

停車空間以自動滅火設備 替代泡沫滅火設備之可行性研究

內政部建築研究所協同研究

中華民國 110 年 12 月

(本報告內容與建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

本部計畫編號：11015B0008

停車空間以自動滅火設備 替代泡沫滅火設備之可行性研究

研究主持人： 王安強

協同主持人： 何岫璵

研 究 員： 沈子勝、王天志、陳佳玲、詹家旺

研 究 助 理： 羅怡嫻、李旻容

研 究 期 程： 中華民國 110 年 3 月 24 日至 12 月 31 日

研 究 經 費： 新臺幣 149 萬 3,000 元

內政部建築研究所協同研究

中華民國 110 年 12 月

（本報告內容與建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見）

目次

目次.....	V
表次.....	VIII
圖次.....	IX
摘要.....	XII
第一章 緒論.....	1
第一節 停車空間消防規範.....	1
第二節 停車空間火災風險.....	10
第三節 研究範圍與內容.....	14
第二章 實驗設計.....	16
第一節 車輛模型與配置.....	16
第二節 實驗條件與溫度量測.....	20
第三章 實驗結果.....	26
第一節 實際車輛與模型車輛之比較.....	26
第二節 實驗變數與結果.....	30
第四章 分析與討論.....	46
第一節 結果歸納與分析.....	46
第二節 設置成本分析.....	49
第三節 法規及政策建議.....	65

第五章 結論與建議	67
第一節 研究結論	67
第二節 建議事項	70
參考書目	72
附錄一 採購評選會議記錄審查意見及回應表	76
附錄二 期中審查意見回覆	87
附錄三 第一次專家座談會計專家諮詢會議紀錄	94
附錄四 第二次專家座談會計專家諮詢會議紀錄	109

表 次

表 1-1 室內停車空間適用消防安全設備之比較表	2
表 1-2 國外第三公證機構一覽表	3
表 2-1 本研究車輛模型參考尺寸	17
表 2-2 實驗變數規劃彙整表	22
表 3-1 燃燒實驗執行總表	26
表 4-1 泡沫滅火設備設計摘要	52
表 4-2 泡沫滅火設備配管摩擦損失計算表	53
表 4-3 泡沫噴頭放水壓力值	54
表 4-4 密閉式撒水設備設計摘要	55
表 4-5 密閉式撒水設備配管摩擦損失計算表	56
表 4-6 撒水頭放水壓力值	58
表 4-7 撒水頭放水流量值	58
表 4-8 4 只撒水頭放水之壓力值與流量	60
表 4-9 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之設備數量	61
表 4-10 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之管材數量	61
表 4-11 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之制水閥、管接頭、另件數量	62
表 4-12 設置泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之差異	63
表 4-13 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之質性比較	64
表 4-14 室內停車空間設置自動撒水設備之建議要點	66
表 4-15 各類場所消防安全設備設置標準建議增列條文	錯誤! 尚未定義書籤。
表 5-1 量測指標與實驗變數之結果	67

圖次

圖 1-1 泡沫滅火設備及 NF 系統配置圖	6
圖 1-2 NFPA 13 自動撒水放水密度/防護面積曲線.....	7
圖 1-3 默西河利物浦港的國王碼頭火災照片	11
圖 1-4 氫燃料電池汽車和汽油車輛的火災	12
圖 1-5 研究流程圖	15
圖 2-1 車輛模型尺寸量測	18
圖 2-2 實驗場地配置圖	19
圖 2-3 實驗場域平面配置 (單位元：公尺).....	20
圖 2-4 天花板之熱電偶配置 (單位：m)	23
圖 2-5 車輛模型之熱電偶配置 (單位：m)	24
圖 2-6 車輛間熱電偶東側立面 (單位：m)	24
圖 3-1 不同時間階段的實驗照片	27
圖 3-2 模型車輛和實際車輛的熱通量量測值	28
圖 3-3 比較燃燒模型車輛和實際車輛之熱氣流溫度	28
圖 3-4 比較燃燒模型車輛和實際車輛之相鄰車體溫度	29
圖 3-5 密閉式撒水設備和泡沫滅火設備的熱通量值	30
圖 3-6 比較不同設備型式之天花板熱氣流溫度	31
圖 3-7 比較不同設備型式之相鄰車體表面溫度	32
圖 3-8 比較不同設備型式之車輛間熱氣流溫度	33
圖 3-9 一般反應型和快速反應型撒水頭的熱通量值	34
圖 3-10 比較不同感度類型之天花板熱氣流溫度	35
圖 3-11 比較不同感度類型之相鄰車體表面溫度	36
圖 3-12 比較不同感度類型之車輛間熱氣流溫度	37
圖 3-13 不同放水密度的熱通量值	38

圖 3-14 比較不同放水密度之天花板熱氣流溫度	39
圖 3-15 比較不同放水密度之相鄰車體表面溫度	40
圖 3-16 比較不同放水密度之車輛間熱氣流溫度	41
圖 3-17 不同室內淨高的熱通量值	42
圖 3-18 比較不同室內淨高之天花板熱氣流溫度	43
圖 3-19 比較不同室內淨高之相鄰車體表面溫度	44
圖 3-20 比較不同室內淨高之車輛間熱氣流溫度	45
圖 4-1 不同感度類型之動作時間分佈	46
圖 4-2 設備型式與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係	47
圖 4-3 放水時間與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係	47
圖 4-4 放水密度與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係	48
圖 4-5 室內淨高與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係	48
圖 4-6 NFPA 13 放水密度/撒水頭作動面積曲線	50
圖 4-7 泡沫滅火設備和密閉式撒水設備防護區域	51
圖 4-8 泡沫滅火設備系統圖	52
圖 4-9 密閉式撒水設備系統圖	56
圖 4-10 實際車輛燃燒天花板熱氣流溫度	59

摘要

關鍵字：車輛火災、自動撒水設備、室內停車空間

室內停車空間多屬於建築密閉式的型態，一旦發生火災時，往往濃煙密佈、搶救困難。儘管 Cherise (2021) 指出之車輛起火原因多為車輛引擎運轉的情況下，然許多相關報導仍不乏室內停車空間發生火災之災例，因此，室內停車空間的就其火災風險設置消防安全設備進行防護仍有其必要性。歐美等國針對室內停車空間係皆採用自動撒水設備進行火災防護。究其觀點，係假設車輛火災為上方有頂蓋之「遮蔽式」的「A 類/B 類複合型火災」。在相關車輛火災的研究中，則通常採取實體車輛或車輛模型的方式進行火災實驗。台灣的消防法規係以參考日本法令架構為主。在內政部頒布「各類場所消防安全設備設置標準」第 18 條中，規定室內停車空間在第一層樓地板面積 500 m² 以上者；地下層或第二層以上樓地板面積在 200 m² 以上者，應就水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳滅火設備等選擇設置之。但實務上，台灣的室內停車空間幾乎皆採用泡沫滅火設備進行火災防護。本研究參考國內外對於室內停車空間火災之研規範與研究，透過模型實驗對自動撒水及泡沫滅火設備之冷卻效果進行比較，調查自動撒水設備是否可防止燃燒車輛對相鄰車輛的延燒。

第一次車輛模型燃燒實驗顯示，開放式撒水設備無論放水壓力 1 kgf/cm²、3 kgf/cm²、5 kgf/cm² 的情況，皆可有效降低燃燒對相鄰車輛的熱傳遞現象，防止相鄰車輛因高溫而起火形成延燒火勢。後續將繼續針對其他滅火條件之設定進行燃燒實驗，比較各實驗結果進而提出可參數化結果與供主管機關參考之規範建議。

第一章 緒論

室內停車空間一旦發生火災，倘若未進行初期滅火或控制火勢成長，即易形成濃煙密閉、高溫蓄積的環境。此時，將不利於人員的避難逃生，消防搶救工作也不易進行，甚至威脅人員生命安全。基此，世界各國針對室內停車空間制定有消防安全相關規範。儘管不同國家地區對室內停車空間的消防安全規範不盡相同，然滅火設備選用考量不外乎藉由設備滅火或冷卻性能來撲滅或控制室內停車空間火災。本研究適用之「室內停車空間」係指室內平面停放燃油車輛之空間，以下，將彙整室內停車空間的相關規範並探討傳統燃油車輛、機車火災和現代車輛的火災的新形態風險對消防安全規範的影響，並提出本研究範圍和內容。

第一節 停車空間消防規範

一、滅火機制觀點

台灣關於室內停車空間的滅火設備法規始於 1989 年 7 月 31 日內政部 (78) 台內警字第 715824 號令「各類場所消防安全設備設置標準」第 11 條規定面積在 200 m² 以上之室內停車空間，應視建築物各部分使用性質就自動水霧滅火設備、自動泡沫滅火設備、自動乾粉滅火設備、自動二氧化碳滅火設備或海龍滅火設備等選擇設置之。自 1996 年 3 月 13 日修正發布的「各類場所消防安全設備設置標準」第 18 條規定室內停車空間在第 1 層樓地板面積 500 m² 以上者；地下層或第 2 層以上樓地板面積在 200 m² 以上者，應就水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳滅火設備等選擇設置之。日本於消防法施行令第十三條規定特定條件之室內停車空間，應就水霧滅火設備、泡沫滅火設備、惰性氣體滅火設備、鹵化物滅火設備、乾粉滅火設備選擇設置。台灣和日本對於室內停車空間的規定極為類似，不同處在日本明文允許鹵化物滅火設備用於室內停車空間並制定其相關設置規定，台灣對於鹵化物則必須依「潔淨藥劑滅火設備申請審核認可注意事項」分別申請通案及個案後，始得設置於室內停車空間。

儘管法規允許室內停車空間得就水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳等滅火設備選擇設置，然因水霧、乾粉、二氧化碳等滅火設備各有其建置成本、空間整

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

合、人員安全等不同考量。實際上不難發現台灣的室內停車空間大多採用泡沫滅火設備進行火災防護。以水霧滅火設備來說，設置標準第 68 條規定應設置排水設備，應設置高 10 cm 以上地區境界堤或深高 10 cm 寬高 10 cm 以上地區境界溝，且需有 2% 以上地面坡度、設置滅火坑和油水分離裝置等要求。對工程介面整合、造價、施工成本皆造成一定程度的影響，也降低了開發商和設計單位採用水霧滅火設備進行室內停車空間防護的意願。除了昇降式停車塔以外，室內停車空間極少設置二氧化碳滅火設備。主要擔心一旦滅火藥劑誤釋放，恐對人員造成窒息風險。日本名古屋花園皇宮飯店地下停車場在 2020 年 12 年 22 日曾經發生二氧化碳滅火設備誤釋放，造成 11 人送醫 1 人死亡。根據 NHK 報導，消防人員抵達時停車場已充滿白煙，1 名現場施工的男子已經不治。而乾粉滅火設備則是顧慮乾粉釋放時對於人員視線之障礙及眼睛和呼吸系統的刺激，且乾粉滅火設備在台灣市場上較不普及，在顧及設置成本和維護成本之下，停車空間幾乎不被選用乾粉滅火設備。綜合上述，台灣室內停車空間幾乎皆採取泡沫滅火設備進行火災防護。表 1-1 針對室內停車空間適用的消防安全設備，從滅火藥劑、滅火原理、放水範圍、感知及放水機制、缺點或限制等構面進行比較。無論是哪個選項，對於停車空間的防護皆採取滅火機制的防護觀點，以撲滅火災或抑制火勢為對策。

表 1-1 室內停車空間適用消防安全設備之比較表

項目	水霧滅火設備	泡沫滅火設備	二氧化碳滅火設備	乾粉滅火設備
滅火藥劑	水	氟基合成介面活性劑為主要成份	CO ₂	第三種乾粉、磷酸鹽類乾粉
滅火原理	易燃蒸氣阻隔作用和冷卻作用	窒息作用、易燃蒸氣阻隔作用和冷卻作用	窒息作用和冷卻作用	中斷連鎖反應之抑制作用和易燃蒸氣阻隔作用
放水範圍	以 50 m ² 為原則	50 m ² 至 100 m ² 區域同時放射	全區放射方式	全區放射方式
感知及放水機制	以感知撒水頭或火警探測器自動偵測火災或以手動啟動方式進行	以感知撒水頭或火警探測器自動偵測火災或以手動啟動	以火警探測器自動偵測火災或以手動啟動方式進行二氧化碳放射	以火警探測器自動偵測火災或以手動啟動方式進行乾粉放射

項目	水霧 滅火設備	泡沫滅火設備	二氧化碳 滅火設備	乾粉滅火設備
	泡沫放射	方式進行泡沫 放射		
缺點 或限制	需設置洩水坡度、地區境界堤(溝)、滅火坑、油水分離裝置	泡沫原液對環境和健康疑慮及泡沫釋放後的處理方式	二氧化碳誤釋放對於人員窒息風險之擔憂	顧慮乾粉釋放時對於人員視線之障礙及眼睛和呼吸系統的刺激性

在室內停車空間的火災議題上，除了消防防護安全性以外，如何提供同時兼顧環保、健康的消防滅火設備也是重要的議題。其中，最令人關注是台灣與日本在過去數十年間，大量採用泡沫滅火設備用於室內停車空間的防護，這個方式正因各國環保政策的趨勢，已經開始產生了改變。起因是傳統消防泡沫滅火設備的泡沫原液中可能含有全氟辛烷磺酸（PFOS），因為 PFOS 會危害人體健康和環境，故被歸類為持久性生物累積性毒素（PBT）。2009 年舉行的「斯德哥爾摩公約」會議提出全氟辛酸磺酸（PFOS）對環境和健康危害的警告後，挪威於 2014 年 6 月 1 日成為第一個禁止在消費品使用 PFOS 的國家。隨著各國消防法令政策皆朝環境保護及人體健康的發展方向，日本東京消防廳自 2010 年於認可作業中要求泡沫原液不得含有 PFOS（消防消第 214 號，消防消第 215 號）。台灣則於「消防安全設備審核認可作業」規定申請泡沫原液認可時，應檢附國外第三公證機構認證合格之證明文件。表 1-2 的認證機構實驗標準中，多已開始規定消防泡沫原液中不得含有 PFOS。以保險商實驗室（Underwriters Laboratories Inc, UL）為例，驗證方法係採用質譜儀（LC MS/MS）進行液相層析，測定樣品中 PFOS 含量應符合歐盟 2006/122/EC 及 DS/CEN/TS 15968 的使用限制。

表 1-2 國外第三公證機構一覽表

國別	機構名稱
日本	Japan Fire Equipment Inspection Institute (JFEII, 日本消防檢定協會)
	Fire Equipment and Safety Center of Japan (FESC, 財團法人日本消防設備安全中心)

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

國別	機構名稱
	Nippon Engine Generator Association (NEGA,社團法人日本內燃力發電設備協會)
	Electronic Industries Association of Japan (EIAJ,社團法人日本電子機械工業會)
	Japan Electric Cable Technology Center (JECTEC,社團法人電線總合技術中心)
	非常用放送設備專門委員會
	Battery Association of Japan (BAJ,一般社團法人電池工業會)
美國	Underwriters Laboratories Inc (UL)
	Factory Mutual Approvals (FM)
加拿大	Underwriters Laboratories of Canada (ULC)
荷蘭	DNV KEMA Energy & Sustainability (KEMA)
	National Organization for fire and theft fighting formerly
英國	National Fire and Intrusion Protection Association (ANPI)
	Loss Prevention Certification Board (LPCB)
	Loss Prevention Certification (LPC)
	Central Fire Brigades Advisory Council (CFBAC)
	Lloyd's Register
	Asta Beab Certification Services, Ltd
	Warringtonfire Globe Safety (WFRGENT)
法國	British Standards Institution (BSI)
	La norme A2P
	Assemblee pleniére des sociétes d'assurances dommage (APSAD)
	Centre National de Prevention et de Protection (CNPP)
德國	Association Francaise de Normalisation (AFNOR)
	Vds-Zent

國別	機構名稱
	Vertrauen durch Sicherheit (Vds)
丹麥	MPA Dresden

根據「消防安全設備及必要檢修項目檢修基準」第七章 泡沫滅火設備的綜合檢查規定，低發泡固定式泡沫滅火設備定期檢修時，應進行放射分佈、發泡倍率、放射壓力、混合比率及 25% 還原時間測定。目前台灣泡沫誤動作或放射滅火之後，係將放射後的消防泡沫排入汙水坑、廢水坑或雨水排放系統，然而，由於環保意識提高及相關衛生工程規範，依據內政部消防署「消署預字第 1101120351 號」函文，泡沫滅火設備動作後之泡沫水溶液屬於作業環境內產生之廢水，均應收集處理，符合放流水標準後只得排放。故泡沫放射後應委託主管機關許可之公民營廢棄物清除處理機構，將釋放後的消防泡沫進行收集處理。如此一來，將增加開放式泡沫滅火設備的建置成本和維護成本。此外，開放式泡沫滅火設備的誤噴放，也容易產生糾紛甚至因此關閉泡沫原液槽。基於泡沫原液對環境和健康疑慮與設備誤放射風險，室內停車空間能否有開放式泡沫滅火設備以外的替代系統，也逐漸成為被重視和討論的議題。日本 2014 年頒布的「特定駐車場における必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する省令」中制定了密閉式泡沫滅火設備的設置規範。密閉式泡沫噴頭的開啟數量是根據車輛火災的控制效果，而開放式泡沫滅火設備會由一齊開放閥二次側的開放式泡沫噴頭同時放射。當密閉式泡沫滅火設備足以控制車輛初期火災時，僅會開啟少數泡沫噴頭，可減少泡沫原液的使用量、延長放射時間，也避免開放式泡沫滅火設備一齊開放閥誤動作造成的損失。不僅如此，對於室內停車空間的火災防護，日本除了以往滅火機制觀點以外，也開始採用美國、歐洲、中國大陸、澳洲等國採取的火災控制觀點。在「消防設備システムの性能評価および大臣認定（認定 第 47 號）（NF 水霧）」中，即認可室內停車空間得採用密閉式水霧滅火設備進行火災防護。

日本 Kenji Fujino 等人（2014）採用密閉式水霧滅火設備，進行室內停車空間的車輛模型燃燒實驗，並與泡沫滅火設備的冷卻效果進行比較。Kenji Fujino 等人（2014）提出以“Not Use Fire Foam System” (NF system) 為其研究系統

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

名，代表不使用化學泡沫藥劑的消防安全設備，強調重視環保之目標。性能評價實驗中，係於車輛模型中放入燃燒的正庚烷油盤，量測密閉式水霧噴頭在受熱開啟放水後，能否藉由冷卻作用防止燃燒車輛模型產生之輻射熱對相鄰車輛產生延燒現象。實驗發現因車輛火災屬於車體遮蔽型火災，無論使用泡沫滅火設備和還是密閉式水霧設備難以將火完全撲滅。因此，相較於撲滅火勢，防止停車空間火災從燃燒車輛向周圍蔓延的性能顯得更為實際。密閉式水霧設備放水前，相鄰車輛的表面溫度約為 260°C，在從水噴霧設備放水後下降到 100°C 以下。具體來說，密閉式水霧設備可發揮冷卻作用並防止造成車輛間延燒，達到控制車輛火災效果。密閉式水霧設備甚至表現比泡沫滅火設備更好的冷卻效果。

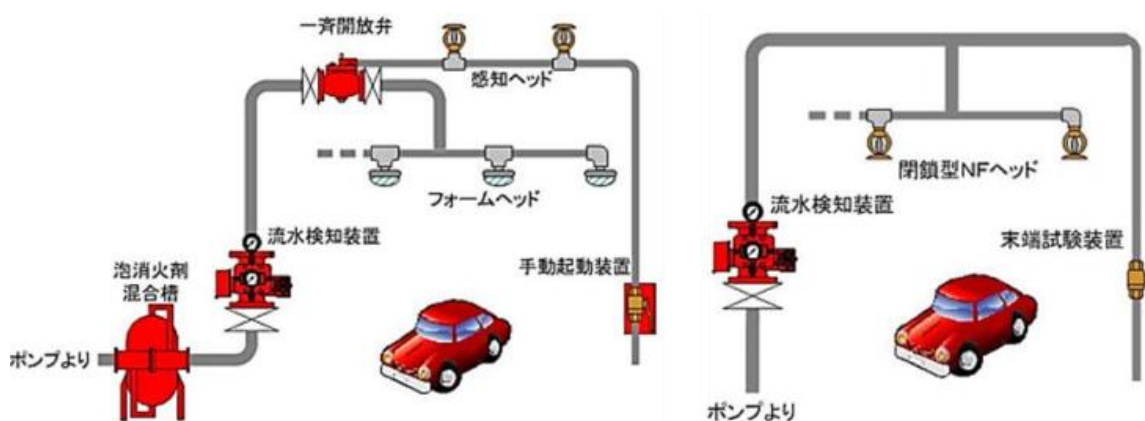


圖 1-1 泡沫滅火設備及 NF 系統配置圖
(Kenji Fujino 等人，2014)

二、火災控制觀點

不同於台灣和日本，美國、加拿大、俄羅斯、澳洲、紐西蘭及英國、德國、法國、義大利等歐洲國家規定一定規模以上的室內停車空間應設置自動撒水設備。以美國為例，NFPA 13 (Standard for the Installation of Sprinkler Systems) 和 NFPA 88A (Standard for Parking Structures) 分別就自動撒水設備及停車空間結構進行規範。在 NFPA 13 第 A.5.3.1 中，將停車空間和汽車展示室 (Automobile parking and showrooms) 歸類為普通危險第一級 (Ordinary hazard

occupancies, Group 1) 的場所，並於 NFPA 13 第 11.2.3 自動撒水設備水量要求 (Water Demand Requirements) 章節提出圖 1-2 的曲線圖，針對場所的危險程度及最大防護面積決定自動撒水放水密度之建議值，再根據最大防護面積和放水密度值計算出幫浦出水量，並依據放水持續時間計算水源容量需求值。此外，國際消防規範 (International Fire Code, IFC) 第 903 章節 (IFC 903 Automatic Sprinkler Systems) 要求面積超過 12,000 ft² (1,115 m²) 的室內停車空間應設置自動撒水設備；歐洲自動撒水規範 (BS EN 12845 Fixed firefighting systems) 則規定停車場應設置自動撒水設備以進行保護；澳洲建築規範 (Building Code of Australia, BCA) 對於可能停放超過 40 部以上車輛之室內停車空間要求設置自動撒水設備。中國大陸 GB5006 (汽車庫、修車庫、停車場設計防火規範) 規定，汽車庫內應設置火災自動報警系統和自動噴水滅火系統，自動噴水滅火系統應選用快速響應噴頭。此外，樓梯間及停車區的檢修通道上應設置室內消火栓。值得一提的是，GB5006 規定，除了敞開式汽車庫、建築面積小於 1000 m² 的地下一層汽車庫和修車庫外，汽車庫、修車庫應設置排煙系統並劃分防煙區劃，排煙口應設置在運輸車輛的通道頂部，此規定有助於提高消防搶救人員的火場能見度，降低高溫、濃煙、燃燒生成物的安全危害。

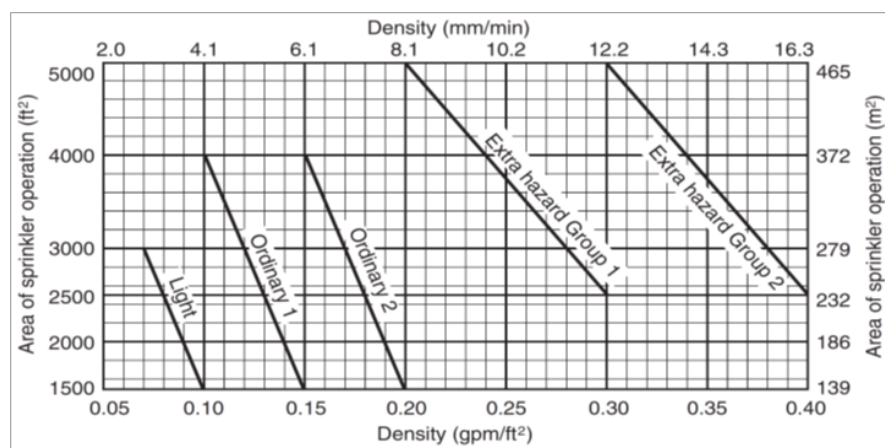


圖 1-2 NFPA 13 自動撒水放水密度/防護面積曲線

(NFPA 13 Figure 11.2.3.1.1 Density/Area Curves.)

Xiao-hui Jiang 等人 (2018) 以報廢車輛進行車輛火災蔓延情形調查並對車輛火災燃燒過程及溫度進行分析。研究顯示車輛座艙內起火後，熱煙先造成引擎蓋部分碳化並燃燒，約 20 分鐘後座艙的窗戶發生破裂，因大量空氣進入座

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

艙，造成車輛內火勢加速發展，當火焰延燒至車輛外殼時，火焰主要散佈在車身的漆層。在實務上，不乏案例與相關研究皆顯示自動撒水設備可有效控制火勢、降低火場溫度。S.C. Li 等人（2011）進行撒水頭與煙層間熱傳遞的實驗和模擬，調查撒水冷卻效果對於相鄰空間煙流充填時間的影響。結果顯示，在一定釋熱率條件下，撒水的冷卻作用降低了煙流的熱損失降低煙層的蔓延速度。B. Merci 和 M. Shipp（2013）針對大型停車場火災中的火災安全進行研究，並對停車空間熱量及煙流控制系統進行模型實驗及數值模擬。根據實驗結果，車輛間確實有火勢蔓延情形，並可能到置嚴重的結構損壞，因此有必要將熱煙控制在火源附近。該研究對撒水系統對於煙流的影響進行評估，結果顯示撒水系統的冷卻作用阻斷了煙流上升。沈子勝、張慧蓓等人（2018）對停車塔內設置側壁型撒水頭之滅火效能執行部分全尺寸火災實驗，結果發現當車輛內部火災發生且擋風玻璃破裂後，側壁式撒水設備的放水分佈可有效控制車體內部燃燒的火勢。歸納國內外相關研究，當車輛內發生火災時，濃煙通常由引擎、窗戶等位置擴散，沿著車身燃燒，當火災發生於室內停車空間時，起火車輛的火勢有可能會向相鄰的車輛延燒，自動撒水設備可發揮冷卻作用減少熱煙的擴散。除了自動撒水設備以外，也有其他消防水系統用於防護室內停車空間的研究。何明錦、謝煒東等人(2009)針對機械式停車空間進行火災實驗，調查機械式停車空間設置細水霧系統地可行性。該實驗測得汽車空燒時，熱釋放率約為 5MW。結果發現，當有良好的空間密閉性條件下，細水霧系統對於遮蔽型車輛火災可發揮窒息作用並控制火勢。

在停車場建築結構方面，NFPA 88A 停車場建築結構標準（NFPA 88A Standard for Parking Structures）制定停車空間的結構防護和風險控管規範。該規範涉及二項與火災安全相關的基本要求，分別是結構防火時效和自動撒水設備的防護要求。NFPA 88A 將停車場結構物區分為：(1)輔助機械式-即為某種停車結構物，可使用升降機或其他機械裝置將車輛運輸到停車場結構物樓板，可讓人停車者；(2)自動型-某種停車結構物，使用電腦控制機器在無樓板的多樓層存放架中，無需駕駛人即可存放和取用車輛；(3)封閉式-任何非開放性的停車結構物；(4)開放式-符合 NFPA 88A 5.5 節規定的停車結構物；(5)斜坡式-某種停車結構物，藉由傾斜樓板垂直循環運送車輛。在 NFPA 88A 的規範中，防火時

效和自動撒水設備兩者之間存在著交互作用，當使用等級較低耐火性的材料，則規範需要增設撒水頭進行防護。NFPA 88A 依照停車空間直接對外開放的外牆開口比例，將停車空間分成開放式停車結構和封閉式停車結構。開放式停車場的至少 20% 的牆面總必須是開放的，開口還必須分佈在建築周長的 40% 的長度上或分佈在相對的兩側。儘管 NFPA 88A 沒有說明劃分的理由，理論上開口愈多，自然通風將減少車輛火災的熱蓄積，降低車輛之間擴大延燒的風險。此外，燃燒生成的毒性氣體也會被排放到外氣，降低避難人員的安全危害。NFPA 88A 未規定開放式停車空間應設置自動撒水設備或是火警自動警報設備。地下停車空間、高度超過 15 m 的封閉式停車空間、機停車空間則要求有自動撒水設備。國際建築規範 (International Building Code, IBC) 與 NFPA 88A 的要求類似，外牆開口面積達 20% 以上始得視為開放式停車結構。2018 年版以前的 IBC 並未規定開放式停車空間需設置自動撒水設備。2021 年版的 IBC，則規定面積超過 48,000 ft² (4,459 m²) 或高度超過 55 ft (16.8 m) 的開放式停車空間應設置自動撒水設備。中國大陸 GB 50067 (汽車庫、修車庫、停車場設計防火規範) 將汽車庫、修車庫的耐火等級分為一級、二級和三級，分別規定構件的燃燒性能和耐火極限。地下汽車庫、半地下汽車庫、高層汽車庫，以及甲、乙類物品運輸車的汽車庫、修車庫和 I 類汽車庫、修車庫，應為耐火一級；II、III 類汽車庫、修車庫的耐火等級不應低於二級；IV 類汽車庫、修車庫的耐火等級不應低於三級。關於火災危險性分類則另規範於 GB 50016 (建築設計防火規範)。

第二節 停車空間火災風險

一、室內停車空間火災案例

2017 年，英格蘭默西河利物浦港的國王碼頭（King's Dock, Port of Liverpool）有數千人前來參加利物浦國際馬展（Liverpool International Horse Show）。附近一座八層樓高的露天停車場擠滿了車輛，其中許多是愛馬人士喜歡的卡車和運動型多用途車（Sport Utility Vehicle, SUV）。默西塞德郡消防和救援部門的調查報告（After-Incident Report Compiled by the Merseyside Fire & Rescue Department）指出，該地上停車場三樓的攝影機在 16 點 29 分時拍攝到煙霧。消防隊於 16 點 42 分接獲通報，8 分鐘後趕抵現場。由於英國 ADB 並未要求開放式停車場設置自動撒水設備，因此在消防隊抵達現場之前並沒有自動滅火設備進行前期火災控制。當消防人員抵達並將水帶拖到三樓時，已約有 18 到 20 台車輛起火，在沒有自動撒水且多部車輛延燒的高溫環境下，車輛輪胎開始爆裂且也塑膠油箱開始融化並破裂，燃燒汽油傾瀉到地板上。火災發生約兩個小時後，因直下層的鋁製排水溝融化了，燃燒汽油自由落在直下層的車頂，火勢也從起火樓層上方的樓板開口向直上層延燒。幾分鐘內，起火直上層和直下層的數十台車輛被火勢吞沒，指揮官下令消防員撤出有倒塌危險的建築物。火勢在消防隊抵達 40 小時後自行熄滅，所幸無人傷亡。此次火災的調查報告特別建議，無論是封閉式停車空間還是開放式停車空間都應設置自動撒水設備，以期於火災發生初期控制火勢發展。

Haavard Boehmer 等人（2020）針對英格蘭利物浦停車場火災的研究指出，停車場建築物中的車輛火災發展成為大型失控事件是相當罕見的，大部分的車輛火災都是發生在道路沿線或交通事故。根據 Ahrens（2008）調查，只有 1% 的車輛火災發生在「車輛存放空間」（包含停車空間），然而由於室內停車空間多屬於建築密閉式的型態，一旦發生火災時，往往濃煙密佈、搶救困難。因此，室內停車空間的火災危險性，一直是各國政府與消防工程師重視的議題。2012 年，法國麗思卡爾頓酒店五層地下車庫發生火災，至少燒毀了 50 台車，造成約 530 萬美元的損失。2018 年 9 月，紐約布魯克林購物中心停車場發生火災，燒毀了 130 多台汽車，造成 21 人受傷。在台灣，2021 年 03 月 14 日，台南

大樓安平區一棟大樓地下二樓停車場疑因停放轎車突然起火引燃另一台轎車，地下室冒出大量濃煙，火勢約在 20 多分鐘控制。2021 年 05 月 07 日，桃園市出租停車場發生火災，雖然不到半小時撲滅火勢，但還是造成三台轎車兩台小貨車全毀、半毀不同程度的損失。2021 年 8 月 11 日南韓忠清南道天安市一個地下停車場，因一名司機在車上吸煙引發大火，造成 666 輛車損毀。



圖 1-3 默西河利物浦港的國王碼頭火災照片

照片來源：默西塞德郡消防和救援部門（Merseyside Fire & Rescue）

<https://www.nfpa.org/News-and-Research/Publications-and-media/NFPA-Journal/2019/March-April-2019/Features/Protecting-Parking-Garages>

二、燃料汽車以外的火災風險

機車是許多台灣人普遍使用的交通工具，許多人口稠密地區經常可以看到各種集合住宅（Housing），集合住宅地下停車空間通常會設置機車車位供住戶停放。一旦有人縱火或不慎引燃機車椅墊即可能引發火災，甚至迅速延燒多部機車。台灣近年發生不少機車縱火的案例，例如：2003 年 8 月臺北縣蘆洲市大西市社區火災、2006 年 6 月桃園縣大園鎮商場內機車遭縱火、2020 年 10 月臺北市復興南路 2 段附近巷遭人酒後縱火燒毀 6 輛機車、2021 年 9 月臺南市南區一名機車騎士拿著噴燈四處找汽機車下手，共造成 2 輛汽車和 2 輛機車毀損。觀察上述案例，可知停車空間的機車火災也是一項重要的議題。陳建忠、張尚文等人(2006)對於防止騎樓空間機車火災延燒到建築物的對策，進行全尺寸撒水防護實驗。結果指出，當放水密度 12 L/min/m^2 時，能防止火災延燒至建築

物；當撒水頭放水密度達 30 L/min/m²時，可迅速撲滅機車表面火焰，但油箱內的汽油仍會持續燃燒，無法完全撲滅。儘管自動撒水設備無法完全撲滅油箱的火勢，但對於防止火災延燒以及撲滅著火物體表面火勢的作用上，仍有一定顯著的效果。此外，隨著節能減碳的環保意識抬頭，挪威、德國、英國、比利時、法國等國政府陸續推動替代燃料汽車的政策、補貼及時間表。美國預計到 2050 年前落實 100% 的清潔能源和零排放車輛；日本 2030 年將禁售燃料汽車；歐盟 2021 年 1 月起正式嚴格碳排放；德國和法國提高替代燃料汽車的補貼；印度 2030 年全面禁止燃料汽車。包括台灣在內，室內停車空間將有愈來愈多的替代燃料汽車停放，包括純電動汽車 Battery Electric Vehicle, BEV)、混合動力車 (Hybrid Electric Vehicle, HEV)、插電式混合動力車 (Plug-in Hybrid Electric Vehicle, PHEV)、燃料電池車 (Fuel cell electric vehicles, FCEVs)。

Mikolajczak 等人 (2011) 指出，鋰離子電池的火災比汽油或柴油火災更難撲滅，需要大量的水才能控制和減輕危險。消防人員必須在電池組外部噴水數小時甚至更久，同時持續監測溫度 (FireRescue1, 2017)。氫燃料電池汽車的主要危害是儲氣瓶破裂和氣體洩漏。由於氫氣比空氣輕得多，從圖 1-4 可以看出洩漏或燃燒的氫氣會迅速向上移動，不似汽油燃料車溢出的燃料會聚集在汽車下方。有關自動撒水設備或泡沫滅火設備噴放對於氫燃料電池汽車燃燒的向上噴射火焰會產生甚麼影響尚待進一步研究。根據 Cheng (2005) 研究，氫氣的燃燒有可能肉眼不易察覺，有可能會威脅到消防救災人員的安全。



圖 1-4 氫燃料電池汽車和汽油車輛的火災

(Greenway energy, 2009)

近二十年來隨著汽車工業的發展，現代車輛的火災危險因數已經不同於以

往。汽車公司為提高提高耐腐蝕性並符合政府規定的燃油效率和安全要求，有系統地將金屬零件換成耐用塑膠或玻璃纖維，保險材質由鋼製改成聚氨酯材質，使車輛更輕、更安全、更防銹且更便宜。傳統上鑄鐵或鋁製的發動機零件（例如進氣歧管）也逐漸改由高溫塑膠來製成。2021年8月6日美國塑膠製造商對拜登總統發佈在2030年銷售新車中有一半是零排放汽車的行政命令表示歡迎。製造商將更積極將汽車輕量化、使用更多的耐用塑膠，以減少車輛排放二氧化碳等溫室氣體、提高燃油經濟性。電動車的電池組（外殼、封蓋、連接器）也將採用更多輕質塑膠來滿足抗衝擊性、耐腐蝕性、電氣絕緣性和耐候性，且可提高電動車的續航里程。

此外，車輛還比以往有更多的電子設備和電線，從而增加了潛在的火災風險。為因應此類風險，世界各國的專家們正在重新審視停車場的設計和安全要素。NFPA 88A（Standard for Parking Structures）委員會主席 Michael Carsillo（2019）指出，隨著汽車工業的快速發展，汽車設計和構造變化如何影響火災特性和火災蔓延的理解存在著差距。NFPA 消防研究基金會（Fire Protection Research Foundation）Casey Grant（2019）認為應量化現代車輛的火災危險並制定停車空間的最佳設計和防火方案。相較於鐵皮油箱，工程塑料材質的油箱有較好的抗衝擊和防變形開裂性能。在抗高溫方面，儘管某些特製塑膠油箱（例如：捷達車-Volkswagen Jetta）的抗變形能力甚至高於鐵皮，但特製塑膠油箱價格相對較貴。Thomas 等人（2020）指出，歐洲和美國分別已有超過 85% 和 75% 的汽車配置了塑膠油箱，車輛也有很多塑膠零件，包括：車窗、車身面板、引擎罩和傳輸系統等構件。車輛設計的變化及塑膠和其他可燃材料的使用增加，現代車輛塑膠含量的增加可能使得車內火焰蔓延速度更快、點火更容易及火勢更迅速地蔓延到相鄰車輛。隨著機械停車位的使用越來越普及，停車位往往比以前更窄，導致燃料裝載更加密集。綜合上述，不難看出替代燃料汽車的火災危險特性與傳統燃料車輛是不同的。此外，大型鋰離子電池和氫燃料電池亦可能代表停車空間的危險類型和所需防火和消防技術的變化。這些發展涉及到各種不同的領域，例如：停車空間的結構防火、防火區劃、消防安全設備、避難疏散模式以及消防搶救戰術等。

第三節 研究範圍與內容

無論是停車空間停放機車的風險考量，日益普及的機械停車位使得車輛間距變得更窄，還是電動車輛購買趨勢和現代汽車採用塑膠趨勢所造成停車空間的危險性改變，都顯示室內停車空間火災議題的複雜度和重要性不同以往，且已愈來愈受到各國專家和政府的關注。站在消防工程設計的觀點，必須設法在一台車輛起火時即控制住火勢、防止車輛延燒。否則一旦形成大型失控火災，將會轉變為危險的避難和救災環境，甚至嚴重損壞建築結構。消防設計規範應考慮現代車輛大量塑膠材料的燃燒特性和燃燒持續時間，利用自動撒水設備於火災初期對起火車輛進行冷卻，防止車輛延燒是消防工程上應考量的議題。

Marty Ahrens (2017)在美國 2010 年至 2014 年的火災分析報告指出，自動撒水設備是自動滅火設備(Automatic Extinguishing Systems, AES)的一種，可以在火勢還很小的控制火勢，等待消防救災單位的到來。

整體來說，停車空間的火災風險型態已經不同於以往，必須同時考量以下議題：

- (一) 機車火災的風險。
- (二) 機械停車位使得車輛間距變得更窄
- (三) 車輛塑膠使用量的增加。
- (四) 車輛比以往有更多的電子設備和電線。
- (五) 鋰離子電池和氫燃料電池的火災防護。

在台灣，達法定設置要求之室內停車空間必須根據「各類場所消防安全設備設置標準」第 18 條自水霧滅火設備、泡沫滅火設備、二氧化碳滅火設備或乾粉滅火設備中選擇設置。目前，亞洲除了日本和台灣以外，包括中國大陸、韓國等地區以及美洲、歐洲、澳洲等國家，主要皆以自動撒水系統做為室內停車空間的火災防護設備。無論從車輛塑膠使用量、車輛電氣風險、鋰離子電池和氫燃料電池火災、機車火災危險等考量，歐美等國之消防設計規範多朝向提高自動撒水設備放水密度和延長放水持續時間的方向發展。相較於泡沫滅火設備，自動撒水設備無論從提高放水密度還是延長放水持續時間理應較具經濟性（設置成本較低），也同時符合環保、健康要求。自動撒水設備若能成為台灣室

內停車空間法定許可的消防安全設備選項，則可藉其防護強度和持續時間來控制室內停車空間車輛之火災。本研究之調查對象為室內平面所停放之燃油車輛，關於機車、機械停車位及電動車之火災型態則非屬本研究之範圍。

圖 1-5 為研究流程，本研究首先藉由國內外停車空間相關火災案例，調查室內停車空間的火災風險，並透過文獻分析調查國外以自動撒水設備用於室內停車空間之相關規範及實驗方法，接著擬定欲調查內容進行實驗設計及車輛燃燒實驗，最後利用實驗測得之數據分析溫度及熱通量變化提出結論與建議。

後續，本研究將針對車輛火災防護進行文獻調查與模型車輛燃燒實驗。模型車輛燃燒實驗的系統型式選擇台灣停車空間普遍設置的泡沫滅火設備以及歐美等國廣泛使用的自動撒水設備，比較自動撒水設備與泡沫滅火設備對於防止車輛火災延燒之冷卻效果。最後，就實驗結果進行分析並參酌國內外相關研究提出室內停車空間設置自動撒水設備之規範建議。本研究具體之研究目標如下：

- (一) 調查自動撒水設備與泡沫滅火設備對於防止車輛火災延燒之冷卻效果。
- (二) 探討自動撒水設備得否增列為室內停車空間法規許可的消防安全設備。
- (三) 提出室內停車空間設置自動撒水設備之規範建議。

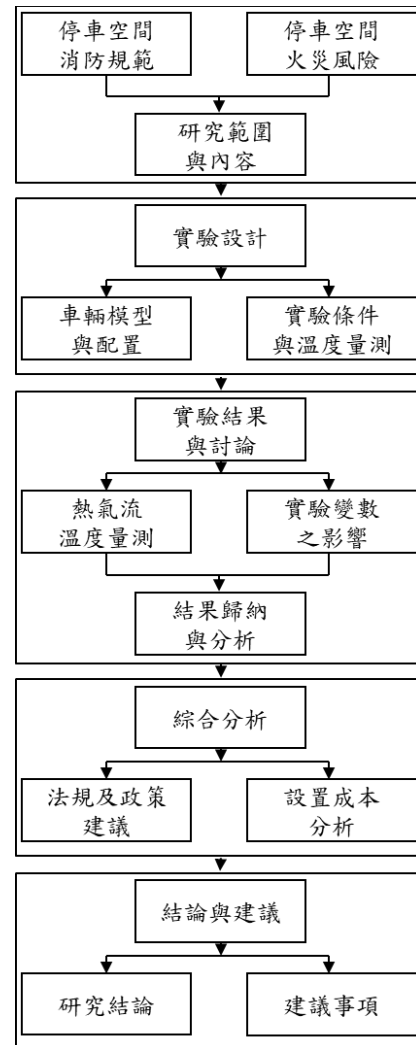


圖 1-5 研究流程圖

第二章 實驗設計

本章說明自動撒水設備與泡沫滅火設備車輛火災的實驗設計，以確認自動撒水得否列入室內停車空間法定許可之設備選項。由於採用模型車輛進行實驗，故首先比較模型車輛和實際車輛的輻射熱通量和熱氣流溫度可足以替代實際車輛做為後續多重變數的實驗之用。影響冷卻效果之實驗變數則包括滅火設備型式、撒水頭或感知感水頭的感度類型、自動撒水設備的放水密度以及停車空間的室內淨高等。

第一節 車輛模型與配置

一、車輛模型設計

過去已有許多實體車輛火災的相關研究（Mangs 和 Keski-Rahkonen 1994, Geng 和 Wang 2004, Cheong 等人 2008, Dayan Li 等人 2017, Xiao 等人 2018）。然因實體車輛的燃燒會產生濃煙和毒性氣體，容易產生污染物且和實驗人員健康負擔，且燃燒釋熱率可能因車輛內裝材質、車內濕度而有差異，不適合多重變數的實驗分析。因此，本研究參考「消防設備システムの性能評価および大臣認定（認定第47號）（NF水霧）」，以金屬角鐵、金屬板、防火板製作建造燃燒實驗用的車輛模型。表 2-1 為台灣常見的中型房車尺寸，比較不同廠牌的車輛尺寸後，參考 Toyota Camry 的車型尺寸來製作模型車輛。係考量 Toyota 汽車 2020 年在台灣的市占率約為 27.4%，2021 年的 28.5% 皆屬國內市占率最高的廠牌。最終模型車輛設計尺寸定為：車長 480 cm、車寬 180 cm、車高 145 cm（含車輪）。模型車輛共建造二台，一台做為燃燒車輛模型，另一台則為相鄰車輛模型。圖 2-1 為車輛模型的設計尺寸，以及模型製作完成後確認尺寸正確性的量測紀錄。根據日本「新技術を用いた消防用設備等の性能規定化に関する作業部會報告書」，車輛火災的燃燒釋熱率約為 2~4MW。Ingason (2001) 針對不同型式的實際車輛進行燃燒實驗，小型房車(Small Passenger Car)的燃燒釋熱率約為 2.5 MW，大型房車(Large Passenger Car)的燃燒釋熱率約為 5 MW。本研究以正庚烷作為實驗燃料來獲取快速穩定的燃燒釋熱率並降低實驗燃燒的黑煙生成。燃燒車輛模型中放置長 2 m、寬 0.7 m 的鋼製油盤，燃燒用正庚烷的表面積

為 1.4 m^2 ，換算燃燒釋熱率約為 5 MW ，相當於中大型房車。Kenji Fujino 等人 (2014) 的模型車輛實驗是採取點火後 90 秒燃燒達到峰值後人員開啟放水，為了更貼近於火災偵測後放水的實際情況，分別進行第一種感度和第二種感度的實驗，以撒水頭或感知撒水頭實際受熱開啟放水的方式，調查自動撒水設備及泡沫滅火設備的放水時間是否會對設備的冷卻作用造成影響。

表 2-1 本研究車輛模型參考尺寸

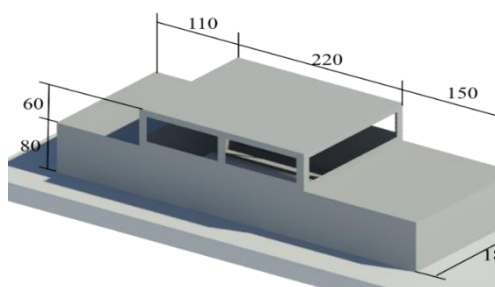
車型	車長 (cm)	車寬 (cm)	車高 (cm)	排氣量
本研究車輛模型	480	180	145	-
本研究實體車輛 (Honda accord k5)	468	169.5	139	1997 c.c.
Toyota Camry	488.5	184	144.5	1987 c.c.
Toyota Vios	441	170	147.5	1496 c.c.
Benz C300	475.1	187.7	140.1	1991 c.c.
BMW 5-Series Sedan 520i	493.6	186.8	147.9	1998 c.c.
Honda City	444	169.4	147.7	1497 c.c.
Hyundai Verna	437	170	145.7	1591 c.c.
Peugeot 301	444.5	174.8	146.6	1587 c.c.
NISSAN SENTRA	464.1	181.5	144.7	1598 c.c.

(資料來源：本研究自行整理)

本研究以停車空間的起火火災為研究對象，根據 Jason (2019) 的研究，汽油達到 260°C 前並不會自行著火且火焰幾乎不會沿著管線延燒至油箱。沈子勝、張慧蓓等人 (2018) 也獲得相同結果，由於車輛油箱具備一定的結構強度，在其車輛燃燒試驗結束後油箱並未發生任何破損的情況。根據國內外相關研究，車輛油箱漏油情形幾乎皆因高速撞擊所致。根據美國燃油系統完整性規範 FMVSS301 規定，2006 年 9 月 1 日前製造的車子碰撞速度為 48 km/h ；2006 年 9 月 1 日以後製造的車子碰撞速度為 $80 \pm 1.0 \text{ km/h}$ ，車從撞擊瞬間至停止移動，燃油系統的洩漏量應小於 28 公克；停止移動後的 5 分鐘內，洩漏總量應小於 142 克；後續的 25 分鐘內，每分鐘洩漏量應小於 28 克。歐洲 ECE R34 油箱耐燃測試，規定撞擊速度為 $35 \sim 38 \text{ km/h}$ ，車撞擊後每分鐘的燃油洩漏量應小於 30 克。日本車輛撞擊試驗 TRIAS33 則規定的撞擊速度為 $50 \pm 2 \text{ km/h}$ ，車撞擊後

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

的燃油洩漏量在第 1 分鐘內應小於 30 克，在第 5 分鐘內總量應小於 150 克。本研究調查的起火車輛場域為室內停車空間，根據國內各場所停車空間的管理辦法中，皆有規定車輛行駛於停車空間的車速應在 15 km/h 至 20 km/h 以下。縱使室內停車空間發生車輛碰撞情況，車體下方有限的燃油洩漏仍屬於車體遮蔽型火災，以冷卻作用來防止車輛延燒仍為歐美等先進國家的火災防護對策。



(a) 車輛尺寸示意



(b) 車輛尺寸示意



(c) 測量位置①



(d) 測量位置②



(e) 測量位置③

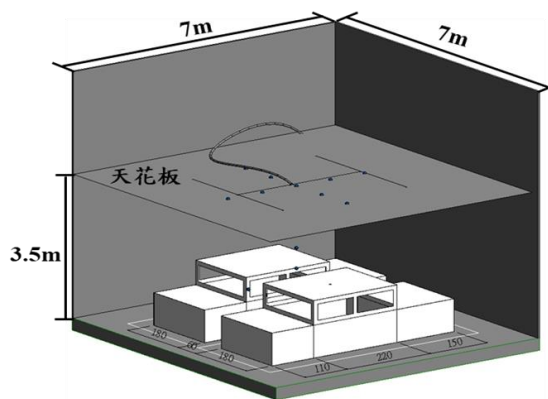


(f) 測量位置④

圖 2-1 車輛模型尺寸量測

二、車輛模型配置

圖 2-2 為實驗場地配置圖，實驗空間長 7m、寬 7m，三面鋪設防火板保護實驗空間和實驗人員的安全，一面採取開放式配置以便進行實驗記錄與觀測。車輛側邊與牆壁的距離為 1.5 m，車頭與車尾至牆壁距離為 1.1 m，配置情況模擬室內停車空間較狹小的角落，採取與牆面較小距離(較容易有熱輻射回饋)的保守條件，以確認放水性能能否發揮足夠的冷卻作用。實驗空間中央參照建築技術規則設計施工編第 60 條第一款第一目規定繪製停車位，車位寬度 2.5 m、長度 5.5 m，兩台模型車輛停放後之車側間距為 60 cm。



(a) 實驗平面配置 (單位元：公尺)



(b) 實驗空間俯視



(c) 實驗空間側視

圖 2-2 實驗場地配置圖

第二節 實驗條件與溫度量測

一、實驗變數

本研究模擬室內停車空間車輛火災，在實驗場域中央放置二台實驗用模型車輛，場域上方分別配置撒水頭和泡沫噴頭，分別調查自動撒水設備與泡沫滅火設備放射後位於天花板、車輛間熱氣流及相鄰車輛間的溫度變化情形。首先，進行模型車輛輻射熱通量和熱氣流溫度量測，再就滅火設備型式、撒水頭或感知感水頭的感度類型、自動撒水設備的放水密度和停車空間的室內淨高等變數規劃實驗的進行方式，圖 2-3 為實驗場域的平面配置圖。

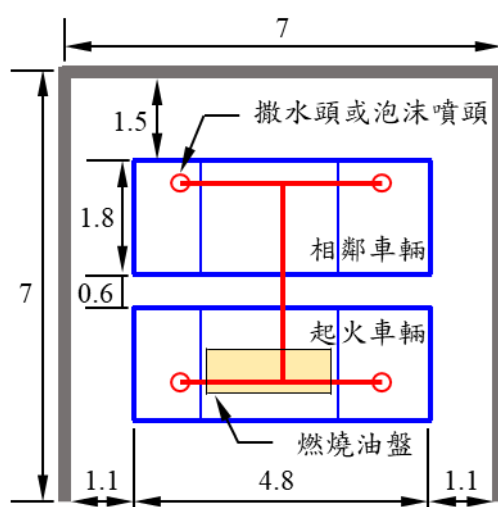


圖 2-3 實驗場域平面配置(單位元：公尺)

(一) 設備型式對冷卻效果的影響

根據「各類場所消防安全設備設置標準」第 46 條規定撒水頭的防護半徑包括 1.7m、2.1m、2.3m 及 2.6m；同標準第 71 條規定泡沫噴頭的防護半徑為 2.1m，無論是自動撒水設備還是泡沫滅火設備，噴頭皆採防護半徑做為主要配置考量；NFPA 13 和內政部頒布的「潔淨區消防安全設備設置要點」則是就場所用途、撒水頭開啟防護面積和放水密度來進行綜合檢討，只要撒水頭的防護間距不小於 180 cm 且最大間距符合產品認可的限制即可。本研究考量台灣消防設備師大多較習慣以防護半徑做為撒水頭或泡沫噴頭的配置方式，實驗用的泡沫噴頭採取防護半徑 2.1 m 進行配置，撒水頭則採取略較嚴謹的防護半徑為

2.3 m 進行配置與泡沫滅火設備進行冷卻作用的比較。

(二) 感度類型對冷卻效果的影響

1920 年，Grinnell 公司開發出第一只撒水頭時提出「快速開啟」(Quick-Opening)的觀念。1960 年消防承包商雜誌(Fire Protection Contractor Magazine)提出撒水頭感熱元件「快速反應」(Quick-Response)的概念。1970 年代，Star Sprinkler 公司和 Grinnell 公司分別推出快速反應型撒水頭(Quick-Response Sprinkler)。直到 Heskestad 和 Smith 經由理論和流體風洞實驗證明撒水頭的反應時間係數(Response-Time Index ,RTI)和熱氣流平方根的乘積呈現接近恆定的特性，撒水頭受熱後開啟放水的時間始得以進行量化預測。在「密閉式撒水頭認可基準」中，撒水頭依感度類型可分成快速反應型撒水頭(第一種感度種類)和一般反應型撒水頭(第二種感度種類)。在相同的燃燒釋熱率條件下，快速反應型撒水頭理應較快開啟放水。然而，不同的開啟放水時間是否會影響防止車輛延燒的冷卻效果還有待進一步確認。因此，後續實驗將分別使用反應型撒水頭和一般反應型撒水頭，調查開啟放水時間是否會對防止車輛延燒的冷卻效果造成影響。

(三) 放水密度對冷卻效果的影響

在自動撒水設備的設計上，會要求自動撒水設備的實際放水密度(Actual Delivered Density, ADD)必須大於可燃物當下的要求放水密度(Required Delivered Density, RDD)以使水滴足以穿透火羽(fire plumes)達到滅火(Extinguishing)或火勢抑制(Suppression)的效果。然而，上述理論是站在滅火和抑制的角度，和本研究以冷卻(Cooling)和控制(Control)火災為出發點是不同的。放水密度是指單位面積的放水量(LPM/m²)，影響變數包括撒水頭間距、放水壓力和流量特性係數(K 值)。實驗場域所配置為標準型撒水頭(K 值=80)，防護半徑為 2.3 m，藉由 1 kgf/cm²、3 kgf/cm²、5 kgf/cm² 等不同放水壓力來產生放水密度的變化，用來觀察撒水的放水密度是否會對防止車輛延燒的冷卻效果造成影響。

(四) 室內淨高對冷卻效果的影響

不同的室內淨高是否會影響燃燒釋熱率以及撒水幕對相鄰車輛的冷卻效果，也是本研究實驗的調查項目之一。理論上，室內淨高較大，自動感知元件的作動時間會較遲緩，且撒水頭及泡沫噴頭裝設高度較高時，較易有不穩定的放水分佈特性。儘管台灣停車空間的室內淨高大多介於 3.2 m~3.5 m 之間，為調查室內淨高變大時是否會影響相鄰車輛的冷卻效果，室內淨高變數採取 3.5 m 和 5 m 二種條件。

綜合上述，實驗首先比較模型車輛和實際車輛的的輻射熱通量和熱氣流溫度，確認模型車輛可做為後續多重變數實驗使用。表 2-2 彙整相關實驗的條件設定，實驗變數分為設備型式、感度類型、放水密度和室內淨高，後續將逐步進行實驗調查實驗變數對防止車輛延燒之冷卻效果的影響。

表 2-2 實驗變數規劃彙整表

序號	實驗變數	燃燒車輛	系統	感度類型	放射壓力 (kgf/cm ²)	放水密度 (LPM/m ²)	室內淨高 (m)
1	模型車輛 VS 實際車輛	模型車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	3.5
		實際車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	3.5
2	設備型式 VS 冷卻效果	模型車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	3.5
		模型車輛	泡沫滅火設備	SR	3	-	3.5
		模型車輛	無滅火設備	-	-	-	3.5
3	感度類型 VS 冷卻效果	模型車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	3.5
		模型車輛	密閉式撒水	QR	3	13.10	3.5
		模型車輛	泡沫滅火設備	SR	3	-	3.5
		模型車輛	泡沫滅火設備	QR	3	-	3.5
4	放水密度 VS 冷卻效果	模型車輛	開放式撒水	QR	1	7.56	3.5
		模型車輛	開放式撒水	QR	3	13.10	3.5
		模型車輛	開放式撒水	QR	5	16.91	3.5
5	室內淨高 VS 冷卻效果	模型車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	3.5
		模型車輛	密閉式撒水	SR	3	13.10	5
		模型車輛	泡沫滅火設備	SR	3	-	3.5
		模型車輛	泡沫滅火設備	SR	3	-	5

二、溫度量測與判定基準

本研究採用熱電偶 (Thermocouple) 來進行天花板、相鄰車體表面和車輛間熱氣流的溫度量測。熱電偶是一種廣泛應用的溫度傳感器，可將熱勢差轉換為電位差。實驗用的熱電偶設定為，每隔 0.1 秒記錄一次，誤差值約在 $0.1^{\circ}\text{C}\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 。

(一) 天花板溫度量測

實驗場域天花板共佈置 4 組熱電偶，Ce1 設置於相鄰車輛的上方，Ce2 和 Ce3 設置於燃燒車輛和相鄰車輛上方的天花板，Ce4 則設置在燃燒車輛的上方，天花板之熱電偶配置如圖 2-4 所示。藉由天花板的溫度量測，可觀察撒水頭做動開啟時間與天花板熱蓄積溫度之間的關係，以及自動撒水設備或泡沫滅火設備放射後，天花板溫度的變化情形。

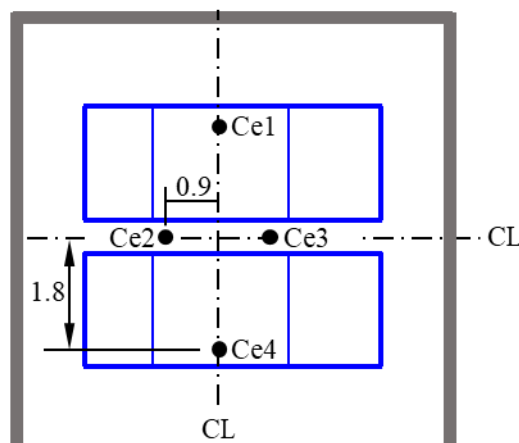


圖 2-4 天花板之熱電偶配置 (單位：m)

(二) 相鄰車體表面溫度量測

圖 2-5 是車輛模型的熱電偶配置，在相鄰車輛車窗前、中、後三個位置設置熱電偶，不僅可觀察相鄰車輛表面溫度在自動撒水設備和泡沫滅火設備放水後的溫度變化情形，藉由 Ve2 和其他二組熱點偶 (Ve1 和 Ve3) 溫度值的比較，來調查不同位置的輻射熱是否會對於相鄰車輛表面溫度造成影響。起火車輛則在前後車窗設置 Ve4 和 Ve5 二組熱電偶，並在燃燒車輛模型內的油盤上方設置 1 只 Ve6 熱電偶，用來觀察燃燒車輛內部的溫度變化。

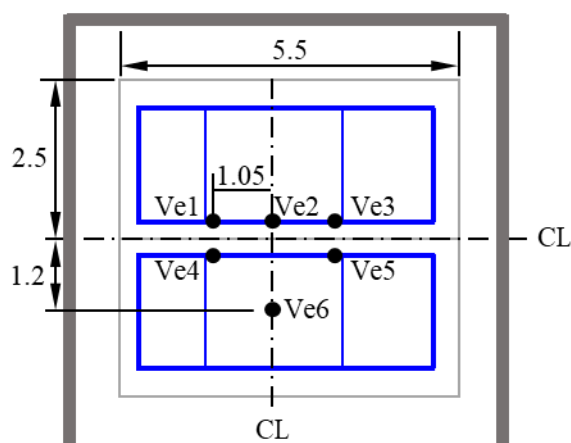


圖 2-5 車輛模型之熱電偶配置 (單位：m)

(三) 車輛間熱氣流溫度量測

車輛火災的主要熱傳遞方式可分為對流熱(Convection Heat)和輻射熱(Radiant Heat)二部份。對流是通過熱空氣的物理運動傳遞熱量，隨著空氣受熱膨脹變得比周圍空氣更輕而上升。輻射熱則以能量波的形式在空間中以光速沿直線傳播，一般以熱通量 (Heat Flux) 來做為輻射熱的量測單位，即單位時間內通過單位面積的熱量(W/m²)。圖 2-6 是車輛間熱電偶的立面圖，距離地面 2.5 m 的 H1 熱電偶主要用來量測對流造成的熱氣流溫度，距離地面 1.5 m 的 H2 熱點偶則可觀察輻射熱對車輛間熱氣流溫度的影響。

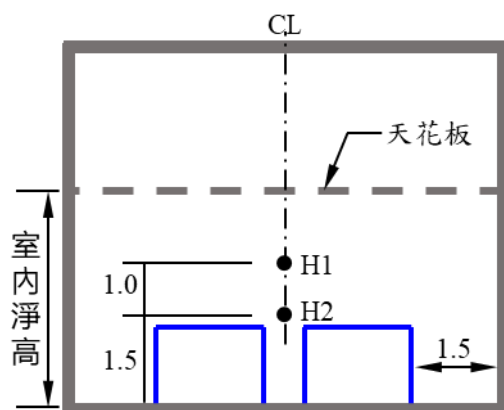


圖 2-6 車輛間熱電偶東側立面 (單位：m)

(四) 防止車輛延燒的判定基準

誠如前述，為提高提高耐腐蝕性和燃油效率，汽車製造商已將許多金屬零件換成玻璃纖維或耐用塑膠，保險材質由鋼製改成聚氨酯材質。玻璃纖維是以纖維強化聚合物基質的複合材料，屬於纖維強化塑膠（Fiber-Reinforced Plastic, FRP）的一種，其熱膨脹係數不高，一般鈉鈣玻璃纖維加熱至 470°C 之前的強度變化不大，而石英和高矽氧玻璃纖維的耐熱性可達 2000°C 以上。ABS 塑膠是丙烯腈（Acrylonitrile）、1,3-丁二烯（Butadiene）、苯乙烯（Styrene）三種單體的接枝共聚物，分子式為 $(C_8H_8 \cdot C_4H_6 \cdot C_3H_3N)_x$ ，由於強度高、韌性強、易於加工成型且抗酸、鹼、鹽的腐蝕能力佳，為常見的熱塑型高分子材料。塑膠 ABS 的熱變形溫度約為 93°C~128°C，熔融溫度 217°C~237°C，熱分解溫度 >250°C。聚氨酯（Polyurethane, PUR）可抗多種酸鹼和有機溶劑腐蝕，經常被用在橡膠製品在惡劣環境下的替代品。又因材質彈性佳可提供良好的緩衝效果，多應用於車輛保險桿、墊圈、車墊等處，其熱變形溫度約為 120°C~140°C，熱分解溫度約在 220°C。Kenji Fujino 等人(2014)研究指出，車輛最容易發生火災延燒的部分為 ABS 外飾件(例如：後視鏡)。這些外飾件的點火溫度約為 400°C，著火溫度約為 480°C，故該研究以車輛表面溫度不超過 300°C 做為確認可防止火勢延燒的性能基準。由於本研究 Kenji Fujino 等人(2014)研究的車輛間距皆為 60 cm，當停車空間採用機械停車位時車輛間距可能變得更窄，且愈來愈普遍使用的聚氨酯材質其熱分解溫度約在 220°C，因此本研究在確認自動撒水設備和泡沫滅火設備的防止火勢延燒實驗中，採取 200°C 做為溫度判定基準。

第三章 實驗結果

第一節 實際車輛與模型車輛之比較

表 3-1 為根據表 2-2 進行後的燃燒實驗執行總表，共進行 13 次的車輛燃燒實驗。實驗採用的密閉式撒水頭和感知撒水頭為 CFC 廠牌，型號 PS004-P01；泡沫噴頭為 CFC 廠牌，型號 CFC PF-08；泡沫原液採用 PROTECTOR 廠牌的 AFFF C6 3%。

表 3-1 燃燒實驗執行總表

序號	燃燒車輛	系統	感度類型	放水時間(sec)	放射壓力(kgf/cm ²)	放水密度(LPM/m ²)	室內淨高(m)
1	模型車輛	開放式撒水設備	QR	24	1	7.56	3.5
2	模型車輛	開放式撒水設備	QR	26	3	13.10	3.5
3	模型車輛	開放式撒水設備	QR	22	5	16.91	3.5
4	模型車輛	開放式撒水設備	SR	30	3	13.10	3.5
5	模型車輛	密閉式撒水設備	SR	39	1	7.56	3.5
6	模型車輛	密閉式撒水設備	SR	37	3	13.10	3.5
7	模型車輛	密閉式撒水設備	QR	22	3	13.10	3.5
8	模型車輛	密閉式撒水設備	SR	39	3	13.10	5
9	模型車輛	泡沫滅火設備	SR	40	3	-	3.5
10	模型車輛	泡沫滅火設備	QR	21	3	-	3.5
11	模型車輛	泡沫滅火設備	SR	35	3	-	5
12	實際車輛	密閉式撒水設備	SR	72	1	7.56	3.5
13	模型車輛	無滅火設備	-	-	-	-	3.5

第四章 初步研究成果

實驗人員依據任務進行分工，分為總指揮、實驗讀秒員、警戒防護員、實驗點火員、實驗計時員、放水壓力監測員、一樓記錄員和二樓記錄員。總指揮下令實驗開始後，實驗讀秒員倒數 5 秒的讀秒後由實驗點火員進行點火。點火後，讀秒員每 10 秒大聲唸誦點火歷時予記錄員。2 名警戒防護員於點火車輛 10 m 處放置 5 具乾粉滅火器和室內消防栓警戒，以備緊急情況時人員可及時滅火。放水壓力監測員在實驗場域後方的一齊開放閥處監視放水壓力，確認放水壓力符合該次情境的設定值。圖 3-1 記錄不同時間階段的實驗照片，分別為實際車輛和模型車輛的燃燒情形，以及密閉式撒水設備、開放式撒水設備、泡沫滅火設備等三種設備型式。

燃燒車輛	設備型式	放水前 5 秒	放水後 60 秒	放水後 240 秒	實驗終了
實際車輛	密閉式撒水設備				
模型車輛	密閉式撒水設備				
	開放式撒水設備				
	泡沫滅火設備				

圖 3-1 不同時間階段的實驗照片

熱輻射儀是測量從環境到吸收器位置傳感器的熱通量，熱通量主要是從傳感器接收到熱輻射度。實驗採用的熱輻射儀為 Medtherm 公司出產的熱通量傳感器(64 SERIES HEAT FLUX TRANSDUCERS)，傳感器的視角為 180 度，溫差將轉換為輸出電壓再轉換為熱通量值。圖 3-1 和圖 3-2 為室內淨高 3.5 m 條件下的熱通量的量測值，熱輻射儀設置在距離火源 1.8 m 處。圖 3-1 中，實際車輛和模

型車輛皆設置密閉式撒水設備，放水壓力為 1 kgf/cm^2 。從圖的分佈可看出模型車輛的熱通量測值在點火後快速上升，最高接近 $6,000 \text{ W/m}^2$ ；實際車輛的熱通量曲線則較為平緩，顯示模型車輛採用正更烷的試驗燃料有較大的燃燒釋熱率。模型車輛實驗中，試驗燃料的正更烷大約 300 sec 時燃燒殆盡。實際車輛因為燃燒速度較慢，持續產生輻射熱，最大值約為 $2,500 \text{ W/m}^2$ 。

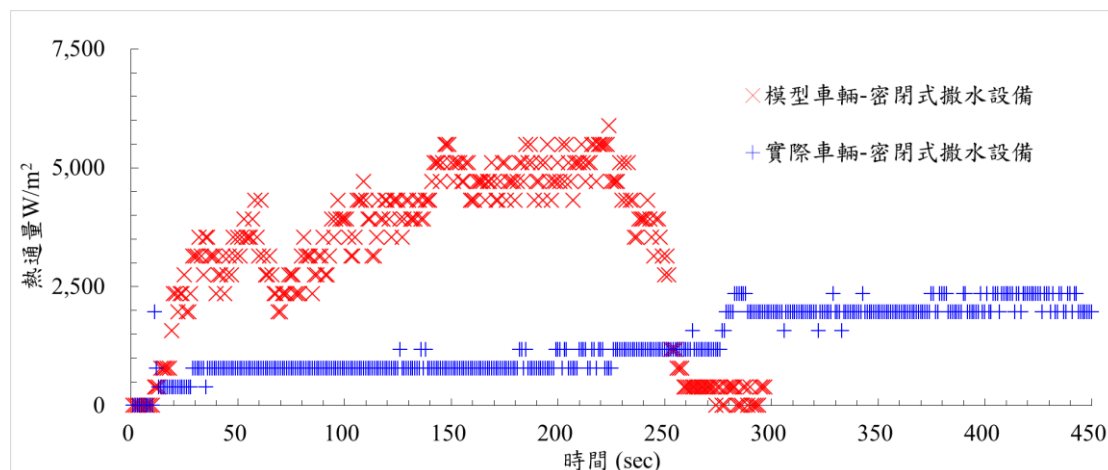


圖 3-2 模型車輛和實際車輛的熱通量量測值

圖 3-3 為模型車輛和實際車輛於室內淨高 3.5 m 條件下天花板 Ce2 熱電偶之溫度量測值，放水壓力皆為 1 kgf/cm^2 。燃燒模型車輛時，天花板最高溫度約 260°C ；燃燒實際車輛時，天花板最高溫度約 150°C 。

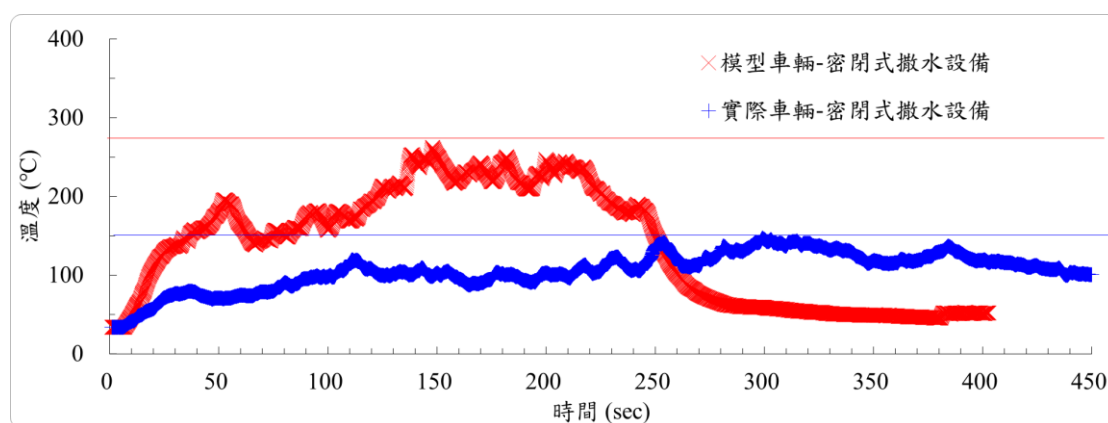


圖 3-3 比較燃燒模型車輛和實際車輛之熱氣流溫度

圖 3-4 顯示燃燒模型車輛和實際車輛時，位於相鄰車體中央的熱電偶 Ve2 量測值。燃燒模型車輛實驗的撒水頭於 39 sec 開始放水，放水前的最高溫約 118 °C，放水後相鄰車體的表面溫度下降至 75 °C 以下；燃燒實際車輛實驗的撒水頭則於 72 sec 開始放水，放水前相鄰車體表面最高溫約 45 °C，放水後相鄰車體的表面溫度下降至 40 °C 以下。

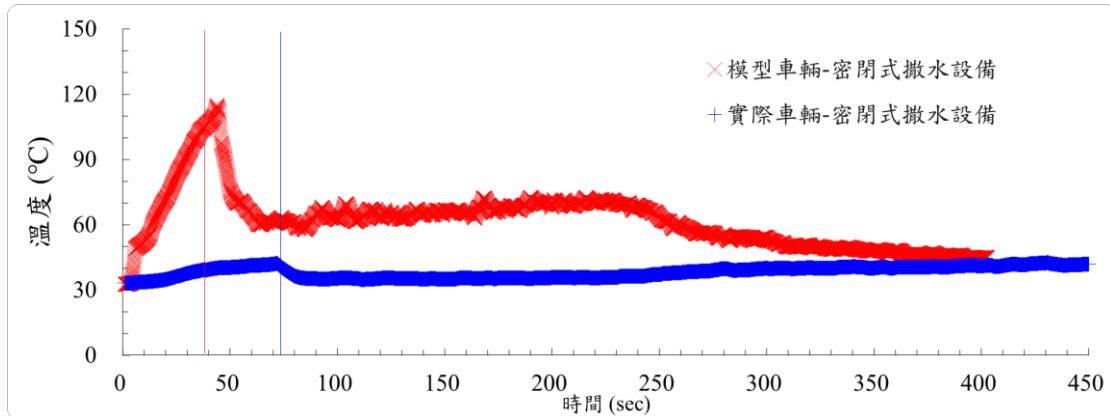


圖 3-4 比較燃燒模型車輛和實際車輛之相鄰車體溫度

綜合上述模型車輛和實際車輛的輻射熱通量和熱氣流溫度的比較，模型車輛的輻射熱通量和天花板熱氣流溫度皆明顯大於實際車輛的燃燒值。因此，許將續以模型車輛執行多重變數實驗，並就實驗結果進行比較和分析。

第二節 實驗變數與結果

一、設備型式對冷卻效果的影響

(一) 輻射熱通量

圖 3-3 為在場域室內淨高 3.5 m 條件下，密閉式撒水設備和泡沫滅火設備皆採取放水壓力 3 kgf/cm² 的熱通量量測值，可看出在泡沫滅火設備放射情況下的熱通量數值大於密閉式撒水設備，顯示自動撒水設備對於熱輻射的冷卻效果略優於泡沫滅火設備。然而，熱通量僅代表燃料產生輻射熱的量化數值，有關防止相鄰車輛延燒的冷卻效果，仍需進一步比較相鄰車體的表面溫度來進行判斷。

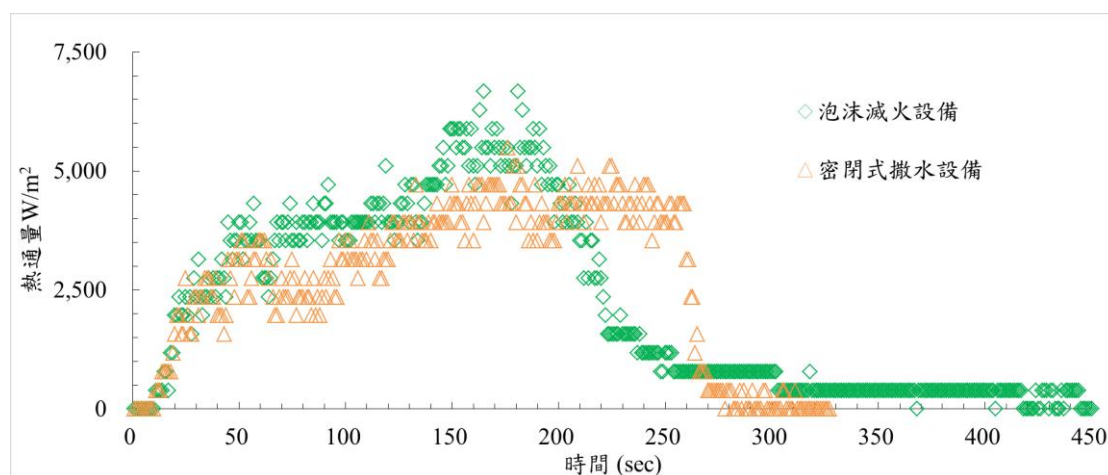
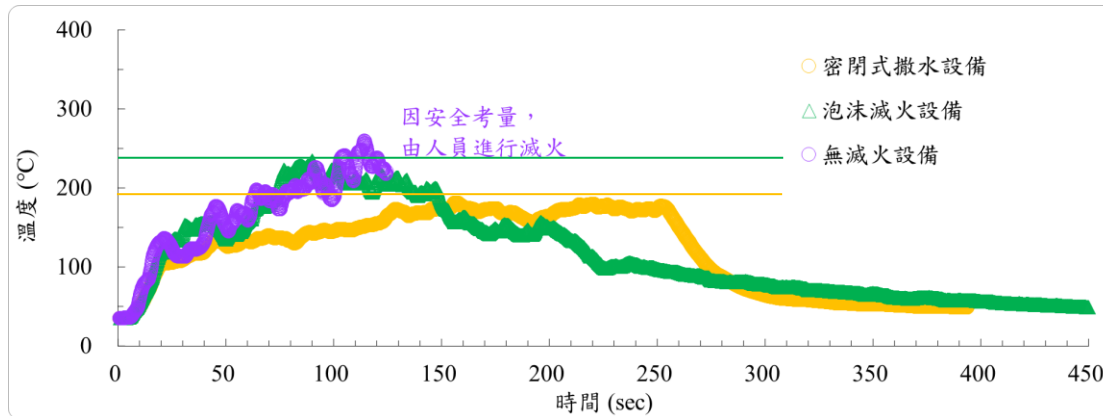


圖 3-5 密閉式撒水設備和泡沫滅火設備的熱通量值

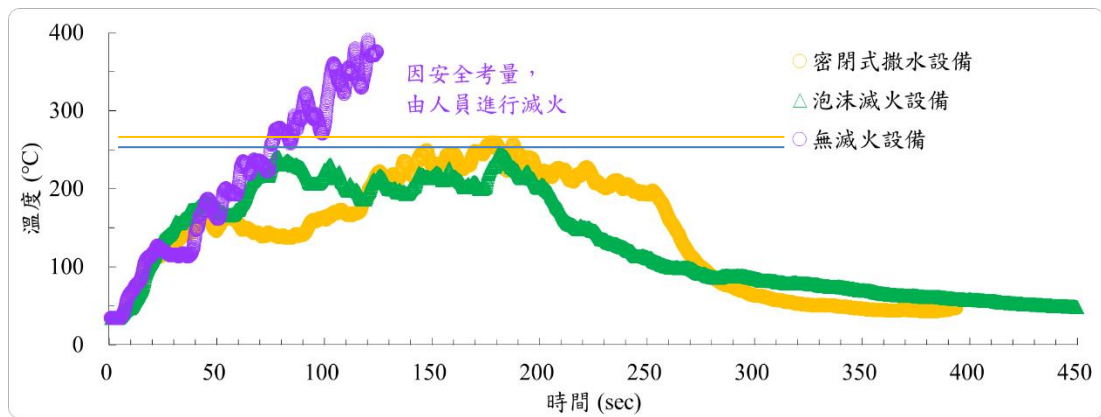
(二) 天花板熱氣流溫度

圖 3-6 為室內淨高 3.5 m 條件下，不同設備型式的天花板熱氣流溫度量測值。密閉式撒水設備的撒水頭和泡沫滅火設備的感知撒水頭皆採用一般反應型撒水頭（第二種感度）。圖 3-6(a) 的熱電偶 Ce1 顯示，泡沫滅火設備放射後，相鄰車輛上方的天花板熱氣流溫度約在 245 °C；密閉式撒水設備放射後，相鄰車輛上方的天花板熱氣流溫度約在 195 °C。二種設備型式和無設置滅火設備的情況相比，對相鄰車輛上方的天花板熱氣流溫度差異並不大。然而，圖 3-6(b) 的熱電偶 Ce2 則呈現不同的結果，可明顯看出相較於無設置任何滅火設備，在泡沫滅火設備或密閉式撒水設備放射後，皆可降低車輛間天花板熱氣流的溫度。

代表無論是泡沫滅火設備還是密閉式撒水設備，對於火災熱氣流可產生一定的冷卻效果。



(a) 熱電偶 Ce1



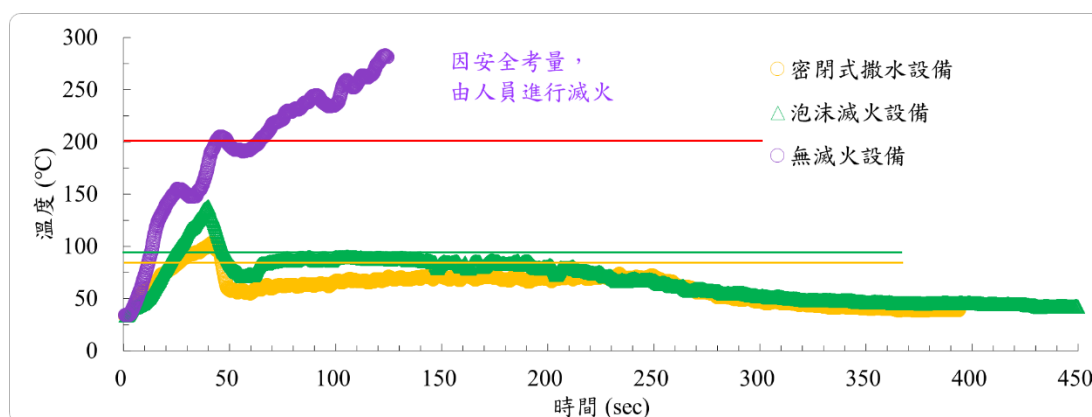
(b) 熱電偶 Ce2

圖 3-6 比較不同設備型式之天花板熱氣流溫度

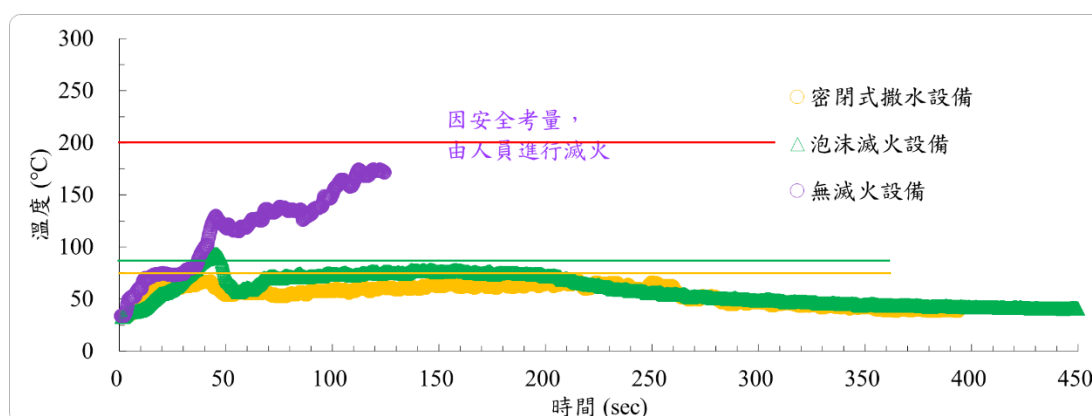
(三) 相鄰車體表面溫度

圖 3-7 為室內淨高 3.5 m 條件下，不同設備型式的相鄰車體表面溫度量測值。密閉式撒水設備的撒水頭和泡沫滅火設備的感知撒水頭皆採用一般反應型撒水頭（第二種感度）。從圖 3-7(a)相鄰車輛中央熱電偶 Ve2 還是圖 3-7(b)相鄰車輛前端熱電偶 Ve3 都清楚顯示，泡沫滅火設備還是密閉式撒水設備都對相鄰車輛的表面溫度產生明顯的冷卻效果。相鄰車輛的表面溫度低於前章制定的判定基準溫度 200°C，且密閉式撒水設備的冷卻效果略優於泡沫滅火設備。從實驗現場的火羽現象觀察，燃燒車輛中央有較大的火焰自車窗開口噴出，相鄰車輛中央的熱電偶 Ve2 明顯承受較多的輻射熱，這也是熱電偶 Ve2 溫度值皆大於熱電偶 Ve3 的原因。

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究



(a) 熱電偶 Ve2



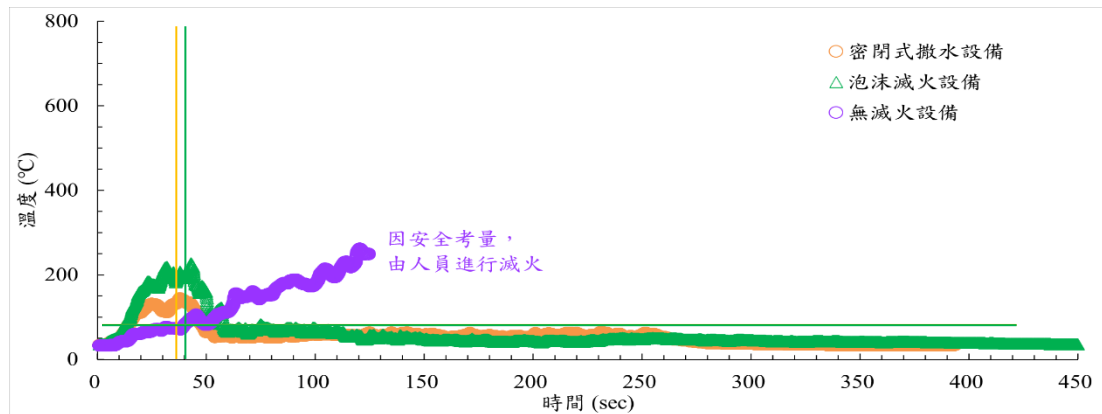
(b) 熱電偶 Ve3

圖 3-7 比較不同設備型式之相鄰車體表面溫度

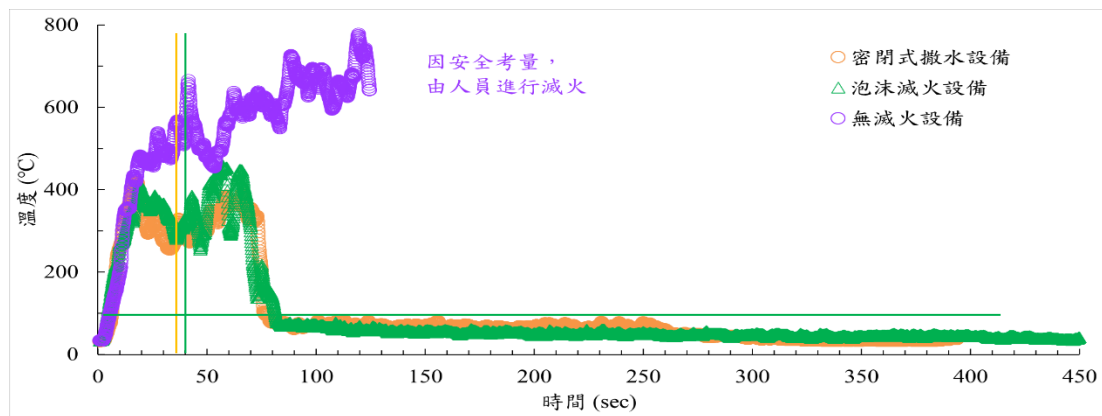
(四) 車輛間熱氣流溫度

圖 3-8 為室內淨高 3.5 m 條件下，不同設備型式的車輛間熱氣流溫度量測值。密閉式撒水設備的撒水頭和泡沫滅火設備的感知撒水頭皆採用一般反應型撒水頭（第二種感度）。撒水頭開啟放水時間為 37 sec，泡沫感知撒水頭做動時間為 40 sec，二者的放水時間幾乎一致。圖 3-8(a)是距離地面 2.5 m 的熱電偶 H1 量測值，圖 3-8(b)是距離地面 1.5 m 的熱電偶 H2 量測值。由於熱電偶 H2 比熱電偶 H1 受到更多的輻射熱影響，因此熱電偶 H2 的溫度量測值明顯高於熱電偶 H1。密閉式撒水設備和泡沫滅火設備放射後，車輛間熱氣流溫度開始下降，但受到較多輻射熱影響的熱電偶 H2，溫度下降的速度較緩慢。大致來說，在撒水和泡沫放射約 60 sec 後，無論是熱電偶 H1 還是 H2 的車輛間熱氣流溫度值都

因冷卻作用而降至 70°C~80°C 之間。



(a) 熱電偶 H1



(b) 熱電偶 H2

圖 3-8 比較不同設備型式之車輛間熱氣流溫度

二、感度類型對冷卻效果的影響

(一) 輻射熱通量

圖 3-9 是密閉式撒水設備和泡沫滅火設備分別採用不同感度類型的熱通量量測值。採用一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，在距離火源 1.8 m 處量測到的熱通量最大值為 $6,750 \text{ W/m}^2$ ，明顯高於其他三組變數條件的實驗結果。採用快速反應型的密閉式撒水設備，距離火源 1.8 m 處量測到的熱通量較其他三組變數條件的實驗結果來得低，顯示採用快速反應型的密閉式撒水設備對於燃燒車輛的輻射熱可產生一定的冷卻作用。

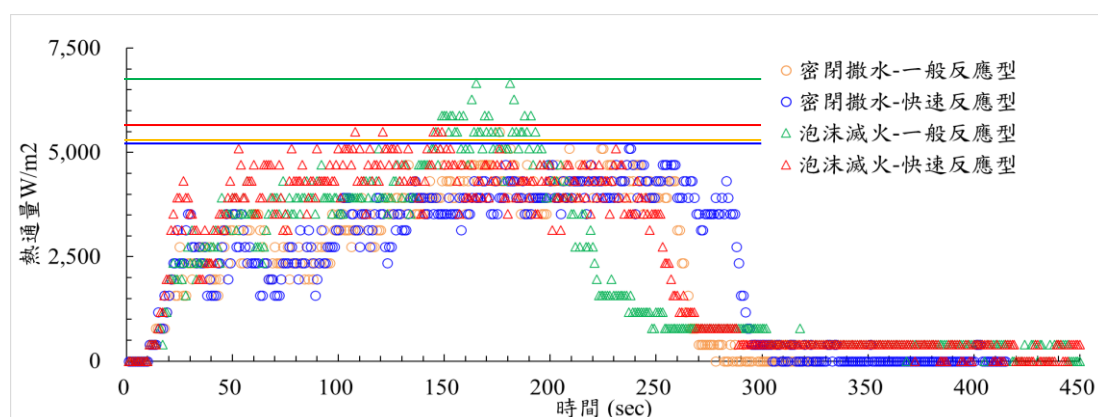
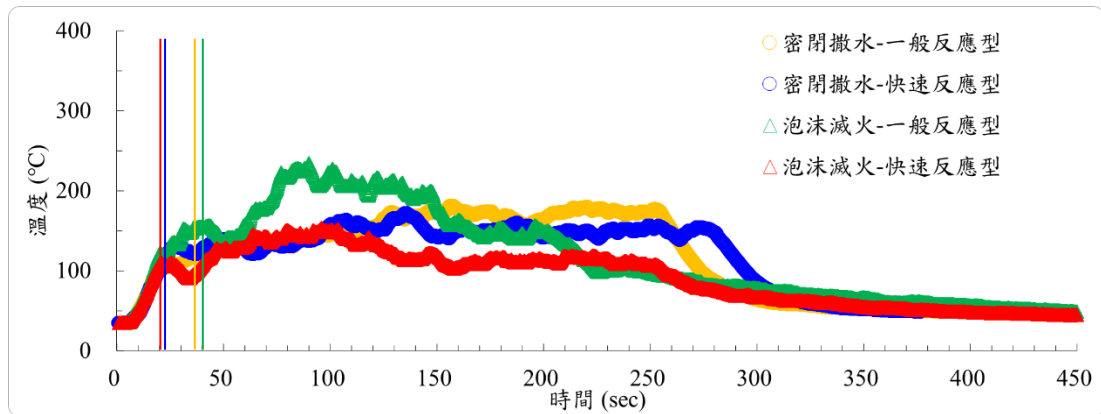


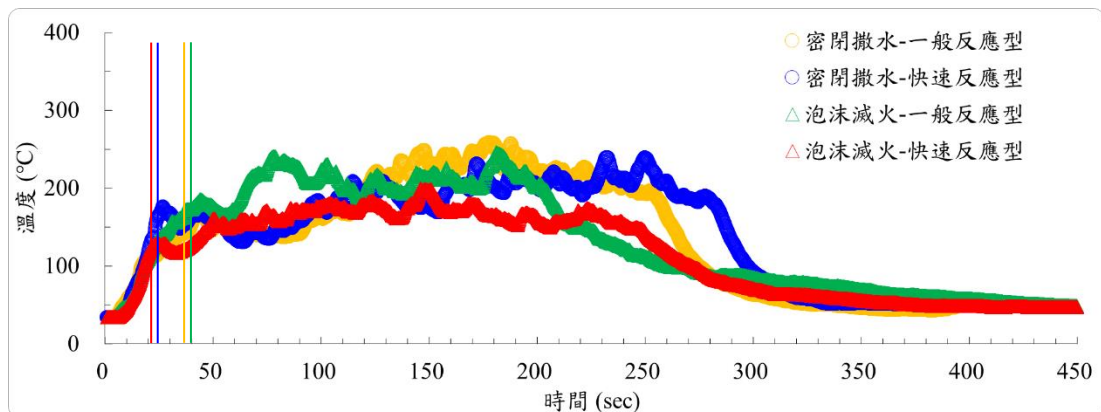
圖 3-9 一般反應型和快速反應型(感知)撒水頭的熱通量值

(二) 天花板熱氣流溫度

前述結果已可清楚顯示，安裝一般反應型撒水頭的密閉式撒水設備，在放水壓力 3 kgf/cm^2 的條件下，相鄰車輛的表面溫度低於判定基準溫度 200°C ，確可發揮冷卻效果以防止相鄰車輛延燒。圖 3-10 顯示不同感度類型天花板熱氣流溫度的量測結果。無論密閉式撒水設備還是泡沫滅火設備，快速反應型(感知)撒水頭的作動時間明顯較一般反應型撒水頭的時間來得短。安裝一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，天花板熱電偶 Ce1 和熱電偶 Ce2 的熱氣流溫度略大於其他三組變數的實驗結果。



(a) 熱電偶 Ce1

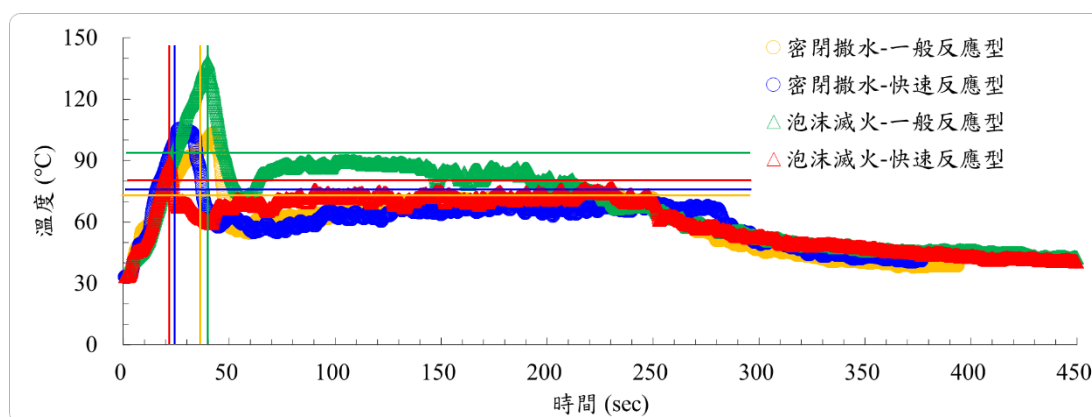


(b) 熱電偶 Ce2

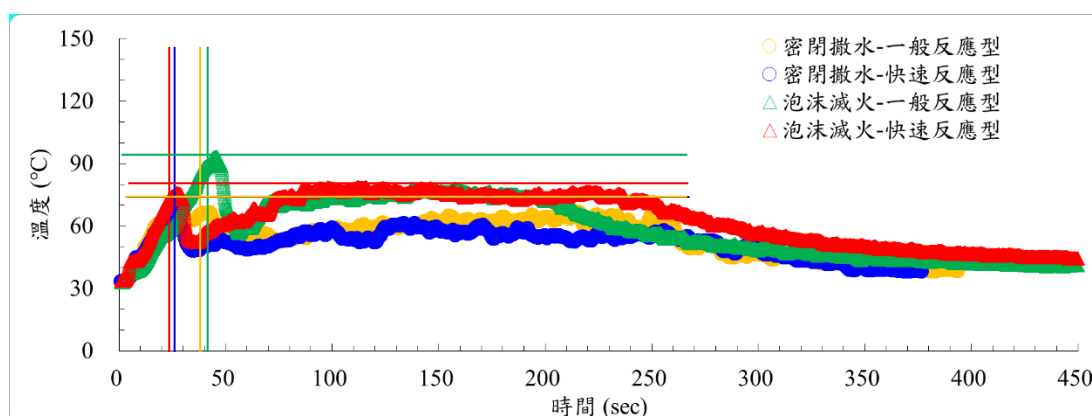
圖 3-10 比較不同感度類型之天花板熱氣流溫度

(三) 相鄰車體表面溫度

圖 3-11 顯示不同感度類型相鄰車體表面溫度的量測結果。對於密閉式撒水設備來說，放水後相鄰車體中央的熱電偶 Ve2 和車頭熱電偶 Ve3 的表面溫度皆快速降至 70°C ~ 80°C 之間。然而，安裝一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，相鄰車體表面溫度約為 93°C ，略高於其它三個實驗變數的量測值。整體來說，無論是何種感度類型，皆能於放射後使相鄰車體的表面溫度低於防止延燒的基準溫度 200°C 。



(a) 熱電偶 Ve2

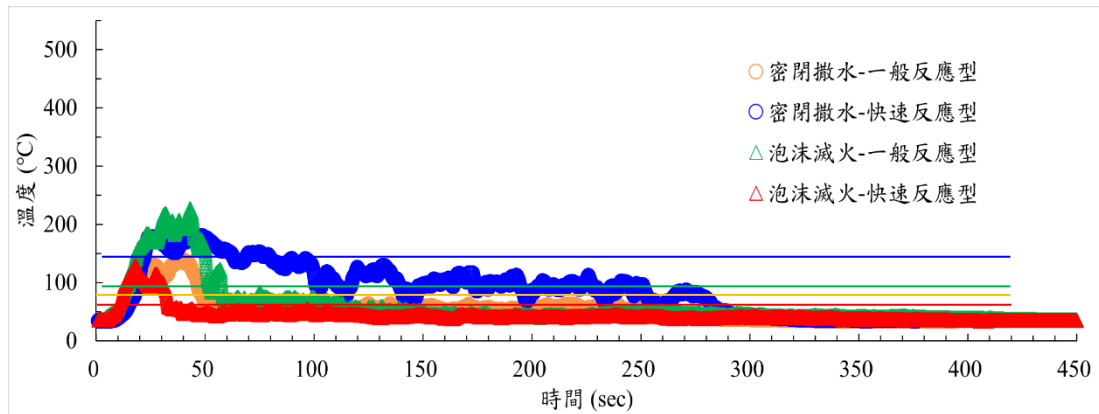


(b) 熱電偶 Ve3

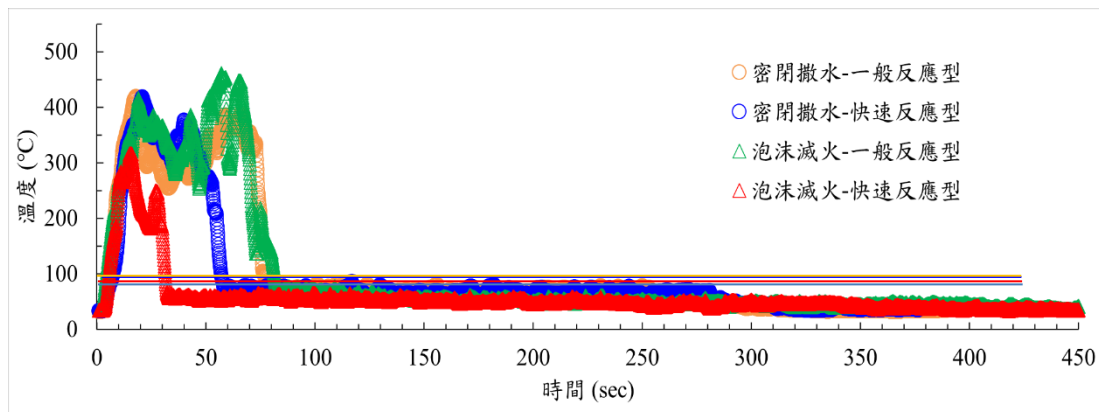
圖 3-11 比較不同感度類型之相鄰車體表面溫度

(四) 車輛間熱氣流溫度

圖 3-12 為室內淨高 3.5 m 條件下，不同感度類型的車輛間熱氣流溫度量測值。圖 3-12(a)是距離地面 2.5 m 的熱電偶 H1 量測值，圖 3-12(b)是距離地面 1.5 m 的熱電偶 H2 量測值。在密閉式撒水設備和泡沫滅火設備放射前，受到更多的輻射熱影響的熱電偶 H2 溫度明顯大於熱電偶 H1。密閉式撒水設備和泡沫滅火設備放射後，車輛間熱氣流溫度開始下降，受到較多輻射熱影響的熱電偶 H2，溫度下降的速度較緩慢。基本上，儘管快速反應型的反應動作時間較短，然而不同感度類型對於放水後的冷卻效果並無明顯差異。



(a) 熱電偶 H1



(b) 熱電偶 H2

圖 3-12 比較不同感度類型之車輛間熱氣流溫度

三、放水密度對冷卻效果的影響

(一) 輻射熱通量

圖 3-13 是不同放水密度條件下，距離火源 1.8 m 處量測到的熱通量值。整體來說，輻射熱在點火後 125 sec~250 sec 期間達到最大值，放水密度對輻射熱冷卻效果的影響並不明顯。推論係因車輛燃燒型態屬於遮蔽型火災，撒水水滴難以直接接觸火羽，僅能藉由噴灑水滴吸收熱能來發揮降溫的效果。

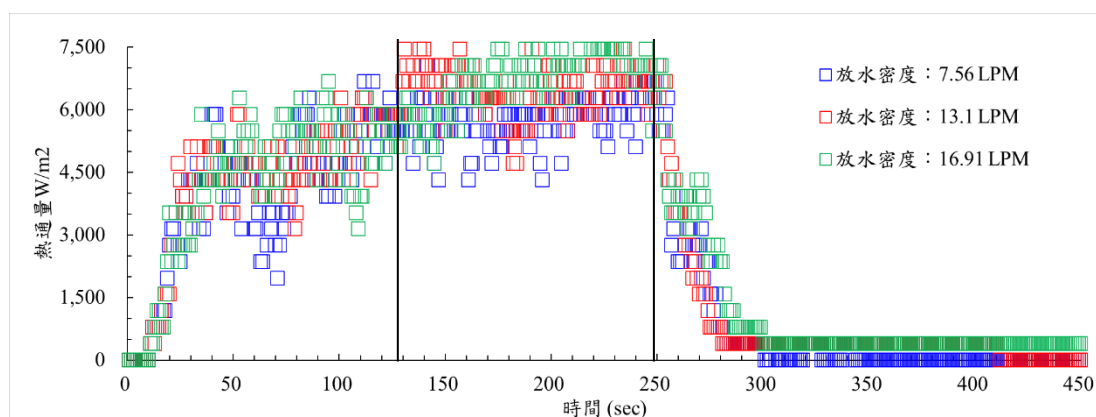
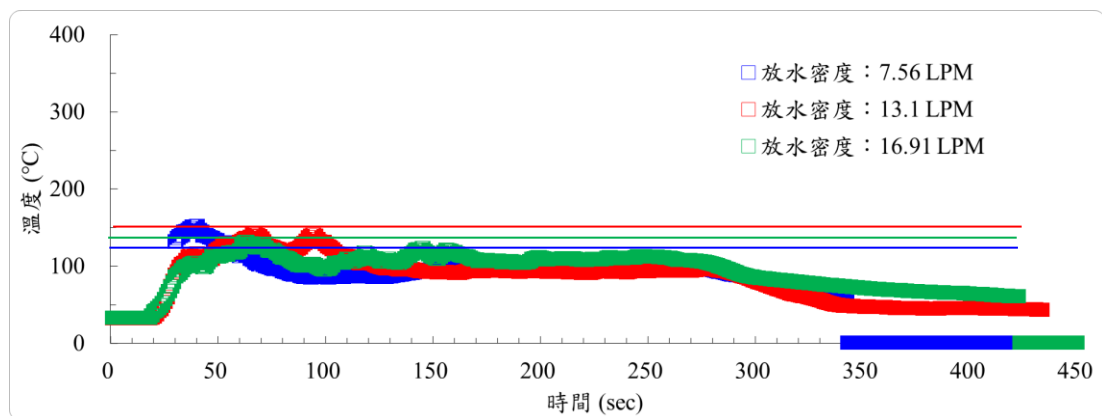


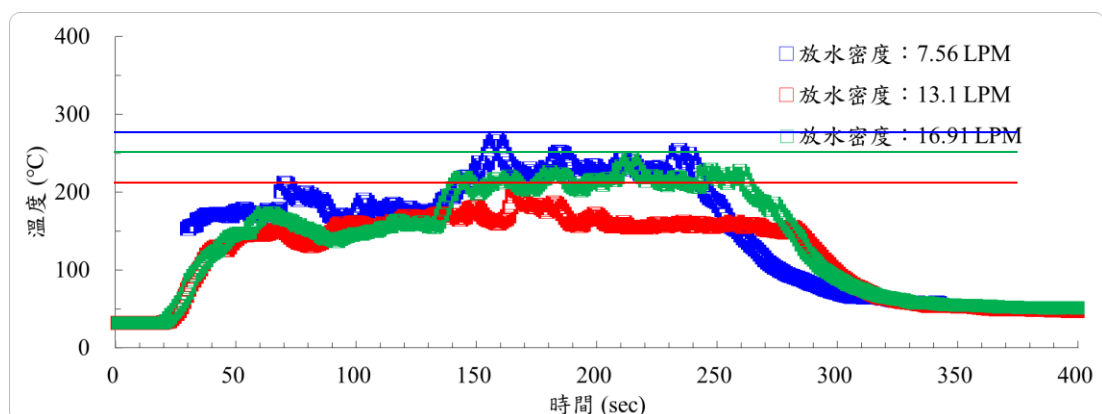
圖 3-13 不同放水密度的熱通量值

(二) 天花板熱氣流溫度

圖 3-14 為室內淨高 3.5 m 條件下，開放式撒水設備在不同放水密度條件下的天花板熱氣流溫度。放水密度的控制變數為 1 kgf/cm^2 、 3 kgf/cm^2 和 5 kgf/cm^2 的放水壓力，三組實驗皆安裝快速反應型感知撒水頭（第一種感度），開啟放水的時間差異不大，約在 22 sec~26 sec 之間。整體來說，放水密度對天花板熱氣流溫度的影響並不明顯，圖 3-14(a) 的熱電偶 Ce1 顯示相鄰車輛上方的天花板熱氣流溫度皆在 130°C ~ 170°C 之間，圖 3-14(b) 的熱電偶 Ce2 顯示相鄰車輛上方的天花板熱氣流溫度皆在 210°C ~ 275°C 之間。



(a) 熱電偶 Ce1

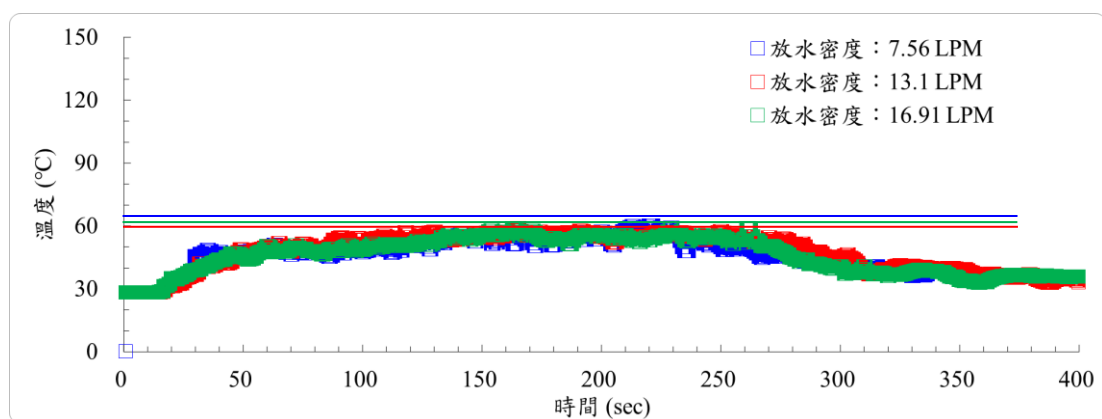


(b) 熱電偶 Ce2

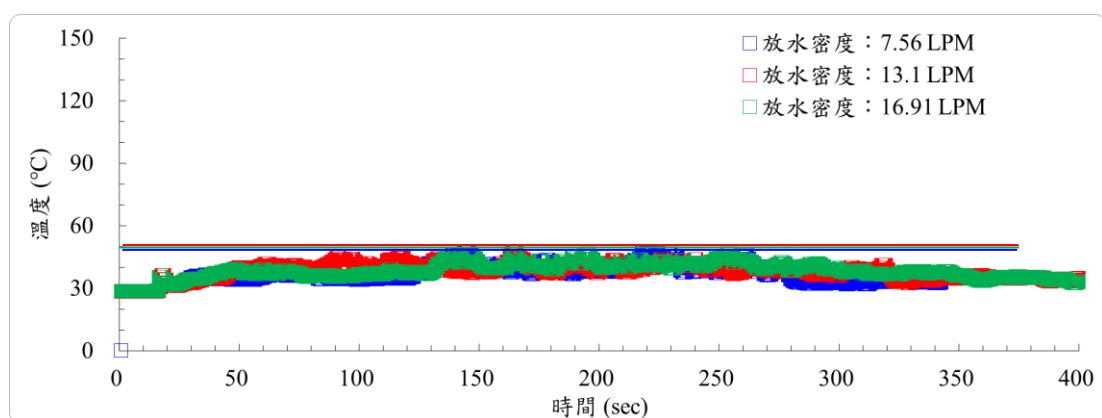
圖 3-14 比較不同放水密度之天花板熱氣流溫度

(三) 相鄰車體表面溫度

圖 3-15(a)和(b)是比較不同放水密度之相鄰車體表面溫度，由於實驗的開放式撒水設備皆安裝快速反應型感知撒水頭，三組實驗在點火後 22 sec~26 sec 間即開啟一齊開放閥，4 只撒水頭全數放水。因此，三組實驗都在相鄰車體表面溫度呈現一致的分佈數值，代表放水密度對於相鄰車體的冷卻作用沒有明顯影響。熱電偶 Ve2 的溫度在 60°C-66°C之間，熱電偶 Ve3 的溫度在 47°C-50°C之間，且皆符合防止車輛延燒的 200 °C基準溫度。



(a) 熱電偶 Ve2

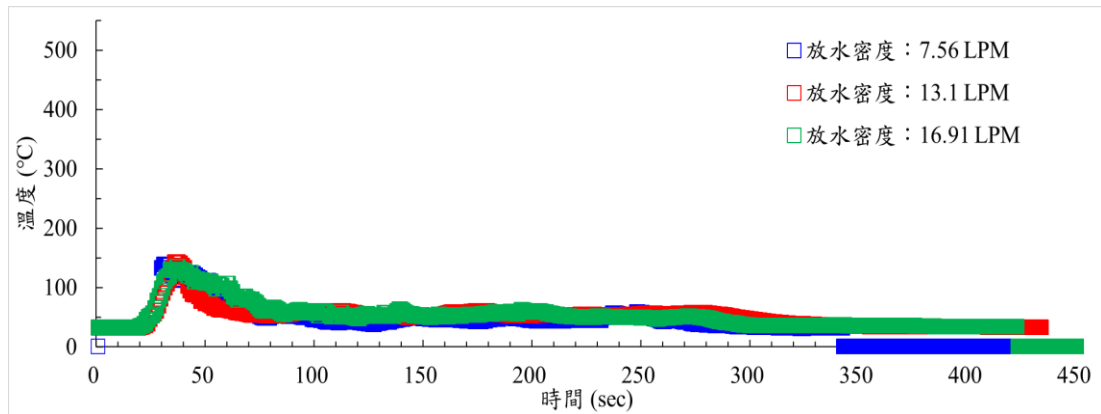


(b) 熱電偶 Ve3

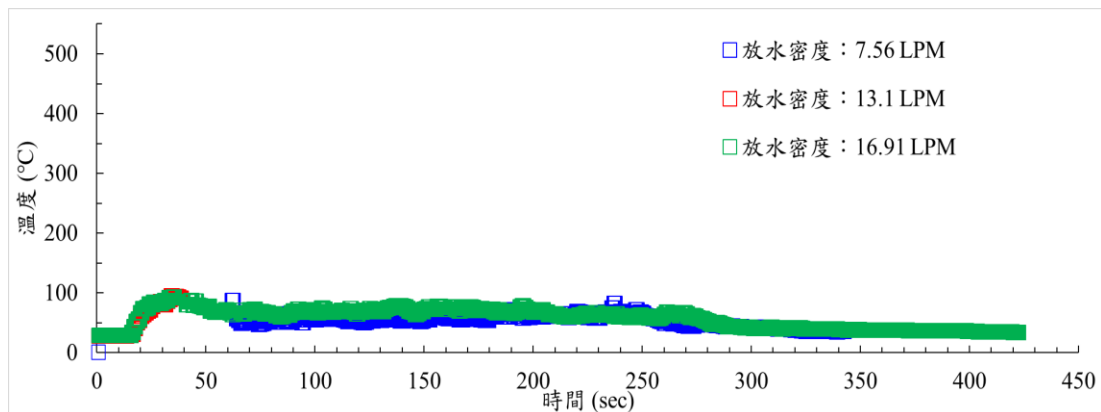
圖 3-15 比較不同放水密度之相鄰車體表面溫度

(四) 車輛間熱氣流溫度

觀察圖 3-16(a)和(b)不同放水密度的車體間熱氣流溫度，發現三組實驗在車輛間熱氣流溫度呈現一致的分佈數值，代表放水密度對於車輛間熱氣流溫度的冷卻作用沒有明顯影響。。



(a) 熱電偶 H1



(b) 熱電偶 H2

圖 3-16 比較不同放水密度之車輛間熱氣流溫度

四、室內淨高對冷卻效果的影響

(一) 輻射熱通量

圖 3-17 是不同室內淨高條件下，距離火源 1.8 m 處量測到的熱通量值。密閉式撒水設備量測到的熱通量在 $5,300 \text{ W/m}^2 \sim 5,650 \text{ W/m}^2$ 之間，泡沫滅火設備量測到的熱通量約為 $6,800 \text{ W/m}^2$ 。密閉式撒水設備對輻射熱的冷卻效果優於泡沫滅火設備，室內淨高對輻射熱的冷卻效果則不明顯。

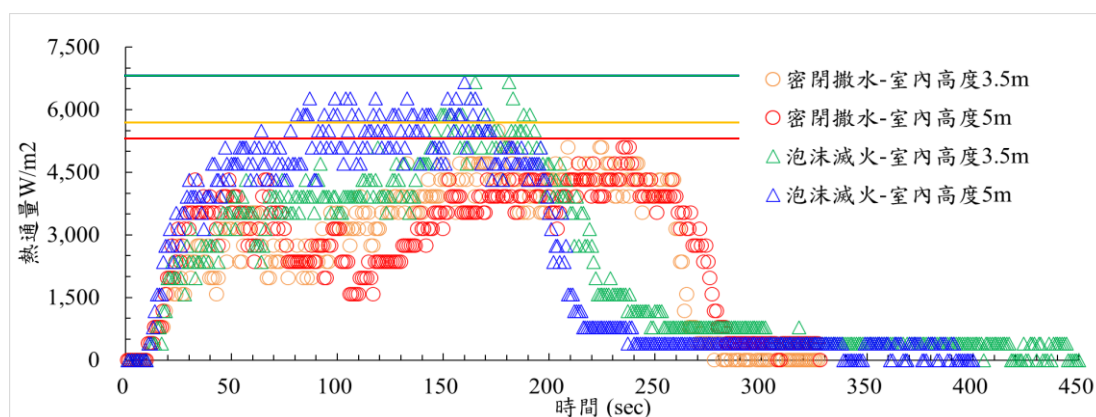
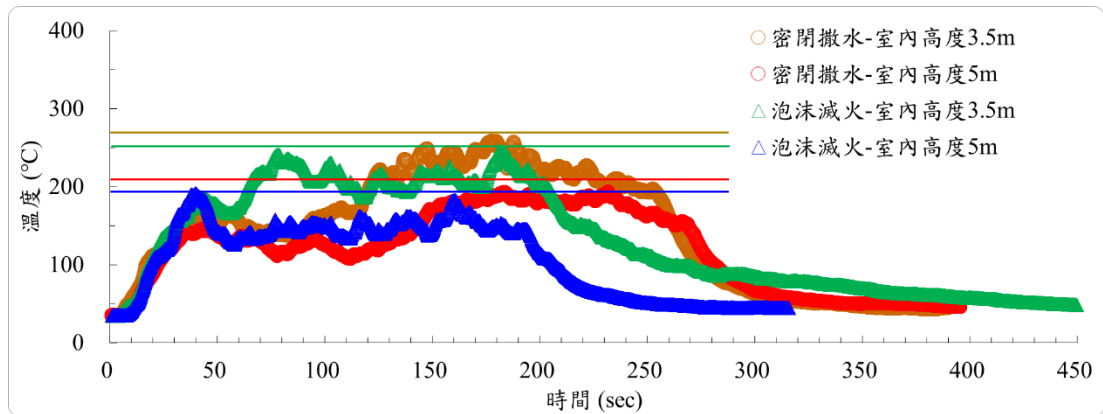


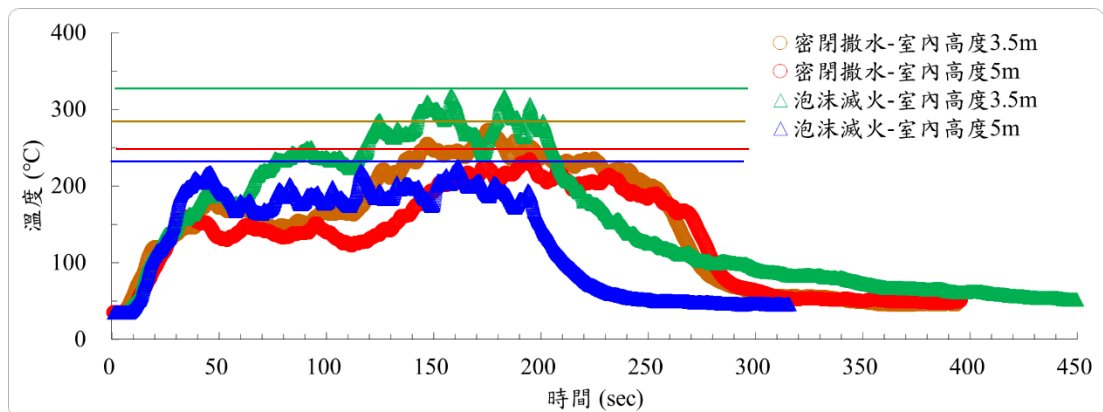
圖 3-17 不同室內淨高的熱通量值

(二) 天花板熱氣流溫度

從圖 3-18(a)可看出，密閉式撒水設備放水時，室內淨高 3.5 m 時的車輛間上方天花板熱氣流最高溫度為 273°C，大於室內淨高 5 m 時的 210°C；泡沫滅火設備放射時，室內淨高 3.5 m 時的車輛間上方天花板熱氣流最高溫度為 251°C，大於室內淨高 5 m 時的 190°C。從圖 3-18 (b)顯示燃燒車輛上方的溫度分佈和圖 3-18 (a)呈現相同趨勢，燃燒車輛上方天花板熱氣流溫度大於車輛間上方的天花板熱氣流溫度。密閉式撒水設備放水時，室內淨高 3.5 m 時的燃燒車輛上方天花板熱氣流最高溫度為 280°C，大於室內淨高 5 m 時的 249°C；泡沫滅火設備放射時，室內淨高 3.5 m 時的燃燒車輛上方天花板熱氣流最高溫度為 327°C，大於室內淨高 5 m 時的 230°C。無論密閉式撒水設備還是泡沫滅火設備，室內淨高 3.5 m 時的車輛間和燃燒車輛上方的天花板熱氣流溫度，皆高於室內淨高 5 m 的情況，推論是因為較低的室內高度較容易於天花板處形成熱蓄積所致。此結果可供上部樓板、開口、管線的延燒風險參考和進一步研究。



(c) 密閉式撤水設備及泡沫滅火設備：Ce2

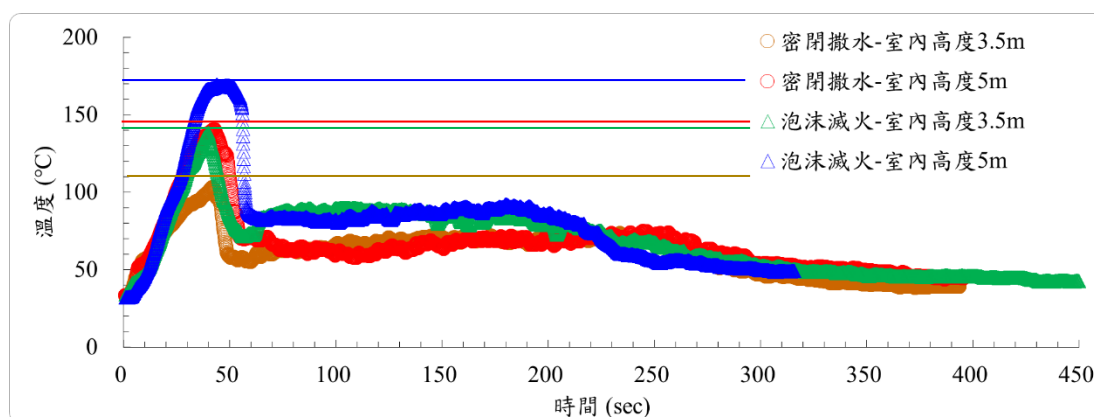


(f) 密閉式撤水設備及泡沫滅火設備：Ce4

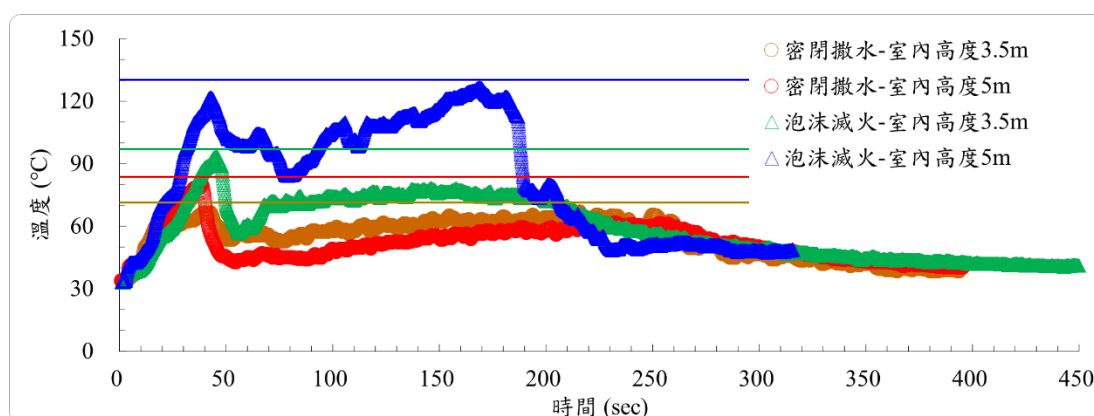
圖 3-18 比較不同室內淨高之天花板熱氣流溫度

(三) 相鄰車體表面溫度

圖 3-19(a)和(b)呈現不同室內淨高之相鄰車體表面溫度值，無論是相鄰車體中央的熱電偶 Ve2 還是相鄰車體前側的熱電偶 Ve3，室內淨高 5m 且設置泡沫滅火設備時都呈現最高的溫度，分別為 171°C 和 130°C，尚低於本研究防止延燒的基準溫度 200°C。推論是因為泡沫噴頭的放水係數 K 值為 22，當設置高度較高時難以控制噴撒泡沫的分佈情況，此結果顯示國內外對於泡沫噴頭的認可或認證皆會限制噴頭裝置高度的有其合理性；反觀圖 3-15(a)和(b)，室內淨高 3.5m 且設置密閉式撤水設備時都呈現最低的溫度，相鄰車體中央的表面溫度為 110°C，車體前側的表面溫度為 72°C，明顯低於本研究防止延燒的基準溫度 200°C。



(a) 熱電偶 Ve2

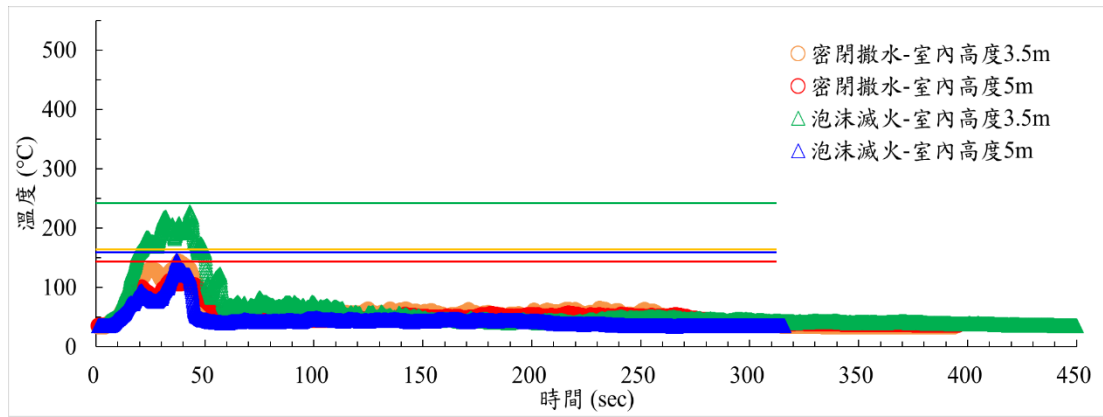


(b) 熱電偶 Ve3

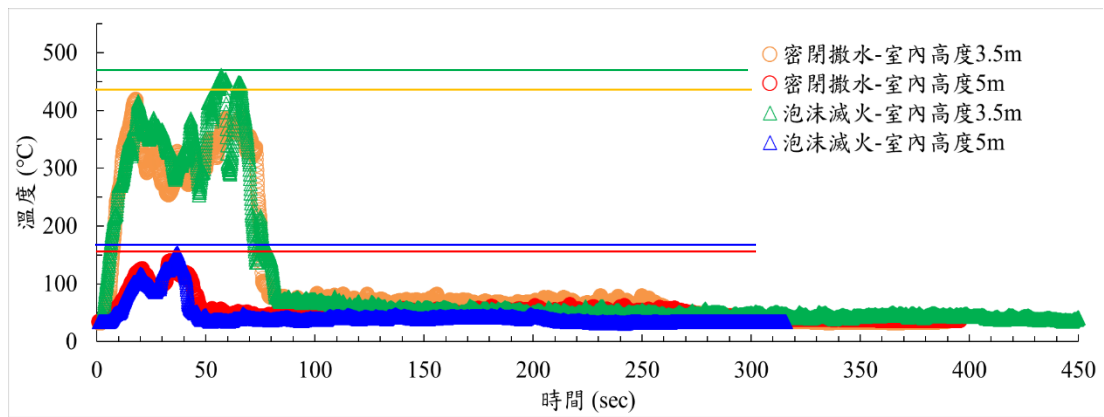
圖 3-19 比較不同室內淨高之相鄰車體表面溫度

(四) 車輛間熱氣流溫度

圖 3-20(a)為距離地面 2.5 m 熱電偶 H1 的溫度量測值。泡沫滅火設備設置於室內淨高 3.5 m 條件下，量測溫度值高於其他三組的實驗結果。由於熱電偶 H1 距離燃燒車輛較遠，主要量測的是燃燒正庚烷產生的對流熱，四組的溫度差異不若熱電偶 H2 來得大。從圖 3-20(b)可看出室內淨高 3.5 m 的溫度值明顯高於室內淨高 5 m 的條件。推論原因是熱電偶 H2 裝設於距離地面 1.5 m 處，該處恰為燃燒車輛火焰噴出開口處，此外較低的室內淨高較容易產生熱蓄熱，因此圖 3-20(b)在室內淨高 3.5 m 的溫度值明顯較高。



(a) 熱電偶 H1



(b) 熱電偶 H2

圖 3-20 比較不同室內淨高之車輛間熱氣流溫度

第四章 分析與討論

第一節 結果歸納與分析

圖 4-1 撒水頭或感知撒水頭偵測熱煙氣流溫度的作動開啟時間，共計 12 組實驗。快速反應型感度實驗共 5 組，作動時間在 21~26 sec 之間，平均 23 sec；一般反應型感度實驗共 7 組，實際車輛的燃燒速度明顯低於正庚烷，作動時間為 72 sec；其餘 6 組的作動時間在 30~40 sec 之間，平均 36.7 sec。明顯看出，快速反應型(感知)撒水頭對溫度較為靈敏、作動時間較短，比一般反應型撒水頭平均快了 13.7 sec。

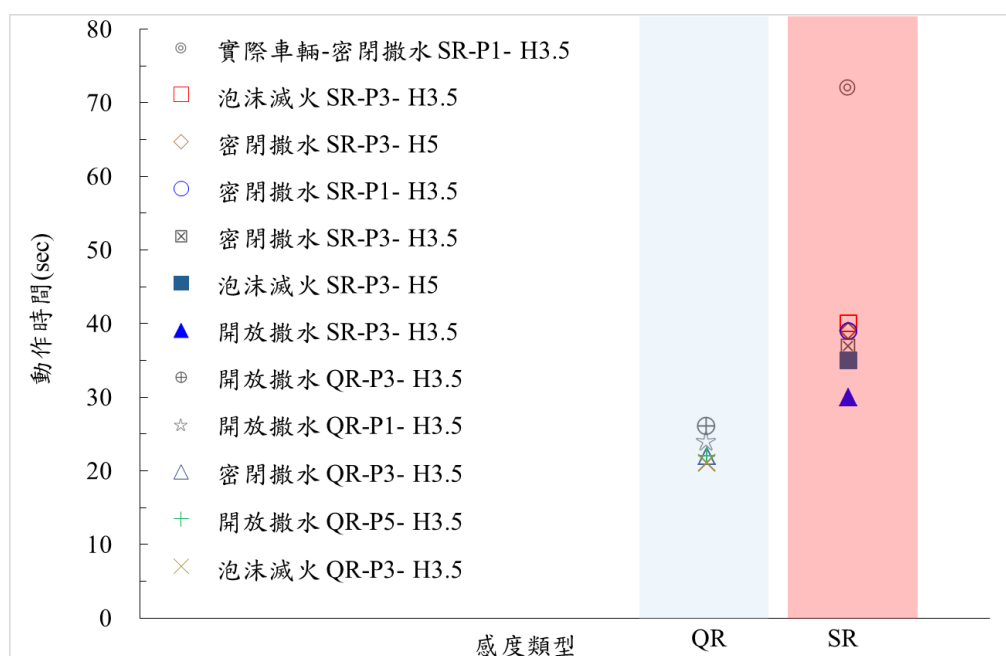


圖 4-1 不同感度類型之動作時間分佈

本研究採用的設備計有開放式撒水設備、密閉式撒水設備和泡沫滅火設備，從圖 4-2 可看出三個設備型式皆能發揮冷卻作用，並於放水(射)30 sec 後，使相鄰車輛中央的表面溫度降至 85°C 以下，自動撒水設備的冷卻效果略優於泡沫滅火設備。由於實際車輛的燃燒發熱速度較正庚烷為低，可看出密閉式撒水設備可以有效冷卻防止實際車輛火災的延燒。整體來說，設備型式對於放水後 30sec 的溫度影響並不明顯。

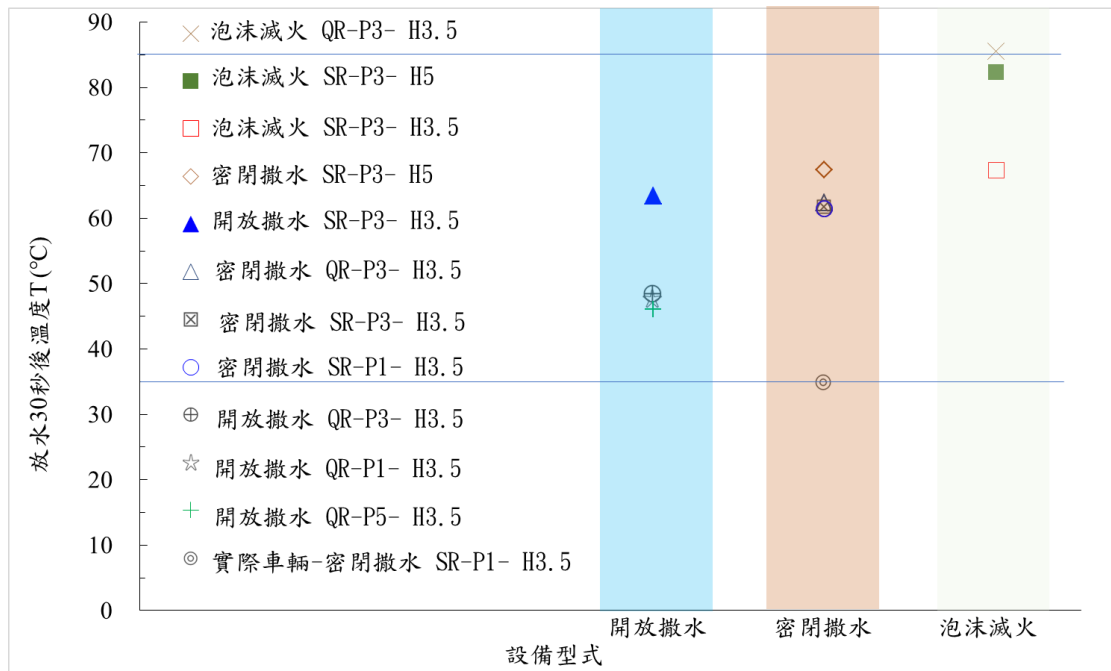


圖 4-2 設備型式與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係

觀察圖 4-3，可看出快速反應型(感知)撒水頭皆在 26 sec 之前即作動，放水後 30 sec，位於相鄰車體中央處的表面溫度值皆在 67°C 以下；採用一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備，放水後 30 sec，位於相鄰車體中央處的表面溫度在 82.5°C~85.5°C 之間，儘管略高於其他條件的實驗結果，但仍符合本研究設定的溫度基準值 200°C。

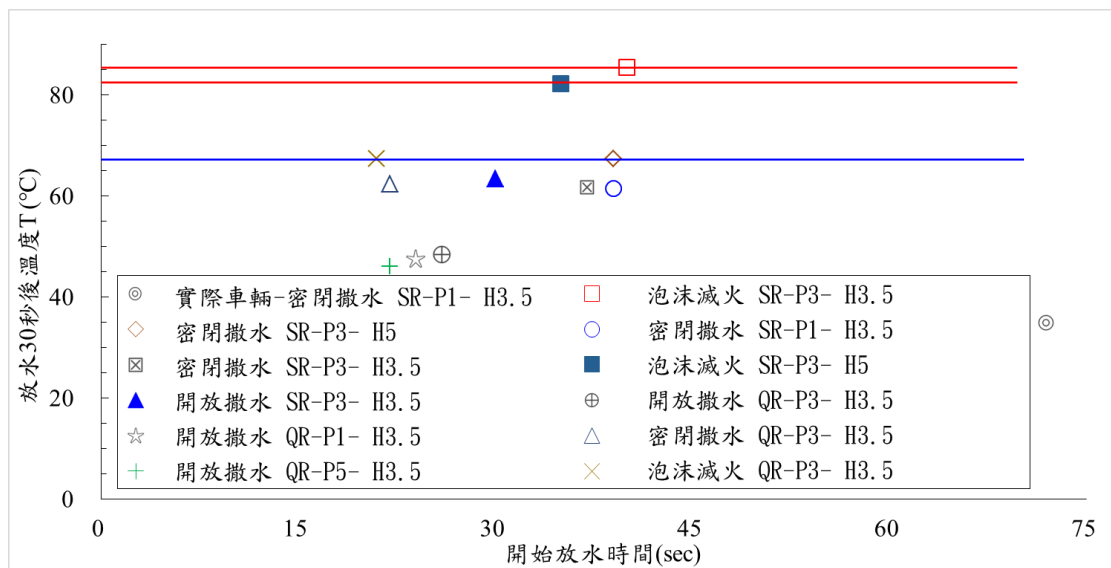


圖 4-3 放水時間與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係

圖 4-4 彙整 9 組自動撒水設備的實驗數值，其放水密度與放水後 30sec 的溫

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

度關係。在自動撒水設備放水後，相鄰車體中央的表面溫度皆降至 34°C~67.5°C 之間，低於設定防止車輛延燒的 200°C 溫度基準值。整體來說，放水密度對於防止車輛延燒的冷卻效果影響並不明顯。

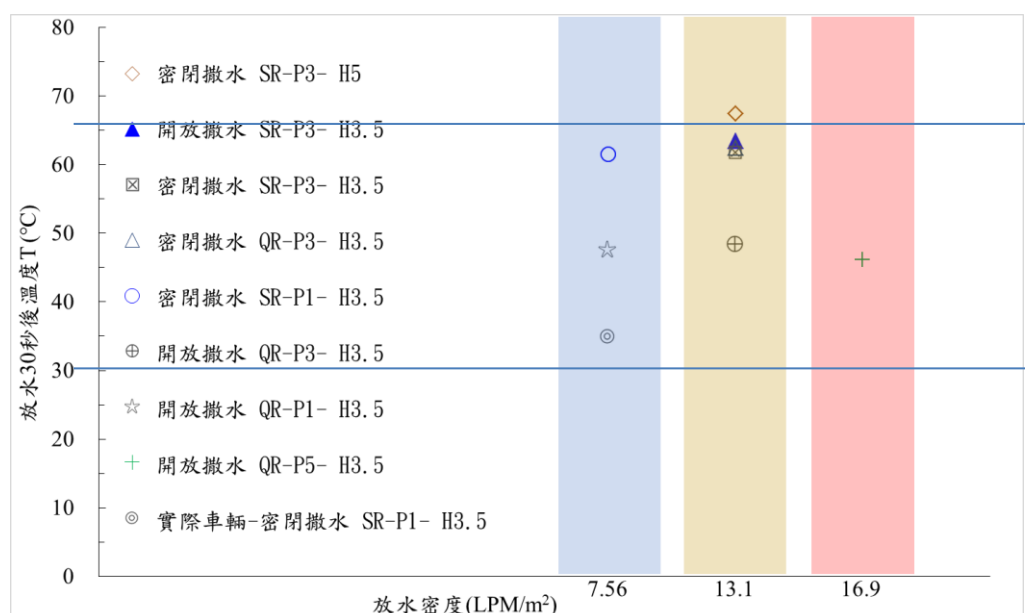


圖 4-4 放水密度與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係

圖 4-5 彙整室內淨高與放水後 30sec 之溫度關係，共 12 組。誠如前述，室內淨高對於防止車輛延燒的冷卻效果影響並不明顯。

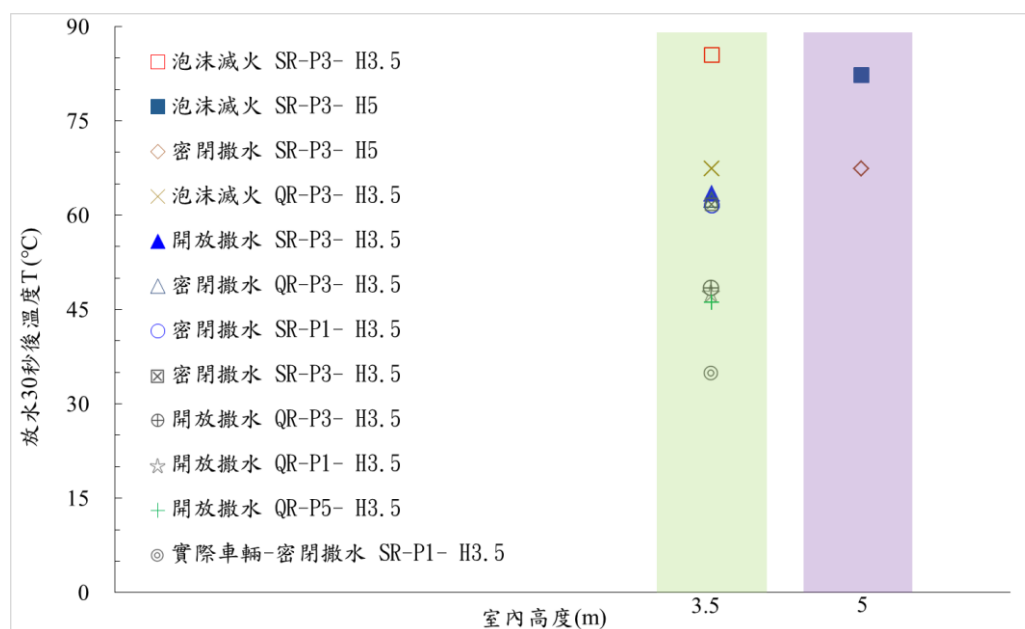


圖 4-5 室內淨高與放水後 30sec 之相鄰車體表面溫度關係

第二節 設置成本分析

一、案例說明

為了比較室內停車空間設置泡沫滅火設備與設置密閉式自動撒水設備之成本差異，以下採取某地下三層室內停車空間為比較案例，各層地下停車空間的樓高為 3.3 m，停車空間樓地板面積合計為 5,385 m²。泡沫滅火設備放射區域參照「各類場所消防安全設備設置標準」第 75 條，放射區域在樓地板面積 50 m² 以上 100 m² 以下，分析案例設計保護面積採取 100 m²。原因是此條件的泡沫噴頭開啟數量較多，相對於較小保護面積來說，幫浦出水量及水源容量的計算值較為保守。防護半徑則依據第 71 條第 3 款規定，設定為 2.1m。儘管設置標準第 77 條第 2 款要求泡沫噴頭的出水壓力係核算最末端一個泡沫放射區域全部泡沫噴頭放射壓力均能達 1kgf/cm² 以上，惟根據「泡沫噴頭認可基準」認可之泡沫噴頭的壓力下限值為 2.5kgf/cm²，故案例計算的泡沫噴頭最小壓力需求值設定為 2.5kgf/cm²。

室內停車空間採用密閉式撒水設備的設計方式，引用美國 NFPA 13: Standard for the Installation of Sprinkler Systems 標準。NFPA13 第 A.5.3.1 節將停放汽車或機車的室內停車空間(Automobile Parking Structures)歸類普通危險第 1 組(Ordinary Hazard Group 1)；NFPA13 第 A.5.4.2 節則是將垂直停放二輛以上之昇降機械車位(Car Stacker Systems)認為嚴重危險第 2 組(Extra Hazard Group 2)。分析案例屬於 NFPA13 普通危險第 1 組，根據 NFPA13 圖 11.2.3.1.1 的密度/面積曲線(Density/Area Curves)，以場所整體風險評估決定「撒水頭作用面積」和「放水密度」，此與歐洲、中國大陸、澳洲、韓國等國的設計模式是一致的。由於撒水噴淋的水難以直接噴進遮蔽的燃燒車輛內部，藉由水滴的冷卻作用以防止車輛延燒應為務實的車輛火災控制對策。密閉式撒水設備的放水區域面積應大於 NFPA13 圖 11.2.3.1.1 密度/面積曲線(Density/Area Curves)普通危險第 1 組的撒水頭最小作用面積 139 m²，評估案例將設計保護面積設定為 150 m²，依實際案例之空間車位配置採取 2.1m 的撒水頭涵蓋半徑，共計 17 只。放水密度採取普通危險第 1 組的 6.1 LPM/m² 為需求值。

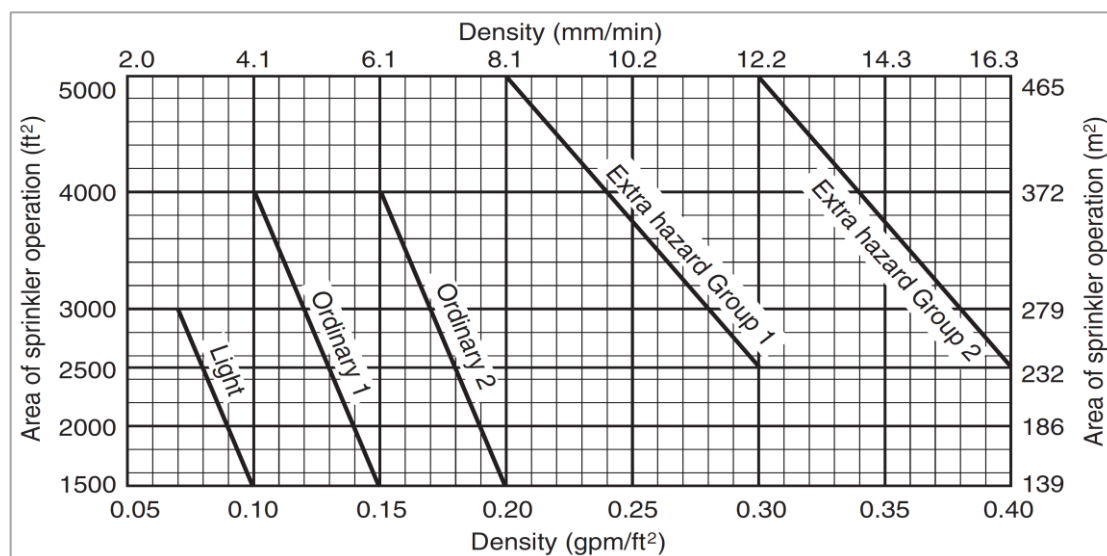


圖 4-6 NFPA 13 放水密度/撒水頭作動面積曲線

前述實驗結果中，當泡沫滅火設備採用一般反應型的感知撒水頭時，相鄰車體表面溫度約為 93°C ，高於安裝快速反應型感知撒水頭或撒水頭的溫度。考慮現代車輛為提升性能、耐用、美觀、舒適，普遍使用耐用塑料、玻璃纖維、聚氨酯等材料。儘管這些材料都必須達到攝氏 300 度甚至更高的溫度才會起火燃燒，但是這些材料多半在 200 以上溫度時就會開始分解釋放出不易預期的生成氣體。這些燃燒生成氣體是複雜且難以確保不具毒性，對避難人員可能會造成不適甚至危害。因此，較理想的方式應是在偵測到火災初期熱氣流之後，就儘早放水發揮冷卻作用來降低熱煙和燃燒生成物的擴散動能。因此，以下分析案例中，泡沫感知撒水頭和密閉式撒水頭皆採用快速反應的感知類型，

此外，燃燒車輛有可能因撒水設備放水後的環境降溫和減少氧氣供給等影響，導致可燃物的燃燒速度減緩使得車輛火災的持續時間變得更長。若放水持續時間不足，恐消防人員抵達火場前水源即已用罄而產生復燃。從實驗結果得知，撒水頭在放水壓力 1 kgf/cm^2 條件下即可發揮很好的冷卻效果。隨著放水壓力提高，對於車體遮蔽型的火災來說，防止延燒的冷卻效果並無明顯不同。與其一味提高撒水頭的放水壓力，以致更快用盡消防水源卻無更好的火災防護效果，不如以相同冷卻效果換取撒水設備的放水持續時間。不僅可將設備功能充分發揮，對避難人員和救災人員的安全來說也更有保障。因此，建議自動撒水設備用於室內停車空間防護時應有較長的放水持續時間，案例將自動撒水設備

的放水持續時間設定為 30 分鐘。

二、水力計算與分析

以下水力計算依內政部頒布的「消防幫浦加壓送水裝置等及配管摩擦損失計算基準」，依據各管段、節點、管徑、長度、次要摩擦損失以疊代(Iterative Method)法和有限差分法(Finite-Difference Methods, FDM)，計算全數管段的摩擦損失和全數節點的壓力值。確認泡沫噴頭放水壓力和撒水放水密度分別符合前述設計依據。圖 4-7 為泡沫滅火設備和密閉式撒水設備放水區域配置圖，泡沫滅火設備框選之放射區域面積 100 m^2 為一齊開放閥開啟放水範圍；密閉式撒水設備框選面積 150 m^2 的範圍則是撒水頭作動保護面積。

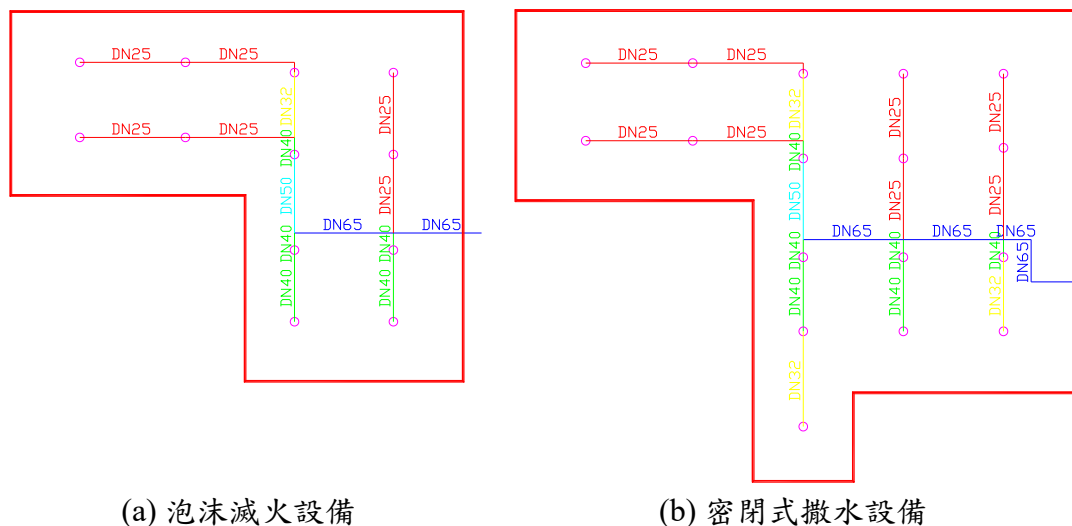


圖 4-7 泡沫滅火設備和密閉式撒水設備防護區域

(一) 泡沫滅火設備水力計算

表 4-1 為泡沫滅火設備設計摘要，列示遵循規範、設計性能指標、設計保護面積、泡沫噴頭涵蓋半徑、泡沫噴頭放水數量、感度類型、泡沫噴頭放水係數、泡沫噴頭最小壓力需求、放水持續時間需求，以供後續水力計算和水源容量的檢討。

表 4-1 泡沫滅火設備設計摘要

遵循規範	設計性能指標	設計保護面積(m ²)
各類場所消防安全設備設置標準	防護半徑/放水壓力	100
泡沫噴頭涵蓋半徑(m)	噴頭放射數量(只)	感度類型
2.1	12	第一種感度
噴頭放水係數 K	噴頭最小壓力需求 (kgf/cm ²)	放水持續時間需求 (min)
22	2.5	20

圖 4-8(a)和(b)分別為泡沫滅火設備的系統圖節點和管段。首先，以泡沫噴頭放水壓力需求值 2.5 kgf/cm²，求得泡沫幫浦水量需求值為 888 LPM，揚程需求值為 48.9 m；採用 950 LPM 幫浦出水量和 50 m 的幫浦揚程，功率為 40 HP。接著，自加壓送水裝置供水端以實際採用幫浦性能計算出放水區域全數 12 只泡沫噴頭放水的情況下，各管段的流量、流速、管長和摩擦損失計算結果。表 4-2 的配管摩擦損失計算顯示在相同的流量下，較小的管徑呈現較大的流速和直管單位配管摩擦損失；在相同的流量和管徑情況下，直管長度和閥件、管另件的等價管長影響了該管段的摩擦損失計算值。

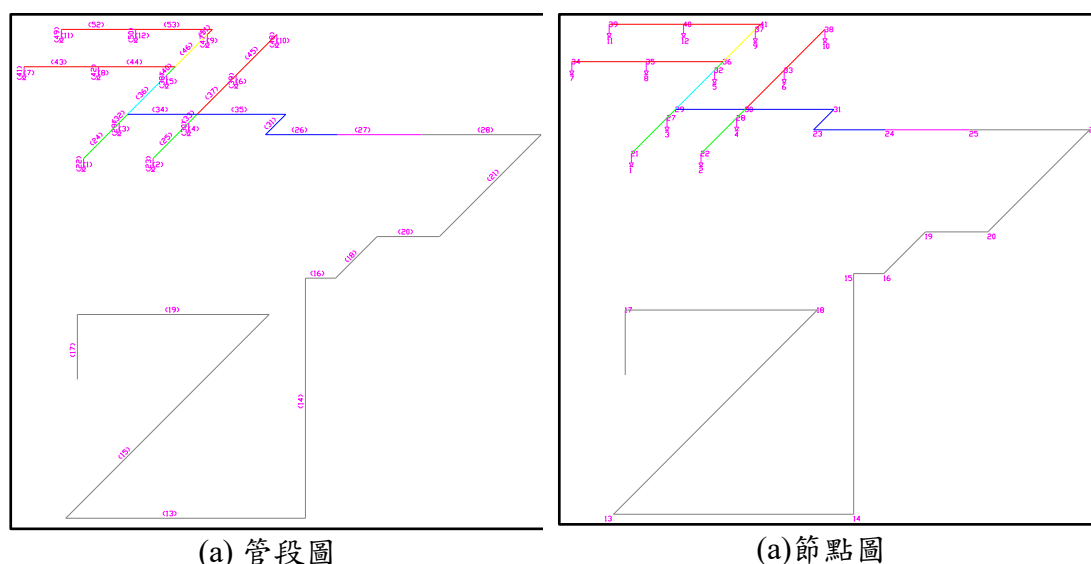


圖 4-8 泡沫滅火設備系統圖

第四章 初步研究成果

表 4-2 泡沫滅火設備配管摩擦損失計算表

管段 編號	節點 1	節點 2	管徑 D (mm)	流量 Q (L/min)	流速 (m/s)	管長 (m)	等價 管長 (m)	主要摩擦 損失(m)	次要摩擦 損失(m)	末端泡沫 噴頭路徑
								$H=1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times (\frac{I_K+I_{K''}}{100})$		
13	14	13	100	451	0.87	16.30	3.10	0.17	0.03	*
14	14	15	100	451	0.87	10.00	3.10	0.10	0.03	*
15	18	13	100	451	0.87	4.70	3.10	0.05	0.03	*
16	15	16	100	451	0.87	1.26	3.10	0.01	0.03	*
17	0	17	100	451	0.87	2.70	0.00	0.03	0.00	*
18	16	19	100	451	0.87	2.45	3.10	0.03	0.03	*
19	18	17	100	451	0.87	16.30	3.10	0.17	0.03	*
20	20	19	100	451	0.87	2.60	3.10	0.03	0.03	*
21	20	26	100	451	0.87	24.10	3.10	0.25	0.03	*
22	21	1	25	38	1.20	0.25	1.50	0.02	0.14	
23	22	2	25	38	1.21	0.25	1.50	0.02	0.14	
24	27	21	40	38	0.51	2.10	0.00	0.02	0.00	
25	28	22	40	38	0.51	2.10	0.00	0.02	0.00	
26	24	23	65	451	2.13	6.60	0.60	0.60	0.05	*
27	25	24	80	451	1.51	15.20	0.80	0.60	0.03	*
28	26	25	100	451	0.87	32.20	3.10	0.33	0.03	*
29	27	3	25	38	1.20	0.25	2.70	0.02	0.26	
30	28	4	25	38	1.20	0.25	2.70	0.02	0.26	
31	23	31	65	451	2.13	1.20	1.80	0.11	0.16	*
32	27	29	40	77	1.02	0.50	4.15	0.02	0.18	
33	28	30	40	77	1.02	0.50	4.15	0.02	0.18	
34	30	29	65	299	1.42	2.90	0.00	0.12	0.00	*
35	31	30	65	451	2.13	3.70	1.80	0.34	0.16	*
36	29	32	50	223	1.75	2.30	4.20	0.20	0.36	*
37	30	33	25	74	2.34	2.30	4.10	0.75	1.34	
38	32	5	25	38	1.19	0.25	3.50	0.02	0.33	
39	33	6	25	37	1.17	0.25	1.50	0.02	0.14	
40	32	36	40	185	2.45	0.50	0.30	0.11	0.07	*
41	34	7	25	37	1.15	0.25	0.60	0.02	0.05	
42	35	8	25	37	1.16	0.25	1.50	0.02	0.13	
43	34	35	25	37	1.15	3.10	0.00	0.27	0.00	
44	35	36	25	74	2.31	3.20	2.70	1.03	0.87	
45	38	33	25	37	1.17	2.40	0.00	0.22	0.00	
46	36	37	32	112	1.96	1.90	0.30	0.32	0.05	*

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

管段 編號	節點 1	節點 2	管徑 D (mm)	流量 Q (L/min)	流速 (m/s)	管長 (m)	等價 管長 (m)	主要摩擦 損失(m)	次要摩擦 損失(m)	末端泡沫 噴頭路徑
								$H=1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times (\frac{I_K+I_{K''}}{100})$		
47	37	9	25	38	1.19	0.25	2.00	0.02	0.19	
48	38	10	25	37	1.17	0.25	0.60	0.02	0.05	
49	39	11	25	37	1.16	0.25	0.60	0.02	0.05	
50	40	12	25	37	1.16	0.25	1.50	0.02	0.13	
51	37	41	25	74	2.31	0.30	0.20	0.10	0.06	*
52	39	40	25	37	1.16	3.10	0.00	0.28	0.00	*
53	40	41	25	74	2.31	3.20	0.60	1.03	0.19	*

表 4-3 為放水區域 12 只泡沫噴頭的放水壓力值，泡沫噴頭的最小放水壓力為 2.78 kgf/cm² 大於要求的最小放射壓力 2.5 kgf/cm²。

表 4-3 泡沫噴頭放水壓力值

泡沫噴頭編號	放水壓力(kgf/cm ²)	泡沫噴頭編號	放水壓力(kgf/cm ²)
1	3.04	2	3.05
3	3.03	4	3.04
5	2.99	6	2.87
7	2.78	8	2.80
9	2.95	10	2.85
11	2.80	12	2.82

(二) 密閉式撤水設備水力計算

表 4-4 為密閉式撤水設備設計摘要，列示遵循規範、設計性能指標、設計保護面積、撤水頭涵蓋半徑、撤水頭放水數量、感度類型、撤水頭放水係數、放水密度需求、放水持續時間需求。撤水頭最小壓力則參照先前研究結果設定為 1 kgf/cm²，以上參數供後續水力計算和水源容量檢討。

表 4-4 密閉式撒水設備設計摘要

遵循規範	設計性能指標	設計保護面積(m ²)
NFPA13	作用面積/放水密度	150
撒水頭涵蓋半徑(m)	撒水頭放水數量(只)	感度類型
2.1	17	第一種感度
噴頭放水係數 K	放水密度需求值(LPM/m ²)	放水持續時間需求(min)
80	6.1	30

圖 4-5(a)和(b)分別為密閉式撒水設備的系統圖節點和管段。首先，以撒水頭放水壓力需求 1 kgf/cm²和放水密度需求 6.1 LPM/m²計算撒水幫浦水量需求值為 1,717 LPM，揚程需求值為 80.5 m，可明顯看出由於撒水頭的放水係數 K 值(80)較泡沫噴頭 K 值(22)大，且較大的撒水頭保護面積使得撒水頭的開啟數量 17 只也比泡沫噴頭的 12 只來得多。在管內流量增加的情況下，撒水的配管摩擦損失明顯大於泡沫滅火設備的配管摩擦損失。依設計結果採用 1,800 LPM 幫浦出水量和 85 m 的幫浦揚程，功率為 75 HP。接著，自加壓送水裝置供水端以實際採用幫浦性能計算出放水區域全數 17 只撒水頭放水的情況下，各管段的流量、流速、管長和摩擦損失計算結果。表 4-5 的配管摩擦損失計算顯示撒水管路系統各管段的管徑、流量、流速、管長、等價管長、主要摩擦損失和次要摩擦損失。

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

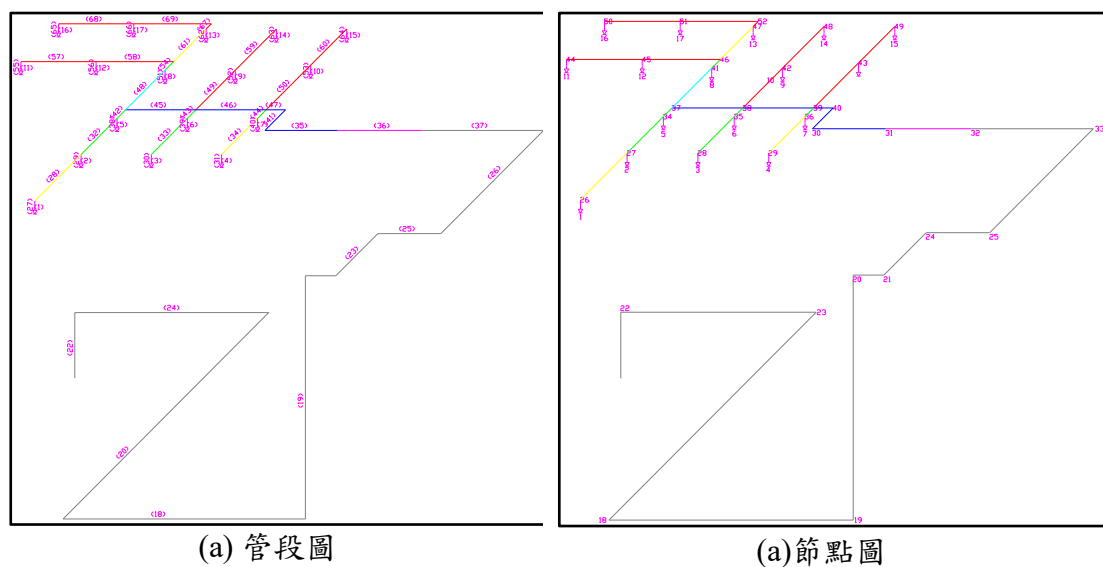


圖 4-9 密閉式撒水設備系統圖

表 4-5 密閉式撒水設備配管摩擦損失計算表

管段 編號	節點 1	節點 2	管徑 D (mm)	流量 Q (L/min)	流速 (m/s)	管長 (m)	等價 管長 (m)	主要摩擦 損失(m)	次要摩擦 損失(m)	末端泡沫 噴頭路徑
								$H=1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times (\frac{I_K+I_{K''}}{100})$		
18	19	18	100	1,778	3.42	16.30	3.10	2.12	0.40	*
19	19	20	100	1,778	3.42	10.00	3.10	1.30	0.40	*
20	23	18	100	1,778	3.42	4.70	3.10	0.61	0.40	*
21	20	21	100	1,778	3.42	1.26	3.10	0.16	0.40	
22	0	22	100	1,778	3.42	2.70	0.00	0.35	0.00	*
23	21	24	100	1,778	3.42	2.45	3.10	0.32	0.40	*
24	23	22	100	1,778	3.42	16.30	3.10	2.12	0.40	*
25	25	24	100	1,778	3.42	2.60	3.10	0.34	0.40	*
26	25	33	100	1,778	3.42	24.10	3.10	3.13	0.40	*
27	26	1	25	114	3.58	0.25	1.10	0.18	0.79	*
28	27	26	32	114	2.00	2.70	0.30	0.47	0.05	
29	27	2	25	112	3.53	0.25	2.70	0.18	1.90	
30	28	3	25	122	3.82	0.25	1.50	0.20	1.22	
31	29	4	25	127	3.97	0.25	1.10	0.22	0.96	
32	34	27	40	226	3.00	2.10	0.00	0.66	0.00	
33	35	28	40	122	1.62	2.10	0.00	0.21	0.00	
34	36	29	32	127	2.22	2.10	0.30	0.45	0.06	
35	31	30	65	1,778	8.41	6.60	0.60	7.64	0.69	*
36	32	31	80	1,778	5.97	15.20	0.80	7.65	0.40	*

第四章 初步研究成果

管段 編號	節點 1	節點 2	管徑 D (mm)	流量 Q (L/min)	流速 (m/s)	管長 (m)	等價 管長 (m)	主要摩擦 損失(m)	次要摩擦 損失(m)	末端泡沫 噴頭路徑
								$H=1.2 \times \frac{Q^{1.85}}{D^{4.87}} \times (\frac{I_K + I_{K''}}{100})$		
37	32	33	100	1,778	3.42	32.20	3.10	4.18	0.40	
38	34	5	25	114	3.58	0.25	2.70	0.18	1.95	
39	35	6	25	120	3.77	0.25	2.70	0.20	2.14	
40	36	7	25	124	3.90	0.25	2.70	0.21	2.29	
41	30	40	65	1,778	8.41	1.20	1.80	1.39	2.08	*
42	34	37	40	340	4.51	0.50	4.15	0.33	2.78	
43	35	38	40	242	3.21	0.50	4.15	0.18	1.48	
44	36	39	40	251	3.33	0.50	4.15	0.19	1.58	
45	38	37	65	905	4.28	2.90	0.00	0.96	0.00	*
46	39	38	65	1,335	6.31	2.90	0.00	1.97	0.00	*
47	40	39	65	1,778	8.41	0.80	1.80	0.93	2.08	*
48	37	41	50	565	4.43	2.30	4.20	1.10	2.00	*
49	38	42	25	188	5.90	2.30	4.10	4.18	7.45	
50	39	43	25	193	6.06	2.60	4.10	4.97	7.84	
51	41	8	25	113	3.54	0.25	3.50	0.18	2.47	
52	42	9	25	95	2.98	0.25	1.50	0.13	0.77	
53	43	10	25	97	3.06	0.25	1.50	0.14	0.81	
54	41	46	40	452	6.00	0.50	0.30	0.57	0.34	*
55	44	11	25	84	2.64	0.25	0.60	0.10	0.25	
56	45	12	25	87	2.74	0.25	1.50	0.11	0.66	
57	44	45	25	84	2.64	3.10	0.00	1.28	0.00	
58	45	46	25	172	5.38	3.20	2.70	4.91	4.14	
59	48	42	25	93	2.91	2.40	0.00	1.18	0.00	
60	43	49	25	95	3.00	2.10	0.00	1.09	0.00	
61	46	47	32	281	4.94	1.90	0.30	1.77	0.28	*
62	47	13	25	107	3.38	0.25	2.00	0.16	1.30	
63	48	14	25	93	2.91	0.25	0.60	0.12	0.30	
64	49	15	25	95	3.00	0.25	0.60	0.13	0.31	
65	50	16	25	85	2.67	0.25	0.60	0.10	0.25	
66	51	17	25	88	2.77	0.25	1.50	0.11	0.67	
67	47	52	25	173	5.44	0.30	0.20	0.47	0.31	*
68	50	51	25	85	2.67	3.10	0.00	1.30	0.00	*
69	51	52	25	173	5.44	3.20	0.60	5.01	0.94	*

表 4-6 和表 4-7 分別是放水區域 17 只撒水頭的放水壓力值和流量值，放水

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

密度計算值為 11.86 LPM/m²大於 NFPA 13 普通危險第 1 組 6.1 LPM/m²的最小放水密度要求。撒水頭的最小放水壓力需求為 1 kgf/cm²，最遠撒水頭的最小放水壓力計算值為 1.11 kgf/cm²，大於「各類場所消防安全設備設置標準」的放水壓力 1 kgf/cm²要求。值得一提的是，美國、加拿大、俄羅斯、澳洲、紐西蘭、中國大陸、英國、德國、法國、義大利等地之消防工程師設計自動撒水設備時，僅會依照 NFPA 13、IFC 903、BS EN 12845、BCA、GB50084 等內容，要求撒水頭最小工作壓力為 7 psi(0.5 kgf/cm² 或 0.05MPa)。

表 4-6 撒水頭放水壓力值

撒水頭編號	放水壓力(kgf/cm ²)	撒水頭編號	放水壓力(kgf/cm ²)
1	2.03	2	1.97
3	2.32	4	2.5
5	2.03	6	2.25
7	2.42	8	1.98
9	1.41	10	1.49
11	1.11	12	1.19
13	1.81	14	1.34
15	1.43	16	1.13
17	1.22		

表 4-7 撒水頭放水流量值

撒水頭編號	流量(L/min)	撒水頭編號	流量(L/min)	撒水頭編號	流量(L/min)
1	114.0	2	112.2	3	121.8
4	126.6	5	114.0	6	120.0
7	124.2	8	112.8	9	94.8
10	97.2	11	84.0	12	87.0
13	107.4	14	93.0	15	95.4
16	85.2	17	88.2		

(三) 密閉式撒水的放水持續時間

前述案例的泡沫滅火設備共設置 12 只泡沫噴頭，以放水持續時間設定為 20 分鐘來計算需要的水源容量。由於泡沫滅火設備屬於「開放式」系統，當蓄積於天花板的火災熱氣流促使火警探測器或感知撒水頭達到標示動作溫度時，便會連動開啟一齊開放閥並使全數泡沫噴頭同時放水。密閉式撒水設備則不同，撒水頭開啟數量是依據天花板足以促使撒水頭作動的擴散範圍來決定的。儘管密閉式撒水設備的分析案例共設置 17 只撒水頭，然而在車輛火災時全數「密閉式」撒水頭不見得會同時開啟放水。

圖 4-10 可看出，在實際車輛燃燒實驗時，設置於天花板的四處熱電偶根據時間所量測到的溫度分佈情形。在 4 只撒水頭開啟放水 30 sec 後，燃燒車輛上方天花板熱氣流最高溫度為 225°C；相鄰車輛上方天花板熱氣流最高溫度僅 125°C，代表隨著撒水頭開啟放水，距離燃燒車輛愈遠的天花板熱氣流溫度愈低。

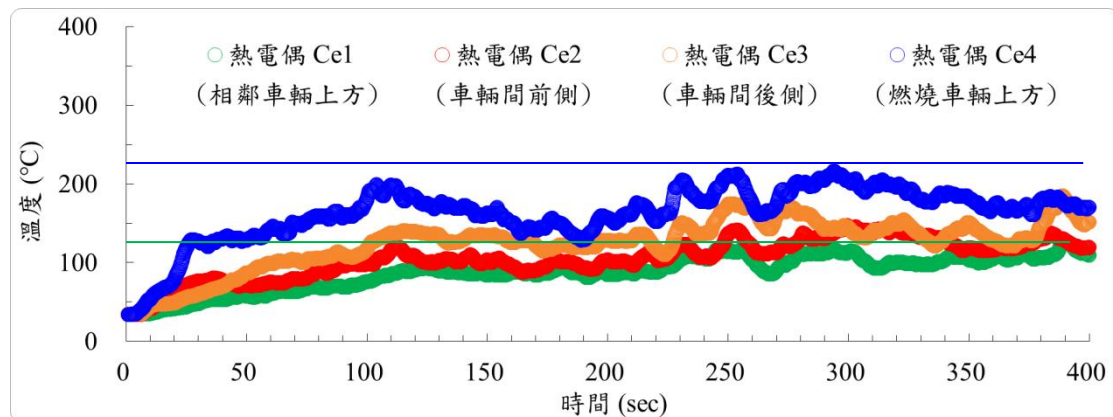


圖 4-10 實際車輛燃燒天花板熱氣流溫度

以下假設室內停車空間發生火災時，密閉式撒水頭的開啟數量為 8 只，在消防幫浦規格和水源容量與前述分析案例相同的條件下，推算撒水頭能夠持續放水的時間。表 4-8 是 8 只撒水頭分別同時放水時的放水量，以水源容量 55 m³ 和總放水量 1086.6 L/min 計算，撒水頭約可持續放水 50 min。

表 4-8 4 只撒水頭放水之壓力值與流量

撒水頭 編號	放水壓力 (kgf/cm ²)	流量 (L/min)	撒水頭 編號	放水壓力 (kgf/cm ²)	流量 (L/min)
1	4.13	162.6	2	2.82	134.4
3	2.36	123	4	2.53	127.2
5	3.78	155.4	6	2.69	131.4
7	2.41	124.2	8	2.58	128.4

這個結果對於現代車輛使用材料型態的改變以及替代能源車輛（例如：電動車的鋰電池）的火災防護議題來說有一定的助益。藉由快速反應型(感知)撒水頭以早期偵測火災、放水可減少耐用塑料和聚氨酯等物質的熱分解反應和燃燒生成物質；諸如各家不同鋰電池特性的燃燒反應，充滿不確定性風險，長時間冷卻降溫待電池內部反應殆盡仍是目前可循方法。相較於泡沫、二氧化碳、乾粉等滅火設備，自動撒水設備具有較長時間放水以達到冷卻降溫的優點，對救災人員的安全來說是很重要的。

三、差異分析與比較

由於室內停車空間多為密閉空間屬性，國內外在室內停車空間的搶救案例中，皆曾發生高溫、火勢復燃而威脅救災人員的生命安全。隨著現在汽車的材質變化，以及替代能源車輛的風險變化，例如 Mikolajczak 等人（2011）即提出鋰離子電池火災應長時間放水冷卻以控制火勢和降低空間危險性。因此，將分析案例中的密閉式撒水設備供水持續時間設定為 30 min。

表 4-8 為泡沫滅火設備及密閉式撒水設備設計摘要，泡沫滅火設備的水源容量需求值 18.0 m³，採取設置 20 m³的水源容量；密閉式撒水設備的水源容量需求值 53.3 m³，水源容量設置 55 m³。密閉式撒水水源容量比泡沫滅火設備大 35 m³。表 4-9 至表 4-11 分別列出泡沫滅火設備及密閉式撒水設備的相關比較，包括：設備規格及數量、管材數量、制水閥、管接頭、另件，以供建築開發商或消防設計者評估室內停車空間選擇設備型式之參考。

表 4-9 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之設備數量

泡沫滅火設備				密閉式撒水設備			
品名	規格	單位	數量	品名	規格	單位	數量
泡沫幫浦	40HP	台	1	自動撒水幫浦	75HP	台	1
泡沫噴頭	K22	只	522	快速反應型撒水頭	K80	只	522
感知撒水頭	快速反應型	只	522	流水檢知裝置	100A	組	3
一齊開放閥	50A	組	56	末端查驗閥		組	3
流水檢知裝置	100A	組	3				
手動啟動開關		組	56				
比例混合器		組	1				
泡沫原液槽 及配件		組	1				
泡沫原液 400L		公升	400				

表 4-10 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之管材數量

泡沫滅火設備				密閉式撒水設備			
品名	規格	單位	數量	品名	規格	單位	數量
CNS6446 碳鋼鋼管	100A 粉體塗裝	公尺	230	CNS6446 碳鋼鋼管	100A 粉體塗裝	公尺	280
CNS6446 碳鋼鋼管	80A 粉體塗裝	公尺	60	CNS6446 碳鋼鋼管	80A 粉體塗裝	公尺	95
CNS6446 碳鋼鋼管	65A 粉體塗裝	公尺	32	CNS6446 碳鋼鋼管	65A 粉體塗裝	公尺	48
CNS6446 碳鋼鋼管	50A 粉體塗裝	公尺	38	CNS6446 碳鋼鋼管	50A 粉體塗裝	公尺	40
CNS6446 碳鋼鋼管	40A 粉體塗裝	公尺	80	CNS6446 碳鋼鋼管	40A 粉體塗裝	公尺	156
CNS6446 碳鋼鋼管	32A 粉體塗裝	公尺	129	CNS6446 碳鋼鋼管	32A 粉體塗裝	公尺	194
CNS6446 碳鋼鋼管	25A 粉體塗裝	公尺	2,366	CNS6446 碳鋼鋼管	25A 粉體塗裝	公尺	1,066

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

表 4-11 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之制水閥、管接頭、另件數量

泡沫滅火設備				密閉式撒水設備			
品名	規格	單位	數量	品名	規格	單位	數量
制水閥	100A	只	3	制水閥	100A	只	3
制水閥	50A	只	112	機械接頭	80A	只	159
機械接頭	80A	只	76	機械接頭	100A	只	105
機械接頭	100A	只	105	十字接頭	100A	只	60
十字接頭	100A	只	40	十字接頭	80A	只	14
十字接頭	80A	只	7	十字接頭	50A	只	6
十字接頭	65A	只	5	正三通接頭	100A	只	6
十字接頭	50A	只	5	正三通接頭	65A	只	6
正三通接頭	100A	只	5	直分流接頭	80A	只	5
正三通接頭	65A	只	5	直分流接頭	65A	只	5
直分流接頭	80A	只	5	異徑接頭	100A/80A	只	6
直分流接頭	65A	只	5	異徑接頭	100A/40A	只	18
異徑接頭	100A/80A	只	6	異徑接頭	80A/65A	只	4
異徑接頭	100A/40A	只	18	異徑接頭	80A/50A	只	4
異徑接頭	80A/65A	只	3	異徑接頭	80A/40A	只	14
異徑接頭	80A/50A	只	3	異徑接頭	80A/32A	只	10
異徑接頭	80A/40A	只	5	異徑接頭	65A/50A	只	4
異徑接頭	80A/32A	只	7	異徑接頭	65A/40A	只	4
異徑接頭	65A/50A	只	3	異徑接頭	50A/25A	只	7
異徑接頭	65A/40A	只	7	異徑接頭	50A/40A	只	9
異徑接頭	65A/25A	只	5	鞍座接頭	100A/32A	只	35
異徑接頭	50A/40A	只	9	鞍座接頭	50A/25A	只	30

泡沫滅火設備				密閉式撒水設備			
品名	規格	單位	數量	品名	規格	單位	數量
鞍座接頭	100A/32A	只	35				
鞍座接頭	50A/25A	只	30				

表 4-12 比較設置泡沫滅火設備及密閉式撒水設備的差異，可具體看出二種設備類型的設計需求以及分析案例經過計算之後，需要的設備規格和水源容量需求值。表 4-13 比較質性項目的比較，分為滅火/防護機制、空間美觀、管路高程、建築開挖、防止誤噴、維護管理、耗材費用、人體健康、環境保護。儘管這些項目較難以工程技術以費用的方式量化，但是對於建築開發商、設計單位、使用單位、民眾生活等方面來說息息相關，也是選擇消防安全設備時，值得進行關注的課題。

表 4-12 設置泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之差異

設備型式 項目	泡沫滅火設備	密閉式撒水設備
遵循規範	各類場所消防安全設備設置標準	NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems
設計性能指標	防護半徑/放水壓力	作用面積/放水密度
設計保護面積(m ²)	100	150
噴頭涵蓋半徑(m)	2.1	2.1
噴頭放水數量(只)	12	17
感度類型	第一種感度	第一種感度
噴頭放水係數 K	22	80
噴頭最小壓力需求值(kgf/cm ²)	2.5	3
放水持續時間需求(min)	20	30
放水密度需求值(LPM/m ²)	—	6.1

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

設備型式 項目	泡沫滅火設備	密閉式撒水設備
幫浦水量需求值 (LPM)	888	1,717
幫浦揚程需求值(m)	48.9	80.5
採用幫浦水量(LPM)	950	1,800
採用幫浦揚程(m)	50	85
採用幫浦功率(HP)	40	75
噴頭最小壓力計算值 (kgf/cm ²)	2.79	—
放水密度計算值 (LPM/m ²)	—	11.86
水源容量需求值(m ³)	18.0	53.3
水源容量設置值(m ³)	20	55

表 4-13 泡沫滅火設備及密閉式撒水設備之質性比較

項目	泡沫滅火設備	自動撒水設備
滅火/防護機制	窒息作用	冷卻作用
空間美觀	管線繁多	管線較少
管路高程	高程較低	高程較高
建築開挖	一般開挖	減少開挖
防止誤噴	存在風險	避免風險
維護管理	檢修困難	檢修容易
耗材費用	泡沫原液	無耗材費
人體健康	病變考量	一般用水
環境保護	環境負擔	符合環保

第三節法規及政策建議

無論是住戶機車停放、機械車位的普及、替代燃料車的趨勢、現代汽車的材料轉變，都改變了過往室內停車空間的風險型態。從火災控制的角度，密閉式撒水設備不僅可防止車輛延燒，且可提供更長的持續放水時間，對於替代燃料車鋰離子電池和氫燃料電池需要長時間冷卻的火災控制來說是很重要的。數十年來，美洲、歐洲、澳洲、中國大陸、韓國等國皆以自動撒水設備做為室內停車空間的防護設備，相關標準不斷歷經無數專家與實務工作者投入研究、實證與修正調整。此外，根據「消防安全設備及必要檢修項目檢修基準」第七章泡沫滅火設備的綜合檢查規定，泡沫滅火設備應定期進行放射分佈、發泡倍率、放射壓力、混合比率及 25% 還原時間測定。隨著環保意識提高及衛生規範日趨嚴格，釋放後泡沫水溶液的處理不時引發民怨甚至因排放泡沫至排水溝而遭環保機關開立罰單。相較於泡沫滅火設備，自動撒水設備的長期維護更為經濟、便利，亦可免除以往泡沫滅火設備誤噴放的擔憂。環保、健康早已是各國政府制定政策與法規的核心價值，與台灣消防體系相近的日本，亦開始採用密閉式水霧來冷卻燃燒車輛、防止車輛延燒。台灣若可將自動撒水設備增列為室內停車空間法定設備之選項，對於環境保護、建置成本、民眾健康、避難及救災人員安全將是造福社會之德政。本研究之研究範圍僅限於停放燃油車輛之室內停車空間，然而因應替代燃料車的趨勢，針對電動車的相關實驗各國陸續建立中，而國內相關資料較為缺乏。本研究參考 NFPA855 電池能源儲能系統中，建議儲能櫃之放水密度應在 12.2 LPM/m^2 以上，故建議停放電動車之室內停車空間放水密度應達 12.2 LPM/m^2 以上。另針對同時停放電動車之停車空間，亦可透過車輛停放之間距，以防止火災擴散延燒，在 NFPA855 15.5 中規範鋰電池儲能裝置最小間距為 91.4 公分，故電動車之鋰電池之間距，可遵照該規範之建議。表 4-14 提出室內停車空間設置自動撒水設備之要點，以供主管機關參考。

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

表 4-14 室內停車空間設置自動撒水設備之建議要點

項目	內容
參考規範	NFPA13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems NFPA855 Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems
設計性能指標	作用面積/放水密度
設計保護面積(m ²)	150
感度類型	第一種感度
噴頭最小壓力需求值(kgf/cm ²)	0.5
放水持續時間需求(min)	30
放水密度需求值(LPM/m ²)	同時停放燃油車輛及替代燃料車：12.2 僅停放燃油車輛：6.1

第五章 結論與建議

第一節 研究結論

本研究分為輻射熱通量、天花板熱氣流溫度、相鄰車體表面溫度、車輛間熱氣流溫度等四項量測指標，各指標的實驗變數分為設備型式、感度類型、放水密度、室內淨高，相關結果彙整於表 5-1 中，另歸納本研究之結論如下：

- (一) 開放式撒水設備、密閉式撒水設備、泡沫滅火設備，皆可發揮冷卻作用，放水 30 sec 後皆使相鄰車輛中央的表面溫度降至 85°C 以下來防止車輛延燒。自動撒水設備放水 30 sec 後的溫度更使相鄰車體表面溫度降至 70°C 以下冷卻效果略優於泡沫滅火設備的 85°C。
- (二) 快速反應型(感知)撒水頭皆在起火 26 sec 內即動作，較一般反應型撒水頭的 30~72 sec 早，可使自動撒水設備早期放水，有助於及早冷卻燃燒車輛，減少車輛燃燒產生的濃煙和潛在毒性物質，提高避難人員的能見度及安全。
- (三) 放水密度對於防止車輛延燒的冷卻作用並無明顯影響，故建議室內停車空間設置密閉式撒水設備時，建議若停車空間同時停放燃油車輛及替代燃料車時，最小放水密度為 12.2 LPM/m²，僅停放燃油車輛之室內停車空間時，則最小放水密度為 6.1 LPM/m²，撒水頭最小作用面積為 150 m²，放水持續時間為 30min，撒水頭最小放水壓力為 7psi(0.5kgf/cm² 或 0.05MPa)。
- (四) 儘管室內淨高對防止車輛延燒的冷卻作用並無明顯影響，但室內淨高達 5m 時，泡沫滅火設備的冷卻效果明顯變弱。對於室內較大淨高的停車空間，應考量高度對泡沫噴頭的影響。

表 5-1 量測指標與實驗變數之結果

量測指標	實驗變數	實驗結果
輻射	設備型式	泡沫滅火設備放射情況下的熱通量數值大於密閉式撒水設備，顯示自動撒水設備對於熱輻射的冷卻效果略優於泡沫

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

量測指標	實驗變數	實驗結果
熱通量		滅火設備。
	感度類型	一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，量測的熱通量最大值為 $6,750\text{W/m}^2$ ，高於其他三組變數條件的實驗結果。採用快速反應型的密閉式撒水設備，量測熱通量較其他三組變數條件的實驗結果來得低。
	放水密度	放水密度對輻射熱冷卻效果的影響並不明顯。
	室內淨高	室內淨高對輻射熱的冷卻效果並不明顯。
天花板熱氣流溫度	設備型式	泡沫滅火設備或密閉式撒水設備放射後，皆可降低車輛間天花板熱氣流的溫度。
	感度類型	安裝一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，天花板熱氣流溫度大於其他條件的實驗量測值。
	放水密度	放水密度對天花板熱氣流溫度的影響並不明顯。
	室內淨高	無論密閉式撒水設備還是泡沫滅火設備，室內淨高 3.5m 時的車輛間和燃燒車輛上方的天花板熱氣流溫度，皆高於室內淨高 5m 的情況。
相鄰車體表面溫度	設備型式	泡沫滅火設備還是密閉式撒水設備都對相鄰車輛的表面溫度產生明顯的冷卻效果，且密閉式撒水設備的冷卻效果略優於泡沫滅火設備。
	感度類型	安裝一般反應型感知撒水頭的泡沫滅火設備放射後，相鄰車體表面溫度略高於其它條件的實驗量測值。
	放水密度	不同放水密度對於相鄰車體的冷卻作用沒有明顯差異。
	室內淨高	室內淨高 5m 且設置泡沫滅火設備時，相鄰車體的溫度量測值較其他條件的實驗量測值來得大。
車輛間熱氣流溫度	設備型式	自動撒水設備和泡沫滅火設備放射後，車輛間熱氣流溫度都因冷卻作用而明顯下降。
	感度類型	不同感度類型對於放水後的冷卻效果並無明顯差異。
	放水密度	放水密度對於車輛間熱氣流溫度的冷卻作用沒有明顯影響。

量測 指標	實驗 變數	實驗結果
	室內 淨高	泡沫滅火設備設置於室內淨高 3.5m 條件下，量測溫度值高於其他條件的實驗結果。

第二節 建議事項

經由研究執行結果，為提升原有合法場所之消防安全，建議未來可以加強的措施如下：

建議一

加強消防專技人員於室內停車空間設置自動撒水設備之訓練課程：立即可行建議

主辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國消防設備士公會全國聯合會、中華民國消防設備師(士)協會

協辦機關：中華民國消防工程器材商業同業公會全國聯合會、台灣區消防工程器材工業同業公會

建議加強消防專技人員對於室內停車空間設置自動撒水設備之訓練課程，以增加消防專技人員設置之專業，例如：認知現代車輛和替代能車火災風險、設定撒水防護面積、水力計算分析、放水密度檢討。藉由提高消防專技人員之設計能力，強化室內停車空間的消防安全。

建議二

「各類場所消防安全設備設置標準」之建議增列條文：中長期建議

主辦機關：內政部消防署中長期建議

協辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國消防設備士公會全國聯合會、中華民國消防設備師(士)協會

建議於各類場所消防安全設備設置標準中增列下列規定：

- 一、增列自動撒水設備為室內停車空間法定設備之選項。
- 二、增列室內停車空間最小撒水頭放水密度參考 NFPA13、IFC、IBC 等規範中，室內停車空間屬於中度危險等級，放水密度應在 6.1 LPM/m^2 ，若同時停放替代能源車輛時，應參照 NFPA855 儲能設備存放場所之要求，放水密度在 12.2 LPM/m^2 以上。最小放水區域和最小放水壓力參考 NFPA13 最小放水區為 150 m^2 ，最小放水壓力則為 7 psi (0.5 kgf/cm^2 或 0.05 MPa)
- 三、考量室內停車空間屬於之密閉空間屬性，以及替代能源車輛鋰電池需

長時間放水冷卻之必要性，要求停車空間設置撒水頭時，應在最大放水區域全部撒水頭繼續放射三十分鐘之水量以上。

建議三

不同種類之車輛之燃燒情形宜持續研討，以因應現代多元化車輛：中長期建議

主辦機關：內政部消防署中長期建議、內政部建築研究所

協辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國消防設備士公會全國聯合會、中華民國消防設備師(士)協會

根據本研究之結果，自動撒水設備得設置於室內平面停放燃油車輛之空間，然而本研究所使用的模型是根據 Toyota 中型房車的型態進行建置，對於休旅車、貨車等不同種類的車輛，本研究未進行實驗探討，其火災及控制效果有待後續研究。

建議四

電動車、替代燃料車輛及其相關設備之燃燒情形宜持續研討，以因應未來趨勢：中長期建議

主辦機關：內政部消防署中長期建議、內政部建築研究所

協辦機關：中華民國消防設備師公會全國聯合會、中華民國消防設備士公會全國聯合會、中華民國消防設備師(士)協會

因應未來環保及健康趨勢，車輛構件及材料之多元化、電動車等替代燃料車輛及其相關設備，都將影響室內停車空間之火災型態，尤其電動車之鋰電池火災為目前國內外陸續研究之議題，然而國際上對於鋰電池車輛尚未制定相關規範，國內也無相關之認可標準及資料，故針對電動遮及其相關設備進行防止延燒實驗提出火災預防及搶救對策有其必要性。

參考書目

中文文獻

- [1] 各類場所消防安全設備設置標準，2018。
- [2] 密閉式撒水頭認可基準，2017。
- [3] 泡沫噴頭認可基準，2012。
- [4] 消防幫浦加壓送水裝置等及配管摩擦損失計算基準，1998。
- [5] 何明錦、謝煒東、蒲仁勇、王天志、李其忠、陳科任、胡幃傑，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，2009。
- [6] 沈子勝、張慧蓓、涂雅築、游婷伊，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，2018。
- [7] 陳建忠、張尚文、蘇鴻奇、詹家旺，自動撒水設備對騎樓空間機車火災防護效果之實驗研究，內政部建築研究所，2006。

外文文獻

- [1] 日本消防法施行規則。
- [2] 新技術を用いた消防用設備等の性能規定化に関する作業部會報告書。
- [3] B. Merci, M. Shipp, Smoke and heat control for fires in large car parks Lessons learnt from research, Fire Safety Journal, vol.57, 2013.
- [4] Benjamin Truchot, Fabien Fouillen, Serge Collet, An experimental evaluation of toxic gas emissions from vehicle fires, Fire Safety Journal, vol.97, 2018.
- [5] Chan, T.S., Kung, H.C., Yu, H.Z., and Brown, W.R., “Experimental Study of Actual Delivered Density for Rack-Storage Fires,” Fire Safety Science -- Proceedings of the Fourth International Symposium, International Association for Fire Safety Science, 1994, pp. 913-924.
- [6] Chan, T.S. and Kung, H.C., “Comparison of Actual Delivered Density and Fire Suppression Effectiveness of Standard and Conventional Sprinklers in Rack-Storage Fires,” Fire Safety Science -- Proceedings of the Seventh International Symposium, International Association for fire Safety Science, 2002, pp. 445-456.
- [7] Cheong M K, Spearpoint M J, Fleischmann C M. Using peak heat release rate to determine the fire risk level of road tunnels. Journal of Risk and

- Reliability, Vol. 222, pp. 595-604, 2008.
- [8] Cherise Threewitt, Top 10 Causes of Car Fires, 2021.
 - [9] Cunfeng Zhang, Wanki Chow, Numerical Studies on the Interaction of Sprinkler and Smoke Layer, Procedia Engineering, vol.62, 2013.
 - [10] Dayan Li, Guoqing Zhu, Hui Zhu, Zhichao Yu, Yunji Gao, Xiaohui Jiang, Flame spread and smoke temperature of full-scale fire test of car fire, Case Studies in Thermal Engineering, Vol. 10, pp. 315-324, 2017.
 - [11] D.L. Zhang , L.Y. Xiao , Y. Wang , G.Z. Huang, Study on vehicle fire safety Statistic investigation methods and experimental analysis, Safety Science, vol.117, 2019.
 - [12] FPC (Fire Protection Contractor) Magazine, “History Timeline”, 20th-Year History Edition, March 1998.
 - [13] Geng, H., Wang, T., Study on vehicle fires. Fire Sci. Technol, Vol. 23, pp. 596-599, 2004.
 - [14] Gillman, T.H., May, I.L., Mechanical and electrical failures leading to major fires, Eng. Fail. Anal. Vol. 14, pp. 995-1018, 2007.
 - [15] Gu, S.N., Zhu, G.Q., esearch on vehicle fire accident based on fault tree analysis, 2015 Annual Conference of Science and Technology of China Fire Protection Association, 2015.
 - [16] Heskestad, G. and Smith, H.F., “Investigation of a New Sprinkler Sensitivity Approval Test: The Plunge Test,” FMRC Serial No. 22485, December 1976.
 - [17] Heskestad, G and Smith, H.F., “Plunge Test for Determination of Sprinkler Sensitivity,” Technical Report, FMRC J.I. No. 3A1E2.RR, December 1980.
 - [18] Ingason, H. An Overview of Vehicle Fires in Tunnels. SP Swedish National Testing and Research Institute, Boras, Sweden, 2001.
 - [19] Jesse Roman,Recent parking garage and related fires, NFPA Journal, 2019.
 - [20] J.Mangs, O.Keski-Rahkonen, Characterization of the fire behaviour of a burning passenger car. Part I: Car fire experiments, Fire Safety Journal, Vol. 23, pp. 17-35,1994.
 - [21] Kenji Fujino, Mitsuru Yanagida, Akio Hotozuka, Ryotaro Chiba, Development of Not Use Fire Foam System, 空気調和・衛生工學會大會學術講演論文集, Vol. 1, pp. 229-232, 2014.
 - [22] Ke Sun, Zhiyong Li, Quantitative risk analysis of life safety and financial loss for road accident of fuel cell vehicle, ScienceDirect, vol.44, 2019.
 - [23] Li, Y., Spearpoint, M., 2007. Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand

- parking buildings. Fire Technol. 43 (2) , 93–106.
- [24] Liu, Z.G., Chen, K., Zhang, D.S., 2007. Study on site investigation and determination of vehicle electric fire. Fire Sci. Technol. 26 (5) , 577–579.
- [25] Liu, S.W., Huang, H.B., Xiao, L.Y., Lu, Z.B., 2015. Analysis on the characteristics of fire defects of vehicle electrical system. Fire Sci. Technol. 2015 (5) , 684–687.
- [26] Liu, Z.G., Li, J.L., Geng, H.M., 2008. The Investigation of Vehicle Fire. Tianjin Science and Technology Press, Tianjing, China.
- [27] Marty Ahrens, 2017. U.S. Experience with Sprinklers, NFPA Research, Data and Analytics Division.
- [28] Masashi, T., Masayuki, T., Kiyotaka, M., Shouma, N., 2014. Comparison of fires in lithiumion battery vehicles and gasoline vehicles. SAE Int. J. Passeng. Cars Electron. Electr. Syst. 7 (1) , 213–220.
- [29] NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems, 2020.
- [30] NFPA855 Standard for the Installation of Stationary Energy Storage Systems, 2020.
- [31] S.C. Li, Y. Chen, K.Y. Li, A mathematical model on adjacent smoke filling involved sprinkler cooling to a smoke layer, Safety Science, vol.49, 2011.
- [32] Xiao-hui Jiang, Guo-qing Zhu, Hui Zhu, Da-yan Li, Full-scale Experimental Study of Fire Spread Behavior of Cars, Procedia Engineering, vol.211 pp. 297-305,, 2018.
- [33] Yohsuke Tamura, Masaru Takabayashi, Masayuki Takeuchi, The spread of fire from adjoining vehicles to a hydrogen fuel cell vehicle, ScienceDirect, vol.39, 2014.
- [34] Yu, H.Z., Lee, J.L. and Kung, H.C., Suppression of Rack Storage Fire by Water,” Fire Safety Science --Proceedings of the Fourth International Symposium, International Association for fire Safety Science, 1994, pp 901-912.
- [35] Yuan Jian-ping, FANG Zheng, TANG Zhi ,SUN Jia-yun, Numerical Simulations on Sprinkler System and Impulse Ventilation in an Underground Car Park, Procedia Engineering, vol.11, 2011.
- [36] P. Croce, C. Beyler, C. Dubay, P. Johnson, M. McNamee. Fast-Response Sprinkler Technology - Hsiang-Cheng Kung, Gunnar Heskestad, Robert Bill, Roger Allard: The 2019 Phillip J. DiNenno Prize. 2019.

- [1] 詭異！日本飯店消防設施沒火災離奇啟動 11 人送醫 1 死，自由時報，2020，<https://news.ltn.com.tw/news/world/breakingnews/3388857>
- [2] 桃園市出租停車場火警濃煙猛竄 3 轎車 2 貨車遭殃，聯合新聞網，2021，<https://udn.com/news/story/7320/5441639>
- [3] 台南大樓安平區一棟大樓地下二樓停車場，2021，<https://udn.com/news/story/7320/5317697>

附錄一 各類場所消防安全設備設置標準建議修正條文

建議修正條文						現行條文					說明
第18條 下表所列之場所，應就自動撒水、水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳滅火設備等選擇設置之。但外牆開口面積（常時開放部分）達該層樓地板面積百分之十五以上者，上列滅火設備得採移動式設置。						第18條 下表所列之場所，應就水霧、泡沫、乾粉、二氧化碳滅火設備等選擇設置之。但外牆開口面積（常時開放部分）達該層樓地板面積百分之十五以上者，上列滅火設備得採移動式設置。					增列自動撒水設備為室內停車空間法定設備之選項。
項目	應設場所	自動撒水	水霧	泡沫	二氧化碳	項目	應設場所	水霧	泡沫	二氧化碳	
一	屋頂直昇機停車場（坪）。			○	○	一	屋頂直昇機停車場（坪）。		○	○	
二	飛機修理廠、飛機庫樓地板面積在二百平方公尺以上者。			○	○	二	飛機修理廠、飛機庫樓地板面積在二百平方公尺以上者。		○	○	
三	汽車修理廠、室內停車空間在第一層樓地板面積五百平方公尺以上者；在地下層或第二層以上樓地板面積在二百平方公尺以上者；在屋頂設有停車	○	○	○	○	三	汽車修理廠、室內停車空間在第一層樓地板面積五百平方公尺以上者；在地下層或第二層以上樓地板面積在二百平方公尺以上者；在屋頂設有停車場樓地板面積在三百平方公尺	○	○	○	

建議修正條文					現行條文					說明
	場樓地板面積在三百平方公尺以上者。					以上者。				
四	升降機械式停車場可容納十輛以上者。				四	升降機械式停車場可容納十輛以上者。				
五	發電機室、變壓器室及其他類似之電器設備場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				五	發電機室、變壓器室及其他類似之電器設備場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				
六	鍋爐房、廚房等大量使用火源之場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				六	鍋爐房、廚房等大量使用火源之場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				
七	電信機械室、電腦室或總機室及其他類似場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				七	電信機械室、電腦室或總機室及其他類似場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。				
八	引擎試驗室、石油試驗室、印刷				八	引擎試驗室、石油試驗室、印刷				

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

建議修正條文							現行條文	說明
	機房及其他類似危險工作場所，樓地板面積在二百平方公尺以上者。						註： 一、大量使用火源場所，指最大消費熱量合計在每小時三十萬千卡以上者。 二、廚房如設有自動撒水設備，且排油煙管及煙罩設簡易自動滅火設備時，得不受本表限制。 三、停車空間內車輛採一列停放，並能同時通往室外者，得不受本表限制。 四、本表第七項所列應設場所得使用預動式自動撒水設備。 五、平時有特定或不特定人員使用之中央管理室、防災中心等類似處所，不得設置二氧化碳滅火設備。	
	註： 一、大量使用火源場所，指最大消費熱量合計在每小時三十萬千卡以上者。 二、廚房如設有自動撒水設備，且排油煙管及煙罩設簡易自動滅火設備時，得不受本表限制。 三、停車空間內車輛採一列停放，並能同時通往室外者，得不受本表限制。 四、本表第七項所列應設場所得使用預動式自動撒水設備。 五、平時有特定或不特定人員使用之中央管理室、防災中心等類似處所，不得設置二氧化碳滅火設備。							
樓地板面積在三百平方公尺以上之餐廳或供第十二條第一款第六目所定榮譽國民之家、長期照顧服務機構（限機構住宿式、社區式之建築物使用類組非屬 H-2 之日間照顧、團體家屋及小規模多機能）、老人福利機構（限長期照護型、養護型、失智照顧型之長期照顧機構、安養機構）、護理機構（限一般護理之家、精神護理之家）、身心障礙福利機構（限照顧植物人、失智症、重癱、長期臥床或身心功能退化者）使用之場所且							樓地板面積在三百平方公尺以上之餐廳或供第十二條第一款第六目所定榮譽國民之家、長期照顧服務機構（限機構住宿式、社區式之建築物使用類組非屬H-2之日間照顧、團體家屋及小規模多機能）、老人福利機構（限長期照顧型、養護型、失智照顧型之長期照顧機構、安養機構）、護理機構（限一般護理之家、精神護理之家）、身心障礙福利機構（限照顧	

建議修正條文	現行條文	說明
樓地板面積合計在五百平方公尺以上者，其廚房排油煙管及煙罩應設簡易自動滅火設備。但已依前項規定設有滅火設備者，得免設簡易自動滅火設備。	植物人、失智症、重癱、長期臥床或身心功能退化者）使用之場所且樓地板面積合計在五百平方公尺以上者，其廚房排油煙管及煙罩應設簡易自動滅火設備。但已依前項規定設有滅火設備者，得免設簡易自動滅火設備。	
第46條 撒水頭，依下列規定配置： 一、戲院、舞廳、夜總會、歌廳、集會堂等表演場所之舞臺及道具室、電影院之放映室或儲存易燃物品之倉庫，任一點至撒水頭之水準距離，在一點七公尺以下。 二、前款以外之建築物依下列規定配置： （一）一般反應型撒水頭（第二種感度），各層任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。但防火構造建築物，其水準距離，得增加為二點三公公尺以下。 （二）快速反應型撒水頭（第一種感度），各層任一點至撒水頭之水準距離在二點三公公尺以下。但設於防火構造建築物，其水準距離，得增加為二點六公尺以下；撒水頭有效撒水半徑經中央主管機關認可者，其水準距離，得超過二點六公尺。 三、第十二條第一款第三目、第六目、第二款第七目、第五款第一目等場所之住宿居室、病房及其他類似處所，得採用小區劃型撒水頭（以第一種感度為限），任一點至撒水頭之水準距離在二點六公尺以下，撒水頭間距在三公尺以上，且任一撒水頭之防護面積在十三平方公尺以下。	第46條 撒水頭，依下列規定配置： 一、戲院、舞廳、夜總會、歌廳、集會堂等表演場所之舞臺及道具室、電影院之放映室或儲存易燃物品之倉庫，任一點至撒水頭之水準距離，在一點七公尺以下。 二、前款以外之建築物依下列規定配置： （一）一般反應型撒水頭（第二種感度），各層任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。但防火構造建築物，其水準距離，得增加為二點三公公尺以下。 （二）快速反應型撒水頭（第一種感度），各層任一點至撒水頭之水準距離在二點三公公尺以下。但設於防火構造建築物，其水準距離，得增加為二點六公尺以下；撒水頭有效撒水半徑經中央主管機關認可者，其水準距離，得超過二點六公尺。 三、第十二條第一款第三目、第六目、第二款第七目、第五款第一目等場所之住宿居室、病房及其他類似處所，得採用小區劃型撒水頭（以第一種感度為限），任一點至撒水頭之水準距離在二點六公尺以下，撒水頭間距在三公尺以上，且任一撒水頭之防護面積在十三平方	

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

建議修正條文	現行條文	說明
四、前款所列場所之住宿居室等及其走廊、通道與其類似場所，得採用側壁型撒水頭（以第一種感度為限），牆面二側至撒水頭之水準距離在一點八公尺以下，牆壁前方至撒水頭之水準距離在三點六公尺以下。 五、中央主管機關認定儲存大量可燃物之場所天花板高度超過六公尺，或其他場所天花板高度超過十公尺者，應採用放水型撒水頭。 六、地下建築物天花板與樓板間之高度，在五十公分以上時，天花板與樓板均應配置撒水頭，且任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。但天花板以不燃性材料裝修者，其樓板得免設撒水頭。 第十七條第一項第六款之高架儲存倉庫，其撒水頭依下列規定配置： 一、設在貨架之撒水頭，應符合下列規定： （一）任一點至撒水頭之水準距離，在二點五公尺以下，並以交錯方式設置。 （二）儲存棉花類、塑膠類、木製品、紙製品或紡織製品等易燃物品時，每四公尺高度至少設置一個；儲存其他物品時，每六公尺高度至少設置一個。 （三）儲存之物品會產生撒水障礙時，該物品下方亦應設置。 （四）設置符合第四十七條第二項規定之防護板。但使用經中	公尺以下。 四、前款所列場所之住宿居室等及其走廊、通道與其類似場所，得採用側壁型撒水頭（以第一種感度為限），牆面二側至撒水頭之水準距離在一點八公尺以下，牆壁前方至撒水頭之水準距離在三點六公尺以下。 五、中央主管機關認定儲存大量可燃物之場所天花板高度超過六公尺，或其他場所天花板高度超過十公尺者，應採用放水型撒水頭。 六、地下建築物天花板與樓板間之高度，在五十公分以上時，天花板與樓板均應配置撒水頭，且任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。但天花板以不燃性材料裝修者，其樓板得免設撒水頭。 第十七條第一項第六款之高架儲存倉庫，其撒水頭依下列規定配置： 一、設在貨架之撒水頭，應符合下列規定： （一）任一點至撒水頭之水準距離，在二點五公尺以下，並以交錯方式設置。 （二）儲存棉花類、塑膠類、木製品、紙製品或紡織製品等易燃物品時，每四公尺高度至少設置一個；儲存其他物品時，每六公尺高度至少設置一個。 （三）儲存之物品會產生撒水障礙時，該物品下方亦應設置。 （四）設置符合第四十七條第二項	

建議修正條文	現行條文	說明
央主管機關認可之貨架撒水頭者，不在此限。 二、前款以外，設在天花板或樓板之撒水頭，任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。	規定之防護板。但使用經中央主管機關認可之貨架撒水頭者，不在此限。 二、前款以外，設在天花板或樓板之撒水頭，任一點至撒水頭之水準距離在二點一公尺以下。	
第50條 撒水頭之放水量，每分鐘應在八十公升(設於高架倉庫者，應為一百十四公升)以上，且放水壓力應在每平方公分一公斤以上或0.1Mpa以上。但小區劃型撒水頭之放水量，每分鐘應在五十公升以上。放水型撒水頭之放水量，應達防護區域每平方公尺每分鐘五公升以上。但儲存可燃物場所，應達每平方公尺每分鐘十公升以上。<u>設置於室內停車空間撒水頭之放水量，應達防護區域每平方公尺每分鐘六點一公升以上，最小放水區域不得小於一百五十平方公尺，撒水頭放水壓力應在每平方公分零點五公斤以上或0.05 Mpa以上。</u> <u>室內停車空間同時停放燃油車輛及替代燃料車輛時，前項室內停車空間撒水頭之放水量應達防護區域每平方公尺每分鐘十二點二公升以上。</u>	第50條 撒水頭之放水量，每分鐘應在八十公升(設於高架倉庫者，應為一百十四公升)以上，且放水壓力應在每平方公分一公斤以上或0.1Mpa以上。但小區劃型撒水頭之放水量，每分鐘應在五十公升以上。放水型撒水頭之放水量，應達防護區域每平方公尺每分鐘五公升以上。但儲存可燃物場所，應達每平方公尺每分鐘十公升以上。	增列室內停車空間最小撒水頭放水密度、最小放水區域和最小放水壓力之要求。
第53條 開放式自動撒水設備之一齊開放閥應依下列規定設置： 一、每一放水區域設置一個。 二、一齊開放閥二次側配管裝設試驗用裝置，在該放水區域不放水情形下，能測試一齊開放閥之動作。	第53條 開放式自動撒水設備之一齊開放閥應依下列規定設置： 一、每一放水區域設置一個。 二、一齊開放閥二次側配管裝設試驗用裝置，在該放水區域不放水情形下，能測試一齊開放閥之動作。	

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

建議修正條文				現行條文				說明	
三、一齊開放閥所承受之壓力，在其最高使用壓力以下。				三、一齊開放閥所承受之壓力，在其最高使用壓力以下。					
第57條 自動撒水設備之水源容量，依下列規定設置：				第57條 自動撒水設備之水源容量，依下列規定設置：				考量室內停車空間屬於之密閉空間屬性，以及替代能源車輛鋰電池需長時間放水冷卻之必要性，要求停車空間設置撒水頭時，應在最大放水區域全部撒水頭繼續放射三十分鐘之水量以上。	
一、使用密閉式一般反應型、快速反應型撒水頭時，應符合下表規定個數繼續放水二十分鐘之水量。但各類場所實設撒水頭數，較應設水源容量之撒水頭數少時，其水源容量得依實際撒水頭數計算之。				一、使用密閉式一般反應型、快速反應型撒水頭時，應符合下表規定個數繼續放水二十分鐘之水量。但各類場所實設撒水頭數，較應設水源容量之撒水頭數少時，其水源容量得依實際撒水頭數計算之。					
各類場所		撒水頭個數		各類場所		撒水頭個數			
		快速反應型	一般反應型			快速反應型	一般反應型		
十一樓以上建築物、地下建築物		12	15	十一樓以上建築物、地下建築物		12	15		
十樓以下建築物	供第十二條第一款第四目使用及複合用途建築物中供第十二條第一款第四目使用者	12	15	十樓以下建築物	供第十二條第一款第四目使用及複合用途建築物中供第十二條第一款第四目使用者	12	15		
	地下層	12	15		地下層	12	15		
	其他	8	10		其他	8	10		
高架儲存倉庫	儲存棉花、塑膠、木製品、紡織品等易燃物品	24	30	高架儲存倉庫	儲存棉花、塑膠、木製品、紡織品等易燃物品	24	30		
	儲存其他物品	16	20		儲存其他物品	16	20		
二、使用開放式撒水頭時，應符合下列規定：				二、使用開放式撒水頭時，應符合下列規定：					
(一) 供第十二條第一款第一目使				(一) 供第十二條第一款第一目使					

建議修正條文	現行條文	說明
用場所及第二目集會堂之舞臺，在十層以下建築物之樓層時，應在最大放水區域全部撒水頭，繼續放水二十分鐘之水量以上。 (二) 供第十二條第一款第一目使用場所及第二目集會堂之舞臺，在十一層以上建築物之樓層，應在最大樓層全部撒水頭，繼續放水二十分鐘之水量以上。 三、使用側壁型或小區劃型撒水頭時，十層以下樓層在八個撒水頭、十一層以上樓層在十二個撒水頭繼續放水二十分鐘之水量以上。 四、使用放水型撒水頭時，採固定式者應在最大放水區域全部撒水頭、採可動式者應在最大放水量撒水頭，繼續放射二十分鐘之水量以上。 <u>五、室內停車空間設置撒水頭時，應在最大放水區域全部撒水頭繼續放射三十分鐘之水量以上。</u> 前項撒水頭數量之規定，在使用乾式或預動式流水檢知裝置時，應追加百分之五十。免設撒水頭處所，除第四十九條第七款及第十二款外，得設置補助撒水栓，並應符合下列規定： 一、各層任一點至水帶接頭之水準距離在十五公尺以下。但設有自動撒水設備撒水頭之部分，不在此限。 二、設有補助撒水栓之任一層，以同時使用該層所有補助撒水栓時，各瞄子放水壓力在每平方公分二點五公斤以上或0.25MPa以上，放水量在每分鐘六十公升以上。但全部補助撒水栓數量超過二支時（鄰接補助撒水栓水帶接頭之水準距	用場所及第二目集會堂之舞臺，在十層以下建築物之樓層時，應在最大放水區域全部撒水頭，繼續放水二十分鐘之水量以上。 (二) 供第十二條第一款第一目使用場所及第二目集會堂之舞臺，在十一層以上建築物之樓層，應在最大樓層全部撒水頭，繼續放水二十分鐘之水量以上。 三、使用側壁型或小區劃型撒水頭時，十層以下樓層在八個撒水頭、十一層以上樓層在十二個撒水頭繼續放水二十分鐘之水量以上。 四、使用放水型撒水頭時，採固定式者應在最大放水區域全部撒水頭、採可動式者應在最大放水量撒水頭，繼續放射二十分鐘之水量以上。 前項撒水頭數量之規定，在使用乾式或預動式流水檢知裝置時，應追加百分之五十。免設撒水頭處所，除第四十九條第七款及第十二款外，得設置補助撒水栓，並應符合下列規定： 一、各層任一點至水帶接頭之水準距離在十五公尺以下。但設有自動撒水設備撒水頭之部分，不在此限。 二、設有補助撒水栓之任一層，以同時使用該層所有補助撒水栓時，各瞄子放水壓力在每平方公分二點五公斤以上或0.25MPa以上，放水量在每分鐘六十公升以上。但全部補助撒水栓數量超過二支時（鄰接補助撒水栓水帶接頭之水準距	

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

建議修正條文	現行條文	說明
離超過三十公尺時，為一個），以同時使用二支計算之。 三、補助撒水栓箱表面標示補助撒水栓字樣，箱體上方設置紅色啟動表示燈。 四、瞄子具有容易開關之裝置。 五、開關閥設在距地板面一點五公尺以下。 六、水帶能便於操作延伸。 七、配管從各層流水檢知裝置二次側配置。	離超過三十公尺時，為一個），以同時使用二支計算之。 三、補助撒水栓箱表面標示補助撒水栓字樣，箱體上方設置紅色啟動表示燈。 四、瞄子具有容易開關之裝置。 五、開關閥設在距地板面一點五公尺以下。 六、水帶能便於操作延伸。 七、配管從各層流水檢知裝置二次側配置。	

附錄二 採購評選會議記錄審查意見及回應表

內政部建築研究所 110 年度

「停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究」委託研究計畫案

採購評選會議意見及廠商回應一覽表

委員	委員評選意見	廠商回應
1	1. 建議加強車輛起火原因分析、火勢發展探討、油箱位置、油路配置、油料洩漏機率，以利論證車輛火災類型歸屬。	將於本研究實驗設計條件之設定內容中，調查並彙整國內外相關研究之成果。
	2. 建議補充泡沫滅火設備對環保之影響，而非檢修難度，以利自動撒水替代之議題(撒水功效在抑制，泡沫要求能滅火)。	本研究將於研究背景和動機內容，補充說明泡沫原液可能含有 PFOS 對於環境保護及人體健康之影響。
	3. 既有設備滅火泡沫之議題: a. 儲存、使用有效年限、使用前後之回收機制。 b. 酸、鹼、腐蝕等化學性質(物質安全資料表 MSDS)。 c. 分解時間、毒性。 d. 排放對公共設施、環境之危害。	本研究將於研究動機內容中，針對委員之建議調查國內外相關之研究，補充說明泡沫原液可能含有 PFOS 對於環境保護及人體健康之影響。
	4. 實驗環境採半封閉式之理由? 是否有探討熱輻射、對流之關係?	考量實驗場域之限制，將於後續進一步針對開放式及半封閉式空間，可能對溫度量測造成之影響進行考慮。
2	1. 原規劃研究時程為10.5個月，現僅有9.5個月，請修正。	將與內政部建築研究所商議後，依相關規定辦理。
	2. 撒水與泡沫滅火功能不同，如何比較其滅火性能，宜再思考。	本研究將車輛火災設定為車體上方有頂蓋之遮蔽型火災，實驗性能指標為抑制車輛火災延

		燒之冷卻作用。
	3. 火災情境可否設置為：引擎及漏油火災二種，車頂蓋為鐵皮覆蓋且車內放置實際油料，以期更接近實際狀況。	本案於提案階段即考量需進行多次燃燒試驗以調查不同滅火設備對於實驗性能指標之差異，參考日本(論文名稱)，以矽酸鈣板為車體外觀之主要材質。關於引擎及油箱之車輛燃燒機制，另引用內政部建築研究所過去之研究報告，實驗聚焦於車輛內部準定場燃燒狀態下，不同滅火設備防止車輛延燒之冷卻作用之差異比較。
	4. 撒水與泡沫應依規定安裝，點火後分別觀察系統之動作時間及滅火情形，因動作方式不同，建議不宜設定起火後30秒內撒水(建議書第10頁)，否則試驗結果將會失真。	本研究將以密閉式撒水頭做為感熱及啟動元件，以趨近滅火設備與火災發失時之實際動作機制。
3	1. 簡報第32頁燃燒發熱速度，圖與實驗設定條件，內容從點火至準定常燃燒及噴頭開始放射的時間不一致。	將配合後續實驗設計及溫度量測方式進行修正
	2. 實驗建議能燒兩次，一次是密閉式撒水頭，另一次是開放式撒水頭。	本研究將調查並比較密閉式撒水設備、開放式撒水設備、泡沫滅火設備防止車輛延燒之冷卻作用。
4	1. 本案之自動撒水設備試驗與本所前階段之停車塔汽車起火撒水試驗有何不同?是否可將先前的研究成果導入整合分析。	正式研究時，將針對建研所停車塔撒水試驗之研究成果進行彙整。
	2. 若導向全面實施撒水設備時，是否要針對越來越多之電動車火災之適用性，請加說明。	本研究之對象為油料車輛之室內停車空間火災，關於電動車鋰電池之火災情境，可於另案研究中進行調查。

附錄三 期中審查意見回覆

內政部建築研究所 110 年度

「停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究」委託研究計畫案

期中簡報審查意見及廠商回應一覽表

項次	審查委員意見	廠商回應
1 (王金樹)	試比較在相同火載量之下 (5W、10W、15W)，四種滅火設備之滅火比較分析。	因考量 10MW 和 15MW 的實驗安全性，本研究建議以 5MW(1 至兩部小車之車輛火災)為主要火災大小進行比較分析。
2	請計算其當量值 (即 1 單位的泡沫滅火值可換算多少單位之撒水滅火值)，亦即水霧、泡沫、二氧化碳、乾粉四者之換算滅火當量值，請說明？	謝謝委員指導，本案的防護指標聚焦於防止車輛延燒之冷卻作用。由於當量值恐需更多的實驗次數與數據，因此本研究將歸納自動撒水設備和泡沫滅火設備冷卻效果之差異性(防護效果及變數關係)。
3 (李明智)	肯定本研究對停車空間有效滅火方式，提出對於環保及人體健康是有其重要及未來趨勢性。	謝謝委員指導。
4	目前實驗方法採用引用理由與世界各國有無異同性?建議可做差異比較對照，以了解研究實驗方法差異。	遵照辦理，將進一步就國際上相關研究之車輛燃燒實驗方法，進行歸納整理與比較。
5 (何明錦)	已初步完成國內外相關資料的蒐集分析及實驗設計，符合預定進度，值得肯定。	謝謝委員指導。
6	後續可參考改進的意見在 6 月 24 日之專家諮詢會議已充分討論，不再贅	謝謝委員指導。

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

	述。	
7	就實際建築設計而言，天花板高度 3.5 米與台灣地區之室內停車場，尤其是地下停車場，其樓層高度是否相符?可再進一步調查確認。	謝謝委員指導，根據相關文獻，本案採取 3.5 公尺做為撒水頭、泡沫頭或感知撒水頭的設置高度，主要原因有二，其一是當室內高度較高時，自動感知元件之作動時間較慢；另係因撒水頭及泡沫頭裝設高度較高時，較不易有穩定的放水分佈特性。考慮本研究研果可能後續會形成相關政策或法令修訂參考，故撒水頭、泡沫頭或感知撒水頭的裝設高度採取略高於一般停車空間的室內高度，採取較保守的試驗條件。
8	另台灣之室內停車場樓板，大致為 RC 板或鋼承板加防火被覆，是否符合火災實驗設計情境?請一併考量。	謝謝委員指導，本研究聚焦於火災初期自動撒水設備和泡沫滅火設備啟動後，防止車輛延燒之冷卻作用。撒水頭或感知撒水頭開啟作動時間很短，停車空間上方之樓板結構與材質是否會對實驗產生具體影響，將參考相關資料後於研究報告中說明。
9	實驗放水開始時間是否可以火警探測器反應時間為參考基準?	謝謝委員指導，本研究考量台灣室內停車空間滅火設備之自動啟動裝置多採用感知撒水頭，且因感知撒水頭其機械構造原理之受熱開啟時間較為穩定，經與計畫評選委員商議後，使用感知撒水頭做為開放式撒水設備和泡沫滅火設備的自動啟動裝置。
10	本案汽車火災除火煙成長外，煙毒特性是否也應加以描述?	本研究將調查車輛主要可燃物類型及其燃燒後可能產生之有毒分解物，並於報告中說明本研究對前述煙毒可能造成的影響。
11	本研究針對停車空間以自動滅火設備	謝謝委員指導，本研究將既有室內停車

(唐文華)	替代泡沫滅火設備之可行性探討，因目前現有停車空間多採用泡沫滅火設備，本研究完成後，可以考慮結合兩種設備而非完全取代，以節省成本並發揮更大滅火效果。	空間改用自動撒水進行防護之程序歸納至研究報告。
12	由於室內停車空間火災時溫度變化情形可能與室外不同，在實驗設計上應考量其差異性以提高研究結果的準確性。	謝謝委員指導，本研究之調查對象為室內平面所停放之燃油車輛，燃燒實驗場地亦為室內空間，天花板高度則以略高於(較為保守)一般室內停車空間室內高度值進行設定。
13 (韓欽銓)	歐美國家採用水霧設備進行滅火，僅台灣與日本採用泡沫滅火設備，其可能原因為何?是否台灣與日本皆為較小型的停車場場域，若採用水霧設備滅火，停車場建築施工時，與現行施工方法，是否需要調整?此外，現有停車場需要進行調整嗎?	本研究旨於調查並比較自動撒水設備和泡沫滅火設備防止車輛延燒之冷卻作用。歐美規範中，對於自動撒水設備應用規模較大的室內停車空間是否有相關額外規定及要求，本研究在進一步就相關文獻進行調查。
14	機械式停車場中有許多電子設備，採用水霧滅火設備，災後的復原成本與泡沫式滅火設備的復原成本，其差異如何?	謝謝委員指導，本研究之調查對象為室內平面所停放之燃油車輛，機械停車場非研究範圍。
15	本計畫與第二研究團隊皆是採用水霧式滅火設備，其研究成果是否可以進行整合?	謝謝委員指導，後續將請教相關研究團隊，納入相關的調查結果。
16 (張裕忠)	第二章文獻探討之第二節停車空間火災之研究中蒐集國內外許多研究，不過各研究之目的不同而試驗不同。建議篩選目的與本研究相近者，分析試驗條件（車輛、火源、建築環境等）、燃燒時間、量測溫度點位等以及判定滅火、控制、防止延燒的準則	遵照辦理，本研究將於研究報告補充試驗條件（車輛、火源、建築環境等）、燃燒時間、量測溫度點位等以及判定溫度量測基準之設定理由或參考文獻。

	(criteria) 為何？並建議燃燒驗前再次檢視燃燒試驗合理性及是否符合研究目的。	
17	第三章研究方法配置第一節實驗配置及車輛模型，係參考日本 2010 年新設備新工法性能規定報告書的實驗方法，請問參考的理由為何？並說明報告書出處及撰寫單位，並說明除了車輛模型外，火源大小、溫度量測位置等試驗條件是否也參考或有差異，宜併同分析呈現，方能瞭解判讀。	謝謝委員指導，考量台灣及日本法規相似，本研究參考日本 2010 年新設備新工法性能規定報告書的實驗方法進行。有關報告書出處、撰寫單位及各項參數之設定，將於報告書中補充說明。
18	表 3-2 實驗條件設定之理由為何？另泡沫滅火設備放水壓力以 1kg/cm ² ，是否符合泡沫噴頭最小放射壓力（一般認可品為 2.5-7kg/cm ² ）？宜釐清	謝謝委員指導，本研究將參照泡沫頭審核認可基準之試驗條件 2-7 kgf/cm ² ，後續實驗條件進行泡沫滅火設備放水壓力修正。
19	開放式撒水頭皆使用快速反應感知撒水頭偵測；而密閉式撒水頭則設定快速反應及一般反應二種，這一比較之目的為何？	謝謝委員指導，相較於開放式撒水設備，密閉式撒水設備為逐一受熱開啟作動放水之模式，其放水冷卻範圍較開放式撒水設備來得小。在後續實驗中，將先觀察一般反應密閉式撒水設備試驗之結果。若冷卻效果不符合研究設定基準。將考慮增加快速反應開放式撒水設備之試驗。
20	本案感知撒水頭位置為何？不同位置是否影響放水時間及實驗結果。	本案將以感知撒水頭不利偵知火災的位置為原則來設計實驗。
21	P17 圖 4-5 呈現點火後 70 秒溫度變化，但圖為 30 秒後？請予釐清。	謝謝委員指導，圖 4-5 溫度量測過程中熱電偶發生接線斷續的問題，紀錄時間應為點火後 30 秒。
22	P20 為何無 5kgf/cm ² 之放水壓力。	謝謝委員指導，表格內容有漏值，在後續報告書內容中補正。

23 (曾偉文)	依照內文研究主題所稱自動滅火設備應指自動撒水設備，建議各章節內容可再強化。	謝謝委員指導，依據內政部建築研究所研究計畫需求說明，本研究提案和計畫審查時，已確定研究範圍為自動撒水設備，將於在研究內容中敘明研究範圍。
24	第三章研究方法後直接在第四章有初步研究成果，建議先有實驗規劃章節，說明可行性的驗證方式。	遵照辦理，將於報告書增加實驗規劃章節，說明可行性的驗證方式。
25	表 3-1 本研車輛模型參考尺寸，指可調整的車體模型都要進行燃燒試驗採取數據?表 3-2 實驗條件設定，指所有邊界條件都要測試?如何設計火源?通風換氣狀況是否要納入考量?如何擬訂判定基準作為結論建議的依據?建議要有相關內容說明。	本研究參考台灣普遍中型房車尺寸後，製作 <u>車輛模型</u> 。表 3-2 為後續欲進行車輛燃燒實驗之規劃，將彙整相關委員意見後進行修正調整。另將於報告書對於燃燒試驗、測試條件、實驗設計等考量因素進行補充說明。
26	本案試驗使用之撒水頭是否為國產品和日本進口品?是否適用於 UL 認證之產品?因涉及撒水分佈，建議必須強化說明。	本研究使用撒水頭為國產品(廠牌 CFC)，研究報告中將補充研究採用撒水頭及泡沫頭於元件實驗資料中，所記載之放水分佈特性。
27	國外採用自動撒水設備之停車場，建築構造及佈局皆較為簡單，我國停車空間樣態多元，有時搭配摩托車及儲藏室，建議如沒有在主題範圍，能納入限制條件中探討。	遵照辦理，本研究之調查對象為室內平面所停放之燃油車輛，將停車空間多元樣態納入限制條件中。
28 (陳盈月)	本案屬延續停車空間防火安全研究進行撒水替代研究深具參考價值。	謝謝委員指導。
29	本案案名為自動滅火設備，尚包含二氧化碳、乾粉等，依研究內容是以撒水設備為主，建議可在研究內容中敘明研究範圍。	謝謝委員指導，依據內政部建築研究所研究計畫需求說明，本研究提案和計畫審查時，已確定研究範圍為自動撒水設備，將於在研究內容中敘明研究範圍。

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

30	本案研究已有顯著成果，亦可見二台車輛在撒水後溫度於一分鐘後均能呈現 40 度，惟車輛火災之火焰目前設定為車體內火災，對於熱輻射範圍是否可以再補充熱輻射儀觀測數值及分析。	遵照辦理，將於期末報告補充熱通量觀測數值及分析。
31	本案如為替代泡沫滅火設備，建議亦能提供自動撒水設備認可基準及泡沫滅火設備認可基準比較表。	本研究聚焦於火災初期自動撒水設備和泡沫滅火設備啟動後，防止車輛延燒之冷卻作用。研究報告中，將就自動撒水設備認可基準及泡沫滅火設備認可基準中，二者元件功能特性之差異進行比較說明。
32 (雷明遠)	建議往後車輛火災滅火試驗的燃燒時間能夠延長，以探討不同滅火設備之火災控制或撲滅能力。	謝謝委員指導，將整體評估實驗客觀性及實驗安全性，盡可能延長燃燒試驗的時間。
33 (王天志)	建議調查日本室內停車空間採用水系滅火設備時，是否有制定或增修相關法規？	謝謝委員指導，將進一步調查，若日本有制定或增修相關法規，彙整至研究報告中。
34	歐美室內停車空間是否有設置泡沫滅火設備之相關規範？	謝謝委員指導，將進一步調查，歐美室內停車空間有設置泡沫滅火設備之規範，彙整至研究報告中。

附錄四 期末審查意見回覆

內政部建築研究所 110 年度

「停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究」委託研究計畫案

期末簡報審查意見及廠商回應一覽表

委員	審查委員意見	廠商回應
1 (李明智)	因應未來替代能源車輛，環保、節能及人員健康，本研究有其必要性及貢獻。	謝謝委員指導，替代能源車輛雖不在本研究範圍內，對於替代能源車輛火災相關之研究，於報告書第 71 頁納入研究建議。
2	研究結論提出最小撒水頭放水密度、最小放水區域和最小放水壓力之要求，符合原先之研究預期成果。	謝謝委員指導。
3	建議後續研究可納入電動車輛火災預防及現場搶救對策相關之議題。	謝謝委員指導，因應環保及健康之趨勢，電動車輛火災情形是世界各國陸續關注的議題，本研究已於報告書第 71 頁研究結論中建議電動車輛火災預防及搶救對策可納入後續研討議題。
4 (林慶元)	研究內容符合預期成果。	謝謝委員指導。
5	本案針對以油為燃料的車體為對象，相應未來趨勢，建議以電動車及相關設備(如充電樁)為對象作為延續研討議題。	謝謝委員指導，因應未來趨勢，電動車及其相關設備之火災燃燒情形，是停車空火災預防及搶救須考量的議題，本研究報告書第 71 頁研究結論中建議電動車及其相關設備之延續研討議題。

委員	審查委員意見	廠商回應
6	房車與休旅車的火災及其控制效果是否相同？	謝謝委員指導，本研究模型根據 Toyota 中型房車的型態，僅限於此種類型調查對象，故休旅車及貨車等不同類型之車輛，於報告書第 70 頁納入未來研究建議。
7 (林文興)	P.1 針對本研究適用之「室內停車空間」之定義及樣態，請詳細說明，例如室內機械式、電動車及充電樁或室內機車停車空間等，是否適用？	本研究適用之「室內停車空間」係指室內平面停放燃油車輛之空間，已於報告書中第 1 頁補充說明本研究室內停車空間定義。
8	P.2 表 1-1 若依據各類標準第 18 條規定比較，(1)乾粉僅適用第三種及磷酸鹽類，(2)水霧放水以 50m ² 為原則，請修正。	謝謝委員指導，已修正報告書第 2 頁表 1-1 設置標準第 18 條規定比較表中，(1)乾粉滅火設備之滅火藥劑適用第三種及磷酸鹽類乾粉；(2)水霧滅火設備放水範圍以 50m ² 為原則。
9	P.3 泡沫原液含 PFOS 對環境會造成危害，放射後如何排放是一大問題，在消防法令中並無處置措施之規定，建議在報告中能提到台灣停車空間在泡沫誤動作或放射滅火後，實際之處置及排放措施為何？	目前台灣泡沫誤動作或放射滅火之後，係將放射後的消防泡沫排入汙水坑、廢水坑或雨水排放系統，然此三種作法皆違反其相關法令規定，應由民間環保公司將釋放後的消防泡沫進行回收處理，已於報告書第 5 頁補中說明泡沫放射後處置措施。
10	P.73 研究結論：結論之(一)及(二)均在強調撒水設備之冷卻及排煙效果之優勢，不宜只有文字之敘述，應將實驗之比較數據在結論中說明，以為佐證。	遵照辦理，已於報告書第 67 頁，將實驗之比較數據在研究結論中說明，作為佐證。
11	P.75 建議二：第 50 條增列條文中之撒水密度、放水區域及最小放水壓力	遵照辦理，本研究於報告書第 70 頁建議增修條文中，補充說明試驗數據及各國

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

委員	審查委員意見	廠商回應
	等，是否可提供經由試驗所得到之最佳數據或各國之規定值，供修訂法規之參考。	相關法規之規定值，以供修訂法規之參考。
12 (高文婷)	本案實驗內容完整清晰，結論應可充分運用。	謝謝委員指導。
13 (莫懷祖)	針對研究建議涉及多項設備的修法建議，建請不提具體條文內容保留彈性。	針對本研究涉及修法建議之具體條文內容，已修正至報告書附件一，供主管機關法令修正參酌。
14 (賴瑞宗)	實驗採用各種不同的對照組(一般反應型灑水頭快速反應型)數據完整且實驗結果的冷卻效果(自動撒水設備優於泡沫設備)，符合預期的效果，數據值得參考。	謝謝委員指導。
15	建議針對越來越多電動車停車空間的市場趨勢，後續進一步研究電動車停車空間的滅火設備與因應對策。尤其電動車火災屬於鋰電池金屬與化學火災，含有毒性氣體屬於的複雜火場，其中，充電樁的安全認可標準、防火區劃有別於傳統汽車火災。	謝謝委員指導，本研究考量人員安全及場地限制，電動車及其相關設備不在研究範圍中，然因應未來電動車停車空間之市場趨勢，本研究已於報告書第 71 頁研究結論中建議電動車及鋰電池等相關附屬設備，宜後續進行研討。
16 (中華民國消防設備師(士)協會)	自動撒水設備替代泡沫滅火設備為目前公協會關注之議題，期待可行性的研究可以落實在法規的制定。	謝謝委員指導。

委員	審查委員意見	廠商回應
17	停車空間同時停放燃油車輛及電動車輛時，是否能評估其防止延燒方法？例如：加大車輛停放間距、增加滅火設備放水量及放水時間等。	國際上針對電動車停放的間距，目前無相關之規範，但 NFPA855 15.5 中規範鋰電池儲能裝置最小間距為 91.4 公分，故電動車之鋰電池之間距，本研究於報告書第 65 頁補充說明，圖時停放電動車之停車空間，可參考該規範之建議。放水量依照 NFPA855 於報告書第 65 頁建議停放電動車之室內停車空間放水密度應達 12.2 LPM/m² 以上。為確保救災人員安全性，本研究於報告書第 70 頁研究建議放水時間應在 30 分鐘以上。
18 (中華民國消防工程器材商業同業公會全國聯合會)	報告 page26 表 3-1，開放式撒水設備、泡沫滅火設備等之感度種類應是指感知撒水頭，以報告 page 38、39 為例，提及開放式撒水設備安裝快速反應型「撒水頭」，建議修正為感知撒水頭。	遵照辦理，已於報告書第 38、39 頁，將開放式撒水設備安裝快速反應型撒水頭，修正為安裝快速反應型感知撒水頭。
19	依報告 page 26 表 3-1 推算係採用 K80、有效撒水半徑 2.3m、防護面積 10.58m² 之撒水頭，經實驗證明 7.56L/min/ m²、1kgf/cm² 可以符合預期目標。但建議修正條文則導入 6.1L/min/ m²、0.5kgf/cm²，擬請釋疑。	謝謝委員指導，依照 NFPA13、IFC、IFB 之規範，室內停車空間屬於中度危險場所，放水密度應為 6.1 L/min/ m²，考量未來停車空間可能同時停放電動車，故本研究於報告書第 71 頁法規建議條文中，建議停放電動車之停車空間應遵照 NFPA855 之規範放水密度為 12.2 L/min/ m²。
20	報告 page 71-72 第 50 條、第 57 條建議	依照設置標準第 61 條、第 216 條及潔淨

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

委員	審查委員意見	廠商回應
	修正條文內容，考量我國法規在結構上與 NFPA 13 不盡相同，如(1)場所分類等級、(2)放水量與單位放水量定義、(3)水源容量計算之撒水頭個數與動作面積定義、(4)水力計算作業方式等，直接導入 6.1L/min/m ² 、0.5kgf/cm ² 、150m ² ，容易有引用錯誤或缺乏條件/結果檢核等情形，故建議另案研究。	區設置要點第 6 點中，皆有提到以放水密度做為水源需求及水力計算之檢討，有關放水密度計算及檢討，於報告書第 71 頁研究建議中，建議消防設備師士相關專技團體辦理教育訓練。
21 (蔡綽芳)	研究動機中應明確說明停車場火災搶救目標為撲滅火災或者控制火災？	謝謝委員指導，本研究藉由自動撒水之冷卻作用，將火勢控制於起火車輛附近，以達到防止車輛延燒目的，於報告書第 15 頁中說明。
22	電動車之鋰電池位於車輛底部，若起火點位於車輛底部，使用水系統是否能達到滅火的效果？	本研究旨於防止車輛延燒，根據 NFPA855 4.11.2.15 中遮蔽型鋰電池燃燒，得使用放水密度為 12.2 LPM/m ² 之自動撒水設備進行冷卻作用，電動車之鋰電池位於車輛底部，亦屬於遮蔽型火災，故得參考 NFPA855 之規範進行冷卻作用防止車輛延燒。
23	室內停車空間車輛起火是否有爆炸的風險？發生爆炸時，應如何處理？	燃油車起火通常為內裝、座椅燃燒，可能因撞擊而造成爆炸，目前國際上無停車空間爆炸相關之案例。電動車之鋰電池燃燒經由大量擴散延燒、劇烈的反應，可能造成熱失控現象，故針對電動車火災，利用水系統的冷卻效果，阻止大規模的擴散是主要的防護對策。
24	本研究中所提到放水時間對於冷卻效果無明顯影響，是對模型車輛、實際	研究報告第 28 頁說明模型車輛通量大於實際車輛，第 28、29 頁說明模型車輛發

委員	審查委員意見	廠商回應
	車輛還是皆無影響？	熱速度大於實際車輛，本研究提到放水時間對於模型車輛及實際車輛之冷卻效果皆無影響。
25	研究範圍中應說明電動車不在本研究範圍內。	本研究已於報告書第 15 頁研究範圍中說明電動車不在本研究範圍中。
26 (雷明遠)	本報告結論未明確說明自動撒水設備是否可以增列於停車空間的自動滅火設備選項之一，建請補充。	謝謝委員指導，本研究於第四章第三節中法規與政策建議中，建議台灣可將自動撒水設備增列為室內停車空間法定設備之選項。
27	電動車輛火災情境雖不在本研究範圍，惟可從本研究提出日後研究課題方向之建議。	謝謝委員指導，基於安全考量及實驗限制，本研究燃料車輛模型為實驗對象，但 NFPA855 中已有針對鋰電池之儲櫃提出相關的建議，未來針對電動車及其相關設備進行防止延燒實驗，製作本土的資料庫確有其必要性，本研究於報告書第 71 頁將電動車火災之相關研究納入未來研究建議中。

附錄四 第一次專家座談會計專家諮詢會議紀錄

「停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究」

第1次專家座談會暨專家諮詢會議紀錄

一、 時間：110 年 06 月 24 日（四）上午 10:00

二、 地點：Google Meet 視訊會議

三、 主席：王副所長安強、何教授岫璵

四、 與會人員：（如附件 1）

（一）專家學者：

1. 鄭警監秘書志強（內政部消防署）
2. 李理事長明智（中華民國消防設備師公會全國聯合會）
3. 紀院長人豪（吳鳳科技大學安全管理學院）
4. 林科長登港（新北市政府消防局火災預防科）
5. 李理事長裕寬（臺北市消防設備公會）
6. 林理事長佳慶（花蓮縣消防工程器材商業同業公會）
7. 楊理事長卿偉（台東縣消防工程器材商業同業公會）

（二）研究團隊：

1. 王副所長安強（內政部建築研究所）
2. 蔡組長緯芳（內政部建築研究所）
3. 雷研究員明遠（內政部建築研究所）

4. 王研究員天志（內政部建築研究所）

五、 計畫報告：何教授岫璉（如附件 2）

六、 綜合討論：

（一）專家學者：

鄭警監秘書志強：

1. 簡報第 5 頁開放式的油盤燃燒型態之滅火試驗，係對滅火器滅火效能值試驗方法，尚非停車場之車輛。第 7-14 頁泡沫 PFOS 環保議題中，國內（消防署）認可泡沫原液大部分取得 UL、CNPP 試驗，且要求 SDS 中不得含有 PFOS 物質，以避免環境汙染。
2. 僅引用 NFPA13，建議擴大國外規範文獻之分析，例如：NFPA 88A Parking structure、澳洲 AS、英國、歐盟對停車空間滅火設置的規範。
3. P.38~40 溫度等曲線中建議 X 軸時間由 0 秒開始；另 P.40 起火車輛溫度測量曲線在約 135 秒由 600°C 降至 100°C 的現象不太合理，請確認其可能原因。
4. 未來研究之試驗，建議將設備基本構件規格及其之感知溫度、動作放水時間、動作顆數（噴頭）等動作快慢、水量多寡納入測試蒐集及結果分析。
5. 建議分析滅火或防止延燒的項目及數值，比較泡沫、撒水或水霧的滅火、防止延燒之差異。

李理事長明智：

1. 肯定本研究案對於傳統停車空間具備環保健康的未來趨勢及必要性。
2. 若可能於世界各國研究測試模型是否有相關案例收集可於比較對照。

紀院長人豪：

1. 國外多數國家皆可於室內停車空間設置自動撒水設備，如能將其納入我國的各類場所消防安全設備設置標準第 18 條附表第三項作為可

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

以選擇設置之滅火設備，將可與國際接軌，故本研究主題符合目前國內消防各界殷切之期望。

2. 有關室內停車空間設置自動滅火設備的相關研究，過去國內、外皆有相當多的研究成果，建議研究團隊可做全面性的彙整、比較與研析。
3. 停車空間的汽車與機車之燃燒行為有所不同，研究範圍應有所界定。
4. 國內電動車日益普及，近年來發生多起火災事件，甚至靜置中電動車亦有發生火災之事故，建議研究團隊可以提供相關防火對策。
5. 簡報 P.35 開放式撒水設備的放水時間為何?請請補充說明。
6. 量測溫度的熱電偶形式為何?建議應檢討部分熱電偶無法量測之原因。
7. 全尺寸火災燃燒實驗確實有其必要性，但容易受限於經費與時限等因素影響，建議未來研究可增加電腦模擬分析來予以交互驗證。

林科長登港：

1. 目前實務上，室內停車空間的滅火系統配置，的確是以泡沫滅火設備為主，但依據各類場所消防安全設備設置標準，其滅火系統設備亦可配置水霧滅火設備，過去一些實務上的分析或相關研究，亦有探討自動撒水設備與水霧滅火設備用之間的差異，或許在研究時間、預算等限制允許下，可以考量將水霧滅火設備也列入研究實驗上的比較，亦或透過一些文獻探討來論述自動撒水設備與水霧滅火設備用之間的差異。
2. 簡報的一開始完整論述泡沫滅火設備的問題，亦突顯探究其他滅火設備取代泡沫滅火設備的可行性，惟實務上除了環境保護、平時維護成本等因素考量外，建置成本也是管理權人所在意的考量因素之一，後續研究中或許可以提及這部分的市場分析。
3. 現行各類場所消防安全設備設置標準並未提及室內停車空間可設置自動撒水設備，而是設定水霧滅火設備、泡沫滅火設備等設備可作為其滅火系統設備，其很大的考量可能就是顧及油類火災的影響，基此，建議在研究文本論述中，或許可以增加自動撒水設備、水霧滅火與泡沫滅火設備間的差異或相關的影響考量或問題。

4. 電動汽車或許是長期未來的趨勢，相關部會針對室內停車空間停放電動汽車亦有相關規範，或許長期未來研究中可以進一步針對電動汽車停車空間的滅火系統設備進行探討。

李理事長裕寬：

1. 建議增加自動撒水設備與泡沫設備之配件組合性評估，以原有泡沫設備進行放水，將原泡沫噴頭改為撒水頭之滅火效果。
2. 電力設備之車輛（油電車及純電車）引助燃之行為評估。

林理事長佳慶：

北北基桃等各縣市有越來越多機械停車場，對於機械停車場之基坑，以開放式撒水系統是否有可能因油水分離的情況影響滅火設備的冷卻效果?建議納入研究考量。

楊理事長卿偉：

放射壓力須由實驗後訂定適當放射壓力，並將壓力調整筏納入系統必備，以免有壓力過大（近區放水量過大）而導致的消防水池水量不足（無法放足 20 分鐘）。

(二)研究團隊：

王副所長安強：

1. 本研究是自動撒水滅火可否替代泡沫滅火之可行性研究，自動撒水滅火實驗的結果雖然可以說明撒水設備足以防止車輛延燒，有二點請說明，一是實驗設定為 4:30 是否有特別的意義?二是以往室內停車

場泡沫滅火的功效，是否僅止於防止車輛延燒？

2. 報告中說明本研究目的是為防止車輛延燒，請問車輛火災滅火的議題是否屬於本研究範圍內或是屬於本研究限制？

蔡組長綽芳：

本次實驗主要針對水系統自動滅火設備延燒控制效能進行實驗，未涉及滅火時間、防止復燃等項目，實驗所得數據恐與研究目的「研議自動撒水設備設置規範」有差距；建議蒐集國際 NFPA 等有關自動撒水設備用於室內停車場之相關規定，供研議規範參考。

雷研究員明遠：

1. 文獻檢討建議增加本所歷年有關汽車燃燒實驗研究報告及國外 NFPA、BRE 研究報告。
2. 建議增加有關於日本與歐美對於停車空間滅火設備使用的分析，例如，簡報 P.17 所示為日本考慮停車空間汽車火災的主因為漏油引發火災，汽油留在車底，燃燒型態屬於遮蔽性 B 類火災，所以自然會選用泡沫設備滅火。歐美文獻中（請再查閱汽車火災原因調查文獻確認），概以電路故障或引擎過熱引火為主，從引擎室燒進車內座位區，燃燒型態屬於遮蔽性 A 類火災，故選用自動撒水設備。另從目前汽車科技來看，油箱漏油機率很低，即便車輛碰撞不一定會漏油，以上均可列入考量因素。
3. 關於簡報部分內容，建請補充說明：
 - (1) 簡報 P.25 汽車燃燒釋熱率，請補充成長係數（ α 值）。
 - (2) 實驗用燃料正庚烷，請補充燃燒熱值及熱釋率曲線圖。
 - (3) 目前 3 次實驗之燃燒時間均為 240 秒，為何沒進行到燃料燒盡，其理由宜請敘明。
4. 關於電動車火災議題，由於網路群體媒體討論熱烈，多數人以為需要進行實驗研究，然消防署 109 年曾函示停車場如設置電動車位時

之消防設備仍依現行各類場所消防安全設備設置標準規定，因此本案研究成果日後是否能夠適用於電動車火災，建請研究團隊協助評估。

王研究員天志：

1. 研究背景中，車輛火災燃燒型態，針對台灣（開放式）及歐美國家（遮蔽式）不同火災型態的觀點進行比較。
2. 後續解說請說明本案擬提出新增停車空間可用撒水設備的規範為目的，而非以撒水取代泡沫
3. 研究目的為探討防止延燒，可加強說明設置燃料燃燒時間為 4 分鐘的目的，俾利閱讀報告者瞭解實驗的設計。
4. 熱對流及輻射皆為影響火災延燒的參數，目前僅以溫度進行延燒的探討，建議可將熱輻射的參數列入考慮，以界定防止延燒有效性的判斷。
5. 國內是否有停車空間設置撒水系統的案例，可將案例納入研究案例參考。

七、 會議討論

非常感謝各位專家委員的蒞臨指導，研究團隊將會彙整各為先進專家的意見做為後續研究發展和執行的重要參考意見。

八、 散會（1200）

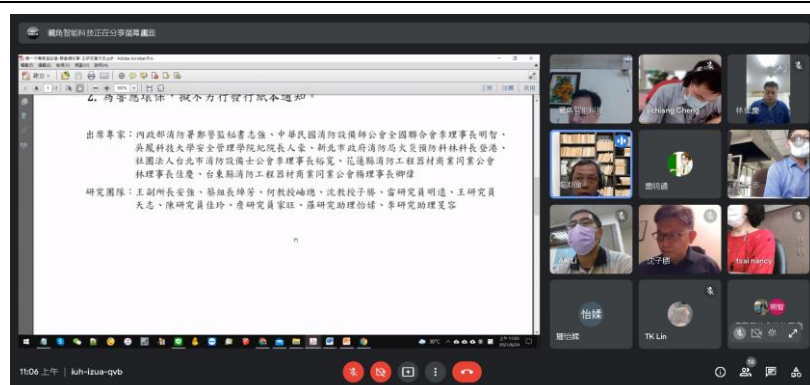
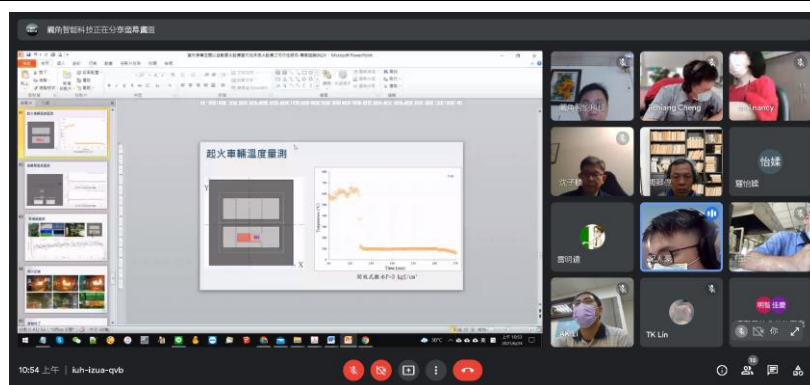
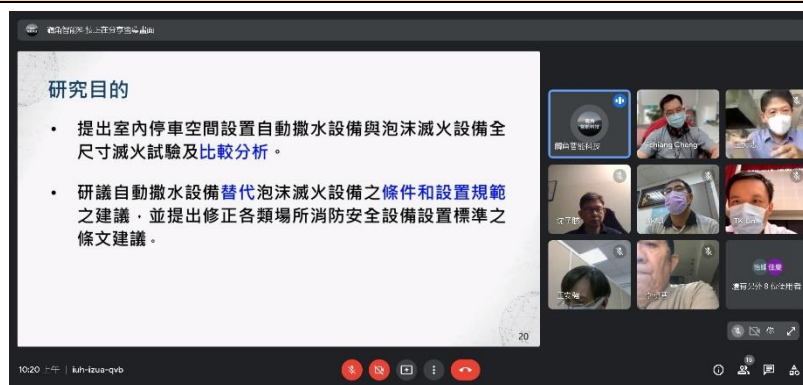
停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

附件 1、與會人員



附件 2、簡報情形

會議討論情形



停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究



附錄五 第二次專家座談會計專家諮詢會議紀錄

「停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究」

第2次專家座談會暨專家諮詢會議紀錄

一、 時間：110 年 09 月 30 日（四）上午 10:00

二、 地點：Google Meet 視訊會議

三、 主席：王副所長安強、何教授岫璉

四、 與會人員：（如附件 1）

（一）專家學者：

1. 簡教授賢文 (中央警察大學)
2. 莫組長懷祖 (內政部消防署火災預防組)
3. 黃大隊長弟勝 (新北市政府消防局)
4. 曾股長至齊 (台北市消防局火災預防科)
5. 吳理事長曉峰 (中華民國消防設備師士協會)

（二）研究團隊：

1. 王副所長安強 (內政部建築研究所)
2. 蔡組長緯芳 (內政部建築研究所)
3. 雷研究員明遠 (內政部建築研究所)

4. 王研究員天志 (內政部建築研究所)

五、 計畫報告：何教授岫璵 (如附件 2)

六、 綜合討論：

(一)專家學者：

簡教授賢文：

1. 全世界不能承認撒水用在室內停車空間的國家有多少個?法規明文規定的?有特例的?放寬的特例有哪些相關規定放入研究考量，對於台灣的專家學者可能有更好的說服力。
2. 原來所謂的消防設計應是提供給真正出勤的人和專業的設計師來選擇，應避免發生制約的情形。NFPA13 是較完整且在全世界流行的規範，在法條的建議中，若採用 NFPA13 設計停車場，可不用依照各類場所設置標準相關泡沫或撒水的限制。
3. 撒水系統應著重在火災控制，應由放水密度決定防護面積，而非用防護面積決定放水密度。
4. 日本實驗使用的是密閉水霧頭火撒水頭在文章中應寫清楚。
5. 營建署和消防署的解釋認為室內停車場非居室，國內現有大型建築物的停車空間通常有地下七層或八層且無特別安全梯及排煙設備，造成消防人員進入搶救時的危險。此外，大型娛樂設施或體育館等場所舉辦大型活動時，進場或散場時間會有大量人員進入停車場，故停車空間之消防設備應著重在火災控制而非滅火。建議引用 NFPA13 的規範，而非將法條寫死。

莫組長懷祖：

1. P.2:日期誤植。
2. P.17 實驗規劃部分: 未說明所採撒水頭之標示溫度、有效撒水半徑及流

量特性係數 K 值等實驗條件。

3. P.34~P.55 實驗結果部分: 所列比對之圖表, 都是倆倆比較, 無法觀察整體情形。請彙總列表說明所作實驗項目、設定條件、比較指標及實驗結果。
4. P.56~P.57 研究發現部分: 所載實驗結果欠缺與所作實驗圖表之對應關係, 研究發現之每一則比較均應載明相對應之圖表以資佐證。
5. P.57 序號 3 部分: 密閉式撒水實驗結果, 熱氣流溫度及冷卻效果, QR 的表現均遜於 SR。理論上, K 值、放射壓力等條件相同下, QR 動作速度較快, 應該會有較好的效果, 實驗結果反其道, 請說明理由。
6. (參考) 依 NFPA 13, 平面式停車場屬 ordinary hazard group 1, 機械式停車場屬 extra hazard group 2。

黃大隊長弟勝：

1. 對於含氟化物之泡沫原液、合成界面活性劑對於環境汙染及不易分解残留性有機污染物質已在歐美日等先進國家要求禁用就如含氟鹵化物的海龍替代品也逐步被禁止使用同樣。以水及惰性氣體等無污染性滅火藥劑為先進國家採用的趨勢下。本研究計畫停車空間以自動撒水滅火設備替代泡沫滅火設備極具意義, 實驗成果也極具若干代表性。
2. 文獻中提到歐美等國際標準如 NFPA13、NFPA 88a 等, 若能在本研究案中加入依照各該標準設計自動撒水滅火設備成功控制或撲滅室內停車空間車輛火災案例, 應可增加本研究案探討自動撒水滅火設備設置於室內停車空間的正確性及可行性依據。
3. 日本係依據「特殊消火設備に係る消防法第 17 条第 3 項に基づく大臣認定事例」以閉鎖式水噴霧為設置於室內停車空間為依據。本研究案車輛模型也是參照該實驗設計。除設置成本考外, 若能從文獻分析日本採水噴霧與本研究採用之密閉式撒水頭之水滴粒徑、放水量(日本採用 20 L/min/m² の水量為標準放射量)等差別, 分析本研究案與日本採用水噴霧方式的異同。應更完整建立泡沫、水噴霧與自動撒水應用於室內停車空間的異同分析。
4. 文獻提到 59% 起火源於發動機, 35% 起於車體內部。依本研究實驗設計以油盤置於車內座椅乘坐空間, 似僅模擬車內座椅乘坐空間起火, 以日本實驗設計歸類為 A 類火災模式。對於引擎室空間, 諸多油類(塑化油箱裝載汽油, 自動變速箱油、潤滑機油、塑膠油管洩漏等)。日本實驗設計歸類為 B 類火災。故本實驗之侷限性或須說明, 對於撒水設備

防護車輛引擎蓋下油類起火部分的驗證，或可做為下一階段研究，應較完整。

5. 對於美國 NFPA 專家因應現代汽車塑料部分增加及車輛大型化(SUV)，車輛火載量大增，建議 NFPA 13 停車空間危險等級由普通危險 1 級修改為嚴重危險 2。又實驗結果發現放水壓力大小與冷卻防護效果差異不大，對於遮蔽性火源的火災其冷卻防護效果，放水量應為主要考量，建議應增加。
6. 日本水噴霧設計以防護起火車輛部延燒鄰近車輛為主要考量，於 20 分鐘的防護時間內，待消防隊到達實施滅火，此設計應用於地上式停車場外牆未完全封閉能自然排煙狀況下，應屬適當。而國內建築深挖之地下停車空間，建築法規歸類非居室免設排煙，車輛產生大量濃煙蓄積且距安全梯(也非強制要求為特別安全梯)最遠為 70 公尺。要求消防搶救深入滅火實有困難及危險。加大放水量是否可達滅火效果也是將來應探討的問題。

曾股長至齊：

1. 在環保及設計成本(配管配置、水源容量等)的考量下，自動撒水設備如果可以適用到地下停車場之設置，是一件好事，但在車輛燃燒的狀況下，如油類外洩流動伴隨起火擴大，會不會無法如泡沫區域放射般有效覆蓋火焰，建議提出相關文獻說明以排除上開疑慮。
2. 在相同的放水壓力下，不同的防護半徑會影響放水密度，建議補充說明本次實驗撒水頭防護半徑並敘明原因，應考量在固定的放水壓力下(本次的放射壓力為 3 kgf/cm²)，設計不同防護半徑之撒水頭是否可以達到同樣的控制火勢效果。
3. 本研究係為未來可能訂定自動撒水設備設於室內停車空間之設置標準，於本實驗結果也可看出自動撒水設備冷卻效果較泡沫滅火設備佳，除了文獻引用外，建議具體說明本次實驗結果，自動撒水設備與泡沫滅火設備之成效差距(多少%)，以及補充國外有效案例及標準，對於研究目的較能強而呼應。

吳理事長曉峰：

1. 由於法規規定(各類場所消防安全設備設置標準第 18 條)與業界累積多年的設置經驗及慣性，泡沫滅火設備現階段幾乎是絕大部分建築物停車空間消防設備規劃設置的首要選項。因為本研究提出自動撒水滅火設備於停車空間車輛火災的實驗數據，打破國內停車空間長

久以來設置泡沫滅火設備的迷思。自動撒水滅火設備成為替代泡沫滅火設備的選項，不但解決泡沫的環保污染疑慮，也提供建築物更經濟有效的停車空間火災控制解決方案。故建議本研究：

- (1) 於研究建議提出修法，將自動撒水設備納入建築物附設停車空間滅火設備的常規選項。
 - (2) 納入停車空間設置撒水設備相關價值工程分析的內容，讓營建業主、建築師等利害關係人了解，停車空間除了泡沫滅火設備，還有更經濟有效的選擇。
 - (3) 本研究有關自動撒水設備系統的實驗數據，例如放水密度、放水壓力、防護面積等，可以做為消防設備師團體研究及編寫相關設計、施工規範的參考，加速充實停車空間設置自動撒水設備系統的知識庫及應用。
2. 由於國家政策的推動，近來供公眾使用建築物附設之停車空間，已規定設置一定數量之電動車輛的停車位，所以本研究是否也納入自動撒水滅火設備有關電動車的文獻探討內容與建議。

(二)研究團隊：

王副所長安強：

1. 建議於文獻回顧中補充說明電動車不納入研究範圍的理由。
2. 將來修法走規格式或性能式的方向，皆涉及到建築師或業者成本考量，請在後續工作會議討論修法策略。

蔡組長緯芳：

1. 若空間中沒有人，消防隊是否仍需要救人，以消防設備取代消防隊的工作，在研究背景中可能需看看國外研究是在何種環境下進行，許多國外停車空間是地上型且半封閉的，很少設計在地下樓層，在做文獻探討時可將實驗場域考慮進來。
2. 若環境中無人，是否能利用設備進行滅火，而非僅控制火災，是否對於消防人員的生命保障更好，在短時間內若無法改變建築中非居室的規定，利用消防設備保障消防人員救災安全。
3. 實驗過程中有復燃的情形，在報告中圖面擷取上多為 400 秒，無法表現出是否有復燃的情形，在 400 秒以後的燃燒行為，建議補充進報告書中

4. 本案止於以比較撒水與泡沫之關係，在簡報中第 47、48 頁及 53、54 頁可進一步疊圖，使讀者更明顯知道這兩種系統差異，對後續研究者也更有幫助。
5. 在報告書中，對於實驗結果的描述可補充量化的數據會更好，圖片中可詳細說明在每個時間點的情形對於研究結果的呈現會更好。

雷研究員明遠：

1. 在最後給消防署建議時，可分為二方面：
 - (1) 對於設置標準中，增加自動撒水設備成為停車空間消防設備的條文，要如何呈現需再與相關人員及官員請教。
 - (2) 實驗中的參考基準可放入實驗附件中，可供未來相關人員參考法規修正的方式。

王研究員天志：

1. 為提供後續對報告結果更快速的了解，請參酌在報告的結果或章節的部分增加綜合分析，針對撒水系統在何種條件下能夠達到目前研究防止延燒效果。
2. 請補充使用水系統和泡沫系統之差異性及其優缺點說明。
3. 未來撒水系統要導入停車空間，其規劃設計、性能審核等相關注意事項及執行方式的探討。
4. 請參酌各委員建議，納入研究內容及期末報告書中。

七、 會議討論

非常感謝各位專家委員的蒞臨指導，研究團隊將會彙整各為先進專家的意見做為後續研究發展和執行的重要參考意見。

八、 散會(1200)

附件 1、與會人員



附件 2、簡報情形

會議討論情形

頂曜防災顧問有限公司正在分享螢幕畫面

國際標準

- BS EN 12845 Fixed firefighting systems
- IFC 903 Automatic Sprinkler Systems
- NFPA 13 Standard for the Installation of Sprinkler Systems
- NFPA 88A Standard for Parking Structures
- GB 50067 汽車庫、修車庫、停車場設計防火規範
- 特定駐車場における必要とされる防火安全性能を有する消防の用に供する設備等に関する省令
- 消防設備システムの性能評価および大臣認定（認定 第47 号）(NF水霧)
- BCA Building Code of Australia



11

10:08 上午 | 專家諮詢會議

安強
王安強

子勝
沈子勝

天志
王天志

頂曜防災顧問有限...

S.W Chien

Adison Huang

和蘭安局_吳明峰

曾至青

morris mo

Ming Zong Lee

tsai nancy

你

🔊 📺 ⋮ 📞

🔊 📺 🗨 📶 🏠

停車空間以自動滅火設備替代泡沫滅火設備之可行性研究

出版機關：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：王安強研究主持;何岫聰協同主持

出版年月：110年12月

版次：第1版

ISBN：978-986-5456-45-0（平裝）