

## 細水霧設備應用於建築物室內停車空間火災防護可行性研究

何明錦\* 王天志\*\* 謝焯東\*\*\*

**關鍵字：**細水霧，泡沫滅火，車輛火災，停車空間，機械式停車格，性能測試

### 摘要

本研究主要以室內停車空間常見之機械式停車格作為模擬對象，於內政部建築研究所（以下簡稱建研所）防火實驗中心建置一實驗環境，進行車輛空燒與滅火實驗，借此探討停車空間火災危害與防護，以及細水霧設備應用於室內停車空間火災防護的可行性。實驗採用一具有頂蓋且四周無牆面拘束之框架用以模擬機械式停車格，分別採用泡沫噴頭與泡沫噴頭相同配置位置之細水霧噴頭進行滅火研究。本研究結果指出，無滅火系統作用下，車輛空燒危害度極大。以泡沫系統滅火，可在泡沫作動後有效抑制火勢，但就本研究之泡沫配置，泡沫並無法進入車室內撲滅火源，因此僅有壓制火勢之作用。細水霧使用水量甚小於泡沫系統，若參照泡沫噴頭配置方式配置細水霧噴頭，因包覆性不佳，無法有效阻隔氧氣與降溫，故無法達到火勢抑制功能，僅對週邊環境有降溫效果。由此可知，對於開放式停車空間內之遮蔽性火災，於滅火設計考量上，需設法讓滅火劑直達火源才有滅火機會。細水霧系統由於其水量小，需要較封閉或者正對火源才有滅火機會，因此本研究所使用之噴頭不建議應用於空間寬闊之開放式室內停車場空間，商用細水霧系統應用於室內停車空間限制應更謹慎評估。

## Applicability Evaluation of Water Mist System on Fire Protection of the Interior Parking Space

M. C. Ho\* T. C. Wang\*\* W. D. Hsieh\*\*\*

**KEYWORDS:** Water Mist System, Foam System, Car Fire, Mechanical Parking Device, Performance Test

### ABSTRACT

The purpose of this research is to evaluate the applicability of water mist system on the interior parking space, especially for the mechanical parking device. In this research, we conducted the real scale fire test in vehicle and vehicle fire suppression by foam system and by water mist system were both performed for the evaluation here. A steel frame structure with top covered by iron plate was used to simulate a mechanical parking unit. In addition, foam system and water mist system were used separately for us in this experiment to further discuss their fire extinguishing capabilities respectively. Our research results show the evidence that a vehicle fire is dangerous without a proper fire extinguishing system. For example, in our experiment, we found that the vehicle fire can only be suppressed by using foam system because the foam substance cannot reach the fire source due to shield effect from vehicles. By using water mist system, the fire extinguishing capability is worse than foam system. Water mist system cannot efficiently put out the vehicle fire under the semi-open condition and it needs either ejecting directly to the fire source or implementing this system in a closed space, which is really not practical for construction of the interior parking space. Therefore, the water mist system presented in this research is not applicable to interior parking space and the applicability of commercial water mist system on the interior parking space also requires more careful evaluations.

\*中華大學建築與都市計畫學系教授

Professor, Architecture and Urban Planning Department, Chung Hua University, Taiwan

\*\*內政部建築研究所助理研究員

Assistant Researcher, Architecture and Building Research Institute, Ministry of the Interior, Taiwan

\*\*\*國立成功大學機械系博士後研究員(Email:mactone.hsieh@gmail.com/Tel:06-2757575#61259-13)

Post Doctoral Researcher, Dept. of Mechanical Engineering, National Cheng Kung University, Taiwan

## 一、研究緣起與目的

細水霧與自動撒水系統的滅火劑同樣是水，最大的差別在於細水霧的水滴遠小於自動撒水的水滴，NFPA 750 規範中定義細水霧為水滴直徑在  $1000\ \mu\text{m}$  以下。理想的細水霧滅火模型是水滴攻擊到火源中心，並迅速汽化，大部分的水均參與滅火作用，因此細水霧被認為具有高效能、低水耗、低水損的特性。理論上，細水霧顆粒小到足以隨火場的氣流方向飄散，故可隨著火源補充新鮮空氣的氣流，進入遮蔽處的火源。

依據消防署各類場所消防安全設備設置標準，第 18 條規定，停車場可選擇水霧、泡沫、二氧化碳、乾粉等滅火設備。此標準中所謂水霧係指水滴粒徑介於細水霧與撒水頭之間的水霧系統，此水霧系統之用水量與撒水頭相仿，且一般大眾對於其應用於撲滅油類火災之信賴度不如泡沫系統，因此目前室內停車空間多以配置泡沫系統為主。車輛火災成長快速，火焰高度可超過 3.5m，危險性極高，依據建研所應用細水霧於機車火災防護效果實驗中觀察得知，細水霧若設計得當，可以壓制機車火災，而國內對於停放汽、機車等的室內停車場空間應用細水霧滅火之可行性未有相關研究，因此本研究使用室內停車空間作為模擬空間，進行實驗研究，探討細水霧應用於此種空間之可行性。一般於建築物室內之停車空間，多為四周牆體之廣大空間，因此於停放車輛的空間上，其左右邊界基本上可視為自由（開放）邊界，又由於建築物室內停車空間類型過於廣泛，因此本研究將聚焦於上下邊界條件較明確且常見之機械式停車格，進行車輛燃燒、泡沫滅火以及細水霧滅火之全尺寸實驗，探討細水霧於室內停車空間應用性以及使用上需考量之因素。

## 二、車輛火災文獻回顧

Jensen 與 Santrock (1998) 探討汽車火災實驗設計原則，建立標準的汽車火災測試方法，主要以美國通用（General Motors）所進行的一系列汽車碰撞與火災實驗作為分析對象。其中包括了箱形車、後輪驅動小客車、前輪驅動小客車和跑車。其研究中所用到的引燃方式包含汽油潑濺引火、電線著火、非汽油可燃液體於進氣歧管之點燃等。實驗目的主要在發現火勢進入乘客艙的途徑以及最易著火的元件。文中列出火勢進入乘客艙的路徑如下：1. 在乘客艙週圍的電路、流體或機械孔道，通常由塑膠或橡膠環封住。2. 破裂的玻璃，其破裂來自於火災的熱度或因為撞擊，文中同時提及擋風玻璃通常會破裂但會保持在原來位置上，但其他玻璃窗則會碎開掉落。3. 藉由金屬板的熱傳而導致乘客艙內的可燃物被引燃。

Santrock (2000) 針對一輛已做過撞擊測試的小客車(1998 Honda Accord) 做汽車全尺度火災實驗，其模擬情境為引擎室起火燃燒。點火方式採用手持的噴霧器來噴灑動力轉向油，利用丙烷火焰點燃之後，噴向洗窗液容器之開口處，如此可點燃洗窗液中的甲醇蒸汽。約 4 分鐘後洗窗液容器被引燃；約 10 分鐘後火焰延燒到左前輪和左前大燈；約 20 分鐘火焰延燒到引擎室；再數分鐘後經由擋風玻璃及孔洞進入乘客艙，實驗在 27 分鐘撲滅結束。Santrock (2002a; 2002b; 2003) 三個實驗主要

記錄的數據為熱釋放率(氧氣消耗法)、溫度分佈圖(紅外線測溫儀)、不同位置的溫度變化(熱電偶)、熱輻射通量(熱輻射計)、乘客艙中各種有毒氣體濃度(GC)。

Ohlemiller 與 Shields (2001)測試一般跑車(sports coupe)中可燃的汽車元件之燃燒特性。點火方式是利用一個瓦斯燃燒器，測量之數據為熱釋放率及熱輻射通量。實驗目的在評估汽車可燃元件的延燒特性，以便與全尺度汽車火災實驗做對照。在該實驗中的汽車元件都是被另外安裝在一個框架上來做燃燒測試，而不是在原來汽車上的位置，所以各元件間的交互作用會跟其在實際汽車上燃燒的交互作用有所不同，這一點必須特別注意。實驗中發現所有的塑膠元件都會燃燒，只是有快有慢。此外，每個汽車可燃元件之燃燒特性不只受到所含塑膠與橡膠分量影響，其形狀、大小與內部構造也會對延燒特性有重大影響。

Okamoto 等人 (2009)針對四門小客車進行四次全尺度的火災實驗，點火位置有兩個，分別在右後車輪的擋泥板旁用酒精膏點燃以及在乘客艙的左前座利用汽油潑濺點燃。實驗中記錄熱釋放率、汽車四周溫度及質量損失率。實驗結果顯示汽車火災可以描述成三個小區劃空間的火災，即引擎室、乘客艙和後車廂(含油箱)。汽車火災中有兩個影響火勢的重要因素：其一是窗戶之破裂與否；其二是油箱中的汽油量。汽車燃燒時內部溫度可高達攝氏 1000 度，熱釋放率曲線有數個峰值，主要差異來自於三個區劃空間的燃燒順序，汽車燃燒的最高熱釋放率約在 3MW 左右。

Wichman (2003)對交通工具相關的火災研究做了詳盡的文獻回顧。文中討論整輛汽車的起火燃燒，除開縱火的因素，最主要的原因是交通事故中之碰撞。文中並強調汽車火災與居室火災之最大不同是在火災的進展時間。汽車火災在一兩分鐘內會點燃而在十分鐘內就會達到最大熱釋放率。而對於人員之逃生，除非碰撞嚴重毀損汽車結構，不然大人員的逃生是相當容易的。文中亦提及：針對整輛汽車的燃燒實驗的例子並不多，但卻是十分重要的，因為全尺寸的燃燒實驗可以找出火災傳播途徑、火災進展時程、主要點燃元件，並且可以測量溫度、熱釋放率以及煙濃度。另外強調在汽車乘客艙與外界相通的孔洞，若能塞入防火材料，可以有效延緩火與煙進入乘客艙的時間。

除前述實驗外，各類統計資料亦為本研究實驗火源的實驗設計參考。如 Li 與 Spearpoint (2004)對紐西蘭停車空間的車輛火災進行統計(圖 1)，結果顯示在紐西蘭的停車空間中，車輛起火之主因為人為縱火(26.7%)，其次為電路故障(24.8%)與機械故障(16.8%)。

由以上分析結果可知，車輛火災危害性大，一般車輛火災發生多是電路走火或是人為縱火，歐美(Li, 2004)以及日本(增田秀昭, 2005)的研究，也顯示同樣的趨勢。因此，本研究後續將以人為縱火作為車輛起火原因進行汽車燃燒與滅火之實驗。

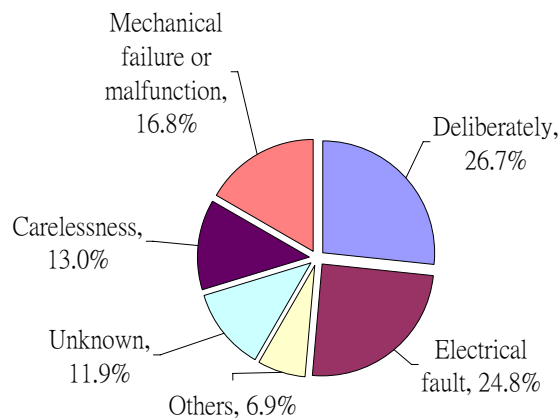


圖 1 車輛火災起因分佈圖 (資料來源 Li and Spearpoint, 2007)

### 三、研究方法與設備

#### 3-1 研究方法

本研究重點在於細水霧應用於室內停車空間之可行性，實驗研究部分主要是以室內停車空間之機械式停車格作為模擬對象，原因為機械式停車格之形式與空間變化性較少，邊界條件較單純，易於討論。首先於內政部建築研究所（以下簡稱建研所）防火實驗中心建置測試場景，進行車輛空燒實驗，觀察熱釋放率與溫度變化，建立車輛燃燒之基本特性，作為後續泡沫與細水霧滅火之對照組。接著再分別以參考現行法規規定之泡沫滅火系統以及細水霧設備進行滅火實驗，評估細水霧設備應用於建築物室內停車空間火災防護之可行性。

#### 3-2 實驗設備

##### 3-2-1 10MW 大尺度燃燒分析裝置

10MW 大尺度燃燒分析裝置是分析較大火災尺度（1MW~10MW）的裝置，其示意圖、集煙罩和管路系統照片則如圖 2 及圖 3 所示。分析原理是利用廢氣中氧氣消耗之情形來計算整體熱釋放率。根據圖 2 及圖 3 來看，整體設備由集煙罩、集煙彎管、混合管、量測段、排氣彎管、排氣管及升降平台所構成。集煙罩為兩截式方錐集煙罩，上截煙罩上緣焊接一小段內徑 1.524m 直管，可用來與集煙彎管相接；上截煙罩底部尺寸為 4.572m×4.572m 四方形，下截煙罩底部尺寸為 7.52m×7.62m 之四方形，上下截煙罩利用 6mm 厚 SUS304 鋼板所製之銜接法蘭相接。所有管路以 2mm 厚之 SUS304 鋼板所組裝，所有銜接法蘭皆採用 6mm 厚、90mm 寬之 SUS304 鋼板，並以角板補強；法蘭銜接方式採用 24 根 12mm 直徑螺栓固定，法蘭間填置耐熱氣密墊片。集煙彎管為 90 度彎曲流道結構，內置導流片，目的為降低氣體進入彎管中之離心作用。混合管內徑為 1.524m，

和集煙彎管相接處則需安置一 3mm 厚、0.896m 內徑之孔口板 (Orifice Plate)，主要作為流場整流使用。

系統之總抽氣量主要由變頻器來控制，其操作頻率最大可達 55Hz，對應之最大煙氣流率為  $30\text{m}^3/\text{s}$ 。至於氣體排放連續線上分析系統則是用來分析燃燒後之產物，主要置於圖 2 中 A 處和 B 處之量測段部分。大型物件或結構體將置於升降平台上進行燃燒試驗，試驗區之燃燒煙氣由集煙罩收集後垂直向上流動，經由集煙彎管轉成水平流入混合管，經過量測段，再由排氣彎管及排氣管排出。

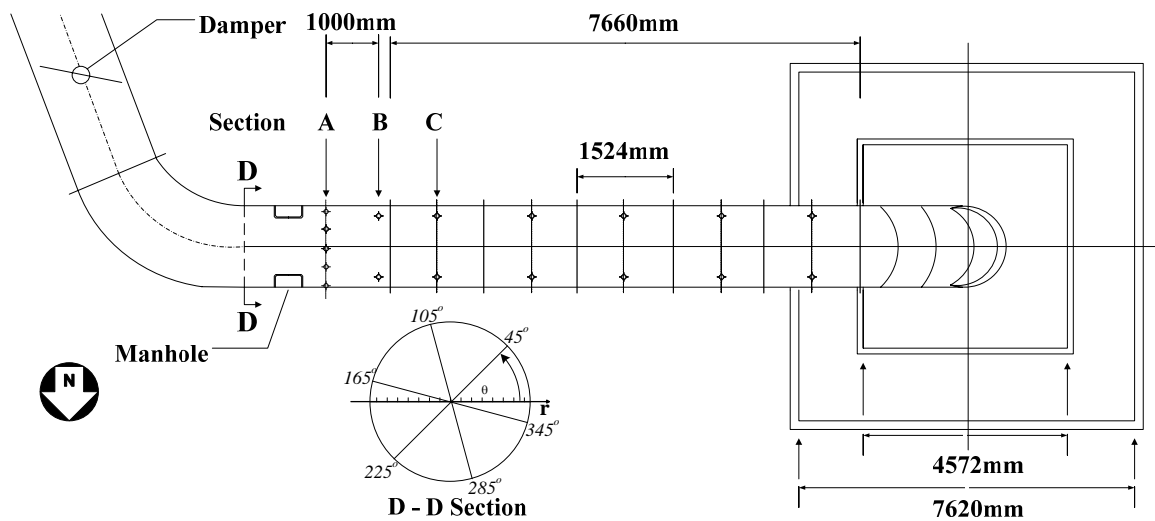


圖 2 10MW 大尺度燃燒試驗裝置示意圖



圖 3 集煙罩及各部分管路系統照片圖

### 3-2-2 實驗車輛

本研究中用來進行燃燒試驗之車輛為 1990 年四門 Ford 全壘打，車輛尺寸為 414(長) $\times$ 162(寬) $\times$ 136(高)，基於廢棄車輛取得性、實驗重複性與實驗成本，現階段本研究係採車室起火作為引火源，

並未考慮引擎室起火的狀況的多重考量下，前車廂引擎區組件已清空。中央車廂（乘客區）的內裝與配件則維持完整，車內座椅為塑膠皮椅，儀表板與其餘車內裝修主要材料均為塑膠，後車廂（行李廂）只有備胎一只，車體外觀完整，轉向系統以及輪胎亦完好，車胎規格為 175/70 R13 的橡膠輪胎，因引擎移除，故實驗前全車重量約為 955 公斤。基於安全理由，油箱內僅有極少量燃油殘留，因此除了引擎室與部分管路與市售車輛有差異外，整體燃燒特性應與實車接近。

#### 四、車輛空燒實驗

車輛空燒實驗旨在觀察並記錄車輛火災時之現象，量測其熱釋放率之變化與總熱量，作為後續滅火實驗(泡沫滅火與細水霧滅火)之對照組。

車輛擺設方向如圖 4，車體呈南北向，車頭朝南。為模擬車輛遭人縱火之情境，兩側之前車窗皆開啓，引火源為將 2 公升之汽油傾倒於駕駛座椅處，作為嚴重的縱火案例。車體置於無頂蓋之框架中，框架結構長 5.6m、寬 2.4m、高 2m，作為自由燃燒(Free burn)之實驗。產生之煙氣由 10MW 大尺度燃燒分析裝置收集並計算其熱釋放率與總熱量，此外，更在車體內外設有熱電偶，以量測實驗進行之車內與環境溫度變化。



圖 4 車輛擺設方向圖

實驗歷程如圖 5 所示，倒入汽油並點火後，由於兩側前車窗開啓，火焰立即由車窗處竄出(圖 5(a))。在 96 秒時，前擋風玻璃遭燒破，火焰由該處竄出並迅速增大(圖 5(b))，此時火勢仍集中於前座處，並逐漸向後座延燒。至 230 秒時，後座車窗破裂，中段車廂完全遭火焰吞沒(圖 5(c))，但前後車廂尚未受波及。前後車廂分別到 671 秒與 725 秒時才有火焰冒出(圖 5(d))，並隨之引燃前後車輪。燃燒經過 864 秒後全車引燃，火勢達到最大(圖 5(e))，隨後由於中後段車廂可燃物燒盡，僅剩前車廂繼續燃燒，此時燃燒部分主要是以前保險桿與周邊塑膠配件為主，由於可燃物所剩不多，火勢逐漸轉小並於 2250 秒時燃燒停止，實驗結束。





(a) 點火



(b) 前擋風玻璃燒穿



(c) 後車窗破裂



(d) 前後車廂引燃



(e) 全車燃燒

圖 5 車輛空燒實驗相片

車輛空燒實驗中之熱釋放率變化及總熱量如圖 6 所示，其中 THR(Total Heat Release)為總熱釋放，即累計發熱量，而  $\text{CO}_2\&\text{CO}$ 、 $\text{O}_2\text{C-ISO}$  及 GTR 分別為利用一氧化碳與二氧化碳產生率法、氧

氣消耗法與質量損失率法計算所得之熱釋放率，當中氧氣消耗法之準確度較佳。由圖 6 可知，車輛空燒之總熱釋放量約 3500MJ，而熱釋放率之變化可與實驗歷程對照：由引燃火源到火勢在車輛中段完全成長為止，僅費時約 200 秒，相當迅速，燃燒的熱釋放率(HRR, Heat Release Rate)也迅速上升；車輛中段完全成長後，由於火勢被侷限於中段區間，且車窗開口固定，因此在 864 秒全車引燃前，其熱釋放率約為 1.7MW；在全車引燃後，熱釋放率快速上升，於 950 秒達到最大值 5MW，爾後因大型可燃物燃燒殆盡，僅剩下車體塑料飾板燃燒，因此熱釋放率逐漸下降直到實驗結束。

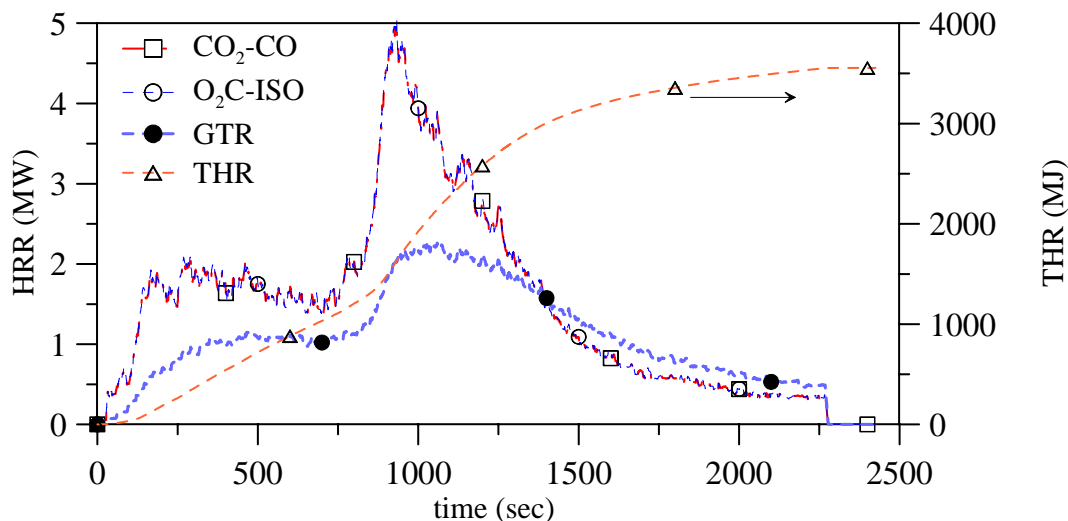


圖 6 總熱量及熱釋放率圖(車輛空燒)

圖 7 為駕駛座側測溫點佈設位置示意圖，D1 為引擎蓋與前車燈交界處，D3 為引擎蓋與前擋風玻璃交界處，D5 位於車室內部駕駛座頭枕位置，D7 為車室內部乘客座頭枕位置，D9 則為後擋風玻璃與後車廂交界處。其所量測到的溫度變化如圖 8 所示，由圖中可知，燃燒初期，僅前擋風玻璃處測溫點 (D3) 與中段車廂內的測溫點 (D5、D7) 溫度較高，前車廂測溫點 (D1) 與後車廂測溫點 (D9) 則是到了燃燒後段，溫度才竄升。觀察整體燃燒歷程，燃燒溫度發生於 D5，即車室內部駕駛座頭枕位置，可高達 900°C。



圖 7 駕駛座側之測溫點佈設位置圖



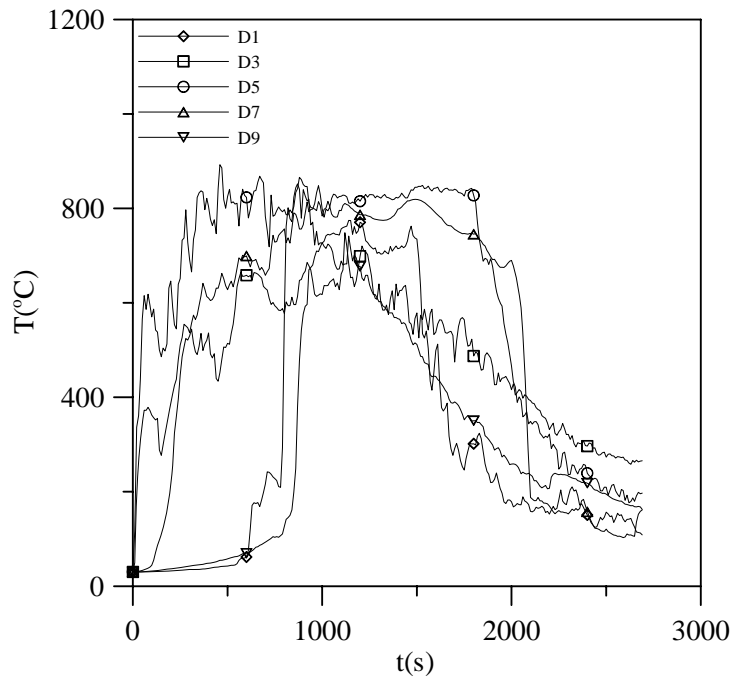


圖 8 車輛空燒實驗中駕駛座側之測溫點溫度變化圖

## 五、車輛泡沫滅火實驗

完成車輛空燒實驗建立起比對資料後，便進行泡沫應用於建築物室內停車空間之火災防護行為實驗，除藉此評估現行泡沫滅火系統對於車輛火災的防護性能外，亦作為細水霧設備火災防護之比對用。車輛配置方式及熱電偶樹之設置與前述車輛空燒實驗相同，唯框架頂部以鋼板封住，作為模擬機械式停車格上方之侷限空間條件。使用之泡沫噴灑頭為一般市售泡沫噴頭，使用之泡沫液為水成膜泡沫液（DARCON SUPER KF 3%），於實驗前事先將泡沫液調成 3.7% 濃度備置於水槽中，再以消防泵輸出，出水壓力為  $3.5\text{kg/m}^2$ 。泡沫噴頭配置乃實際參考台南 XX 百貨地下停車場機械式停車格下層空間之配置，配置方式如圖 9 所示，共使用四顆噴頭，左右各兩顆，其距離為 2m，噴頭高度位於 1.7m，垂直向下噴射。

實驗概述如後，點火後 30 秒後啟動泡沫撒水系統(圖 10(a))，啟動後隨即因為泡沫液與火焰作用以及車輛冷卻作用，使得車輛周圍產生大量黑煙與白煙，而火焰亦於點火後 60 秒由駕駛座車窗竄出。83 秒時，前擋風玻璃燒裂(圖 10(b))，而隨著裂縫成長，火焰迅速增大，但因泡沫液覆蓋住車體與後車窗，後車窗未有破損之情形產生，因此火勢侷限於中段車廂內，此時新鮮空氣僅由前車窗進入，因而為通風控制之燃燒模式，同時也延長了燃燒的時間。點火後 630 秒，中段車廂內的可燃物燃燒殆盡，而火勢轉小，但由於泡沫並無法直接經由前車窗大量進入車室內直接攻擊火源，因

此火勢未能完全熄滅。到 969 秒（約 16 分）因泡沫液準備量不足而實驗終止，最後改以消防水柱進行人工滅火。

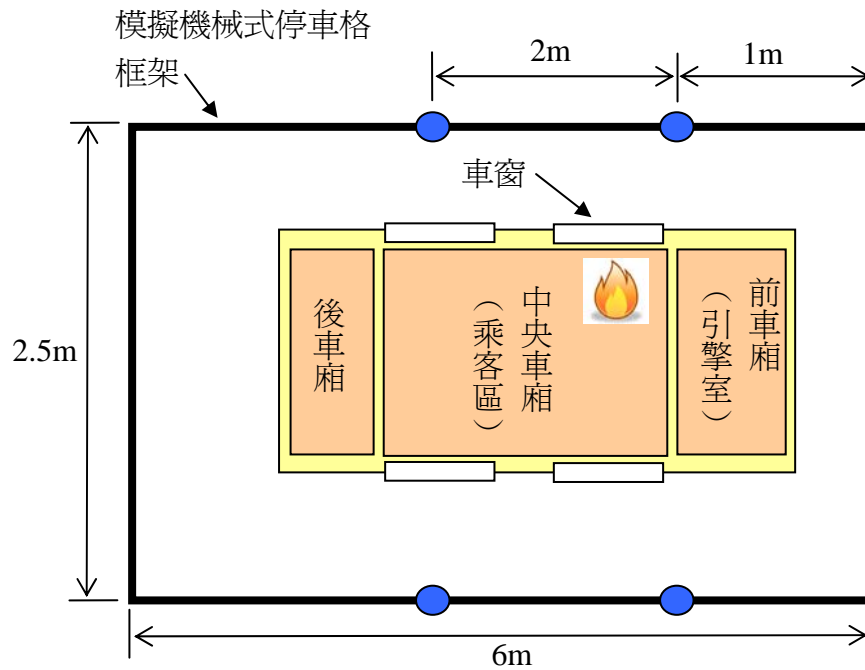


圖 9 泡沫噴頭配置位置示意圖



(a) 啟動撒水頭

(b) 前擋風玻璃破裂

圖 10 車輛泡沫滅火實驗相片

實驗之總熱量及熱釋放率如圖 11，與車輛空燒實驗相較下可發現其總熱釋放量相當低，僅 170MJ；最大熱釋放率也僅達 0.5MW 以下(氧氣消耗法)，顯示泡沫滅火系統於本案例配置中，雖無法滅火，但可有效抑制火勢成長、避免延燒。於本實驗案例中，由於泡沫在前車窗破裂前即啟動，因此泡沫液並無法進入車廂內，因此僅具火勢壓制之作用，此點可由車廂內溫度圖（圖 12）得知，泡沫啟動後，中段車廂內的溫度（D5、D7）依舊居高不下，一直到中段車廂內的可燃物燃燒殆盡

後（約 900 秒），溫度才降低。實際停車場中設置之泡沫噴頭，所噴灑泡沫液是否能於車輛火災發生時，順利進入車廂內滅火，仰賴噴頭設置位置以及啟動時機點，此點值得消防設計上進一步思考。

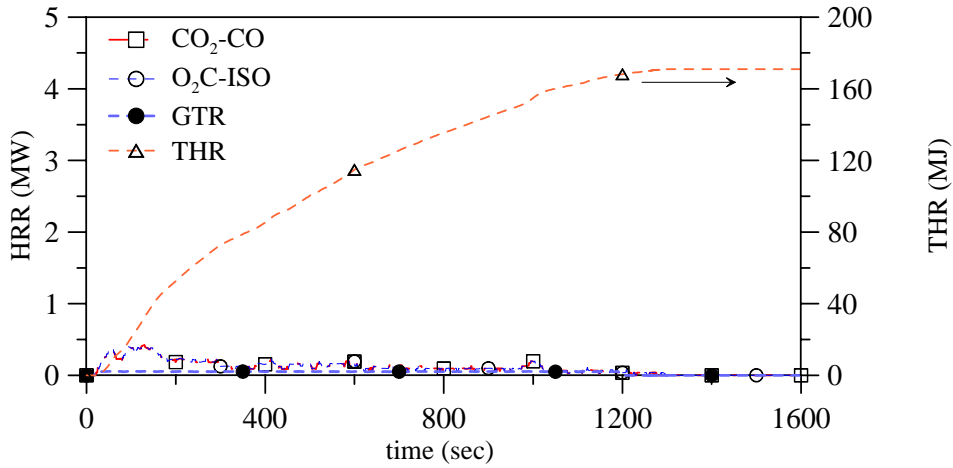


圖 11 總熱量及熱釋放率圖(車輛泡沫滅火)

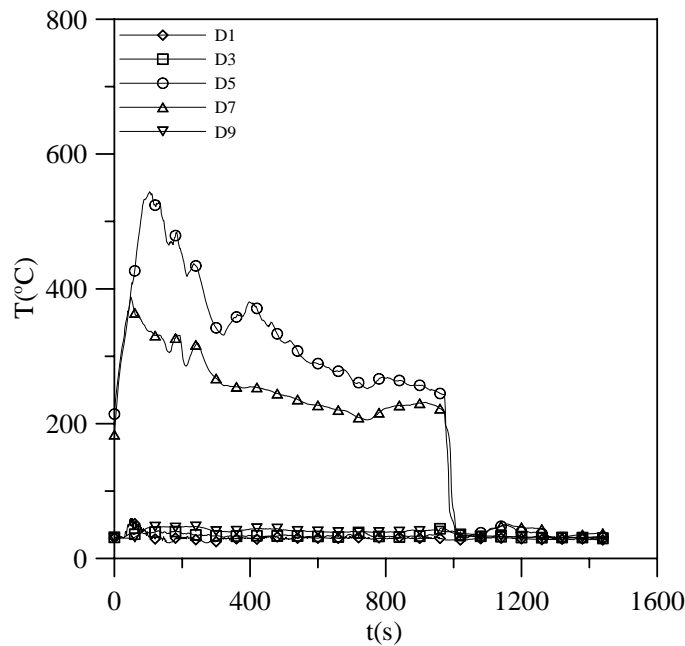


圖 12 泡沫噴灑下駕駛座側之車內測溫點

## 六、車輛細水霧滅火實驗

車輛細水霧滅火實驗部分主要是探討細水霧設備若完全參照泡沫噴頭之配置位置，是否具有泡沫系統之等效性。所採用之噴頭為 4 顆分別搭配 5 個子噴頭的建研所專利細水霧噴頭(如圖 13)，裝設位置同上述泡沫滅火實驗，為左右對稱，各裝設兩顆噴頭，噴頭間距各為 2m，向下噴射，噴

射水壓為  $60 \text{ kg/m}^2$ ，噴霧錐角約為  $75^\circ$ ，使用水泵為建研所之高壓泵，可提供穩定之水壓，配合消防水管供水下，可長時間供水，4 顆噴頭加總之噴水量約為  $40 \text{ LPM}$ 。此噴頭所產生之水霧顆粒，經由建研所 MALVERN 量測設備進行粒徑分佈量測後，得知其粒徑大小( $D_{90}$ ，90%體積累積下的對應粒徑大小)平均值為  $408 \mu\text{m}$ ，最大值為  $642 \mu\text{m}$ 。



圖 13 細水霧噴頭

細水霧啟動時間同前述泡沫滅火實驗，點火 30 秒後細水霧系統啟動(圖 14(a))。細水霧啟動後，隨即產生大量黑煙(未燃碳)與白煙(水蒸氣)。點火後 130 秒時，前擋風玻璃破裂，而在 200 秒後，不斷有火焰從前擋風玻璃破口竄出(圖 14(b))。而到 1290 秒時，引擎蓋下方有火焰冒出。此結果顯示，若以泡沫噴頭配置方式配置細水霧噴頭，則細水霧系統在抑制火勢之效果較差於泡沫系統。但此細水霧系統仍可有效制止前後車廂起火，未有全車引燃之現象，車內火焰在 1485 秒時因可燃物耗盡熄滅，1775 秒實驗結束，此時車底仍有小火，乃以消防水柱滅火。



(a) 啟動水霧



(b) 火焰竄出

圖 14 車輛水霧滅火實驗相片

實驗中熱釋放率變化及總釋放熱量如圖 15，總熱量約在 920MJ，較泡沫系統的 170MJ 高出許多，與實驗觀察發現其火勢抑制效果較差相符。而熱釋放率緩慢上升，在 400 多秒時達到最大值約 1.5MW，但僅維持 200 秒，於 600 秒時熱釋放率急降至約 0.6MW，但實驗中並無特殊發現，熱釋放率而後緩慢下降直到實驗結束。實驗中亦觀察到，細水霧作用下，由於強力的細水霧噴射會造成周圍空氣擾動，新鮮空氣將更容易進入燃燒的車室內，因此細水霧噴頭於此種配置下會反而有增加車內燃燒的現象，但由於細水霧的降溫與稀釋作用，其危害度仍較空燒狀況下來得低。

觀察車室內的溫度發現（圖 16），車內溫度較接近空燒的狀況，主要是由於細水霧水量小，於本案之配置狀況下，無法有效防護前擋風玻璃，因此在前擋風玻璃破裂後，氧氣充足，車內燃燒旺盛，加上水霧顆粒到達前擋風玻璃處會受到火焰的熱浮力往外推擠，無法進入車室內達到冷卻效果，因此燃燒溫度接近空燒狀況，最高溫發生於 D5 測點，即車室內部駕駛座頭枕位置，約 900°C。

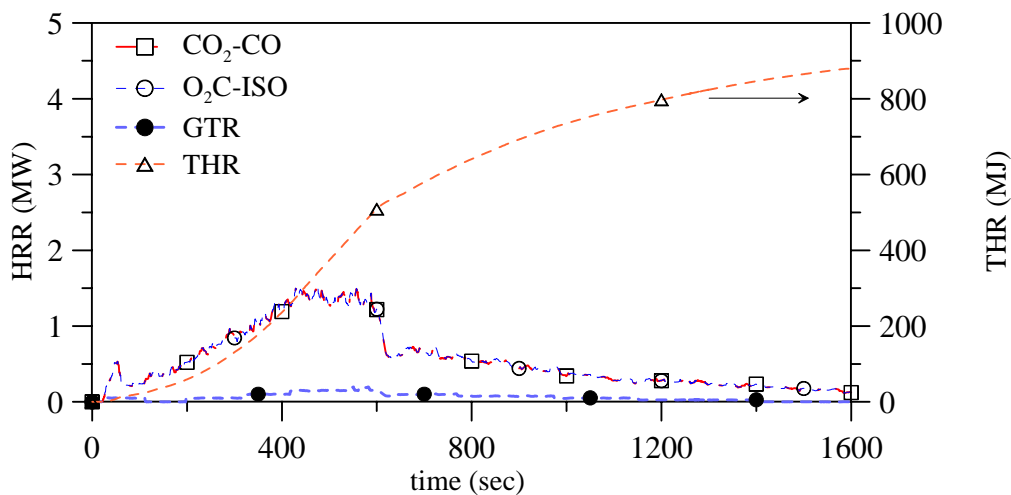


圖 15 總熱量及熱釋放率圖(車輛水霧滅火)



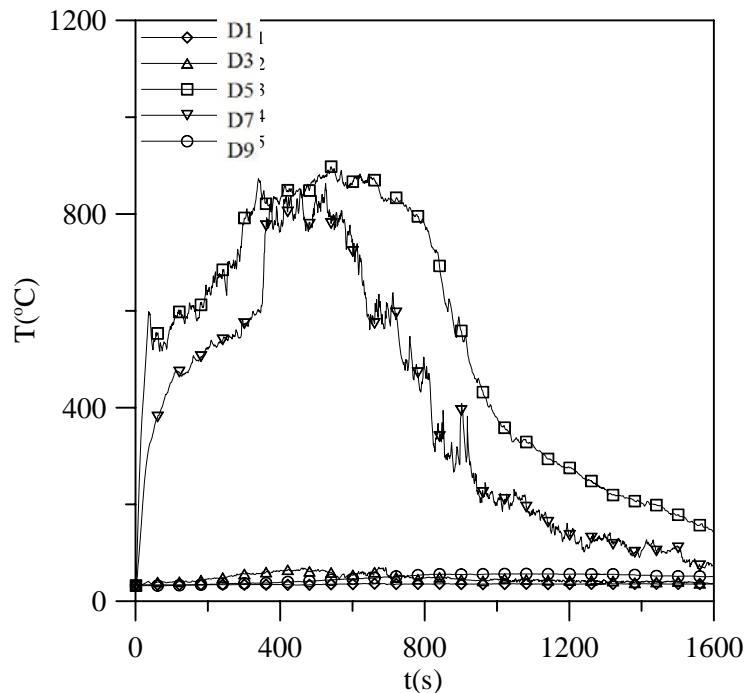


圖 16 細水霧作用下駕駛座側之測溫點溫度變化圖

## 七、結論

本研究主要以室內停車空間常見之機械式停車格作為模擬對象，於內政部建築研究所防火實驗中心建置實驗環境，進行實尺寸車輛燃燒、泡沫滅火以及細水霧滅火實驗，主要探討車輛燃燒危害性以及細水霧於室內停車空間火災防護之可行性。由本研究實驗結果可歸結出以下幾點：

1. 車輛空燒危害度極大，若無滅火系統壓制，則最大熱釋放可達 5MW，車室內溫度高達 800°C 以上。
2. 泡沫滅火實驗，係用以作為細水霧噴頭性能評估比較之用，本研究之泡沫噴頭配置在泡沫作動後可以有效抑制火勢，但因配置方式與啟動時間點，因此泡沫並無法順利進入車室內部進一步達到滅火作用。
3. 細水霧由於使用水量甚小於泡沫系統，若於空間中配置數量不足，加上室內停車空間屬於廣大的半開放空間，細水霧包覆性不佳，無法有效阻隔氧氣與降溫，因此若以泡沫系統同樣配置方式配置細水霧噴頭將無法達到火勢抑制功能，但對週邊環境有降溫效果。
4. 車室內部的火災一旦發生，需有滅火劑可以直達車內火源才有辦法滅火，因此在設計停車場用之滅火系統上應需考量車輛停放與滅火設備之相對關係。
5. 基於以上結論，後續研究方向將針對細水霧覆蓋密度以及空間洩漏度對於細水霧系統之滅火能力影響及關連性進行研究探討，以進一步確認細水霧系統之應用限制。

## 誌謝

本研究計畫承蒙內政部建築研究所鼎力支持，得以順利完成，特此申謝。

## 參考文獻

增田秀昭 (2005) 〈自動車火災を受ける構造部材の耐火設計手法〉《B R I - H 1 6 講演会テキスト》: 1-10。

Jensen, J. L. and Santrock, J. (1998) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation-and Propagation, Vehicle Crash and Fire Propagation Test Program, Docket#NHTSA-1998-3588-38, General Motors Corporation, ESV Paper Number 98-S4-O-04.

Li, Y. (2004) *Assessment of vehicle fires in New Zealand parking buildings*, Master thesis, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand.

Li, Y. and Spearpoint, M. (2007) Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand parking buildings, *Fire Technology*, Vol. 43, No.2:93-106.

Ohlemiller, T. J. and Shields, J. R. (2001) *Burning behavior of selected automotive parts from a sports coupe*, NISTIR 6313.

Okamoto, K., Watanabe, N., Hagimoto, Y., Chigira, T., Masano, R., Hitoshi, M., Satoshi, O., Satoh, H., Tamura, Y., Hayano, K., Maeda, Y., and Suzuki, J. (2009) Burning behavior of sedan passenger cars, *Fire Safety Journal*, Vol. 44, Issue 3:301-310.

Santrock, J. (2002) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 4: Propagation of an Underbody Gasoline Pool Fire in a 1996 Passenger Van, Docket#NHTSA-1998-3588-143, General Motors Corporation.

Santrock, J. (2002) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 10: Propagation of a Mid-Underbody Gasoline Pool Fire in a 1998 Sport Utility Vehicle, Docket#NHTSA-1998-3588-189, General Motors Corporation.

Santrock, J. (2003) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 13: Propagation of an Engine Compartment Fire in a 1998 Front-Wheel Drive Passenger Vehicle, Docket#NHTSA-1998-3588-203, General Motors Corporation.

Wichman, I.S. (2003) Material flammability, combustion toxicity and fire hazard in transportation, *Prog. Energy Combust. Sci.*, Vol. 29, No. 3:247-299.

## REFERENCES in English

Jensen, J. L. and Santrock, J. (1998) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation-and Propagation, Vehicle Crash and Fire Propagation Test Program, Docket#NHTSA-1998-3588-38, General Motors

- Corporation, ESV Paper Number 98-S4-O-04.
- Li, Y. (2004) *Assessment of vehicle fires in New Zealand parking buildings*, Master thesis, Department of Civil Engineering, University of Canterbury, New Zealand.
- Li, Y. and Spearpoint, M. (2007) Analysis of vehicle fire statistics in New Zealand parking buildings, *Fire Technology*, Vol. 43, No.2:93-106.
- Ohlemiller, T. J. and Shields, J. R. (2001) *Burning behavior of selected automotive parts from a sports coupe*, NISTIR 6313.
- Okamoto, K., Watanabe, N., Hagimoto, Y., Chigira, T., Masano, R., Hitoshi, M., Satoshi, O, Satoh, H., Tamura, Y., Hayano, K., Maeda, Y., and Suzuki, J. (2009) Burning behavior of sedan passenger cars, *Fire Safety Journal*, Vol. 44, Issue 3:301-310.
- Santrock, J. (2002) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 4: Propagation of an Underbody Gasoline Pool Fire in a 1996 Passenger Van, Docket#NHTSA-1998-3588-143, General Motors Corporation.
- Santrock, J. (2002) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 10: Propagation of a Mid-Underbody Gasoline Pool Fire in a 1998 Sport Utility Vehicle, Docket#NHTSA-1998-3588-189, General Motors Corporation.
- Santrock, J. (2003) Evaluation of Motor Vehicle Fire Initiation and Propagation Part 13: Propagation of an Engine Compartment Fire in a 1998 Front-Wheel Drive Passenger Vehicle, Docket#NHTSA-1998-3588-203, General Motors Corporation.
- Ta Hideakide (2005) Design methods of car structural members under car fire, *BRI-H16 Lecture Text* : 1-10.
- Wichman, I.S. (2003) Material flammability, combustion toxicity and fire hazard in transportation, *Prog. Energy Combust. Sci.*, Vol. 29, No. 3:247-299.