間火害風險，一旦電動車內部鋰離子電池發生熱失控而起火時，如何有效且快速控制電動車火勢極為關鍵。現階段室內停車空間主要參照各類場所消防安全設備設置標準以設置泡沫滅火設備為大宗。依照過往電池滅火經驗及文獻資料，撲滅鋰離子電池需要將滅火流體直達電池本體才有助於控制熱失控現象，因此如何調整現行泡沫頭設置方式或加強現行設置情況為本研究重點所在。

本研究滅火實測實驗將在雲林科技大學防火工程中心實驗室進行縮尺寸汽車模型之電池滅火實驗，以 100 顆圓柱型鋰鐵電池(40138)為燃燒對象，同時製作一個縮小尺寸的汽車車殼包覆電池，作為模擬泡沫頭於真實情況下，無法直噴電池模組的情況。滅火實測實驗項目規劃如表 3-57 所示。

表 3-57 滅火實驗規劃總表

項目	鋰電池種類	車殼	泡沫系統
實驗一	鋰鐵電池 (LFP) (100 顆)	無	無
實驗二		有	無
實驗三		有	有

實驗步驟：

(一)應於鋰離子電池表面及車殼與車殼上方貼附熱電偶、並在實驗防護平台內部設置氣體量測設備(包含：HF、HCL、CO、CO_2)，啟動數據收集系統及攝影設備並確認設備正常運作。

(二)根據情境要求設置，本實驗一無啟動滅火設備。

(三)確認實驗使用的鋰離子電池 SOC 值是否為 100%。本研究將利用電源供應器以 3.7 V 固定電壓對鋰離子電池進行充電。利用洞洞扁鐵將電池固定並放置於鐵板上方。

(四)實驗開始：開啟快速爐並調整為大火模式即為實驗開始，當實驗開始 10 分鐘後關閉快速爐。全程紀錄實驗溫度及氣體濃度變化、快速爐啟動/關閉時間、滅火設備啟動/關閉時間、鋰離子電池冒煙/起火/爆炸等燃燒現象發生當下時間。

(五)實驗結束條件：實驗進行 30 分鐘且無明火持續燃燒，若電池仍在燃燒則視情況延長實驗時間。

(資料來源：本研究整理)

一、縮尺實驗設備及耗材說明

(一) 實驗防護平台

鋰離子電池熱失控相較於固體燃燒具有較大的危險性，因此本研究團隊預計將電池放入實驗防護平台進行，預防電池爆炸或飛濺危害。實驗防護平台由厚度 1mm 的金屬板所製成，空間尺寸為長 1.8m；寬 1.8m；高 2.0m，該防護平台三側封閉，其中一面開放用於觀測電池燃燒情況。平台下方預留孔洞作為排水使用，如圖 3-80 所示。

圖 3-80 實驗防護平台示意圖

(資料來源：本研究整理)

(二) 溫度量測設備

熱電偶具有價格便宜、結構簡單、量測溫度範圍廣泛及準確度高的特性，因而經常被作為實驗過程的溫度量測設備使用。本研究案將採用熱電偶規格為 K-Type；直徑為 0.8mm。詳細熱電偶規格如表 3-58 所示。本研究團隊將在縮尺車殼上方及電池堆上方表面的左中右處貼附熱電偶，觀測電池熱失控的溫度變化。

表 3-58 熱電偶規格

規格	圖示
◎ 規格：0.8mm × 2C ◎ 材質:(內層)玻璃纖維、(外層) SUS 304 不鏽鋼網線 ◎ 類型：K Type	

(資料來源：本研究整理)

(三) 數據收集系統

數據擷取裝置主要作用是將測試過程中的熱電偶所量測的數據傳輸並記錄，為能準確反應實驗結果，本研究團隊將選用高頻率的數據採集及多點數據收集，數據收集系統如圖 3-81 所示。

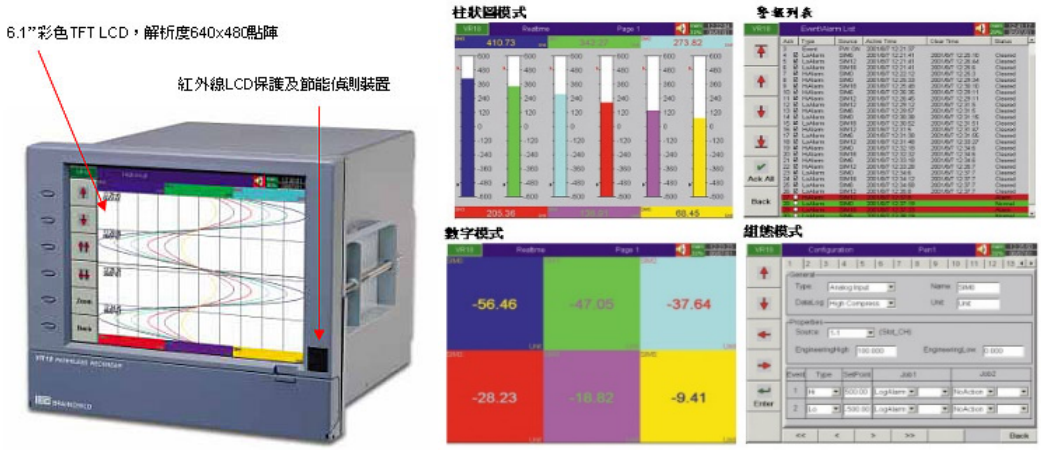


圖 3-81 數據收集系統(外觀圖(左)；軟體介面(右))

(資料來源：本研究整理)

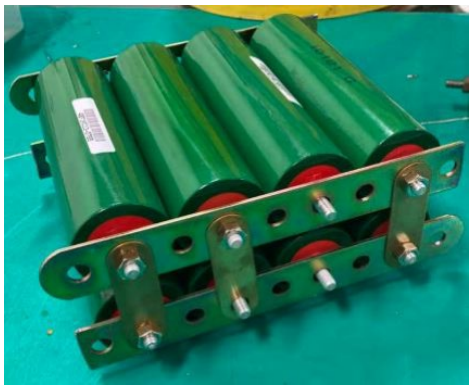
(四) 攝影設備及其他

為記錄實驗過程以利後續研究分析及確認試驗環境及設置架設是否有需變動或增設的問題。本研究團隊將在防護空間角落放置攝影設備並全程錄製實驗過程。除上述提及的內容外，現場周遭仍需準備其他雜項設備(例如：防火棉、碼表、滅火器等設備)。

（五） 鋰離子電池規格

本研究將使用鋰鐵電池(LFP)進行實驗，電池型號為 40138(直徑為 40mm；長度為 138mm；電容量為 15Ah。一般而言，鋰離子電池危險性隨 SOC 值上升而增加，因此本研究全程皆使用 SOC 值為 100%的鋰離子電池進行實驗。鋰離子電池規格如表 3-59 所示。

表 3-59 本研究案將使用的鋰離子電池規格

電池規格		電池圖示	
電池種類	鋰鐵電池(LFP)		
電池規格	40138		
電池 SOC 值	100%		
單顆電池電壓	3.3V		
單顆電池容量	15Ah		

(資料來源：本研究整理)

（六） 加熱設備(快速爐)

本實驗採用快速爐火加熱金屬鐵板作為引起電池熱失控的方式，實驗共放置 2 個快速爐搭配 2 塊尺寸為 40cm×50cm;厚度為 0.8cm 的鐵板。加熱設備配置示意如圖 3-82 所示。

圖 3-82 加熱設備示意圖(快速爐及鐵板)

(資料來源：本研究整理)

（七） 縮小比例汽車車殼模型

由本研究團隊過往相關電池滅火研究中發現，若要撲滅鋰離子電池火災，必須能夠對電池表面持續撒水降溫才有機會防止復燃。然而真實環境中，電動車輛電池放置於車體下方，其上方仍有車殼及車內物品覆蓋，因此滅火物質(例如：水、泡沫)並無法在火災初期噴撒至電池表面，從而影響滅火效果。

為客觀呈現電池表面撒泡沫與否對於滅火效果的影響，本研究將採縮尺實驗的方式，製造一個等比例縮小的鐵製車殼包覆電池並進行電池燃燒實驗，從而瞭解若無法直接將滅火流體噴撒在電池表面對於滅火效果的影響。

實驗之鋰離子電池數量採縮尺模型底盤滿鋪電池數量(約 50 顆電池)之兩倍(約 100 顆電池)進行實驗，約為實體車電池數量之 1/17。(註：因電池體積無法縮小，故無法與模型一併採 1/5 之比例縮小。)

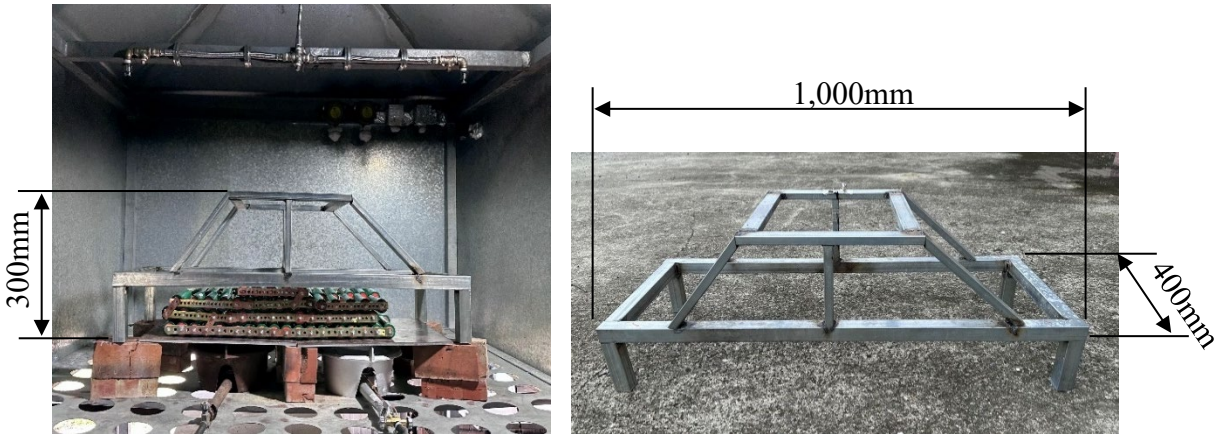


圖 3-83 縮小比例汽車車殼模型示意圖

表 3-60 縮尺模型尺寸設置表

	以 Model S 為例	縮尺模型(本研究模型)
車長(mm)	5,021	1,000
車高(mm)	1,987	400
車寬(mm)	1,431	300

備註：本研究縮尺模型比例約為 1:5。

(圖 3-83、表 3-60 資料來源：本研究整理)

（八） 泡沫滅火系統設置規劃

本研究實驗噴頭將設置於電池上方 80cm 處，並以中心為參考點，左右間隔 50cm 處設置 1 顆噴頭，因此將於車殼前後上方共設置 2 顆噴頭，如圖 3-84 所示。經調整滅火系統噴撒參數，單顆噴頭泡沫噴撒量為 10 LPM。

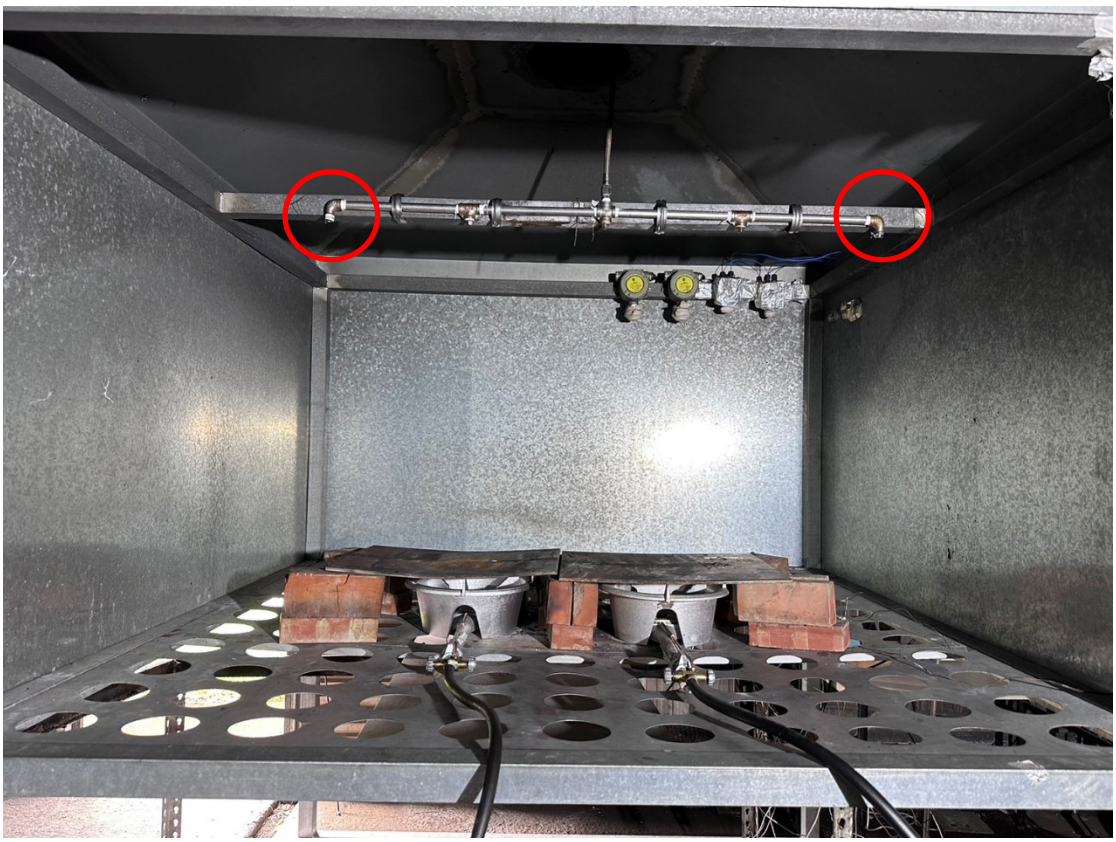


圖 3-84 滅火設備設置示意圖

(資料來源：本研究整理)

（九） 氣體量測設備

為瞭解電池類火災燃燒過程中所產生的有害氣體濃度。本研究團隊將在實驗防護平台右上方設置氟化氫(HF)、氯化氫(HCL)、一氧化碳(CO)及二氧化碳(CO_2)的量測設備，氣體量測設備規格及設置情況如表 3-61、圖 3-85 所示。

表 3-61 氣體量測設備規格

量測類型	量測範圍(PPM)
氟化氫(HF)	0~9
氯化氫(HCL)	0~17
一氧化碳(CO)	0 ~ 1,000
二氧化碳(CO_2)	0 ~ 10,000

（資料來源：本研究整理）

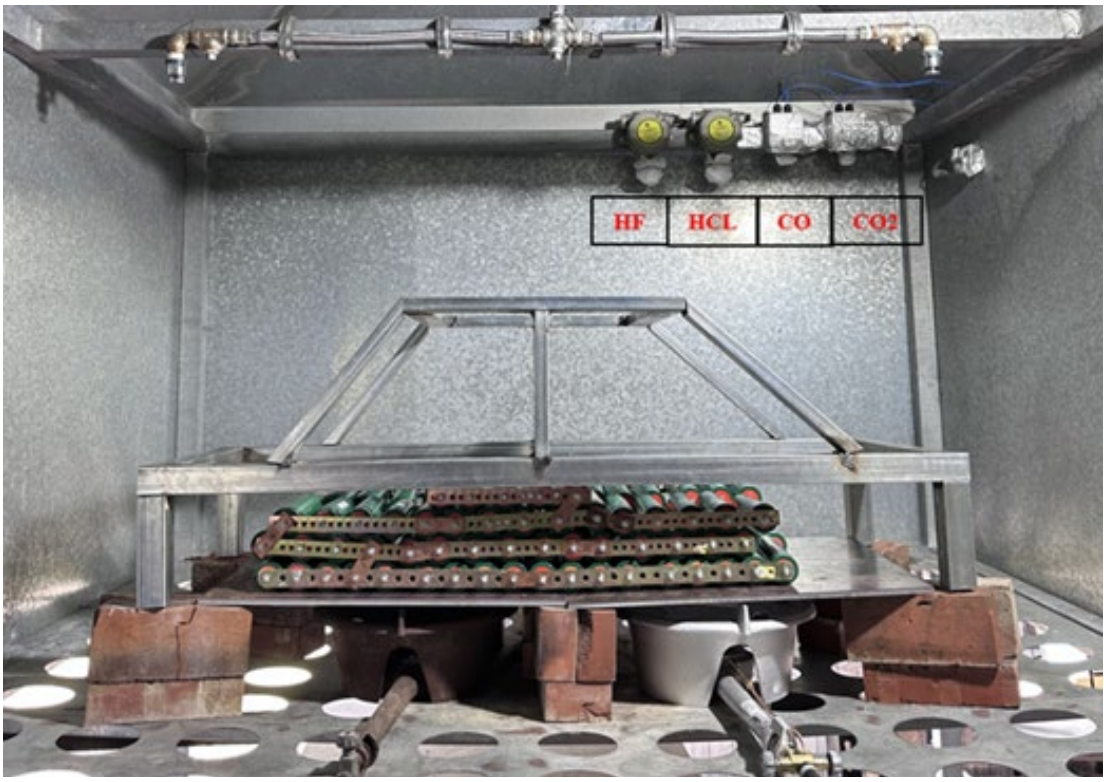
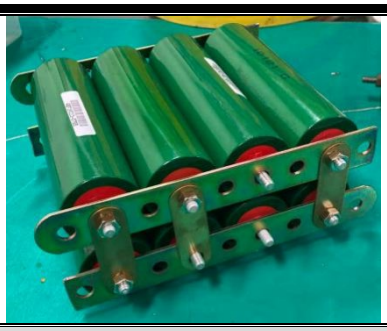
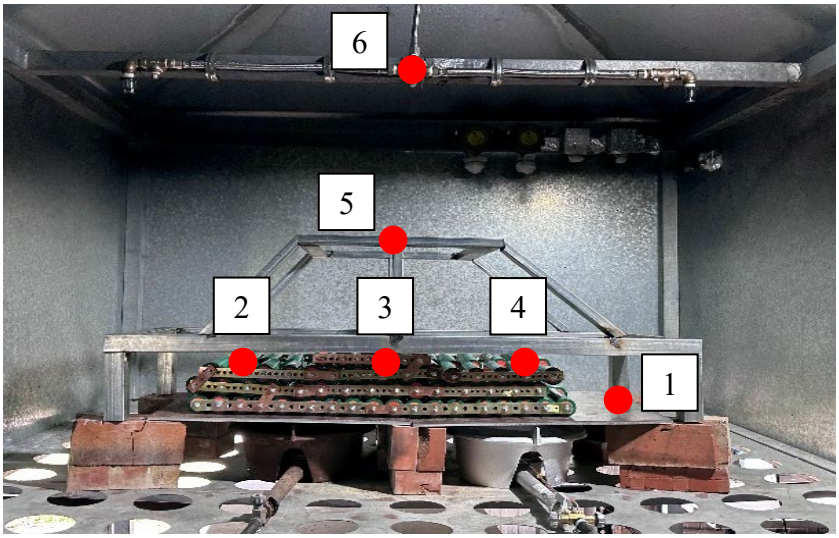


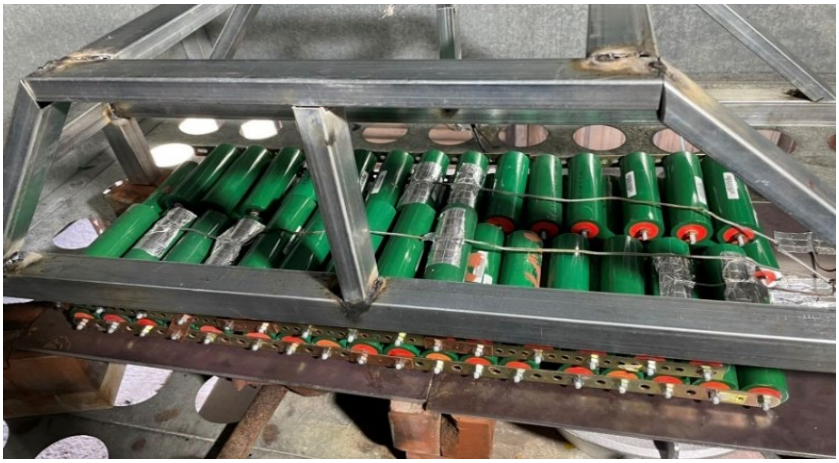
圖 3-85 氣體量測設備設置示意圖

(資料來源：本研究整理)

二、實驗結果分析_實驗一(無車殼-無滅火系統)

表 3-62 實驗一條件設置表

<table>
<tr><td colspan="2">電池規格</td><td rowspan="4">電池示意圖</td><td rowspan="4">  </td></tr>
<tr><td>電池種類</td><td>鋰鐵電池(LFP)</td></tr>
<tr><td>電池數量</td><td>100 顆</td></tr>
<tr><td>電池 SOC 值</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>單顆電池電壓/容量</td><td>3.3V/15Ah</td></tr>
<tr><td colspan="5">引燃方式</td></tr>
<tr><td>引燃方式</td><td colspan="4">利用快速爐火加熱鐵盤；鐵板將熱能傳導至上方電池。</td></tr>
<tr><td>加熱時間</td><td colspan="4">快速爐火持續加熱 10 分鐘後關閉。</td></tr>
<tr><td colspan="5">量測點位示意圖</td></tr>
<tr><td colspan="5"> 



備註：實驗共設置 6 個溫度量測點，包含電池上方表面左中右三處(點 2~點 4)；縮尺車殼正上方(點 5)；鐵板溫度(點 1)；鐵板上方 1m 處(點 6)。</td></tr>
</table>

(資料來源:本研究整理)

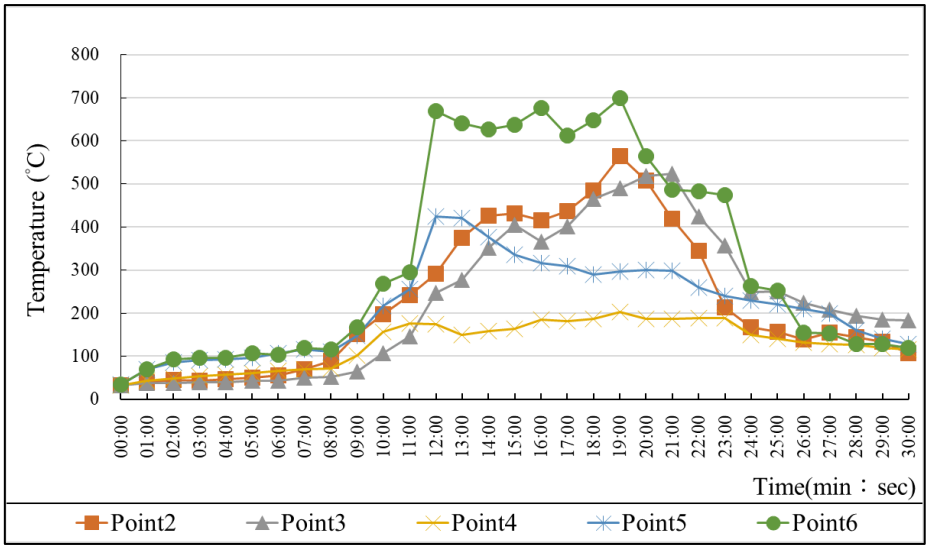


圖 3-86 實驗一_溫度變化圖

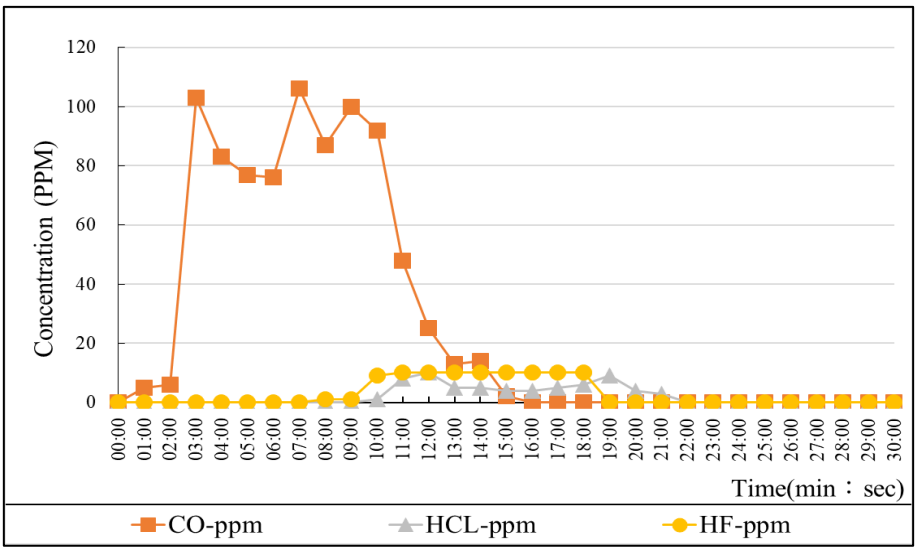


圖 3-87 實驗一_氣體濃度變化圖(CO、HCL、HF)

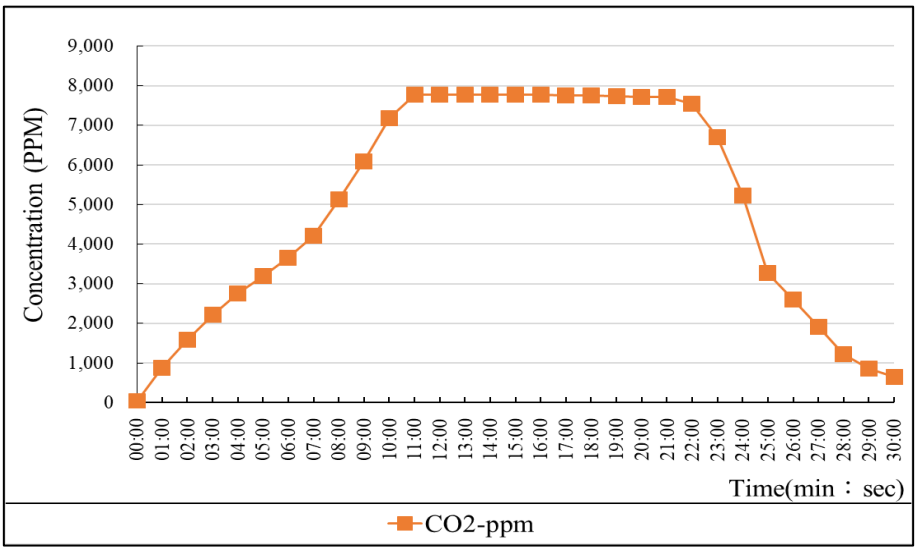
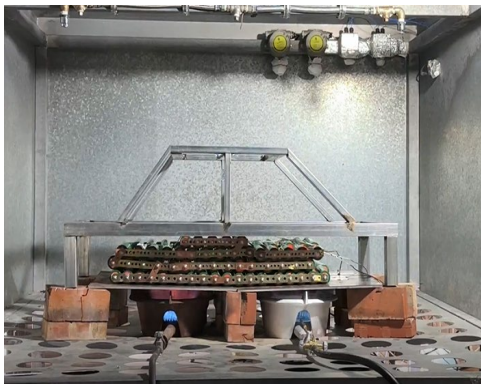
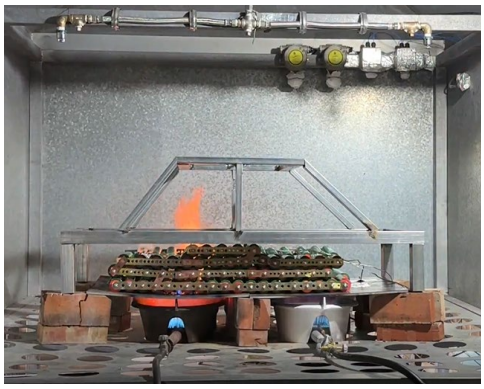
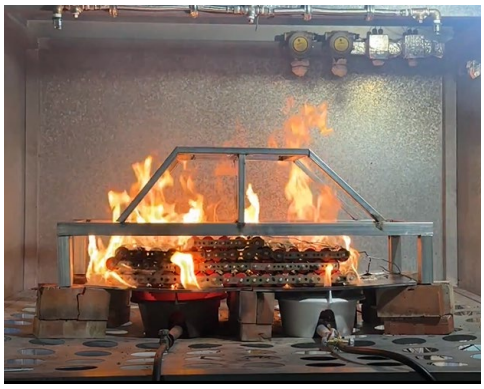


圖 3-88 實驗一_氣體濃度變化圖(CO_2)

(資料來源:本研究整理)

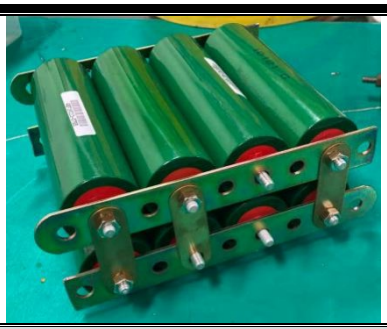
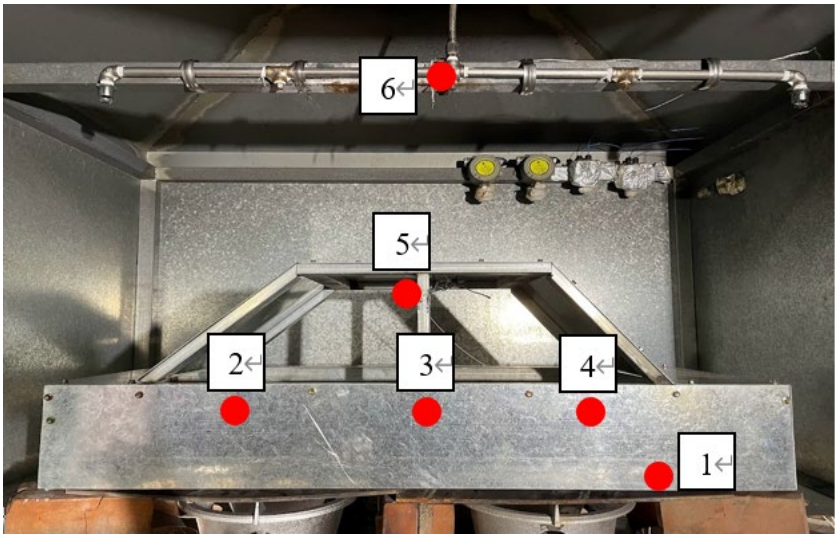
表 3-63 實驗過程紀錄表_實驗一

實驗過程		
說明	【00：00】點火開始	【06：05】電池氣體洩漏且起火
實驗過程		
說明	【10：00】關閉瓦斯爐	【13：47】電池持續燃燒
實驗過程		
說明	【22：42】電池爆炸瞬間	【30：00】實驗結束

(資料來源:本研究整理)

三、實驗二(有車殼-無滅火系統)

表 3-64 實驗二條件設置表

<table>
<tr><td colspan="2">電池規格</td><td rowspan="4">電池示意圖</td><td rowspan="4">  </td></tr>
<tr><td>電池種類</td><td>鋰鐵電池(LFP)</td></tr>
<tr><td>電池數量</td><td>100 顆</td></tr>
<tr><td>電池 SOC 值</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>單顆電池電壓/容量</td><td>3.3V/15Ah</td></tr>
<tr><td colspan="5">引燃方式</td></tr>
<tr><td>引燃方式</td><td colspan="3">利用快速爐火加熱鐵盤；鐵板將熱能傳導至上方電池。</td></tr>
<tr><td>加熱時間</td><td colspan="3">快速爐火持續加熱 10 分鐘後關閉。</td></tr>
<tr><td colspan="5">量測點位示意圖</td></tr>
<tr><td colspan="5"> 

備註：實驗共設置 6 個溫度量測點，包含電池上方表面左中右三處(點 2~點 4)；縮尺車殼正上方(點 5)；鐵板溫度(點 1)；鐵板上方 1m 處(點 6)。</td></tr>
</table>

(資料來源:本研究整理)

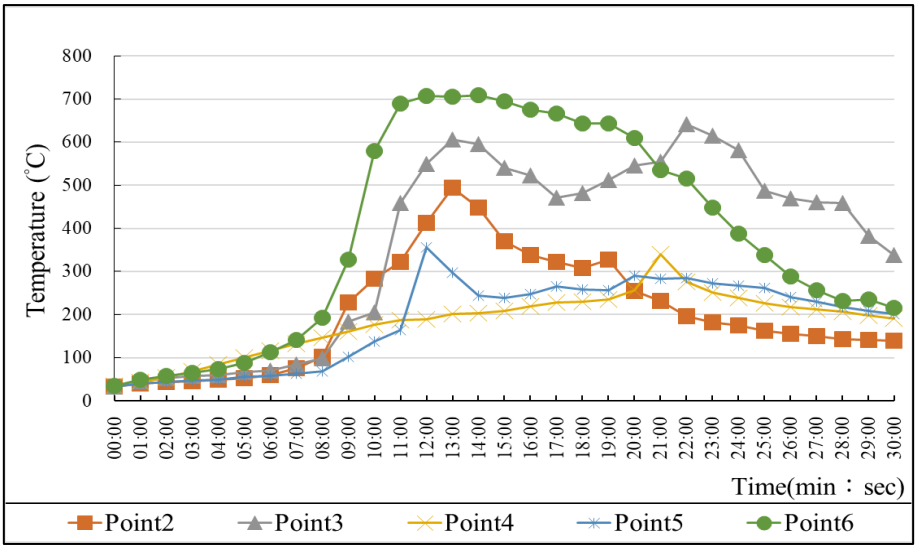


圖 3-89 實驗二_溫度變化圖

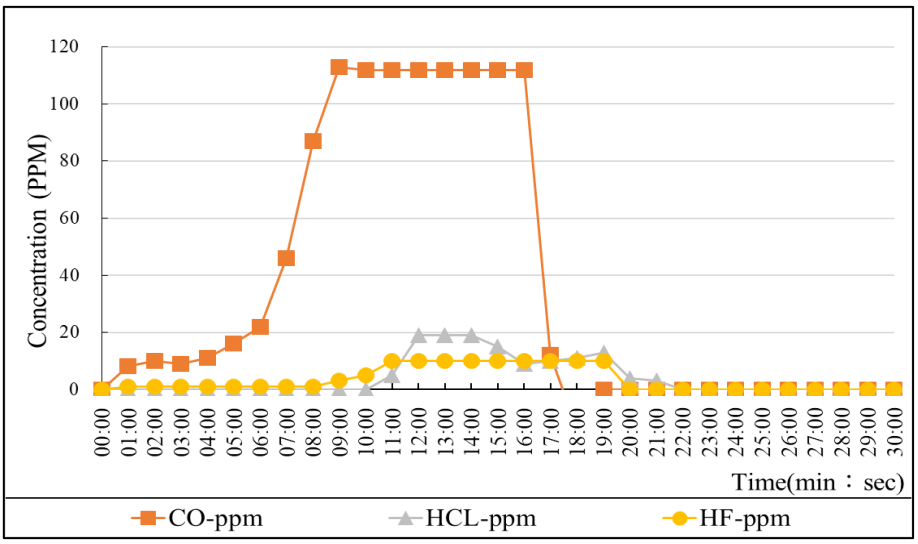


圖 3-90 實驗二_氣體濃度變化圖(CO、HCL、HF)

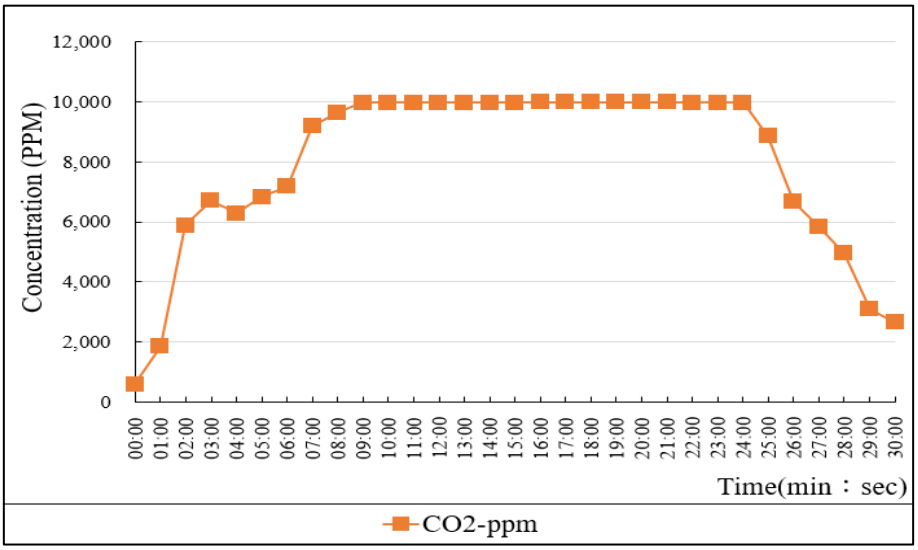
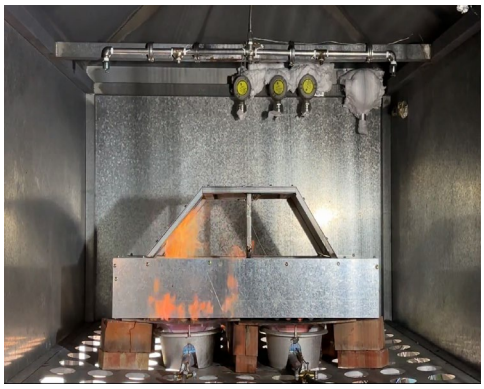
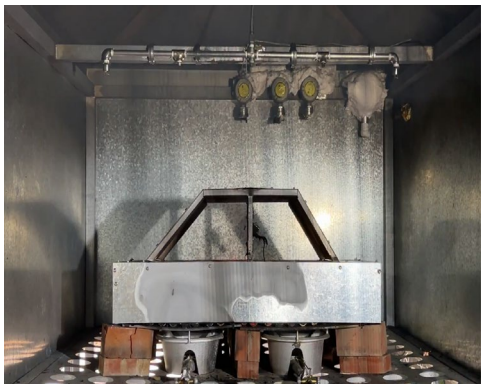


圖 3-91 實驗二_氣體濃度變化圖(CO_2)

(資料來源:本研究整理)

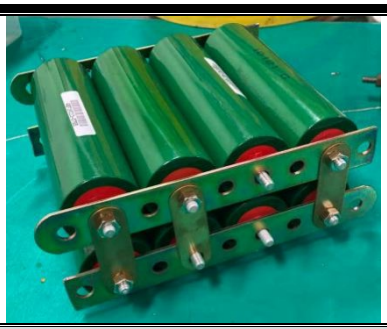
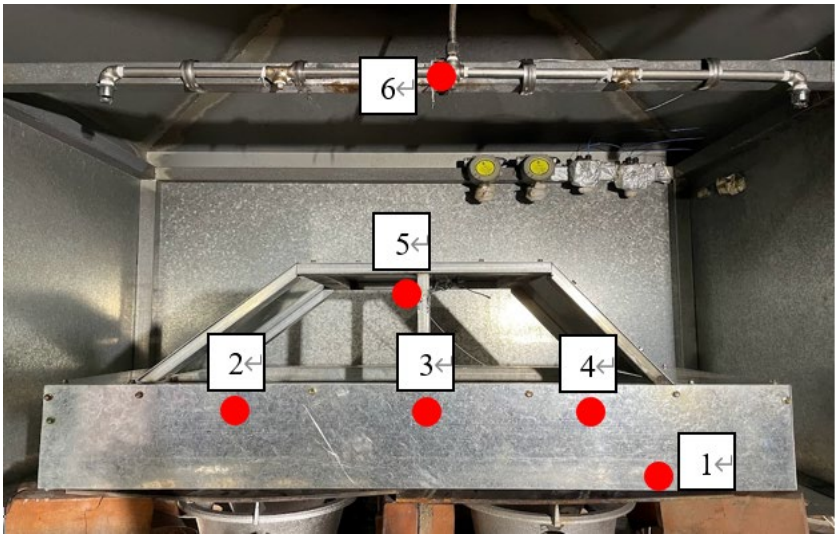
表 3-65 實驗過程紀錄表_實驗二

實驗過程		
說明	【00：00】點火開始	【04：42】電池氣體洩漏且起火
實驗過程		
說明	【10：00】關閉瓦斯爐	【14：45】電池持續燃燒
實驗過程		
說明	【18：53】電池爆炸瞬間	【30：00】實驗結束

(資料來源:本研究整理)

四、實驗三(有車殼-有滅火系統)

表 3-66 實驗三條件設置表

<table>
<tr><td colspan="2">電池規格</td><td rowspan="4">電池圖示</td><td rowspan="4">  </td></tr>
<tr><td>電池種類</td><td>鋰鐵電池(LFP)</td></tr>
<tr><td>電池數量</td><td>100 顆</td></tr>
<tr><td>電池 SOC 值</td><td>100%</td></tr>
<tr><td>單顆電池電壓/容量</td><td>3.3V/15Ah</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">引燃方式</td></tr>
<tr><td>引燃方式</td><td colspan="4">利用快速爐火加熱鐵盤；鐵板將熱能傳導至上方電池。</td></tr>
<tr><td>加熱時間</td><td colspan="4">快速爐火持續加熱 10 分鐘後關閉。</td></tr>
<tr><td colspan="5">量測點位示意圖</td></tr>
<tr><td colspan="5"> 

備註：實驗共設置 6 個溫度量測點，包含電池上方表面左中右三處(點 2~點 4)；縮尺車殼正上方(點 5)；鐵板溫度(點 1)；鐵板上方 1m 處(點 6)。</td></tr>
</table>

(資料來源:本研究整理)

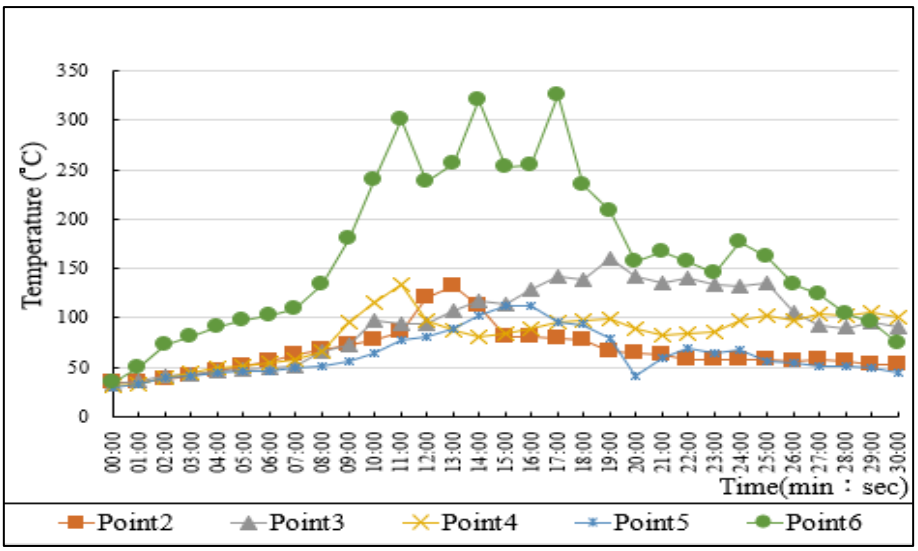


圖 3-92 實驗三_溫度變化圖

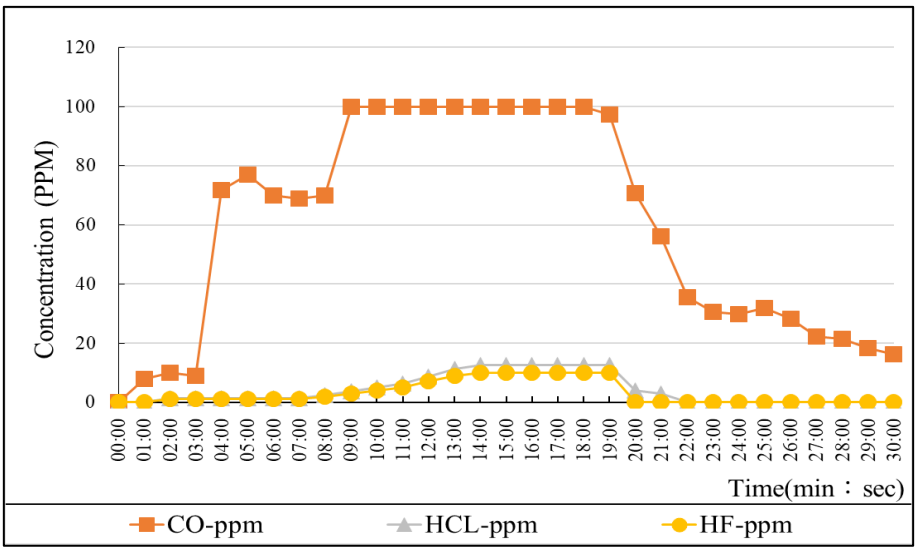


圖 3-93 實驗三_氣體濃度變化圖(CO、HCL、HF)

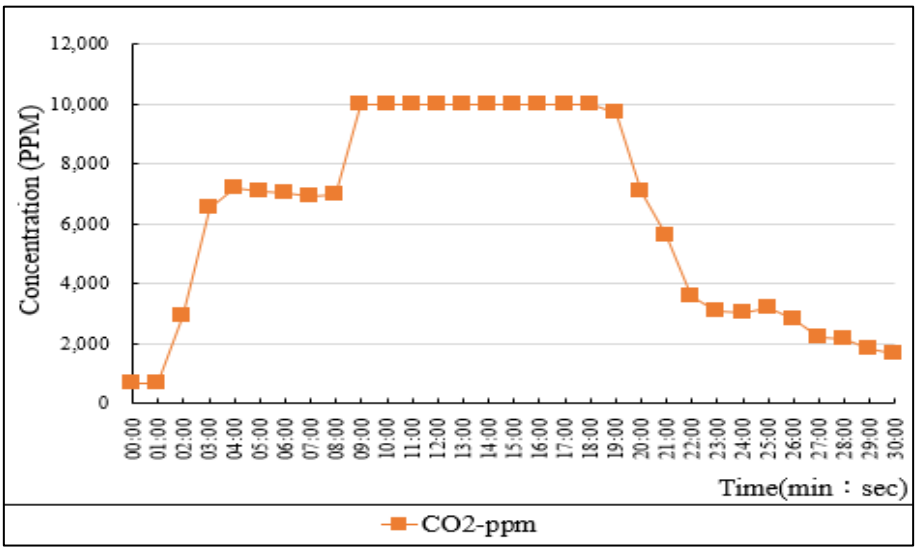


圖 3-94 實驗三_氣體濃度變化圖(CO_2)

(資料來源:本研究整理)

表 3-67 實驗過程紀錄表_實驗三

實驗過程		
說明	【00：00】點火開始	【06：37】電池洩漏起火
實驗過程		
說明	【08：44】電池爆炸瞬間	【10：00】關閉瓦斯爐 並開啟滅火系統
實驗過程		
說明	【23：17】電池持續燃燒且洩漏大量氣體	【30：00】實驗結束

(資料來源:本研究整理)

本研究團隊以100顆鋰鐵電池(LFP)進行縮尺模型電池滅火實驗，彙整本研究三次實測實驗結果發現：

(一)電池燃燒行為及溫度分析：

實驗一(無車殼-無滅火系統)在實驗第 06 分 05 秒時電池起火燃燒，此時鐵板溫度為 254°C；頂層電池溫度分別為 55.9°C、42.8°C、65.3°C；車殼上方溫度為 102.8°C；實驗二(有車殼-無滅火系統)在實驗第 04 分 42 秒時電池起火燃燒，此時鐵板溫度為 95.2°C；頂層電池溫度分別為 51.6°C、65.3°C、54.6°C；車殼上方溫度為 78.4°C；實驗三(有車殼-有滅火系統)在實驗第 06 分 37 秒時電池起火燃燒，此時鐵板溫度為 60.1°C；頂層電池溫度分別為 50.8°C、56.3°C、48.1°C；車殼上方溫度為 107.9°C。爾後在實驗期間發生近數十次氣閥洩漏冒火情況。氣閥洩漏瞬間會伴隨明顯地洩氣聲且洩漏氣體接觸明火會瞬間引燃並產生大面積火光，其燃燒現象類似於油氣引燃的情況。統整本案三次實驗過程得知，電池燃燒階段可分成三部份，包含：

第一階段(0~10 分鐘)：鐵板加熱至上方電池熱失控，此階段電池會陸續起火燃燒並引燃周圍鋰離子電池，此階段上層電池表面溫度約為 107°C ~200°C。

第二階段(10~20 分鐘)：關閉瓦斯爐讓熱失控電池自行燃燒擴散至其他電芯並達到全面燃燒，此階段各溫度監測點溫度持續上升，上層左側電池溫度最高達 565°C；車殼上方溫度達 612°C ~700°C，此溫度足以引燃周遭可燃物並對建築結構造成不可逆影響。

第三階段(20~30 分鐘)：電池燃燒情況逐漸衰退，亦即電池本體可燃物逐漸減少，此階段溫度及危害氣體等逐漸下降，最終火勢熄滅。

(二)電池爆炸飛濺及危害風險：

由 100 顆鋰鐵電池實驗發現，電池氣閥洩漏冒火並非同時間或集中在燃燒猛烈階段中產生，由圖 3-95 發現，該次電池氣閥洩漏時間為實驗 22 分 42 秒(中後段實驗)，從氣閥洩漏前 3 秒發現電池火焰燃燒已逐漸衰退，然而此次氣閥洩漏爆炸為本次實驗最為猛烈的一次，不僅伴隨明顯的氣爆聲與火花，還噴出一些固體殘骸。由此可知，對於電動車火災救援而言，電池的救災風險不僅在電池猛烈燃燒階段可能有爆炸風險，當火勢衰退階段由於電池組成架構已逐漸受熱變形而開始鬆脫時，當發生氣爆時將更為嚴重，因此建議電動車火災救災過程應長時間且持續對電池本體進行降溫，避免未爆電池氣閥瞬間破裂時，夾帶的高速噴射氣體且遭遇明火引燃的火柱沖擊救災人員，將極可能對救災人員的人身安全產生風險。

圖 3-95 氣閥洩漏瞬間_實驗一

(資料來源:本研究整理)

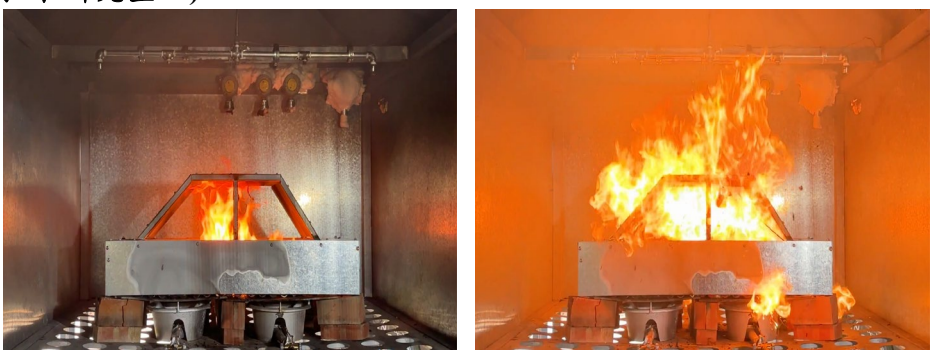


圖 3-96 氣閥洩漏瞬間_實驗二

(資料來源:本研究整理)

(三)電池燃燒過程毒性氣體危害影響分析：

彙整實驗一的氣體量測數據發現，其中 CO_2 氣體濃度實驗開始後逐漸上升至 8,000ppm 左右(實驗第 11 分鐘至實驗 21 分鐘皆維持在 8,000ppm 左右)；CO 氣體濃度做實驗開始階段逐漸上升至 100ppm，而後在實驗 12 分鐘後開始下降； HCL 及 HF 氣體則是在實驗第 9 分鐘後開始產生，數值約為 0~12ppm 左右，在約 22 分鐘時回歸為 0。

彙整實驗二的氣體量測數據發現，其中 CO_2 氣體濃度實驗開始後逐漸上升至 6,000~7,000ppm 左右(實驗第 2 分鐘至實驗 6 分鐘)，而後大部分時間皆維持在 8,000ppm 左右(實驗第 9 分鐘至實驗第 24 分鐘)；CO 氣體濃度從實驗開始階段逐漸上升至 115ppm，而後在實驗 17 分鐘後開始急速下降； HCL 及 HF 氣體則是在實驗第 10 分鐘後開始產生，數值約為 0~20ppm 左右，在約 20 分鐘時回歸為 0。

彙整實驗三的氣體量測數據發現，其中 CO_2 氣體濃度實驗開始後逐漸上升至 7000,ppm~8,000ppm 左右(實驗第 3 分鐘至實驗 8 分鐘)，而後上升到 10,000ppm(實驗第 11 分鐘至實驗第 18 分鐘)；CO 氣體濃度從實驗開始階段逐漸上升至 100ppm，而後在實驗 19 分鐘後開始下降；HCL 及 HF 氣體則是在實驗第 2 分鐘後開始產生，數值約為 0~12ppm 左右，在約 20 分鐘時回歸為 0。

五、縮尺寸實際實驗小結

現階段室內停車空間主要參照各類場所消防安全設備設置標準以設置泡沫滅火設備為大宗。依照過往電池滅火經驗及文獻資料，撲滅鋰離子電池需要將滅火流體直達電池本體才有助於控制熱失控現象，本研究縮尺寸汽車模型之電池滅火實驗[5]，以 100 顆圓柱型鋰鐵電池(40138)為燃燒對象，同時製作一個縮小尺寸的汽車車殼包覆電池，作為模擬噴頭於真實情況下，無法直噴電池模組的情況。

依實驗結果可知：

1. 無撒泡沫的情況下，車殼上方溫度達 612°C~700°C，此溫度足以引燃周遭可燃物並對建築結構造成不可逆影響。有啟動噴撒泡沫時，車殼上方溫度降至約 300°C~330°C，溫度下降約 50%，在模擬設置車殼模型使泡沫無法直噴電池模組的情境下，足以證明啟動自動滅火設備是有正面幫助的。

2. 當電動車火災火勢衰退階段，由於電池組成架構已逐漸受熱變形而開始鬆脫時，當發生氣爆時將更為嚴重，因此需長時間持續對電池本體進行降溫，避免未爆電池氣閥瞬間破裂時，夾帶的高速噴射氣體且遭遇明火引燃的火柱沖擊救災人員，將極可能對救災人員的人身安全產生風險。

[5] 實驗係在 1/5 模型與 1/15 的電池數量下且電池為裸露情況進行實驗之結果。

第四章 結論與建議

第一節 結論

基於室內停車空間的空間特殊性，如何加強應對電動車火災的主動式救災策略與被動式安全防護措施十分重要。本研究及其指引之目的，僅在於降低室內停車空間電動車與充電樁設備之火災風險，以及提升地下停車空間之安全性，並非確保室內停車空間電動車與充電樁設備無火災發生之虞。

本研究蒐集國內外電動車及其充電設置之設置、使用與安全規範相關資料，並採電腦模擬分析停車空間遭遇電動車火災之煙流影響與規劃電動車縮尺寸實測實驗(100 顆電池)。根據研究內容提出室內電動車停車空間及充電樁設備之防火安全對策，結論如下：

1. 針對建築物室內停車空間之電動車位及充電樁之設置區域與規劃設計建議如下：

   (1) 電動車位及充電樁位置：

   電動車火災事故部分原因為充電起火或事故自撞導致車內佈置的鋰離子電池熱失控而起火。由於地下停車空間電池類火災搶救不易，為了可以方便取用大量的水進行電動車火災的救援行動，建議電動車充電樁設置以在地面層為主，或地下層靠近車道出入口並在室內外消防栓救援範圍內之區域，以方便消防人員進出。

   (2) 防火區劃：

   如果建築物混合停車與其他使用，則停車場空間與其他區域須以至少一小時防火時效性能之防火區劃區隔，以減少其他使用區域可能遭受火災和濃煙的損害。若是設置於地下空間

之防火區劃構造則防火性能須具備至少為 2 小時防火時效。

2. 針對室內電動車位及充電樁設置空間之主動式及被動式防火安全防護設施設備設置，參考建議如下：

(1) 考量設置熱像儀溫度警報設備：

為電動車充電和停車區配備熱像儀溫度警報設備，用以監控充電站與電動車，以及早偵知鋰離子電池發生熱失控情況。

(2) 火災初期地下停車空間空氣調節及通風設備作動，應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段設備開關的管控：地下停車空間所安裝的空氣調節及通風設備，係作為通風換氣使用，非為火災時之專用排煙設備，依據本研究所設定的場域條件，所進行的實際煙流實驗與電腦模擬結果，火災初期空氣調節及通風設備開啟作動可能使濃煙快速蔓延，造成人員視線受阻而導致避難困難；而火災中後期階段(或地下層人員均完成避難後)，由於地下停車空間格局相對封閉，溫度將隨火勢成長而逐漸上升，此時為避免高溫對救災人員及建築物結構造成損害，則可能需要啟動空氣調節及通風設備，以降低溫度(主要因素)並排除煙霧。因此建議應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段空氣調節及通風設備開關的管控。

(3) 建議設置充電區劃專用排煙設備：

因為鋰離子汽車電池的火災可以長時間燃燒(幾個小時)，並釋放具有毒性之氣體，且電池故障和火災事件可能導致可燃氣體的釋放。如果這種情況發生在密閉區域(例如建築物內)，可燃氣體可能會積聚並發展成爆炸危險。設置排煙設備除可有效排除有毒氣體，亦有助於降低可燃氣體濃度使其低於燃燒

下限。

(4) 設置自動滅火設備：

封閉式停車空間應設置自動滅火設備。自動滅火設備可以有效控制控制火勢蔓延，但是燃燒的電動汽車電池被車身保護不容易完全撲滅，仍需由消防人員進行滅火處置。

然而依據 NFPA 應急現場指南，指出要撲滅電動車的火勢與控制溫度，最少需要 2,600 加侖的水量[6]。NFPA 建議消防人員即使在火焰消失後，仍需持續使用大量且長時間(至少 1 小時起)撒水以冷卻電池來防止再度起火。因此，建議現場應構建充沛的水源調度(從撲滅火勢至完成降溫作業可能至少需 30 噸之水量[7])。

(5) 加強避難逃生設施設備：

- 加強地下停車空間避難路徑引導(例如增加避難方向指示燈、聲光引導出口標示燈、停車場避難平面圖增設...等)，並確保安全梯防火門保持常閉及遮煙性能。
- 停放電動車輛與設置充電樁之建築物地下停車空間，建議均設置緊急昇降機與特別安全梯。

3. 本研究於第二章第二節整理我國現行使用的電動車及充電樁種類，針對電動車位及充電樁設備設置建議如下：

(1) 若是「新建集合住宅或供公眾使用之建築物」，由於地下停車空間電池類火災搶救不易，為了可以方便取用大量的水進行電動車火災的救援行動，建議電動車充電樁設置以在地面層

[6] 2,600 加侖的水量≒10 噸的水≒16,000 瓶 600cc 寶特瓶瓶裝水。

[7] 水箱消防車儲水量約 3,500 公升，30 噸之水量約需出動九輛；水庫消防車儲水量約 12,000 公升，30 噸之水量約需出動三輛。

為主，或地下層靠近車道出入口並在室內外消防栓救援範圍內之區域，以方便消防人員進出。

(2) 若是「既有集合住宅或供公眾使用之建築物」,除上述建議外，充電設備及管線不得妨害或破壞防火避難設施、消防設備、防火區劃及主要構造，不得妨礙避難逃生動線，停車位不得違章使用。充電設備的位置與使用不得妨礙社區逃生與消防安全或其他住戶停車權益，須採用合格安全充電設備，由合格電器承裝業廠商安裝施工，充電設備須設置合格斷路器。

(3) 除此之外，無論是新建建物或是既有建築物，日後針對設有電動車及其充電樁充電設備之停車空間，建議管理人員或保全人員等相關權責人員，應加強管理與巡邏，並定期檢查相關設施設備及消防演練。

4. 本研究已於第三章第一節與第二節補充近年電動車火災案例或國外較重大之相關案例，以及電動車火災案例起火原因概述等資料。

5. 本研究已整理完成電動車及充電樁初期緊急應變措施及消防人員救災安全參考指引。請詳見附件。

第二節 建議

本研究綜合本年度研究成果與經驗，提出以下未來較具有研究價值的課題，供有關主管機關參考。

建議一

立即可行之建議：地下停車場電動車火災控制之應用技術可行性研究。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部消防署

因應淨零碳排政策的推動，電動車產業的發展為未來重要的施政目標，而台灣地狹人稠，未來地下停車空間勢必會停放大量的電動車，而現行自動撒水設備是否可提供足夠防護，將會影響地下停車空間安全與否，同時區域排煙對於火災時煙流的影響，也會影響人員的避難逃生，因此應針對地下停車場電動車火災控制之相關應用技術進行研究，以提升防火安全。

建議二

中長期之建議：建議停放電動車輛與設置充電樁之建築物地下停車空間樓地板面積未超過一百平方公尺者，仍應設置戶外安全梯或特別安全梯。

主辦機關：內政部國土管理署

協辦機關：內政部建築研究所

因應未來建築物地下停車空間可能停放大量電動車與充電樁，現行《建築技術規則》建築設計施工編第 96 條第一項第二款之規定：「二、通達六層以上，十四層以下或通達地下二層之各樓層，應設置

安全梯；通達十五層以上或地下三層以下之各樓層，應設置戶外安全梯或特別安全梯。但十五層以上或地下三層以下各樓層之樓地板面積未超過一百平方公尺者[8]，戶外安全梯或特別安全梯改設為一般安全梯。」建議調整為「二、通達六層以上，十四層以下或通達地下二層之各樓層，應設置安全梯；通達十五層以上或地下三層以下之各樓層，應設置戶外安全梯或特別安全梯。但十五層以上或地下三層以下無停放電動車輛與設置充電樁各樓層之樓地板面積未超過一百平方公尺者，戶外安全梯或特別安全梯改設為一般安全梯。」

[8] 依據《建築技術規則》建築設計施工編第 89 條第一項第五款之規定：「五、本章各節關於樓地板面積之計算，不包括法定防空避難設備面積，室內停車空間面積、騎樓及機械房、變電室、直通樓梯間、電梯間、蓄水池及屋頂突出物面積等類似用途部分。」，故一般建築物地下停車空間大多為「樓地板面積未超過一百平方公尺者」。

附錄 審查意見回應表

一、期初審查（評審會議）回應表

委員	評選委員意見(依發言順序)	廠商回應
一	1. 電動車火災危害的文獻資料調查，除收集災害範圍及災情外，建議收集災害原因及災害產生因子等資料之整理。	感謝委員意見，後續將依委員意見補充電動車火災起火原因等資料。
	2. 電動車防治火災之機制，建議從災害預防(防火材料使用等)、災害阻隔(將火源隔絕及延燒等)及滅火設施等防治措施。	感謝委員意見，電動車防火材料使用不在本研究範圍內。而災害阻隔與滅火設施等，將會以縮小尺寸的實測實驗進行相關研究。
	3. 災害發生後的排煙措施，除電動車位區域的滅火設備及排煙設備外，建議考慮防煙隔板的規劃，以使煙霧漫延速度減緩，以利災害防治。	感謝委員意見，將依委員意見考量納入防煙垂壁之規劃。
二	1. P.10 表2 火災案例 (1) 針對案例，請概略說明其主動及被動滅火設備設置情形及滅火方式? (2) 僅提供2022年國內案例，研究時請再提供3年內案例檢討，並請增列國外較重大之相關案例說明。	感謝委員意見，後續將依委員意見補充3年內電動車火災案例與國外較重大之相關案例說明。但因火災案例資料細節無法完整取得，故僅能補充概略起火原因說明。
	2. P.11，研究目的中，針對提供救災人員初期緊急應變措施及消防人員救災安全參考指引部分，請再強化提供之重點及其方向目標為何?	感謝委員意見，參考指引主要針對兩個部份：一是發生電動車火災時的緊急應變措施，包含限縮火勢範圍、電池持續降溫等；二是救災安全指引，包含斷電與有毒煙氣的排除等。
	3. P.15 (1) 電動車火災滅火流程：限縮火勢→電池降溫→電池置入水中→解除災害，建	感謝委員意見，後續將依委員意見補充電動車火災滅火流程具體案例與鋰電池構造種類、起火機制及防範策略等說明。

	議應有更詳細或具體案例之論述。 (2) 請增列鋰電池構造種類、起火機制及防範策略等說明。	
	4. P.31，圖4，建議在文獻蒐集階段，現行電動車及充電樁使用現況及其災害風險評估部分，建議加入防、排煙設備評估項目。	感謝委員意見，將依據委員意見於本研究文獻蒐集階段，考量納入防、排煙設備評估項目。
三	1. 定性：限縮火勢(被動防火)→鋰電池降溫(主動防火)→災害解除。	感謝委員意見。
	2. 電動車的火載量會假設多少MW。(文獻調查)	感謝委員意見，本研究參考加拿大NRC 機構所進行的電動車全車燃燒實驗數據，其電動車最大火載量約在8MW 左右。
	3. 停車空間的排煙量會假設多少CMM。建議$1m^3/m^2$(排毒氣)	感謝委員意見，本研究停車空間的電腦模擬排煙量設定，預計大約是1~2CMM。
	4. 停車空間除結構防火外(被動式防火)，是否考慮空間下層能夠安裝水基滅火設備。(主動式防火)	感謝委員意見，本研究將以泡沫設備進行縮小尺寸的實測實驗，實驗結果將提供給相關主管機關參考。
	5. 緊急應變機制除考慮瞬間斷電外，是否考慮能自動下降至筏基層，讓電動車浸泡在水中。(降溫)	感謝委員意見，由於讓電動車下降至筏基層的措施可能只有建築物停車空間最下層才有機會達成，其他樓層由於樓板空間現況不易施作。
	6. 用語修正：地下層停車空間屬「無開口樓層」。這段話可能要修正，無開口樓層是指地面層開口面積未達 1/30 FA。	感謝委員意見，將依據委員意見修正相關用語。
	7. 要控制火勢，要排煙至室外，建議停車空間不宜太深層。	感謝委員意見，將依據委員意見納入本研究中。

四	1. 本案對於既有公寓大廈及新建建築有何不同防火規劃與設計，請補充說明。	感謝委員意見，既有公寓大廈主要針對現有設備做「改善」或「強化」，而新建建築主要是從根本上做全面性的安全設計要求，包含獨立防火區劃、設置排煙設備與滅火設備的創新等。
	2. 請多蒐集歐、美、日等有關之防火設計規劃資料。	感謝委員意見，將依據委員意見盡可能蒐集歐、美、日等國有關之防火設計規劃資料。
	3. 請修正服務建議書研究進度表。	感謝委員意見，遵照辦理。
	4. 進行實測實驗時，請注意安全及防護等措施。	感謝委員意見，遵照辦理。

二、期中審查回應表

委員	委員評選意見	廠商回應
陳教授誠直	1. 電腦模擬分析結論之一為長期高溫將損毀建築物，請補充在各情境下，建築物所受可能之高溫與時間。 2. 電腦模擬分析於啟動通風換氣設備時，甚至於有反效果，請補充具體建議。 3. 電腦模擬分析結果之溫度變化圖與能見度變化圖之彩色圖以灰階列印時，無法顯示其趨勢。	1. 遵照委員意見補充在各情境下，建築物所受可能之高溫與時間。 2. 感謝委員意見，空氣調節及通風設備建議可在人員避難完成時開啟，協助排除地下停車空間之濃煙。 3. 遵照委員意見，後續報告書會以彩色印刷，以利委員檢視。
陳技師正平	1. 建議在充電樁附近主要結構加強防火被覆。	1. 感謝委員意見，將納入被動防火策略內容。
徐教授一量	1. 執行內容符合計畫書預期目標、內容與進度。 2. 電池燃燒實驗，如果經費許可，除撒水外，也建議可測試國內常用的泡沫系統進行測試。 3. 建議計畫可針對主、被動防火策略提出整理與建議。 4. 建議可參考 NFPA 88A，檢視提出之策略。	1. 感謝委員意見。 2. 感謝委員意見，去年度協辦案已進行鋰電池火災泡沫系統滅火相關實驗。本年度研究案縮小尺寸實驗主要針對在有車殼等阻礙物的情況下的滅火情況。 3. 感謝委員意見，遵照辦理。 4. 感謝委員意見，遵照辦理。
何理事長岫	1. 無論車輛是否充電中，	1. 感謝委員意見，因目前

璁	皆可能形成電動車輛的電池火災。	電動車市佔率僅約佔3%左右，故優先考慮充電區之安全防護對策，後續配合全面車輛電動化，再擴大為全區停放的安全考量。
	2. 排煙口和出入口的相對位置對於人員安全應有所不同。	2. 感謝委員意見，排煙口的規劃必須使煙流方向與避難方向為反方向作為規劃原則。
	3. 鋰電池的長時間燃燒特性，持續供水時間建議納入考量。	3. 感謝委員意見，依據特斯拉緊急救援手冊的內容，完全撲滅電池火災並加以冷卻可能需要大約 3,000 加侖(約 11 公噸)的水，僅依靠建築物內的消防水源是不夠的，故建議停放在地面或是地下一層接近出口處，以利消防車輛搶救。
	4. 初期應變的「控制對策」（如消防栓、移動式細水霧、滅火毯等）建議考量。	4. 感謝委員意見，將考量納入主動滅火策略。
	5. 建議發展 FTA、FMEA 的火災發展樹狀圖。	5. 感謝委員意見，將考量納入後續研究建議。
內政部國土管理署(原內政部營建署)（孫研究員立言）	1. 研究報告文獻探討有引用到地下建築物相關規定，但該規定並不適用地下停車空間，請研究團隊參考修正。	1. 感謝委員意見，遵照辦理。
	2. 研究報告部分內容目前著重於救災活動及對救	2. 感謝委員意見，後續將考量納入人員避難需

	災人員之安全，也請考慮其他人員之安全及避難需求。	求。
中華民國全國建築師公會（楊建築師勝德）	1. 地下層停車場結構體的防火要求，是否跟著電動車及其充電樁需求提高，而提高要求，亦即修正「建築技術規則」相關要求。 2. 有否建議電動車停車場要有獨立區域的排煙與撒水系統。	1. 感謝委員意見，如停電動車的樓層越往下，因為救災與避難的難度增加了，所以地下層停車場結構體的防火要求應該要提升，後續將考量納入研究結論與建議事項。 2. 感謝委員意見，電動車停車空間建議設置獨立的排煙與滅火系統，惟目前既有建築物調整規劃具有一定難度，故本研究先朝充電區設置獨立區劃與排煙的方向進行考量。
消防設備師（士）協會（吳設備師曉峰）	1. 建議除了考量分區設置地下停車空間專屬的「排煙設備」，是否參考荷蘭某通風設備商的解決方案，加裝細水霧設備及風扇加速水霧擴散，利用細水霧洗滌煙霧及降溫的特性，提升地下停車空間降溫及能見度，可以用電腦模擬其可行性。	1. 感謝委員意見，將考量納入後續研究建議。
中華民國電機技師公會（張技師宗	1. 目前法規規定，要求停車空間應預留電動車輛充電有關設備與裝置之裝設空間，另外台電公	1. 感謝委員意見，因目前電動車市佔率僅約佔3%左右，故優先考慮充電區之安全防護對

寶）	司亦再推動專設一戶充電樁，且實務上多數案場，亦是如此要求全面預留裝設空間，故要限制局部充電空間，與目前實務上有落差。 2. 目前電動車火災極難滅火，多數處理方法為限縮危害，如利用防火毯來限制火災區域。 3. 請研究團隊修正充電規格的敘述。	策，後續配合全面車輛電動化，再擴大為全區停放的安全考量。 2. 感謝委員意見，利用防火毯來限制火災區域是一種可行的方式，惟操作上可能需要經過專業訓練的人員以及專業防護裝備。 3. 感謝委員意見，遵照辦理。
中華民國產物保險商業同業公會（陳經理世璋）	1. 目前電動車發生火災，因其電池燃燒特性及現行的泡沫滅火系統不易撲滅或控制火災，可能造成損害擴大，因此本會期待本研究能對電動車火災提出有效的預防及損害控管的對策研究，供保險業者參考。	1. 感謝委員意見。
內政部消防署（書面意見）	1. 設置車輛專用充電設備地下停車空間之消防安全設備，需就其場所空間屬性及風險危害程度等，依「各類場所消防安全設備設置標準」(以下簡稱設置標準)第 18 條規定，就水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳滅火設備等選擇設置之，以抑制車輛火災初期的燃燒，	1. 感謝委員意見，依據去年度(111 年)協辦案研究成果，在鋰電池未被模組包覆的情況下，以撒水或泡沫均可有效滅火，惟需持需噴撒降溫，以避免復燃。

	防止火災擴大延燒；另本署刻正辦理設置標準修正，增修停車空間應依其場所風險屬性選設自動撒水設備，並參考美國防火協會(NationalFire Protection Association，簡稱NFPA) NFPA13 自動撒水設備安裝標準，增訂停車空間之有效撒水密度，以提升其初期火災之自動滅火設備功效。	
雷聘用研究員明遠	1. 公有停車場容易規劃充電樁位置及電動車位集中等，惟住宅地下停車場各住戶電動車自設原廠充電設備，則難以規範，是否可提供若干指導規範供大樓管理單位參考。 2. 電動車火災風險控制方式除報告所提示之三項，是否可以增加電池過熱(熱失控)警示或早期偵知裝置。 3. 通風排氣電腦模擬，建議增加撒水或泡沫設備作動之交互作用情境。	1. 感謝委員意見，依據後續研究成果應可提供部分設置建議供大樓管理單位參考。 2. 感謝委員意見，將考量納入後續研究建議。 3. 感謝委員意見，電腦模擬將考量納入水、煙、氣的之交互作用模擬情境。
李副研究員其忠	1. 研究報告書第44頁提到電動車火災對室內建築物結構的影響，建議增加相關文獻回顧，同時	1. 感謝委員意見，遵照辦理。

	納入本所過往的研究資料。	
王聘用研究員天志	1. 隨著電動車的推廣及其發生火災的不確定性，未來要限制電動車停放或充電區域，會越來越困難，其發生火災的位置也是隨機的，因此在無法有效滅火下，建議還是先以限制火損範圍為考量，進行損害控管。	1. 感謝委員意見，因目前電動車市佔率僅約佔3%左右，故優先考慮充電區之安全防護對策，後續配合全面車輛電動化，再擴大為全區停放的安全考量。
王組長順治	1. 對於電動車停車空間位置，可以風險程度來考量，建議優先設置於地面層，其次為地上層，最後才為地下層。	1. 感謝委員意見，配合政府 2050 淨零碳排的政策，電動車停車位置的優先順序可以提出建議，但不是強制規定。例如停電動車的樓層越往下，因為救災與避難的難度增加了，所以相關設定或規定應該要越嚴苛。
	2. 電動車火災不易控制，有較高的風險，是否可以考量將室內停車空間的電動車火災納入公寓大廈管理條例第17條的投保公共意外責任保險，以分攤風險。	2. 感謝委員意見，將考量納入後續研究建議。
	3. 建議研究內容補充供管理委員會參酌的電動車於室內停車空間停放或充電時的安全防護對策，尤其是要特別針對人的安全部分，加以說	3. 感謝委員意見，遵照辦理。

	明。	
欒主任秘書中丕	1. 請研究團隊持續收集國家淨零政策各階段的推動內容、時程，以規劃本案研究對策，如規劃分區或專區停放、充電的可行性，及後續配合全面車輛電動化，需擴大為全區停放的安全考量。	1. 感謝委員意見，遵照辦理。

三、期末審查回應表

委員	委員評選意見	廠商回應
方教授一匡	1. 建議就本期研究主要成果，結合歷次審查委員所提寶貴意見，根據處理策略與適用之場所，濃縮整理出下一階段的研究方向，例如公寓的地下停車場如何有效預警與控制降溫，並考慮納入消防安檢項目，大型公有停車場的電動車設置位置與主被動防火規定，建請同時參酌國外的規定或目前常用防火方法。 2. 建議應有後續研究，妥善定出後續努力的起跑點，分別針對公寓停車空間與公有停車場，如何主動與被動防火，提出具體可行方法與初步相關規定。	1. 感謝委員意見，將依據委員意見考量彙整歷次審查委員所提意見，納入後續研究建議。 2. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後續研究建議。
林教授慶元	1. 請補強被動式措施中，有關強化避難安全之避難設施之建議。	1. 感謝委員意見，已依據委員意見於被動式措施中，加強避難逃生設施設備之建議。
何理事長岫璁	1. 地下停車空間火災危害極大，電動車與燃油車火災的最大差異在於電動車鋰電池起火風險和難以撲滅，易復燃，連續熱傳播等特性。對於電	1. 感謝委員意見。

	動車火災建議以「長時間冷却控制，限制火害範圍，直至燃燒殆盡」為對策。 2. 建議可就充電設施EMS訊號與納入消防防災監控系統之整合，以強化火災事先預防，輔助自主應變，協助消防搶救。 3. 研究成果明確，對室內停車空間防火安全具有貢獻。	2. 感謝委員意見，充電設施EMS訊號與消防防災監控系統之整合，應有其必要性，建議相關廠商可研擬其可行性。 3. 感謝委員意見。
陳技師正平	結構物之耐火時效，建議提供修訂建議，以防火災時建物倒塌造成人員傷亡。	感謝委員意見，依據《建築技術規則建築設計施工編》第70條「防火構造之建築物，其主要構造防火時效」之規定：自頂層起算超過第四層至第十四層之各樓層，其承重牆壁應具有一小時以上防火時效，其樑、柱、樓地板應具有二小時以上防火時效。而自頂層起算第十五層以上之各樓層，其承重牆壁與樓地板應具有二小時以上防火時效，其樑、柱應具有三小時以上防火時效。將依據委員意見考量納入後續研究建議。
徐教授一量 (書面意見)	1. 本研究成果豐碩，以實驗驗證各項數據，符合計畫預期目標。 2. 研究內容充實，透過文獻探討、數值模擬及縮小火災實驗探討室內停	1. 感謝委員意見。 2. 感謝委員意見。

	車空間之電動車防火對策，探討全面且有豐碩成果。 3. 依據研究成果提出相當重要的建議，如火災初期關閉通風換氣設備、設置充電區劃專用排煙設備等防火安全防護建議，相信能強化火災安全防護。 4. 本研究亦提出室內停車空間設置充電樁區域與規劃設計建議，建議設置於地面層為主，或靠近車道口及救災易達之區域等，亦為相當重要且有用的建議。 5. 建議後續各相關單位能採納本研究之成果與建議。	3. 感謝委員意見，火災初期建議應關閉地下停車空間空氣調節及通風設備，避免濃煙快速蔓延造成人員視線受阻而導致避難困難；火災中後期階段(或地下層人員均完成避難後)，由於地下停車空間格局相對封閉，溫度將隨火勢成長而逐漸上升，此時為避免高溫對救災人員及建築物結構造成損害，則可考慮啟動空氣調節及通風設備，以降低溫度(主要因素)並排除煙霧。 4. 感謝委員意見。 5. 感謝委員意見。
內政部國土管理署(原內政部營建署)（孫研究員	1. 第 4 章第 1 節結論 1.列有數個建議事項，但對照第 2 節「建議與後續研究方向」之 2 項建議，	1. 感謝委員意見，有關第四章第一節結論所述，主要分為兩個部分：一是「針對室內電動車位

立言）	二者未相互呼應，第1節許多建議事項未列為第2節之建議，第2節之建議二非第 1 節的結論，建請整理調整。 2. 第 4 章第 1 節結論 5.似為本研究設定之模擬條件摘述，列於「結論」較不恰當。	及充電樁設置空間之主\被動式防火安全防護設施設備設置建議」、二是「針對建築物室內停車空間之電動車位及充電樁之設置區域與規劃設計建議」，內容係依據本研究進行文獻蒐集、電腦模擬、地下室放煙實驗、縮尺寸鋰電池燃燒實驗之相關結果而得到之結論說明。而第四章第二節所指之建議，主要係為「後續研究建議」，係依據委員或專家學者提供的意見，彙整為後續研究建議之參考。 2. 感謝委員意見，將依據委員意見調整相關內容。
交通部路政及道安司 (朱科長大慶)	1. 報告書內有關我國淨零政策說明敘述，請參考引用2022年3月國家發展委員會所發布的「臺灣2050淨零排放路徑及策略總說明」之內容與用語，報告書所引用的統計數據也請再檢視正確性。 2. 研究成果顯示出電動車於地下停車場火災時，	1. 感謝委員意見，已依據委員意見參考引用2022 年 3 月國家發展委員會所發布的「臺灣2050 淨零排放路徑及策略總說明」之內容與用語，報告書所引用的車輛統計數據業已更新至112年10月。 2. 感謝委員意見，地下停車空間採自然通風之

	開啟通風換氣設備會造成煙霧擴散瀰漫，不利逃生，是否有考慮如採自然通風之行為? 3. 文獻分析有關電動車充電設備規格及相關管理規範彙整，交通部已調和導入聯合國 UN CEI 的關電動車電氣安全法規，請再補充搜集相關法規和檢驗標準的規定，另外文獻也可納入「電動汽車充電專用停車位及其充電設施設置管理辦法」一併討論。 4. 研究成果請函送或採網頁下載方式，供建管、消防、交通及各地方政府參採。	研究規劃，將考量納入後續研究建議。 3. 感謝委員意見，後續將依據委員意見補充蒐集相關文獻。 4. 感謝委員意見，研究成果報告可自行從內政部建築研究所網頁下載。
中華民國全國建築師公會(江建築師支川)	1. 電動車充電導致蓄電池溫度過高，才是停車場火災的源頭，研究報告雖有裝設熱像儀設備的建議，但如果能將充電樁即時自動溫控斷電，避免溫度上升是否更為有效? 2. 政府預計2040年車輛全面電動化，車輛室內充電可能造成火災，主管機關應該積極審慎考量。 3. 基於室內充電恐有火災的疑慮，建議戶外應有	1. 感謝委員意見，充電設施 EMS 訊號與消防防災監控系統之整合，應有其必要性，建議相關廠商可研擬其可行性。 2. 感謝委員意見。 3. 感謝委員意見。

	充電樁的設計，並考慮各種檢測儀器，在充電升溫可能的情況下，立即自動斷電並通知大樓管理人員迅速處理。	
中華民國結構工程技師公會全國聯合會(王技師炤烈)	1. 電動車與充電樁對防災的產生與因應是不同，燃油車亦會發生火害，但電動車的問題除鋰電池與汽油的差別外，主要是電動車尚有充電樁問題，因此建議本研究要把鋰電池造成的防火問題與充電樁造成的問題分開。 2. 一般住宅會有撒水設備，但不太會有泡沫設備，建議注意僅撒水無泡沫的對策。 3. 本研究很有意義，但結論似較偏消防，建議可在補充對防火部份。	1. 感謝委員意見，燃油車雖亦會發生火害，但可利用泡沫、滅火毯等冷卻、窒息方式撲滅火勢，但相同方式使用在電動車火災上，僅能控制火勢範圍，並無法滅火，此為兩者最大之不同。充電樁火災風險控制與建議，已於 111 年建研所成果報告整理完成，故本研究主要針對電動車防火問題進行考量。 2. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後續研究建議。 3. 感謝委員意見，後續將依據委員意見調整相關內容。
中華民國土木技師公會全國聯合會(林技師自勤)	1. 電動車與充電樁充滿在建築物的地下停車空間是不可阻擋的趨勢，為了建築物的安全計，是否應建議此設置區域四周皆應塗佈防火材料? 2. 又電池產生爆炸現象，是否針對地下停車場的	1. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後續研究建議。 2. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後

	壁與版需要規定最小厚度?	續研究建議。
中華民國電機技師公會(張技師宗寶)	1. 目前實務上已有多數案場，是要求全面預留裝設空間，故要用比例設置局部充電空間，與目前實務上有落差。 2. 研究案的實驗，係在1/15 的電池數量下且電池為裸露情況進行，相關實驗過程的溫度變化、滅火效果及爆炸等現象，請加強說明係在前述實驗條件下之結果，避免誤導。 3. 研究報告的應變程序與消防指引，內容較偏向地面型事故，請補充加強針對地下停車場的措施。 4. 通風換氣設備與排煙設備的設置功能目標不同，研究結果也顯示開啟通風換氣設備反不利逃生，建議應針對設置專用排煙設備進行考量。	1. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後續研究建議。 2. 感謝委員意見，將依據委員意見補充說明實驗係在 1/15 的電池數量下且電池為裸露情況進行實驗之結果，避免誤導。 3. 感謝委員意見，本研究有關電動車及充電樁火災之初期緊急應變措施及消防人員救災安全指引(草稿)，主要針對地下停車空間，部分指引內容亦適用於地面型電動車火災事故。 4. 感謝委員意見，將依據委員意見考量納入後續研究建議。
消防設備師(士)協會(吳設備師曉峰)	針對私有建築物既設停車位所設置的充電設備，請提供其防火改善對策建議，以降	感謝委員意見，已依據委員意見補充既有集合住宅或供公眾使用之建築物規劃

	低火災風險。	設計原則。
中華民國產物保險商業同業公會(陳先生火盛)	目前電動車發生火災，根據文獻均指出不易撲滅或僅能盡量控制火災，本會期待本研究能提出針對建築、消防等法規或國家標準的補強，以提供有效的改善對策。	感謝委員意見，本研究可作為相關主管機關對於電動車相關法規精進之參考。
王組長順治	1. 本案方向就電動車地下停車空間的使用環境配套更趨完善，作為研究方向進行檢討，以降低發生火災或災損的風險。 2. 建議研究內容成果得酌以增加供不同主管機關、管委會或車主使用參考之相關應注意事項。	1. 感謝委員意見。 2. 感謝委員意見，後續將依據委員意見補充相關內容。
欒主任秘書中丕	1. 研究報告已針對如使用水進行滅火所需的水量建議，也請團隊針對如使用泡沫時，其應準備的泡沫容量之建議。 2. 針對建管與消防的考量，請補充說明地下室防火區劃法規是否有精進的改善建議。	1. 感謝委員意見，因泡沫成本高且較不易清理，消防隊進行救災行為時僅會使用水進行灌救，故相關文獻均只提及使用水進行電動車滅火所需的水量建議參考，並無泡沫容量之建議資料。 2. 感謝委員意見，如果建築物地下室混合停車與其他使用，則停車場空間與其他使用區域須以至少一小時防火時效性能之防火區劃區隔，以減少其他使用

		區域可能遭受火災和濃煙的損害。若是設置於地下空間之防火區劃構造則防火性能須具備至少為2小時防火時效。

參考書目

【1】 楊君濤，2014，「電動汽車充換電站火災風險評估的思考」，現代職業安全。

【2】 鄭錦淑，2009，「高安全性鋰電池材料」，工業材料雜誌。

【3】 Rao H. et al., 2015, “Study of fire tests and fire safety measures on lithium ion battery used on ships, Transportation Information and Safety (ICTIS).

【4】 「地下建築空間防火設計與消防救災結合應用」，2020，內政部建築研究所。

【5】 李玉生，2008，「建築物依法設置室內停車空間防火安全之研究」，內政部建築研究所。

【6】 芮新宇，2020，「鋰離子電池熱失控蔓延問題研究綜述」，電池工業。

【7】 胡廣，2021，「車用鋰離子電池熱失控研究綜述」，電工電能新技術。

【8】 丘澄彬，1990，「水對固態燃料組列之火焰抑制研究」，國立成功大學碩士論文。

【9】 陳瑜平，2019，「淺論煙草企業廠內電動車輛充電安全措施」，企業管理。

【10】 張磊等人，2017，「抑制鋰電池火災滅火劑技術研究進展」，科技通報。

【11】 Qingsong Wang, 2018, “A review of lithium ion battery failure mechanisms and fire prevention strategies”.

【12】 Wang Q. et al., 2012, “Thermal runaway caused fire and explosion of lithium ion battery”, Journal of Power Sources.

【13】 “Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression”, 2019, DNV GL Report.

【14】 彭文軍，2019，「浅析加强暖通施工管理的方法」，智能城市。

【15】 吳新華等人，2003，「城市小汽车发展预测」，現代城市研究。

【16】 程遠平等人，2003，「地下汽车庫火灾与烟气发展过程研究」，

中國礦業大學學報。

【17】 Emmons H. W., 1980, “Scientific progress on fire”, Annual Review of Fluid Mechanics.

【18】 田超超，2015，「地下机械式立体车库火灾数值模拟」，西華大學。

【19】 彭婷，2019，「圆筒形地下立体停车库火灾通风排烟系统与影响因素研究」，西南交通大學碩士論文。

【20】 王彩霞，1996，「高层建筑地下停车库的通风设计和诱导通风方式的应用」，暖通空調。

【21】 Zhang, X.G. et.al., 2007, “Numerical simulations on fire spread and smoke movement in an underground car park”, Building and Environment.

【22】 賈春芬，2006，「地下停车库火灾风险性的评价研究」，火災科學。

【23】 何錦明，2009，「細水霧設備於建築物室內停車空間應用之研究」，內政部建築研究所。

【24】 程遠平，2002，「小汽车火灾试验研究」，中國礦業大學學報。

【25】 張文耀，2015，「深層地下汽機車停車場火災特性解析研究」，國立臺北科技大學碩士論文。

【26】 諸偉，2021，「小区地下停车场火灾的扑救」，消防界。

【27】 杜宏，2015，「浅谈车辆火灾的预防和扑救工作」，消新西部。

【28】 鄭榮升，2014，「浅析车辆火灾原因与调查」，機電技術。

【29】 張邦立，2012，「大規模地下空間避難弱者之情境模擬及避難疏散策略」，內政部建築研究所。

【30】 楊智欽，2009，「鐵路地下隧道及車站之防火性能設計研究」，國立交通大學機械系碩士論文。

【31】 「停車場火災的災害特性，你必須要知道的 6 件事」，2018，瑞德消防雜誌。

【32】 許志豪，2020，「室內停車空間變更為倉儲使用之安全性改善探討」，國立交通大學碩士論文。

【33】 陳琳，2014，「地下室车库火灾蔓延规律及灭火措施的研究」，武漢理工大學。

【34】 郭樹林，1996，「烟气流动造成火灾蔓延距离计算」，河南消防。

【35】 張曉鴿，2006，「地下车库火灾过程及消防措施的研究」，工程熱物理學報。

【36】 黃彰斌，2006，「筋混凝土樑受火害時之溫度分佈與殘餘強度分析」技術學刊。

【37】 Wang G., 2013, “Fire safety provisions for aged concrete building structures”, Procedia Engineering.

【38】 劉白梅，2001，「火害後鋼筋混凝土建築物耐震評估」，中華民國建築學會。

【39】 白亮，2014，「高溫後長齡期在役混凝土抗壓強度研究及微觀分析」，長安大學建築科學與工程學報。

【40】 洪培耕，2016，「地下機車停車場全尺寸火災特性實驗研究」，國立台北科技大學碩士論文。

【41】 GB50067，「汽車庫、修車庫、停車場設計防火規範」，中華人民共和國國家標準。

【42】 任進，2013，「地下车库通风及排烟系统分析与应用」，西安建築科技大學。

【43】 沈子勝，2018，「停車塔自動滅火設備設計及滅火效能之研究」，內政部建築研究所。

【44】 李佳蓉，2021，「停車場用密閉式泡沫撒水頭認可基準之研究」，陽明交通大學碩士論文。

【45】 Roeland Bisschop, 2019, “Fire Safety of Lithium-Ion Batteries in Road Vehicles”, RISE Report.

【46】 黃可龍等人，2010，「鋰電池原理與技術」，五南圖書出版股份有限公司。

【47】 Jiang J. et al., 2004, “ARC studies of the thermal stability of three different cathode materials: LiCoO2; Li[Ni0.1Co0.8Mn0.1]O2; and LiFePO4,in LiPF6 and LiBoB EC/DEC electrolytes”，Electrochemistry Communications.

【48】 吳弘俊，2008，「高功率鋰電池正極材料的發展現況與市場應用」，工業材料雜誌。

【49】 林素琴，2009，「大好前景-鋰電池材料發展分析」，Industrial Economics &Knowledge Center (IEK)。

【50】 K. Xu, 2004, “Nonaqueous Liquid Electrolytes for Lithium-Based Rechargeable Batteries,” Chemical Reviews.

【51】 F. Larsson, 2017, “Lithium-ion Battery Safety: Assessment by Abuse Testing, Fluoride Gas Emissions and Fire Propagation, Chalmers University of Technology.

【52】 G. G. Eshetu, 2013, “In-Depth Safety-Focused Analysis of Solvents Used in Electrolytes for Large Lithuim Ion Batteries” , Physical Chemistry Chemical Physis.

【53】 Sato N., 2001, “Thermal behavior analysis of lithium-ion batteries for electric and hybrid vehicles”, Journal of Power Sources.

【54】 陳祐頎，2019，「鋰離子電池電解質-鋰離子傳遞的橋梁」，科學發展。

【55】 「電動車機電整合工程師初級能力鑑定參考指引-電動車概論」，2017。

【56】 陳汝吟，2016，「論公寓大廈設置電動車充電裝置之相關法律問題」，海峽法學。

【57】 総務省消防庁，2011，電気自動車用急速充電設備の安全対策に係る調査検討会.

【58】 何岩，2021，「电动汽车用锂离子电池安全性能检测浅析」，測試工具。

【59】 「鋰電池熱爆炸之動力學機制建立」，2012，燃燒季刊。

【60】 「新北市純電能車輛調查暨案例分析探討」，2020，消防月刊。

【61】 T. Long, 2013, “Best Practices for Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicle Battery Hazards: A Report on Full-Scale Testing Results”, The Fire Protection Research Foundation.

【62】 何宜謙，2020，「細水霧對鋰電池火災之控制技術」，國立雲林科技大學碩士論文。

【63】 蔣皓靜，2021，「消费型锂离子电池安全试验研究浅析」，標準科學。

【64】 M. Egelhaaf., 2014, “Fire Fighting of Battery Electric Vehicle Fires”, Stuttgart.

【65】 李雨修，2019，「自動撒水系統應用在室內停車空間之研究-以機車防護為例」，國立交通大學碩士論文。

【66】 O. Willstrand et al., 2020, “Toxic Gases from Fire in Electric Vehicles”, RISE Research Institutes of Sweden AB.

【67】 A. S. Böe, 2017, “Fullskala branntest av elbil,” SP Fire Research AS”, SPFR-rapport.

【68】 “Safety requirements Secondary lithium-ion cells for the propulsion of electric road vehicles—rules for bibliographic references and citations to information resources: IEC 62660-3，2010”.， The International Electrotechnical Commission，.

【69】 “Proposal for a new UN GTR on electric vehicle safety—rules for bibliographic references and citations to information resources: EVS-UN GTR”, 2017, Inland transport committee.

【70】 「電動汽車用動力蓄電池安全要求及實驗方法，規則: GB/T 31485」，2015，中華人民共和國國家品質監督檢驗檢疫總局。

【71】 Santhanagopalan S. et al., 2009, “Analysis of internal short-circuit in a lithium ion cell”, Journal of Power Sources.

【72】 TIAN J. et al., 2018, “Analysisof safety test and evaluation methods for lithium ion batteries”, Energy Storage Science and Technology.

【73】 邵慶，2020，「锂电池热失控预警机制设计」，內燃機與配件。

【74】 Gary Lougheed, 2015, “Electric Vehicle Fire Testing”, NRC-CNRC.

【75】 張金泉，2009，「模擬在鋰離子電池熱失控機制的應用」，工業材料雜誌。

【76】 Tobishima S. et al., 2000, “Lithium ion cell safety”, Journal of Power Sources.

【77】 Ohsaki T. et al., 2005, “Overcharge reaction of lithium-ion batteries”.

【78】 S. Sriramulu., 2014, “Final Technical Report: Internal Short Circuits in Lithium-Ion Cells for PHEVs”, TIAX LLC.

【79】 FENG X. N. et al., 2019, “Key Characteristics for Thermal Runaway of Li-ion Batteries”, Energy procedia.

【80】 D. H. Doughty, 2012, “Vehicle Battery Safety Roadmap Guidance”, National Renewable Energy Laboratory.

【81】 Ruiz, V., 2018, “JRC exploratory research: Safer Li-ion batteries by preventing thermal propagation - Workshop report: summary & outcomes”, Publications Office of the European Union.

【82】 徐雪春，2020，「淺析鋰離子電池火災危險性及撲救方法」，今日消防。

【83】 Watanabe., 2012, “Comparison of fire behaviors of an electric-battery-powered vehicle and gasoline-powered vehicle in a real-scale fire test”, National Institute of Police Science.

【84】 N. K. Reitan, 2016, “Brannsikkerhet og alternative energibarere: El- og gasskjøretøy i innelukkede rom,” SP Fire Research AS.

【85】 Abada S. et al., 2016, “Safety focused modeling of lithium-ion batteries: A review”， Journal of Power Sources.

【86】 F. Larsson., 2017, “Lithium-ion Batteries used in Electrified Vehicles - General Risk Assessment and Construction Guidelines from a Fire and Gas Release Perspective”, RISE Research Institutes.

【87】 P. Andersson, 2018, “Lion Fire: Extinguishment and mitigation of fires in Li-ion batteries at sea,” RISE .

【88】 周波，2012，「滅火劑的滅火類型及機理」，科技傳播。

【89】 WANG Q. S., et al., 2016, “The efficiency of heptafluoropropane fire extinguishing agent on suppressing the lithium titanate battery fire”, Fire technology.

【90】 张青松等人，2017，「哈龙替代灭火剂抑制空运锂离子电池试验研究」，消防科学与技术。

【91】 LIU Y. J. et al., 2018, “Experimental study on the efficiency of dodecafluoro-2-methylpentan-3-one on suppressing lithium-ion battery fires”, RSC advances.

【92】 陸春義，2004，「細水霧噴射系統及滅火機理研究」，南京理

工大學。

【93】 LUO W. T. et al., 2017, “Research and development of fire extinguishing technology for power lithium batteries”, Procedia engineering.

【94】 Ndubizu C.C. et al.， “On water mist fire suppression mechanisms in a gaseous diffusion flame”， Fire Safety Journal.

【95】 宋健，2015，「机械通风和细水雾对地下停车库火灾轰燃的抑制作用」，瀋陽建築大學。

【96】 郭超超，2020，「不同荷电状态下锂离子电池热失控释放气体特性研究」，科技創新與應用。

【97】 GOLUBKOV A. W. et. al., 2014, “Thermal-runaway experiments on consumer Li-ion batteries with metal-oxide and olivin-type cathodes”, RSC.

【98】 B. Merci., 2013, “Smoke and heat control for fires in large car parks: Lessons learnt from research”, Fire Safety Journal.

【99】 肖淑衡等人，2005，「地下车库火灾烟气运动的数值模拟」，安全與環境工程。

【100】張沁南，2014，「垂直升降类机械立体车库火灾模拟研究」，西華大學。

【101】鍾基強，2014，「建築機械通風與空調設備防火防煙性能基準及驗證研究」，內政部建築研究所。

【102】L. T. Wong, 2003, “Hazard of thermal radiation from a heated fire shutter surface to a standing person”, Building Services Engineering Research and Technology.

【103】陳弘毅、紀人豪，2016，「火災學」，鼎茂圖書出版股份有限公司。

【104】Mohd Tohir., 2013, “Distribution analysis of the fire severity characteristics of single passenger road vehicles using heat release rate data, Fire Science Reviews.

【105】Roth E. P. et al., 2004, “Thermal abuse performance of high-power 18650 Li-ion cells”, Journal of Power Sources.

【106】Ben Gully,2019,“Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression”, DNV GL Report.

【107】Technical Reference for Li-ion Battery Explosion Risk and Fire Suppression.

【108】2020，「12 月消防月刊」，內政部消防署。

【109】朱正坤，2020，「車載鋰離子電池 SOC 預測及優化充電策略研究」，江西理工大學。

【110】鐘國彬等人，2019，「基於等效熱模型的鋰電池容量衰減特性研究」，電源學報。

【111】Kishimoto Y,. 2015, “Measurement method of current density in lithium-ion battery by using magnetic sensor, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers.

【112】Opan P. A., 2017, “State of Charge (SOC) and State of Health (SOH) estimation on lithium polymer battery via Kalman filter, International Conference on Science and Technology-Computer.

【113】Shang L., 2014, “ Airborne battery SOC estimate method study based on discharge test method, Journal of Power Supply.

【114】Liu Y., 2013, “Dual estimation of lithiumion battery internal resistance and SOC based on the UKF”, International Congress on Image and Signal Processing.

【115】謝文強，2019，「遺傳演算法優化 BP 網路的鋰電池剩餘容量預測」，儀錶技術。

【116】陳德海，2020，「交互多模型無跡卡爾曼濾波演算法預測鋰電池」，儲能科學與技術。

【117】Yun jian Li., 2020, “Optimized charging of lithium-ion battery for electric vehicles: Adaptive multistage constant current – constant voltage charging strategy”, Renewable Energy.

【118】Huang J.W.,2009,“Fuzzy-control-based five-step Li-ion batterycharger”, International Conference on Power Electronics and Drive Systems.

【119】李文華，2018，「鋰電池五階段新型快速充電方法研究」，電源技術。

【120】袁臣虎，2019，「鋰電池四階段智慧充電方法的研究」，電源技術。

【121】鄒爭明，2020，「車載鋰離子電池快速充電策略研究」，江西

理工大學。

【122】羅輯，2017，「老化鋰離子動力電池 Peukert 方程的適用性分析」，電源技術。

【123】Jiang J., 2014, “Evaluation of Acceptable Charging Current of Power Li-IonBatteries Based on Polarization Characteristics”, IEEE Transactions on Industrial Electronics.

【124】姚雷，2014，「鋰離子電池極化電壓特性分析」，北京理工大學學報。

【125】白雲光，2014，「鉛酸蓄電池脈衝快速充電過程優化及硫化故障的研究」，東北大學。

【126】靳啟源，2017，「鋰離子電池快速充電系統的設計」，湖南大學。

【127】曹翰林，2021，「车载锂离子电池健康状态估算方法研究」，湖北工業大學。

【128】Liu D., 2014, “Lithiumion battery remaining useful life estimation based on fusion nonlinear degradation AR model and RPF algorithm”, Neural Computing and Applications.

【129】Zhang H., 2020, “Echelon utilization of waste power batteries in new energy vehicles: Review of Chinese policies”, Energy.

【130】麻友良，2001「變電流下的電池荷電狀態定義方法探討」，電池。

【131】楊金石，2022，「我國電動車充電產業之發展與檢測」，中華水電冷凍空調月刊。

【132】孫克寧等，2022，「鋰二次電池原理、關鍵材料及應用」，北京化學工業出版社。

【133】何冠廷等，2019，「儲能發展的勁旅—鋰離子電池」，2019 年 5 月科學發展第 557 期，P.60。

【134】防火管理人講習訓練教材，2017，內政部消防署。

【135】何明錦等人，2009，「細水霧設備於建築物室內停車空間，臺北市」，內政部建築研究所。

【136】Jonna Hynynen, et.al, 2016, “Electric Vehicle Fire Safety in Enclosed Spaces”, RISE Research Institutes of Sweden.

【137】Sungwook Kang et.a., 2022, “Full-scale fire testing of battery electric vehicles”, Applied Energy.

【138】陳立憲等人，2018，「火害現場結構材料探傷檢測系統韌體研發及應用研究」，臺北市，內政部建築研究所。

【139】鑑定手冊，2008，建築師公會全國聯合會。

【140】RiskTopics-Modern vehicle parking and electric vehicle charging Zurich Resilience Solutions - Risk Engineering, 2022, The Zurich Services Corporation.

【141】Are W. Brandt et.al., “Charging of electric cars in parking garages”, 2020, RISE Research Institutes of Sweden AB.

【142】RC59: Recommendations for fire safety when charging electric vehicles(2023)，Moreton-in-Marsh, UK， Fire Protection Association

網路資料

【A1】「電芯主要三種類型」，網址：http://bangqu.com/6358Tc.html

【A2】“Porsche catches fire while charging”, 2018, 網址:https://www.bangkokpost.com/thailand/general/1429518/porsche-catches-fire-while-charging

【A3】“New Tesla car bursts into flames TWICE in a day with firefighters using 2000 gallons of water to battle blaze”, 網址：https://www.dailymail.co.uk/news/article-6519645/Tesla-car-catches-fire-3-times-one-day-firefighters-battle-blaze-2000-gallons-ater.html

【A4】“Tesla investigating explosion of car in Shanghai”, 網址：https://www.shine.cn/news/metro/1904223436/

【A5】“BMW i8 Catches Fire In Europe Dealership, Gets Dropped In Huge Bath”, 網址：https://motorillustrated.com/bmw-i8-catches-fire-in-europe-dealership-gets-dropped-in-huge-bath/23440/

【A6】網址：https://www.juksy.com/article/1 14100 -福斯集團損失 41 億！貨輪大火狂燒保時捷、賓利等車，限量藍寶堅尼還可能重新生產！。

【A7】「高雄大樓地下室電動機車竄無名火」，網址：https://www.mirrormedia.mg/story/20200426soc021/

【A8】「台南永康電動車倉庫起火」，網址：https://udn.com/news/story/7320/6094512

【A9】「喬治亞州服務中心 Tesla Model S 起火」，網址：https://auto.ltn.com.tw/news/18670/56

【A10】「電動車鋰電池住所充電釀火災 3 死一對夫婦葬身火海」，網址：https://www.bastillepost.com/hongkong/article/10133057

【A11】「很難滅的火！特斯拉「鋰電池」燃燒消防花 20 噸水撲救」，網址：https://news.tvbs.com.tw/local/1543741

【A12】「大陸比亞迪電動車「充電中起火」去年以來第三輛」，網址：https://udn.com/news/story/7333/5914104

【A13】「TSRTC 一輛電動巴士充電時起火」.網址：https://telanganatoday.com/hyderabad-tsrtc-electric-bus-catches-fire-while-on-charging

【A14】「電動車鋰電池爆炸起火！Gogoro 充電站火災事件頻傳」，網址：https://msntw.com/14879/

【A15】「中和枋寮街電動車行凌晨大火！15 輛車「燒到剩骨架」」，網址 https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2022313W0004

【A16】“Electric car fire in central Brussels leads to restaurant evacuation”, 網址：https://www.brusselstimes.com/206288/electric-car-fire-in-central-brussels-leads-to-restaurant-evacuation

【A17】「社區充電設備模範生是它！專設一戶搭配 EMS 電能管理系統，電動車再多也一樣安全好管理」，網址：https://today.line.me/tw/v2/article/WBlgKeX

【A18】「案情不單純？高雄老翁騎電動車自燃…逃生不及慘成焦屍，鑑識驚見這成分燃燒痕跡」，網址: https://www.storm.mg/lifestyle/4731916

【A19】「消防隊發生火警! 值班台旁鋰電池爆炸」，網址: https://www.youtube.com/watch?v=h_CB93eAm5M

【A20】鋰鐵電池"突然爆炸 機車改裝工廠火警」，網址: https://www.youtube.com/watch?v=cuEVHWvmQNA

【A21】「濃煙竄天疑電動車電池起火延燒 12 機車」，網址: https://www.youtube.com/watch?v=itYZQjRNdfk

【A22】「美國電動車電池室內起火燃燒 滅火不及釀 7 人受傷」，網址:

https://news.pts.org.tw/article/626022

【A23】「剛充飽電！淡水電動公車發動突起火波及 1 車皆焦黑剩骨架」，

網址: https://www.ftvnews.com.tw/news/detail/2022A24S08M1

【A24】「林志穎駕特斯拉自撞、5 秒起火變廢電動車燒起」，網址: https://www.businesstoday.com.tw/article/category/183027/post/202207220013/

【A25】「電動車鋰電池充電起火 男險受困垂降逃生」，網址: https://www.youtube.com/watch?v=Tm-F_HthcCY

【A26】「特斯拉移動式超充站失火，MegaPack 整座燒毀」，網址: https://technews.tw/2023/01/05/tesla-supercharger-on-fire/

【A27】「特斯拉 Megapack 在蒙特雷縣 PG&E 變電站著火」，網址: https://www.audacy.com/kcbsradio/news/local/tesla-megapack-catches-

fire-at-monterey-county-pg-and-e-facility

【A28】「Tesla 電動車焚燒 3 小時 鋰電池加大救火難度」，網址:

https://hk.on.cc/hk/bkn/cnt/intnews/20230109/bkn-20230109035233368-0109_00992_001.html

附件-電動車及充電樁火災之初期緊急應變措施及消防人員救災安全指引(草稿)

本指引目的在於提供設有電動車停車位與充電樁之各類組建築物地下停車空間之管理單位有關火災安全防護強化建議，電動車或充電樁發生火災之初期緊急應變措施，以及各級消防機關之消防人員注意電動車及其充電樁火災之救災安全之用。

本指引說明瞭解電動車搶救基本概念，當面臨相關車輛、設備事故救援時，在搶救初期應注意之安全事項，以避免消防人員傷亡。依據《消防法》第20-1條：現場各級搶救人員應於救災安全之前提下，衡酌搶救目的與救災風險後，採取適當之搶救作為；如現場無人命危害之虞，得不執行危險性救災行動。

指引目錄摘要：

初期緊急應變措施及消防人員救災安全指引本文

一、前言

據行政院環境保護署統計資料顯示，我國自1990年到2018年間、溫室氣體的排放量成長近116.84%，其中13.99%則來自運輸車輛；顯然近年燃油車輛廢氣已成為難以避免之環境污染及能源消耗議題，爰此各國不斷積極上修油耗標準，期以緩和溫室效應暨環境危害，故低(無)廢氣排放之電動車則成為相對合適的救贖方案。

電動車的電池系統為不可或缺的一項關鍵組件，該電池系統採用具備高能量密度、高功率、壽命長等優點的鋰離子電池。然而鋰離子電池芯材料特性上，其隔離膜約僅頭髮十分之一的厚度，加上多數電解液具可燃性特性，不免讓人擔心電池芯在極端惡劣環境下，是否會增加風險，進而危及用車安全。

為此，電池系統製造商或電動車製造商在系統層面上，設計相關的防護機制，採取氣冷或液冷式的溫度管理系統，將電池系統數百，甚至上千顆的電池芯控制在適當工作溫度，亦設計自動及手動緊急斷開裝置，可讓車輛發生碰撞，立即將高電壓迴路做自動斷開，或由警消人員手動解除迴路。另外透過電池管理系統的監控與調節，確保整套電池系統的儲能特性，不僅可讓電池有較佳的使用壽命，同時降低部分電池芯失效造成車輛操作上的風險。

本指導原則無法涵蓋之特殊情況(非正常環境)下，現場人員應發揮其專業評估判斷，綜整人、事、時、地、物之整體情況，作最適時適切之反應處置。

二、電動車型式及種類

電動車輛與傳統車輛在機構設計存在相當明顯差異，對於首次接觸電動車的使用者而言，都是全然不同的體驗。原本變速箱要控制協調引擎轉速和車輛時速，換成直接由馬達輸出所要的轉速及扭力，因此車輛操作與傳統燃油車輛完全不同，為避免使用者操作錯誤造成車輛或人員傷害，現今電動車在功能安全與提示：

(一)當電動車輛處於行車模式時(車輛運轉)，儀表板會提示駕駛者，例如「READY」等字眼，提醒駕駛者車輛處於可行駛狀態，避免駕駛者誤操作而造成危害。

(二)電動車輛啟動時不像傳統車輛會有引擎的聲響，因此當電動車駕駛人欲下車離開，而車輛卻處於可行車模式時，電動車輛應提供訊號(光學或聲響)予駕駛人，避免誤以為車輛處於電力中斷狀態，而離開駕駛座造成危險。

(三)電動車輛必須在停駐階段才得以進行充電。(意即透過外部電力系統以連接器方式與車輛連接時)，避免駕駛者誤啟動電動車輛而造成危險。

目前常見的電動車輛主要以純電動車(Battery Electric Vehicle，簡稱BEV)、油電混合車(Hybrid Electric Vehicle，簡稱HEV)、以及插電式油電混合車(Plug-in Hybrid Electric Vehicle，簡稱 PHEV)三種為主，分述如下。

(1) 純電動車(BEV)

純電動車顧名思義，完全依賴電池提供動力，依目前電池能量密度的技術，每次充電後可行駛里程可達120km至160km，最合適都會區通勤或固定路線的用途。充電站普及程

度與快充能力等問題，將直接影響BEV能否真正成為一般消費者接受的關鍵。

(2) 油電混合車(HEV)

常見的油電混合車如TOYOTA的Prius和相關系列，電池容量約1~2 kWh，純電動模式下的行駛里程甚短，但電動馬達與引擎併行提供動力下，整體油耗至少可達20km/L以上，屬於技術較為成熟的電動車輛。

(3) 插電式油電混合車(PHEV)

插電式油電混合車其電池容量介於BEV和HEV之間，通常裝配4~12kWh的電池組，純電動模式有較長的行駛距離，其燃油效率可達50km/L以上；同時也可透過外部充電來補充電能，減少對燃油的依賴，但其成本亦隨電池容量的提高而增加，預期未來隨電池技術的成熟與產能的擴充，使價格將趨近一般民眾可接受的範圍，所以目前被視為電動車未來10至15年內市場普及化的主力。

(4) 燃料電池電動車(FCEV)

TOYOTA在日本政府支持下，積極推動燃料電池電動車(Fuel Cell Electric Vehicle，簡稱 FCEV)。燃料電池電動車採用氫氣轉換為電能，運行期間的排放物幾乎為水，被視為節能減碳的終極環保車，但鑑於加氫站的成本過高，且FCEV的造價不斐，若沒有政府高額補貼，短期內恐怕難以引起一般消費者的興趣，後續發展仍有待觀察。

三、災害特性

電動車災害特性主要來自於熱失控、電能滯留(感電)等情況，其中包含：

(一) 熱失控(Thermal Runaway)

熱失控係指單位時間內電池所產生(接受)之熱量、超過其有效散熱能力，而此快速且不受控制釋放熱能之情形、將導致連鎖反應，進而加熱鄰近電池，隨著連鎖反應不斷蓄積熱量與提升溫度，最後可能會導致電池起火或爆炸；這通常是電池火災的來源，相關成因如下：

1、物理破壞

指電池因跌落、壓碎或刺穿……而受到變形損害，進而導致內短路而引發之熱失控。

2、外部加熱

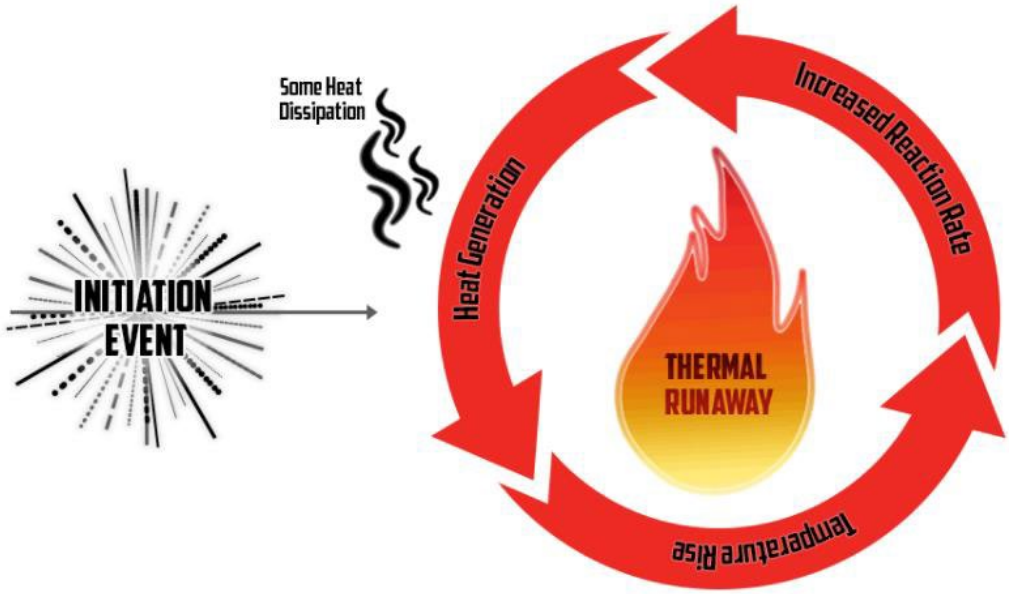
當電池暴露於外部熱源、進而提升電池溫度至120℃以上時，正負極隔離膜將失效導致正負極短路引發熱失控。

3、電器異常

當電池系統遭到濫用，如電池管理系統(Battery Manage System，BMS)異常造成過度充電、充電過快、電壓過高或放電過快時，可能會使電池溫度上升或系統連接器過溫，進而導致內短路引發熱失控。

4、環境災害

包括地震活動、囓齒動物對電線的損壞、極端高溫或洪水，均可能導致正負極內(外)部短路引發熱失控。



附件-圖 97 熱失控情況說明

(資料來源：【143】)

(二) 電能滯留(感電)

即使發生火災後相關電池仍然存在電能，且常因相關電極端子燒損、而很難順利釋放電力，進而對搶救或檢修人員造成危險；滯留的電能也可能持續蓄熱，於數小時甚至數天後短路復燃。現行電動車工作電壓約為150~400V，電動公車約為600~800V，儲能系統則可能超過1000V；惟感電對人體產生傷害的程度、係評估通過人體的電流得知，而非電壓。

國際電工協會(International Electrotechnical Commission，IEC)雖採用1000Ω為標準成人電阻值，惟實際人體電阻值將因個體、電流通過人體路徑、乾燥、潮濕等各種因素而異(約100~1000Ω)。勞動部中區勞動檢查所資料顯示，人體感知電流值(以女性、直流電為例)約為3.5mA以下、可逃脫電流值約為3.5~41mA、不可逃脫電流值約為41~50mA、休克電流值約為50~60mA，心臟麻痺電流值約為60~500mA以上。

參照ARTC(Automotive Research Testing Center，財團法人車輛研究測試中心)「電動車安全入門」，超過50 VDC的電壓對人體而言即為高電壓壓，若直接遭受此高電壓的電擊，可能造成嚴重傷害。

(三) 產生毒性、腐蝕性及易燃氣體(呼吸道與皮膚危害)

大多數電池在經歷熱失控燃燒後會產生一氧化碳(CO)、氰化氫(HCN)、氫氟酸(HF)等具毒性、腐蝕性及易燃之氣體，其於(半)密閉空間達到爆炸下限之前如未被點燃，則可能導致在ESS空間或容器內形成爆炸性環境；另救災所產生之廢水亦具毒性(氫氰酸)。

(四) 液體洩漏(呼吸道與皮膚危害)

電池內部可能有具腐蝕性的電解液，如鉛酸電池的硫酸、鎳氫電池的氫氧化鉀，鋰離子電池的乙醚、碳酸乙烯酯……等，其與空氣中的水蒸氣反應、將產生有害的酸性有機氣體。

(五) 深層火災

ESS通常由安裝在較大機(貨)櫃或電動車內的保護金屬或塑料外殼中的電池組成。雖然這些保護外殼有助防止系統損壞，但也阻卻了消防水源滅火效果，除了減緩了搶救效率外，也代表需要更大量的水才能有效地抑制ESS火災所產生的熱量。

(六) 電池浸水(感電)

電動車是以電池作為主要動力來源，追求高動力及續航力的同時，電池系統相關的高電壓及高電流系統組件會不會造成觸電也是消費者極為關心的一環，此時車廠為讓消費者安心使用，積極提昇電動車的電氣安全防護，例如：絕緣電阻監控系統、高電壓防護、防水系統、故障防護系統等，以及更周全的使用者介面保護，避免因操作錯

誤而造成車輛或人員傷害等問題。除電氣安全危害的疑慮外，電動車所處的環境因素也可能影響絕緣電阻的功能，例如：雨天、水坑、溫度急遽變化之環境氣候與振動等，都可能造成電動車絕緣電阻降低，從而引發觸電風險。

1、一般市售電動車浸水可能不會增加感電風險。

2、部份電動公車電路控制系統在淹水情況下，仍有漏電之虞。

(七) 安全氣囊

通常大部份電動車斷電或安全氣囊作動後、就不會有再動作的顧慮，但為提升人員安全仍應避免對安全氣囊(含火藥桶、控制電腦)、安全帶預緊系統、氣壓推頂桿進行破壞，避免非預期作動造成傷害。

若電動車輛有發生電氣安全危害問題時，第一個接觸人員(如駕駛者、乘員或救護人員)首要注意的重點就是電動車高壓電路是否短路，或是具強酸或強鹼性質的電池液是否有洩漏，這些都是發生緊急狀況後，會增加救援困難的主因。因此電動車必須備有相關的緊急應變手冊，其包括原廠的車主使用手冊、救援卡及緊急救援程序等標準處理流程，以利第一線接觸人員於發生電氣安全問題時可以正確地處理及反應，以降低觸電的危害。

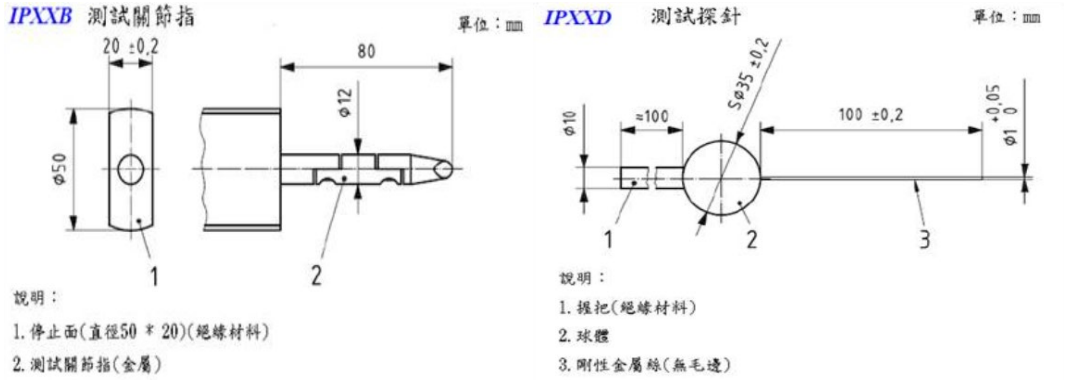
聯合國於2013年更新電動車電氣安全ECER100規範，並自2016年7月起，強制要求電池系統須通過其法規認證。ECER100規範主要分成電氣類、氣候類以及機械類三個層面，評估電池系統裝載於車輛時，遭到意外事故時的處理機制是否充分。以電氣類要求舉例，必須對電池系統正負極連接一小於5mΩ的阻抗以模擬整車充電期間，充電機可能故障或充電纜線破損等可能造成的短路情形；電池系統的高壓斷開器應偵測到外部短路時，立即斷開對外迴路以避免內部電池受損。

電動車起火原因更單純，由於鋰離子活性極強，只要充電不當、隔膜刺穿、外力撞擊，就可能造成正負兩極短路，形成熱失控。由於鋰離子活性特別高，火勢一發不可收拾，因此建議駕駛者或乘客，當發現電動車起火時，務必第一時間離開車內，並報警處理。目前消防隊員救援流程為採取大量灌水並切斷電池供電系統(確保斷電)，澆水與鋪蓋防火毯主要作用是降溫、防止事故範圍擴大、減少有毒氣體釋出。根據Tesla Model S緊急回應指南(ERGs)，若電池著火、暴露於高溫、或產生高熱或氣體，請使用大量水冷卻電池。水量可能高達3000加侖(約11,356公升)且需要持續關注24小時。

歐盟法規【ECE R100】對電動車電氣安全要求訂定相關法規要求，其內容包含：觸電防護、電池、功能性安全及氫氣排放等。其中觸電防護(Protection Against Electric Shock)主要包括直接接觸保護、間接接觸保護及絕緣電阻等三大項，其主要內容為：

1.【直接接觸保護 Protection Against Direct Contact】

電動車內帶電元件，無論電池或高壓導線皆需要保護裝置(固體絕緣、屏障及封閉外殼等)避免人員直接接觸，同時這些保護裝置不得在未使用工具的情形下被打開、拆開或移除。此階段主要以IPXXB規範之測試關節指及IPXXD規範之測試探針進行，模擬一般表面及縫隙深入觸及的情況進行檢測，當乘客室或載物空間以外，IPXXB測試關節指應不可觸及帶電體，而乘客室及載物空間內，則應確定IPXXD測試探針不可觸及帶電體。



附件-圖98 IPXXB及IPXXD測試規範說明

(資料來源：【145】)

2.【間接接觸保護 Protection Against Indirect Contact】

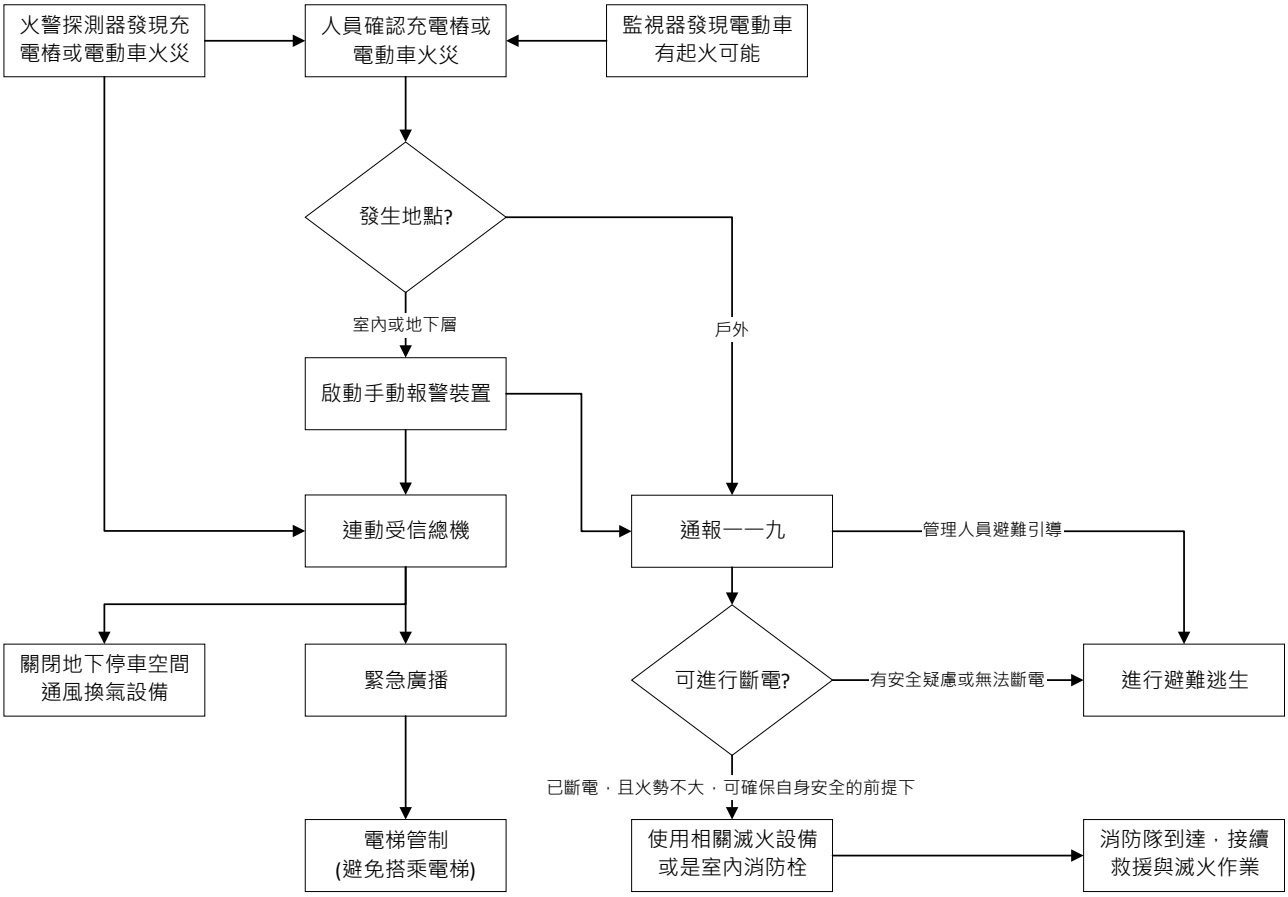
電池、高壓電源線之保護外，為金屬或其他可導電材料時，應與車殼(電路系統參考電位)搭接，避免所保護的帶電體漏電時，會與車殼間產生危險之電位差。為符合間接接觸保護測試，需確認所有外露可導電部件與車殼間之電阻，當電流大於0.2A時其電阻值需低於 0.1Ω。

3.【絕緣阻抗 Isolation Resistance】

電動車內之高壓電系統，由於電量轉換裝置或其他電器裝置的影響，使高壓電路與車殼(電路系統參考電位)間無法完全斷開，為確保其間通過之電流不致於造成人員傷害，需確保高壓電系統及車殼間之絕緣阻抗大於規範值。對於直流電匯流排處於工作電壓時，絕緣阻抗應至少為100Ω/V，而交流電匯 流排處於工作電壓時，絕緣阻抗則至少為500Ω/V。

四、初期緊急應變措施

當地下停車空間電動車或充電樁發生火災時，初期緊急應變程序，可參考下圖說明。其中需特別注意的是，自身安全為重中之重，所有相關應變措施均需在可確保自身安全的情況下才進行，否則仍以避難逃生為優先。



附件-圖99 電動車火災初期緊急應變程序

(資料來源：本研究整理)

五、建築物防火安全防護改善建議與消防人員救災安全參考指引

我國108年12月發生一起倉庫儲存大量鋰離子電池，消防人員抵達現場從外觀未發現火煙，當前往3樓起火戶才發現濃煙冒出但無明顯高溫，因此消防人員未著手套即部署室內消防栓水線進行滅火搜救，不料起火戶門口2公尺處發生第1次爆炸、致使1名消防人員雙手手背灼傷送醫；另於110年7月發生一起電動車因不明原因撞擊路旁民宅騎樓梁柱後、發生火燒車意外，車輛前方幾乎全毀。全案調度6輛消防車、使用約20噸的水，歷經1個多小時始將火勢撲滅。

由上述兩件案例檢討發現，消防人員應平時整備及熟稔電動車辨識資訊，掌握救災場所的種類特性，保持警覺。平時應常態辦理電動車相關教育訓(演)練，以應災時查詢(應變)運用。進行電動車救災行為時，應充分穿著個人防護裝備(PPE)，並遵守火場「同進同出」原則，預留撤離路線。

對於電動車火災救援而言，電池的救災風險不僅在電池猛烈燃燒階段可能有爆炸風險，當火勢衰退階段由於電池組成架構已逐漸受熱變形而開始鬆脫時，當發生氣爆時將更為嚴重，因此建議電動車火災救災過程應長時間且持續對電池本體進行降溫，避免未爆電池氣閥瞬間破裂時，夾帶的高速噴射氣體且遭遇明火引燃的火柱沖擊救災人員，將極可能對救災人員的人身安全產生風險。

由既往案例檢討發現，熱失控現象必定存在於鋰離子電池，但卻不一定會在電池損傷的當下立即發生熱失控，可能會在停放中或是進行充電時發生。為了預防鋰離子電池發生熱失控導致電動車發生火災，針對建築物防火安全防護改善建議與消防人員救災安全參考指引，有以下四個方向建議，可供大樓管理單位、消防救災人員、電氣

設備廠商、台電公司、車主、建築師、消防設備師等人士參考：

1. 減災預防：

(1) 定期檢修保養充電樁設備與電動車：(參考對象→大樓管理單位、電氣設備廠商、車主)

- 當停車空間裝設充電樁後，大樓管理單位應定期請電氣設備廠商進行檢修保養，除充電樁設備外，包含其電線線路，均應定期檢修，以防供電異常導致電動車電池發生熱失控。
- 使用電動車之車主，與使用燃油車之車主相同，均應定期回廠檢修保養。但有以下幾點特別注意事項：

  a. 當行駛過程中，有感覺到車輛異狀或是發覺車輛底部有受到不明物體或不明原因撞擊後，需第一時間回廠檢修且應暫時避免充電以及將車輛停放於地下停車空間，以防在不確定車輛電池模組有無受損的情況下，對電池進行充電，而使鋰電池發生熱失控造成電動車失火。

  b. 在一般使用情況下，若發覺車輛或充電樁有異常，應立即停止充電，並請電氣設備廠商進行檢修，以防鋰電池發生熱失控造成電動車失火。

  c. 除強制險與責任險(含財損)外，每一電動車車輛均建議保乙式險以上並加保2000萬以上之超額附加條款(俗稱超額險)，萬一不幸發生事故，保險方面可提供較足夠的財損保障。

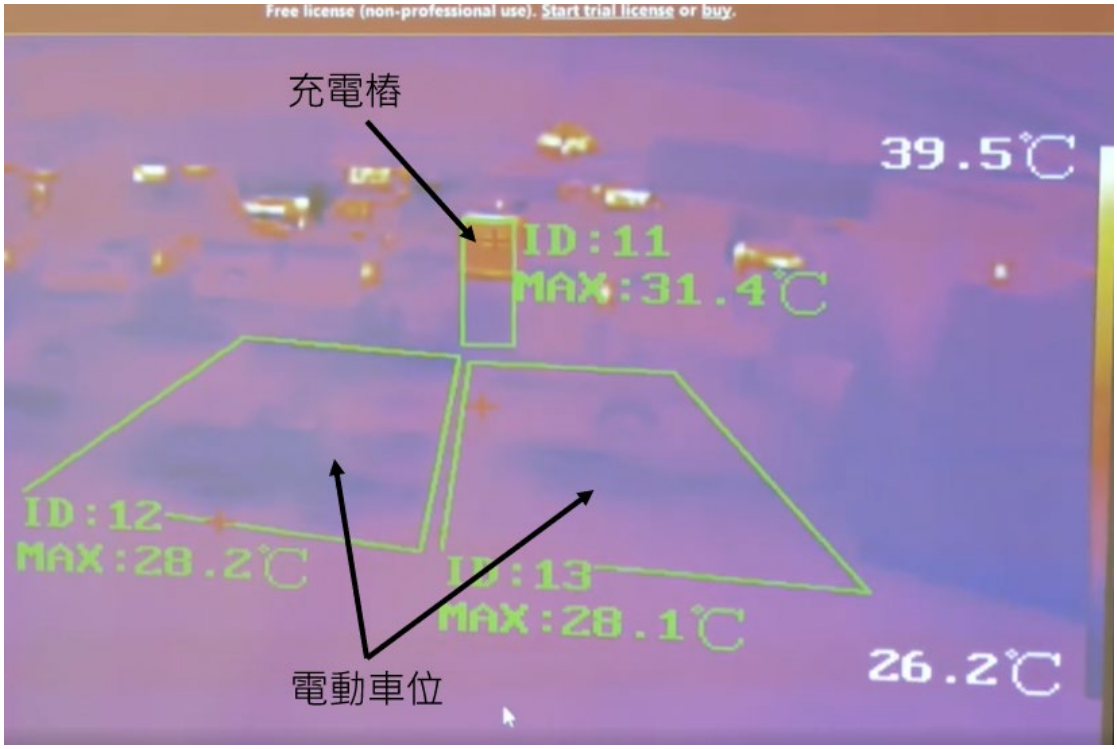
(2) 設置自動滅火設備：(參考對象→大樓管理單位)

停車空間應依法設置自動滅火設備。自動滅火設備可以

有效控制控制火勢蔓延，但是燃燒的電動汽車電池被車身保護不容易完全撲滅，仍需由消防人員進行滅火處置。

(3) 考量設置熱像儀溫度警報設備：(參考對象→大樓管理單位)

為電動車充電和停車區配備熱像儀溫度警報設備，用以監控充電站與電動車，以及早偵知鋰離子電池發生熱失控情況。



附件-圖100 熱像儀溫度警報設備畫面示意圖

(資料來源：https://www.youtube.com/watch?v=zGJL8iAqF-w&t=2s)

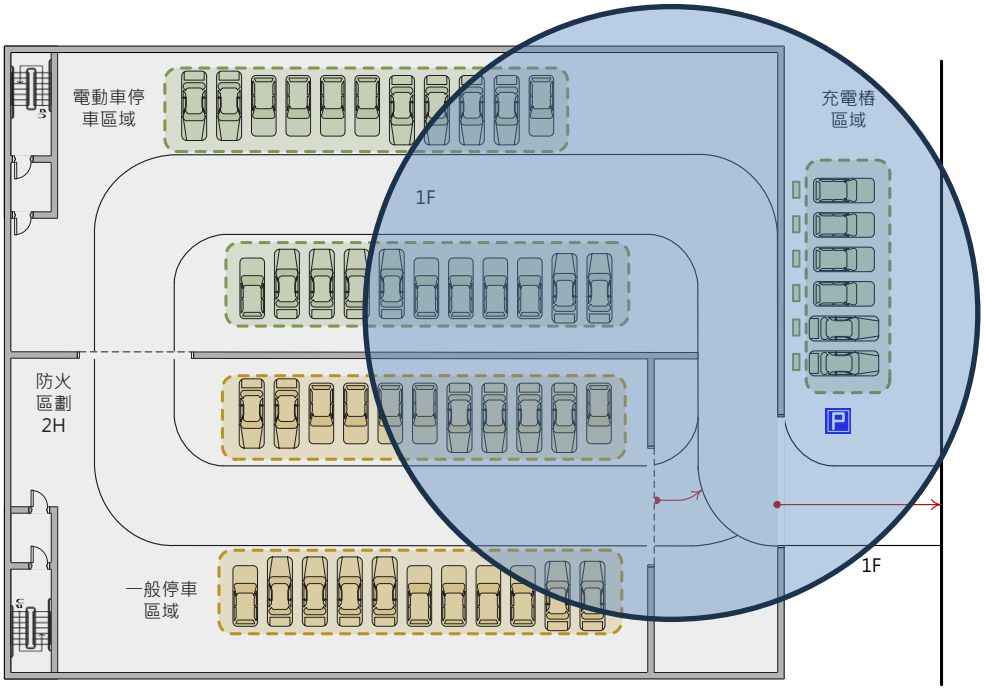
(4) 電動車位及充電樁設置位置：(參考對象→大樓管理單位、電氣設備廠商、台電公司、車主)

電動車火災事故部分原因為充電起火或事故自撞導致車內佈置的鋰離子電池熱失控而起火。由於地下停車空間電池類火災搶救不易，為了可以方便取用大量的水進行電動車火災的救援行動，建議電動車充電樁設置以在地面層為主，或地下層靠近車道出入口並在室內外消防栓救援範圍內之區

域，以方便消防人員進出。

(5) 電動車位設置獨立防火區劃：(參考對象→建築師、大樓管理單位)

如果建築物混合停車與其他使用，則停車場空間與其他使用區域須以至少一小時防火時效性能之防火區劃區隔，以減少其他使用區域可能遭受火災和濃煙的損害。若是設置於地下空間之防火區劃構造則防火性能須具備至少為2小時防火時效。



附件-圖101 室內消防栓防護範圍、電動車停車區防火區劃與充電樁區域示意圖

(資料來源：本研究整理)

(6) 建議設置充電區劃專用排煙設備：(參考對象→消防設備師、大樓管理單位)

因為鋰離子汽車電池的火災可以長時間燃燒(幾個小時)，並釋放具有毒性之氣體，且電池故障和火災事件可能導致可

燃氣體的釋放。如果這種情況發生在密閉區域(例如建築物內)，可燃氣體可能會積聚並發展成爆炸危險。設置排煙設備除可有效排除有毒氣體，亦有助於降低可燃氣體濃度使其低於燃燒下限。

(7) 加強避難逃生設施設備：(參考對象→建築師、大樓管理單位)

- 加強地下停車空間避難路徑引導(例如增加避難方向指示燈、聲光引導出口標示燈、停車場避難平面圖增設...等)，並確保安全梯防火門保持常閉及遮煙性能。
- 停放電動車輛與設置充電樁之建築物地下停車空間，建議均設置緊急昇降機與特別安全梯。

2. 應變整(準)備：

(1) 釐清報案資訊：(參考對象→大樓管理單位、車主、報案人)

a. 電池火災發生地點、車輛種類、明確位置及數量。

b. 現場(周圍)環境概況(人、車、住宅、建築物類型)。

c. 目前火勢及煙的狀況且有無爆炸現象。

d. 有無人員受困或受傷情形。

(2) 現場評估：(參考對象→消防救災人員)

- 初期救災人員抵達現場時應立即情報蒐集，並對環境、車體、人員等狀況進行評估，確認並排除事故現場額外風險，如掉落電線、易燃物及交通動線等，且需確認待救車輛與人員的數量與受損/受傷的嚴重程度等。
- 當救災人員進行風險評估(確認並排除事故現場額外風險，如掉落電線、易燃物及交通動線等)及任務指派後(確認待救援車輛與人員數量與受損、受傷的嚴重程度)，應立即回報救災救護指揮中心(科)現場狀況及處置作為，必

要時請求支援或提高指揮層級(鋰離子電池模組在熱失控傳播的進程中有相當的爆炸潛勢,指揮官應按電池組大小適度劃設警戒區)。參考緊急應變指南建立區域管制，選擇相對高處與上風處等安全區域進行作業,執行搶救作業時應穿戴完整PPE、避免吸入氣體或接觸現場救災廢水。

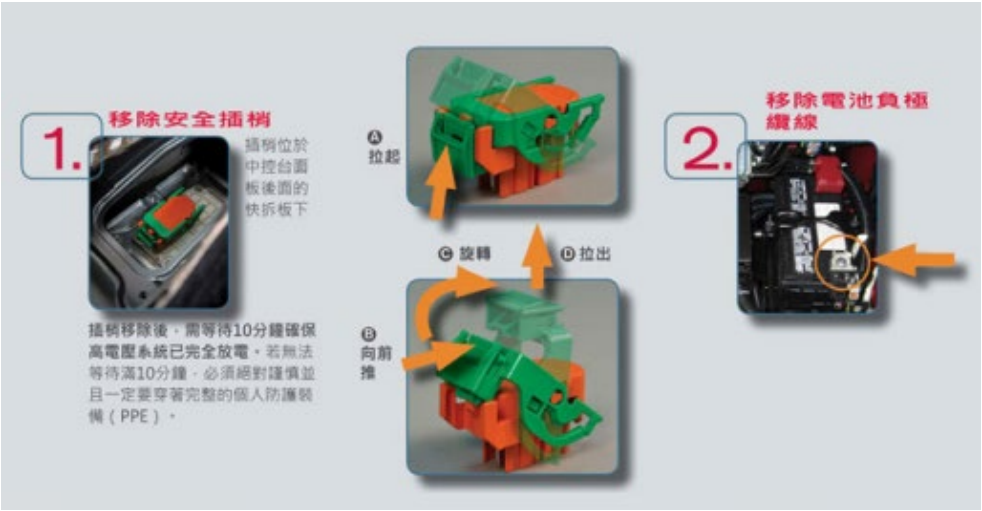
(3) 車輛識別：(參考對象→消防救災人員、大樓管理單位、車主、報案人)

- 事故車輛類型的辨別為區分電動車與一般燃油車輛火災的關鍵。現行電動車輛大致可分成兩大類(純電動車及混合動力車)。純電動車通常為車廠獨立開發的車種，外型與一般車輛差異較大，能直接從外型辨認；而混合動力車則常見以一般引擎車型為基礎進行調整動力裝置,因此外型與引擎車型無異，難以一眼辨別，需靠特別標誌或特徵辨別。為加強電動車輛或混合動力車的辨識，車廠多半會在車身裝配特殊識別標誌,但可能受車輛經久使用或是人為拆除，造成辨識不易。
- 交通部公路總局自2018年1月1日起針對新領牌照之電動小型輕型機車、電動輕型機車、電動普通重型機車、電動大型重型機車、電動550cc以上大型重型機車等5款核發專屬號牌，其代碼第1個英文字母均為「E」(Electric)，號牌上方加上「電動車」字樣,原已領用一般號牌之電動機車,原號牌仍可繼續使用並非全面換發。
- 建議消防救災人員不應單就一種方式來辨別車輛,應輔以其他如廠牌型號、排氣管、儀表板、排檔桿和充電插頭等特徵進行比對。另外電動車的高電壓線路或緊急開關，通

常都以橘色作為識別，這些特徵都可作為輔助判斷該失事車輛是否為電動車。一旦確認該次事故車屬電動車輛，就應參照電動車火災的處置方式進行，降低救災風險。

(4) 緊急處置專業事項：(參考對象→消防救災人員、電氣設備廠商、台電公司)

- 確認所有高電壓組件及元件皆有外殼覆蓋無裸露，高電壓線路最外層的橘色警示標示未破壞或損傷。當發現高電壓組件或高電壓線路有破損時，應依照緊急斷電手冊對電動車輛進行斷電；若車輛處於充電期間，應立即拔出充電器切斷高壓電。
- 遭遇電動車火災第一時間應進行手動斷電程序將高電壓電力移除，若完成高電壓電力移除動作後，仍發現儀表板持續有電源顯示或車輛持續有馬達運轉聲音，則務必等待專業人員處理。
- 若發現電動車有不明液體洩漏時，需注意電解液可能有洩漏，表示驅動電池有損壞，因電解液會與空氣中的水蒸氣反應產生對人體有害的酸性有機氣體，處理時須使用個人防護裝備，若不小心接觸，請使用大量的水立即沖洗患處，並盡快送醫救治。



附件-圖102電動車電源緊急關閉程序圖例

（資料來源：Nissan Leaf First Responder's Guide）

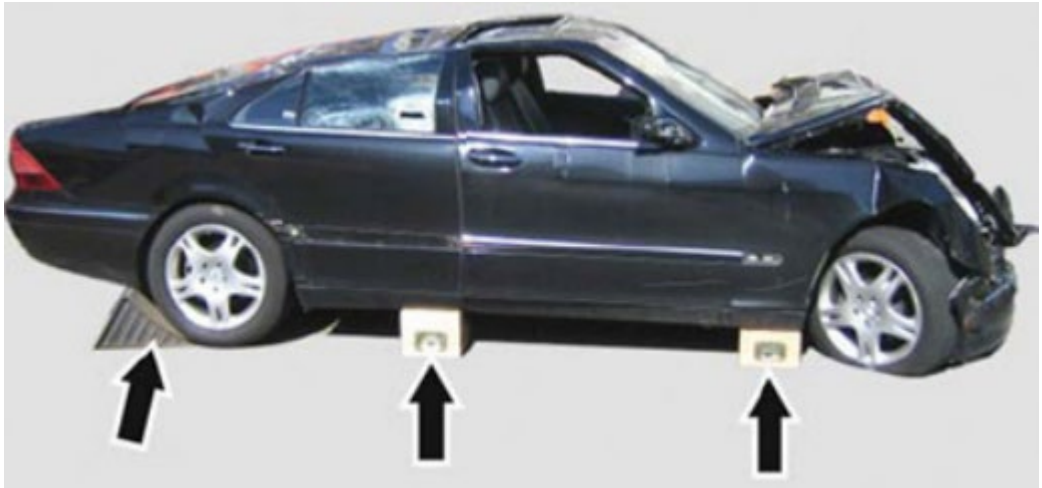
3. 緊急應變：

(1) 劃定警戒區/疏散人員：(參考對象→警察單位、消防救災人員)

現場由警察單位派員擔任警戒管制作業，負責災害事故現場警戒管制區劃設與管制事宜，並協助災害事故現場周邊交通秩序維護及疏導措施，管制交通車輛及民眾進入，並嚴禁火源。防禦作戰可選用周界防護、侷限火勢等戰術、並規劃長時間作戰(人力、水源、後勤……替補等)。

(2) 固定車輛：(參考對象→消防救災人員)

失事車輛可能在救援過程中，因現場路面坡度、控制系統故障或誤觸加速踏板等因素而突然移動，將對施救者與傷者產生極大的危險。因為電動車輛是用電動馬達驅動，無法查覺任何振動或噪音，所以，對於車輛是否處於「發動」或「作動」狀態，容易產生誤判。建議運用各種方式如輪擋、支撐物或繩索等將車輛固定。救援人員應避免靠近車輛的前方或後方，預防車輛突然移動而造成傷害。



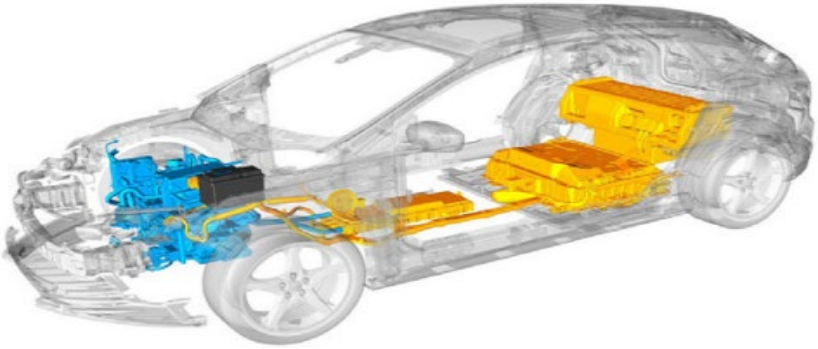
附件-圖103 車輛固定圖例

(資料來源：Mercedes-Benz Guidelines for Rescue Services)

(3) 關閉電源：(參考對象→消防救災人員、大樓管理單位、車主)

將車輛固定妥當後，必須再切斷車輛的動力來源，以完全避免車輛在援過程意外被啟動。最基本的步驟是將鑰匙電門關閉(俗稱紅火，ACC)，但因電動車沒有怠速運轉，加上現今車輛多有免持鑰匙的按鈕開關設計，很容易誤判動力源是否已完全關閉，因此建議將鑰匙取下(鑰匙可能藏於駕駛者身上口袋)，拿開距車外5公尺以上，此舉可以避免免持鑰匙啟動設計的車輛接受到啟動感應的機會。

關閉電門後，還須關閉高電壓緊急電源開關，但由於各家車廠緊急開關的位置各異，必須依據車廠的緊急處理手冊，以及救援人員對於車輛的知識和經驗來處理。最後是切斷12V次系統使用電源，此關係車上的空氣囊與安全帶預負荷裝置等安全系統是否會被驅動，以免原先未引爆作動的安全束縛裝置，在救援過程中突然作動。



附件-圖104 高電壓不可切斷破壞區圖例

(**資料來源**：Ford Focus EV Emergency Response Guide)

(4) 火災初期地下停車空間空氣調節及通風設備作動，應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段設備開關的管控：(參考對象→消防救災人員、大樓管理單位)

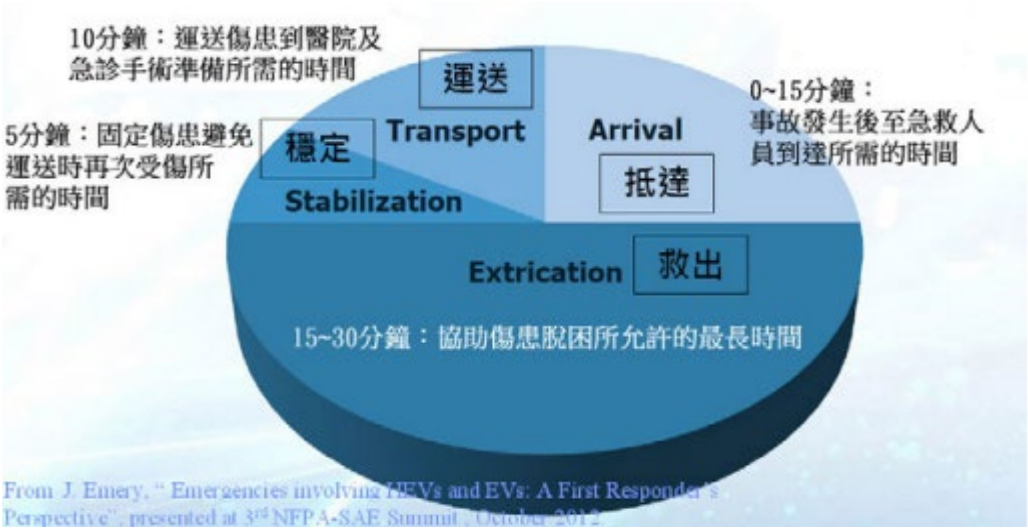
地下停車空間所安裝的空氣調節及通風設備，係作為通風換氣使用，非為火災時之專用排煙設備，依據本研究所設定的場域條件，所進行的實際煙流實驗與電腦模擬結果，火災初期空氣調節及通風設備開啟作動可能使濃煙快速蔓延，造成人員視線受阻而導致避難困難；而火災中後期階段(或地下層人員均完成避難後)，由於地下停車空間格局相對封閉，溫度將隨火勢成長而逐漸上升，此時為避免高溫對救災人員及建築物結構造成損害，則可能需要啟動空氣調節及通風設備，以降低溫度(主要因素)並排除煙霧。因此建議應配合消防救災人員依實際狀況指示，進行不同階段空氣調節及通風

設備開關的管控。

(5) 傷者救援及轉移：(參考對象→消防救災人員)

救援就是和時間賽跑，當車輛發生碰撞事故後，救援人員要將「等待適當處理與治療的時間」減到最短，作為首要目標，搶在最短的時間內將傷者送醫。一般從事故發生開始，將其後60分鐘定義黃金救援時間，其中再分為救援人員抵達、傷者救出、穩定傷者與運送前往醫院4個部分。其中將傷者從事故車輛中救出的時間大約只有15~30分鐘，所以救援人員必須快速做出各種判斷，採取最有效率的方式將傷者救出，以免無謂的浪費。

電動車受損後觸電的風險可能增加，或是產生有害的溶液或氣體洩漏，因此救援人員的個人防護裝備(PPE)格外重要，例如絕緣手套、絕緣鞋及供氣設備等；當然也需注意避免接觸或破壞高電壓線路與組件，必要時可打開車門或車窗，讓有害氣體逸散，以上各種措施都可以讓施救與被救雙方獲得更多的保障。



附件-圖105 黃金救援時間說明

(資料來源：Nissan Leaf First Responder's Guide)

4. 復原重建：

(1) 失事車輛滅火及控制電池系統溫度：(參考對象→消防救災人員)

當確認現場無人員受困且無法迅速撲滅火勢時，應採取防禦作戰原則，規劃長時間作戰方案(水源、人力輪替、後勤補給)，並移除附近可(助)燃物避免災害擴大。當電池本身因破損、形變而導致短路時，電池能量釋放將可能引起火災甚至爆炸，短時間要完全撲滅可能有困難時，則建議採取防守性的策略，在可控制的狀況下讓它持續燃燒，使電池能量消耗殆盡，此外電動車的高壓電路就算已被斷開，能量仍會滯留在損壞的高壓鋰電池中，應預防感電危害。

一般而言鋰電池如果被穿刺、過度充電、運作過度或遭受其他意外，當溫度達攝氏120度將加速內部化學反應而起火。SAE J2990警告，這種狀態的高壓鋰電池就算短時間被熄滅，也有高機率因溫度回彈，再度進入熱失控。此外電動車電池多位於車輛底盤(油電混合車車型電池可能位於後排座椅或行李箱下方)，盡可能對電池正確位置，並利用車輛既有之電池排風孔進行降溫作業，以節省時間及水源。

無論台灣現行訓練課程、ARTC、NFPA或甚至是特斯拉的緊急手冊，都表明應使用非常大量且長時間的水來撲滅火勢及控制溫度。NFPA應急現場指南甚至指出最少需要2,600加侖的水量(2,600加侖的水量≒10噸的水≒16,000瓶600cc寶特瓶)以策安全。NFPA建議消防人員即使在火焰消失後，仍需持續使用大量且長時間(至少1小時起)撒水以冷卻電池來防止再度起火。因此，建議現場應構建充沛的水源調度(從撲滅火勢

至完成降溫作業可能至少需30噸之水量)。

(2) 後續電池系統長時間監測：(參考對象→消防救災人員、電氣設備廠商)

電動車離開事故現場後，應以較為充裕的時間和專業設備來檢查維修，以及確認電動車的實際狀況，從而完成更詳細的處理程序。同時，處理此階段的維護檢修人員須具備更專業的高電壓操作培訓資歷，以及相關的專業設備工具，方可完整地確認電動車高電壓系統及電池系統的狀況。

殘留在高壓鋰電池裡的能量還是很有可能會造成後續起火風險，例如：2011年雪佛蘭Volt油電混合車經過碰撞測試3週後，電池仍然因毀損造成起火事件；2017年加州的Model X火災案例中，Model X起火一度被熄滅，但在45分鐘後被運載上拖車時卻再次起火，造成拖車操作員受傷，因此建議對失事電動車輛應嚴密控管以預防再度起火風險。儲電載體溫度降至安全範圍後，提醒相關人員電動車仍有復燃之可能，注意避免造成二次災害。

(3) 災後建築物結構評估：(參考對象→大樓管理單位)

起火電動車的車頂溫度約為750~950℃左右；鄰近火源1m範圍內溫度約為325℃左右，因此當地下停車空間發生火災，災後需要請專業技師針對災後建築物結構進行慎重評估，確認建築物是否存有安全疑慮等問題。

附件-表 1 主管機關與相關單位建議注意事項表

建議注意事項 \ 主管機關與相關單位		內政部國土管理署	內政部消防署	經濟部標檢局	台灣電力公司	建商與建築師	消防設備師	電氣設備廠商	電動車廠商	大樓管理單位	車主
1	建築物是否預留電動車的充電設備與設置空間?	✔				✔					
2	電動車充電設備與充電系統是否符合檢驗標準?			✔				✔	✔		
3	電動車鋰離子電池是否符合檢驗標準?			✔					✔		
4	充電樁設備與電動車是否定期檢修保養?							✔	✔	✔	✔
5	充電樁供電是否穩定? 配線是否符合電力法規?				✔	✔		✔		✔	
6	地下停車空間是否設置自動滅火設備?		✔			✔	✔			✔	
7	電動車位及充電樁設置位置是否易於救災搶救?		✔			✔	✔	✔		✔	
8	電動車位是否設置獨立防火區劃?	✔				✔				✔	
9	是否設置充電區劃專用排煙設備?		✔			✔	✔			✔	
10	是否加強地下停車空間避難逃生設施設備?	✔	✔			✔				✔	
11	是否考量設置熱像儀溫度警報設備		✔							✔	✔
12	火災初期是否關閉地下停車空間空氣調節及通風設備?		✔							✔	
13	災後建築物結構評估，確認建築物是否有安全疑慮?	✔				✔				✔	

六、結語

電動車輛與傳統車輛的駕駛行為並無不同，定期保養車輛除可使車輛處於安全良好狀態之外，也能發現一些潛在的問題，提前檢修，避免臨時發生機械故障或爆胎等因素而造成傷亡。

當救災人員應對電動車災害時，須當作車體仍處於帶電狀態；避免無裝備接觸(近)及破壞電動車輛以預防感電威脅。穿戴完整乾燥的PPE或適當之乾燥絕緣防護衣、靴、手套等，避免救災時感電威脅、並注意設備漏電可能。辨識並選擇使用正確(原廠)的緊急應變程序、必要時得製作搶救計畫，包含關閉、斷電程序、絕緣裝備要求，以及相關維運技師(廠商)聯繫方式。

建議平時應納入電動車維運技師(廠商)參與電動車火災演練，災時應同步通知電動車維運技師(廠商)參與應變及負責斷電作業等事宜，藉由常態性之溝通協調、教育訓練與夥伴關係養成，增進對於電動車火災救災的熟悉度與應變默契。指揮官應確實掌握消防人員行動與作業狀況，穿載完整PPE(視情況穿戴絕緣鞋與絕緣手套等)，接觸儲電載體之前使用檢電器(檢電筆、測電棒)檢測是否漏電，避免二次災害的發生。

參考書目

【143】網路資源：https：//www.mitsubishicritical.com/resources/blog/thermal-runaway/

【144】網路資源：https：//www.energy-storage.news/tesla-450mwh-victorian-big-battery-in-australia-resumes-testing-after-fire-setback/

【145】電動車觸電防護，周世崙，車輛研究測試中心

【146】行政院環境保護署─2021 溫室氣體排放統計。

【147】財團法人車輛研究測試中心(ARTC)─「電動車安全入門」。

【148】港都消防 2020 JUN 050─「搶救電動車災害就要這麼做(財團法人車輛研究測試中心 ARTC)」。

【149】特斯拉整備中心(TEC)-王健甫教官訓練教材。

【150】桃園市政府消防局車禍及重型救援教官團─來張智教官訓練教材。

【151】臺中市政府消防局─搶救電動車暨油電車災害安全指導原則。

【152】消防月刊 105 年 11 月號─電動巴士事故搶救注意事項。

【153】工業技術研究院工業技術與資訊月刊─「技轉 STOBA 防爆技術鋰電池產業站上國際」。

【154】消防月刊 110 年 3 月號─淺談鋰離子電池。

【155】內政部消防署，危險性救災行動認定標準。

【156】臺北市政府消防局─鋰電池(充電式)火災搶救安全原則。

【157】工業技術研究院─2020 緊急應變指南。

【158】NFPA-Emergency Response to Incidents Involving Electric Vehicles Battery Hazards：A Report on Full-Scale Testing Results。

【159】NFPA-Tactical Considerations for Extinguishing Fires in Hybrid and Electric Vehicles。

【160】NFPA-Energy Storage Systems Safety Fact Sheet。

【161】 FSRI-Energy Storage System Installation Test Report(UL 9540A)。

室內電動車停車空間及充電樁設備之防火安全對策研究
出版單位：內政部建築研究所
電話：(02) 89127890
地址：新北市新店區北新路 3 段 200 號 13 樓
網址：http://www.abri.gov.tw
編者：**鍾基強、蘇鴻奇、陳又嘉、陳進澤**
出版年月：112 年 12 月
版次：第 1 版
ISBN：978-626-7344-43-9（平裝）