

## 自動撒水設備對機車火災防護效果之實驗研究

張尙文\* 林慶元\*\* 王鵬智\*\*\* 陳建忠\*\*\*\* 蕭邦安\*\*\*\*\*

**關鍵詞：**機車火災，自動撒水設備、熱釋放率

### 摘要

停放於建築物周遭的機車火災往往波及建築物造成重大傷亡損失，本研究以全尺寸燃燒實驗針對有無設置自動撒水設備對機車火災的影響進行探討。利用熱釋放率及平均火焰高度的量測，及火焰高度與熱釋放率的關係分析，並透過機車火災成長及機車間延燒行為觀察，結果發現本實驗之自動撒水設備能夠有效抑制機車火災的成長及延燒；1 輛機車燃燒於火盛期的熱釋放率可達 1 MW，而自動撒水設備可將其控制到 0.03 MW 以下，3 輛以上機車燃燒於火盛期的熱釋放率可達 4 MW 以上，而自動撒水設備可在進入火盛期前作動而可將其控制到 0.3 MW 以下。

### Experimental Studies on Fire Suppression Effectiveness of Sprinkler in Motorcycle Fires

Shang-Wen Chang\* Ching-Yuan Lin\*\* Peng-Chin Wang\*\*\* Chien-Jung Chen\*\*\*\* Pang-An Hsiao\*\*\*\*\*

**KEYWORDS:** motorcycle fires, sprinkler, heat release rate

### ABSTRACT

Fire spread from motorcycles to the neighboring buildings always results in fatal deaths, injuries and losses. This study conducted full-scale burning experiments to access the behavior of motorcycle fires under the conditions with and without the automatic sprinkler equipment. It was observed that the spread and growth of motorcycle fires were effectively suppressed with the sprinkler activated by measuring the heat release rates and the average flame heights. The activation of the automatic sprinkler system can reduce the heat release rate in fully developed period from 1 MW to 0.03 MW for single motorcycle fire, and 4 MW to 0.3 MW for multiple motorcycles fire.

---

\*台灣科技大學建築系博士生 / 內政部建築研究所助理研究員

Ph.D. Student, Dept. Graduated School of Architecture, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan. / Assistant Researcher, Architecture and Building Research Institute

\*\*台灣科技大學建築系教授

Professor, Dept. Graduated School of Architecture, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan

\*\*\*台灣科技大學建築系博士候選人 / 內政部建築研究所研究員

Ph.D. Candidate, Dept. Graduated School of Architecture, National Taiwan University of Science and Technology, Taiwan / Associate Researcher, Architecture and Building Research Institute

\*\*\*\*內政部建築研究所組長

Director, Architecture and Building Research Institute, Taiwan

\*\*\*\*\*興國管理學院工業工程管理學系助理教授

Assistant Professor, Dept. of Industrial Engineering & Management, Hsing-Kuo University, Taiwan

2005 年 8 月 18 日受稿，2006 年 5 月 2 日通過

## 一、研究緣起與目的

機車是台灣最常使用的交通工具之一，依據消防署統計資料顯示，民國 86 年至今的縱火案件中以汽機車為對象者最多，又機車停放於騎樓與建築物周邊的情形相當普遍，機車火災有波及建築物之虞。民國 92 年 9 月 1 日蘆洲大藟市社區一樓穿堂之機車火災，造成 14 人死亡 70 人輕重傷，2 棟 8 層樓公寓毀損，再次顯示機車火災引發建築火災的高危險性及嚴重性。目前建築物室內停車場已經有滅火設備相關規定，建築物騎樓及周邊則無。因此本研究針對既有建築物周邊與騎樓的機車火災防制進行研究，如擬在該處所加裝滅火設備，以水系統最為簡便，並可以既有水塔為重力水箱為水源而無須另設動力設備，故本研究嘗試探討水系統能否應用於機車火災防護，並討論其防護效果。

陳建忠等人（2004）彙整相關資料後發現，機車可燃的塑膠材料大多為 PP、ABS 及 PU 等高分子材料，燃燒成長快且發熱量大。Ching-Yung Lin(2000)進行機車燃燒研究指出，火焰中心的溫度可達 850°C 以上。林大惠（2004）進行全尺寸機車燃燒實驗，以燃氣分析儀進行熱釋放率分析，求得 1 輛機車的火載量約為 528.6MJ。本研究以全尺寸機車燃燒實驗，比較有、無撒水防護下，燃燒延燒、火焰高度及熱釋放率的變化情形，分析自動撒水設備對於機車火災防護效果。

## 二、實驗規劃與分析方法

### 2-1 實驗規劃

本研究在內政部建築研究所台南防火實驗室，進行無撒水防護下於 1 輛、2 輛、3 輛機車，及有撒水防護下 1 輛、5 輛實體機車燃燒實驗。

實驗於室內進行並控制在無風且自由燃燒的狀態。實驗將機車安置於長 6m，寬 6m 的實驗平台幾何中心位置，利用燃氣分析儀量測機車燃燒的生成氣體，藉以分析熱釋放率，為了完整收集煙氣而將實驗平台升高到燃氣分析儀的集煙罩底緣下方 4m 處。平台角落安排 4m 高之大型刻度標尺，正面及側面安排攝影機記錄火焰高度與延燒等燃燒行為，實驗裝置如圖 1 所示。利用直徑 35cm 的鋼盆裝載 200cc 的 92 無鉛汽油為引燃火源，置於實驗平台上，機車的平面幾何中心位置下方，如圖 2 所示。此外，為了避免爆炸危險，本次實驗機車油箱內並無汽油。

進行有撒水防護的實驗時，仍依上述實驗安排，並以機車為防護中心，在平台上方 3.5m 高處增設 4 個密閉式撒水頭圍成一個正方形，撒水頭防護半徑以 2.1m 設計，撒水頭的距離為 297cm，其防護範圍與機車的關係如圖 3 所示。機車火災成長快速，故本研究採用靈敏度較高的密閉式撒水頭，其上標示符合 CNS 規定，標示溫度 68°C，型號 CD15A。連接撒水頭處配管為 15mm，送水幫浦之壓力調整在撒水頭出水口壓力為 1kg/cm<sup>2</sup> 以上。

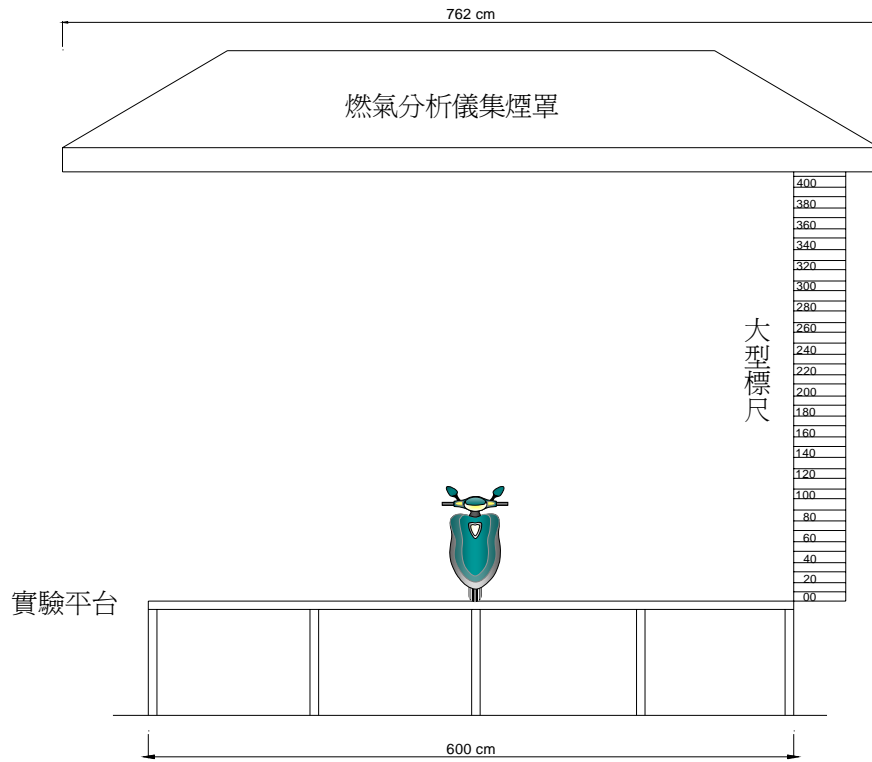


圖 1 機車燃燒實驗裝置圖

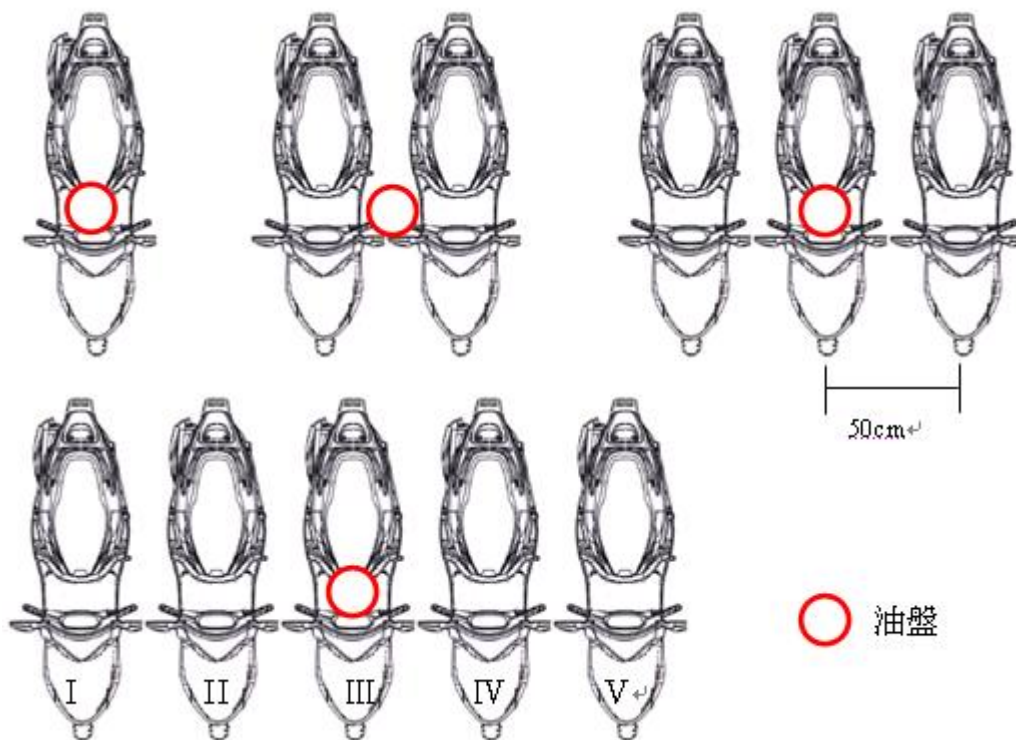


圖 2 機車與油盤位置示意圖

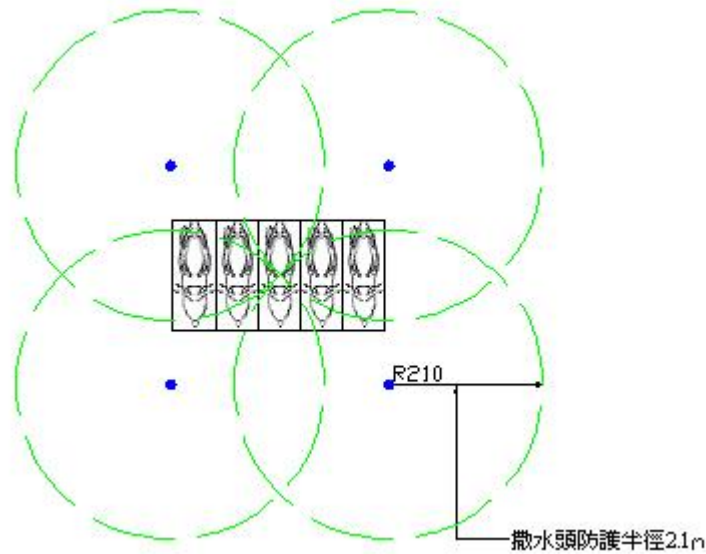


圖 3 撒水頭防護範圍與機車關係圖

## 2-2 分析方法

1、2、3 輛機車實驗，可利用燃氣分析儀量測機車燃燒所生成的 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 濃度，並以「耗氧法」來分析熱釋放率，配合火焰高度歷時紀錄可建立熱釋放率與火焰高度的關係式。5 輛機車實驗有超過設備容量而損害設備之虞，則以觀察到的火焰高度以及前述關係式來推算熱釋放率。

### 1. 利用耗氧法分析熱釋放率

設定燃氣分析儀每秒截取一次 CO、CO<sub>2</sub>、O<sub>2</sub> 的濃度，可依據 Janssens (1991) 之研究，利用燃燒時消耗的氧來求得熱釋放率。如下式所示：

$$Q = (\Delta H_C)_{O_2} \phi \frac{m_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} \frac{M_{O_2}}{M_{air}} (1 - \chi_{H_2O}^0) \chi_{O_2}^0 \quad (1)$$

$$\phi = \frac{\chi_{O_2}^0 (1 - \chi_{CO_2} - \chi_{CO}) - \chi_{O_2} (1 - \chi_{CO_2}^0)}{\chi_{O_2}^0 (1 - \chi_{O_2} - \chi_{CO_2} - \chi_{CO})} \quad (2)$$

其中：Q 為熱釋放率。m<sub>e</sub> 為燃氣分析儀量測管內之質量流率。M<sub>i</sub> 為 i 氣體之分子量。χ<sub>i</sub> 為 i 氣體流經燃氣分析儀所測得的莫爾分率。χ<sub>i</sub><sup>0</sup> 為 i 氣體於試驗前經分析儀所測得的莫爾分率。α 為膨脹係數，α = 1.05。φ 為氧消耗係數。(ΔH<sub>C</sub>)<sub>O<sub>2</sub></sub> 為可燃物完全燃燒時，消耗每公斤氧所釋放的熱量。

### 2. 建立火焰高度與熱釋放率關係式

依據川越邦雄等人 (1989) 彙整相關研究結果指出，自由狀態燃燒不論可燃物種類，火焰高度、火源面積與熱釋放率之間有一定的關係，長方形火源之關係式如 (3) 式及 (4) 式所示。而上杉英樹等人 (2002) 則提到，長方形火源的長寬比介於 1 至 10 之間。

$$\frac{L_f}{A} = r \cdot (Q_{mod}^*)^n \quad (3)$$

$$Q_{\text{mod}}^* = \frac{Q}{\rho \cdot c_p \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot \beta \cdot T \cdot A^{\frac{3}{2}} \cdot B} \quad (4)$$

其中： $L_f$  為火焰高度 (m)。A 為火源短邊寬度 (m)。B 為火源長邊長度 (m)。Q 為熱釋放率 (KW)。 $Q_{\text{mod}}^*$  為無因次熱釋放率。 $\rho$  為空氣比重。 $c_p$  為空氣比熱。 $g$  為重力加速度。 $\beta$  為體積膨脹係數。 $T$  為絕對溫度。 $r$ 、 $n$  為常數 (無因次熱釋放率係數, 有待實驗回歸分析求取)。

前述  $r$  及  $n$  之值必須藉由實驗回歸求取。回歸所需的熱釋放率以燃氣分析儀及耗氧法分析求取, 火源面積相當於機車燃燒範圍, 火源高度可利用攝影機錄攝機車燃燒歷程影片後, 以軟體擷取影片 (每秒擷取一張) 成為連續圖片 (JPG) 檔案, 比對圖片上的火焰高度與標尺上的刻度, 即可得到火焰高度的歷時紀錄。

### 三、實驗觀察與分析

#### 3-1 燃燒成長記錄與討論

##### 1. 無撒水防護下 1 輛機車的延燒狀況

為了便於描述機車於實驗當中的延燒過程, 將機車分成 A、B、C、D、E、F 等六大區塊, 如圖 4 所示。

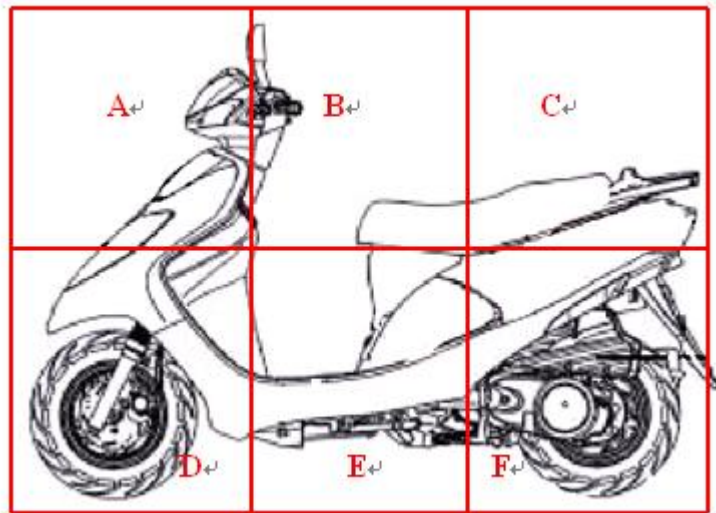


圖 4 機車延燒區塊示意圖

油盤點火後立即引燃 E 區, 40 秒延燒到 B 區, 60 秒時延燒到 A 區, 80 秒時延燒到 C 區及 D 區, 240 秒時延燒到 F 區並於 340 秒時 F 區完全引燃, 如圖 5 所示, 直到 900 秒實驗結束。最大火焰高度為 3.9m。

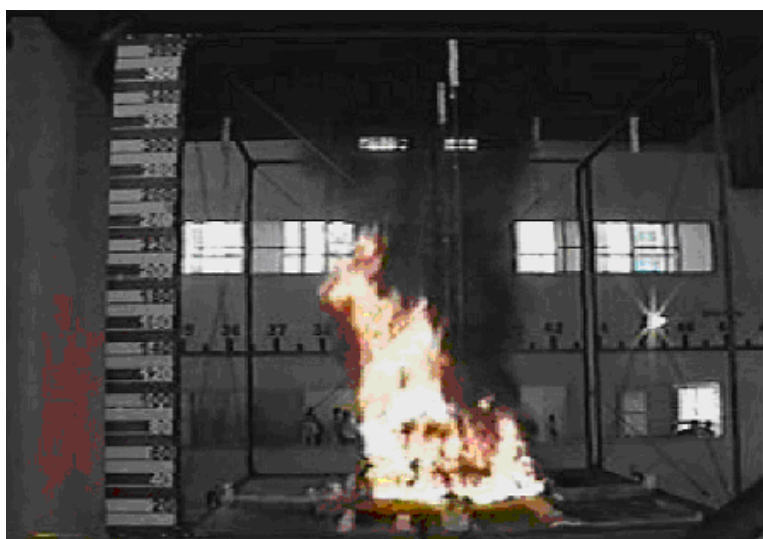


圖 5 1 輛機車機車燃燒情形

#### 2.無撒水防護下 2 輛機車的延燒狀況

由正面觀察，油盤點火後 2 輛機車均著火，43 秒時延燒 1.5 輛機車寬度，83 秒時火焰延燒 2 輛機車寬度。由側面觀察，油盤點火後立即引燃 E 區，20 秒時延燒到 B 區，30 秒時延燒到 A 區，60 秒時延燒到 D 區，90 秒時延燒到 C 區，170 秒時延燒到（機車外側）F 區並於 260 秒時 F 區完全引燃，直到 900 秒實驗結束。最大火焰高度約為 4.25m。

#### 3.無撒水防護下 3 輛機車的延燒狀況

由正面觀察，油盤點火後中央機車引燃，70 秒時延燒到左右二側的機車其火焰寬約為 1.2 輛機車寬度，110 秒時火焰延燒 3 輛機車寬度，如圖 6。由側面觀察，油盤點火後立即引燃 E 區，40 秒時延燒到 A 區，53 秒時延燒到 B 區，78 秒時延燒到 D 區，87 秒時延燒到 C 區，236 秒時（外側機車之外側）F 區引燃並於 298 秒時完全引燃，直到 900 秒實驗結束。最大火焰高度約為 4.65m。

#### 4.有撒水防護下 1 輛機車的延燒狀況



圖 6 3 輛機車燃燒情形

油盤點火後立即引燃 E 區，16 秒時延燒到 B 區，56 秒時延燒到 A 區及到 C 區，66 秒時延燒到 D 區以及 F 區，91 秒時，火焰高度達到最高 2.25m。96 至 107 秒間 4 顆撒水頭分別作動，產生大量的白煙與黑煙無法正確觀測火焰高度，但可看出火勢逐漸受到壓制，116 秒時 D 區及 F 區火焰熄滅，121 秒時 C 區火焰熄滅，123 秒時 A 區火焰熄滅，其後的一段時間 B 區及 E 區的火焰在 85cm 以下持續燃燒而 A、C、D、F 區則有零星小火焰冒出，216 秒時 B 區火焰熄滅，E 區火焰因機車形狀遮蔽致未受水直接攻擊而持續燃燒直到 703 秒火焰熄滅，實驗結束。

#### 5. 有撒水防護下 5 輛機車的延燒狀況

機車之編號自左而右分別為 I、II、III、IV、V，引燃油盤擺放位置在 III 號機車腳踏板下方如圖 2 所示。由正面觀察，點火後 III 號車下半部被引燃，12 秒時延燒到上半部，41 秒時延燒到 IV 號機車，43 秒延燒到 II 號車而此時火焰寬度約 1.2 輛機車，82 秒時第 1 顆撒水頭作動而此時 II、III 號車已經全部引燃、IV 號車下半部引燃刻正延燒到上半部而此時火焰寬度約 3 輛機車，92 秒時延燒到 IV 號機車上半部而此時火焰寬度仍約 3 輛機車並未擴大延燒，82 秒至 101 秒之間其他撒水頭陸續作動瞬間產生大量黑煙與白煙無法正確觀測火焰高度，但可觀測火焰並非立即減小而是撒水持續一段時間後才逐漸受到控制，216 到 217 秒間 II 號車及 IV 號車上半部火焰熄滅，256 秒時 II 號車下半部火焰熄滅，自 256 到 540 秒間 III、IV 號車的火焰被控制在 1.2m 以下持續燃燒並無消滅之現象，540 秒 III 號機車兩側之 F 區發生復燃現象，671 秒時出現復燃最大火焰高度 2.83m 以後火焰逐漸變小，840 秒以後火焰高度控制在 1.2m 以下，985 秒實驗結束。自實驗開始至實驗結束時火焰均未延燒至 I 及 V 號機車。最大火焰高度 3.5m。

由以上實驗觀察可知：

- (1) 無撒水防護下 1 輛機車燃燒，自點火後火焰高度快速成長，103 秒時發生最大火焰高度 3.9m，可見機車火災非常迅速猛烈以致於救災的反應時間極短，3.9m 的火焰高度已經超過一般建築物高度 3m，因此停放在建築物周邊的機車火災有向 2 樓延燒之虞。
- (2) 無撒水防護下 2 輛與 3 輛機車燃燒，燃燒區域比 1 輛機車更大，燃燒火焰最大高度分別為 4.25m 及 4.65m 高於 1 輛機車之最大火焰高度，危險性更甚於 1 輛機車之情形。
- (3) 由燃燒成長觀察，撒水可以有效撲滅直接噴淋處之火焰並阻止火焰延燒，但是 1 輛機車的腳踏板以及多輛機車的間隙等部位，水無法直接噴淋而形成防護死角，可能是水系統無法完全撲滅機車火災而僅能抑制機車火災的主因。
- (4) 由撒水防護下 5 輛機車的燃燒實驗發現，撒水設備作動後可有效阻止機車火災的延燒並將火勢侷限在 3 輛機車，並未延燒至最外邊的 I 號、V 號機車，因此即使於 I 號、V 號機車外側並排增加機車的數量，理論上亦不會延燒，故該實驗結果可以代表撒水防護下並排多輛機車火災成長的情形。

### 3-2 實驗分析與討論

#### 1. 機車火災成長行為分析

將無撒水防護下的 1 輛、2 輛及 3 輛機車燃燒的熱釋放率繪製如圖 7 所示，將成長期的熱釋放

率繪製如圖 8 所示，可以發現：

- (1) 機車火災與一般火災成長模式相似，可區分為成長期、火盛期與衰退期三階段。
- (2) 無論 1 輛、2 輛或 3 輛機車燃燒，成長期均以 t-square 火災模式成長，其成長曲線接近  $Q = \Omega \cdot t^2$ ，經回歸分析其中的  $\Omega$  值 ( $MW/s^2$ )，1 輛機車  $\Omega \approx 0.00020$ ，2 輛機車  $\Omega \approx 0.00019$ ，3 輛機車  $\Omega \approx 0.00018$ ，平均  $\Omega \approx 0.00019$ ，屬於極快 (Ultra Fast) 成長型燃燒 (陳建忠等人，2004)。
- (3) 在火盛期階段，1 輛、2 輛、3 輛機車的熱釋放率分別約為 1 MW、2 MW、4 MW，最大熱釋放率分別為 1.16 MW、2.8 MW、5.4 MW，可見機車數量愈多熱釋放率愈大，機車火災的危險度也愈大。

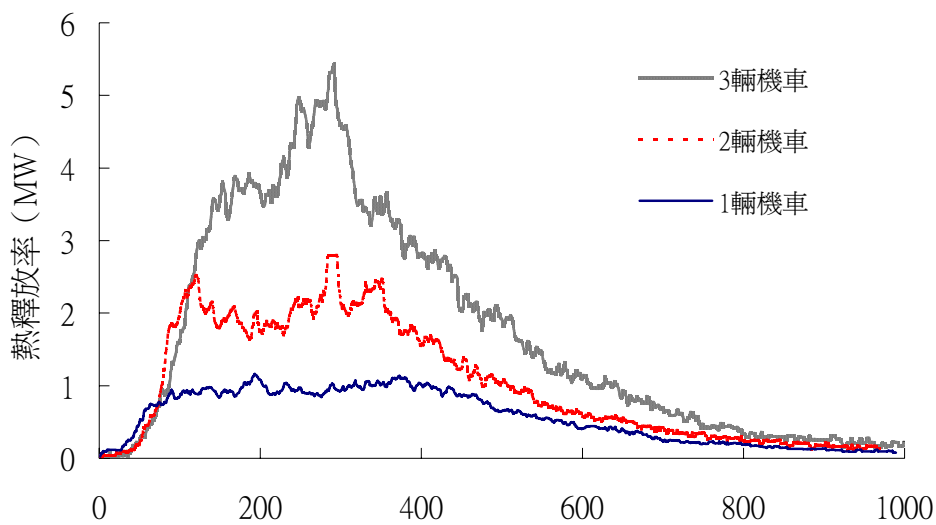


圖 7 無撒水情形下 1、2、3 輛機車火災成長圖

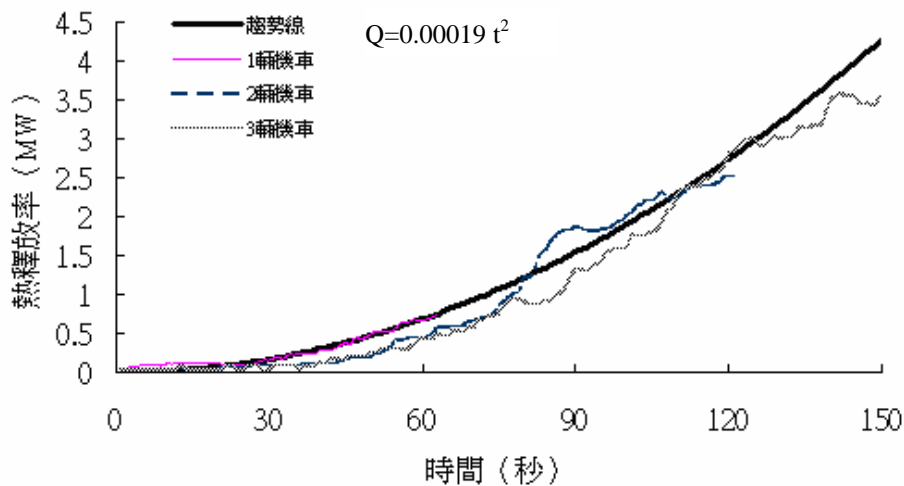


圖 8 成長期的火災成長圖



## 2. 撒水對 1 輛機車的防護效果

將 1 輛機車在有無撒水防護下的熱釋放率繪製如圖 9 所示，火焰高度繪製如圖 10 所示，可以發現：

- (1) 1 輛機車火災在無撒水防護時的火盛期的熱釋放率約為 1 MW，在撒水防護下，撒水設備在火災成長期作動使機車火災在進入火盛期前即受到抑制，在 89 秒時發生最大熱釋放率 0.53 MW，140 秒以後更控制在 0.03 MW 以下，可見撒水可抑制機車火災的火勢成長。
- (2) 無防護時的火焰高度可達 3.9m，而在撒水防護下由於撒水設備作動，在 77 秒時最大火焰高度 2.25m，118 秒以後更控制在 0.9m 以下，可見撒水可抑制機車火災的火焰成長。

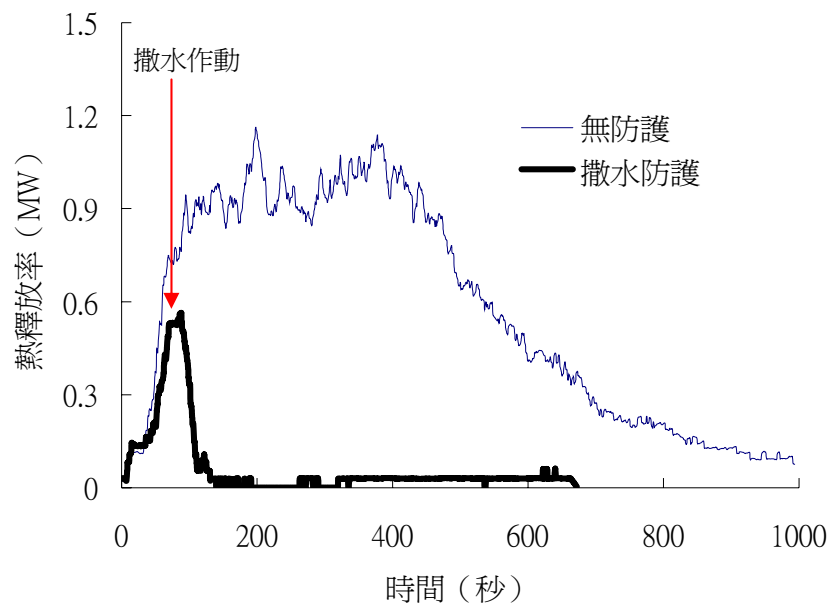


圖 9 1 輛機車燃燒熱釋放率圖

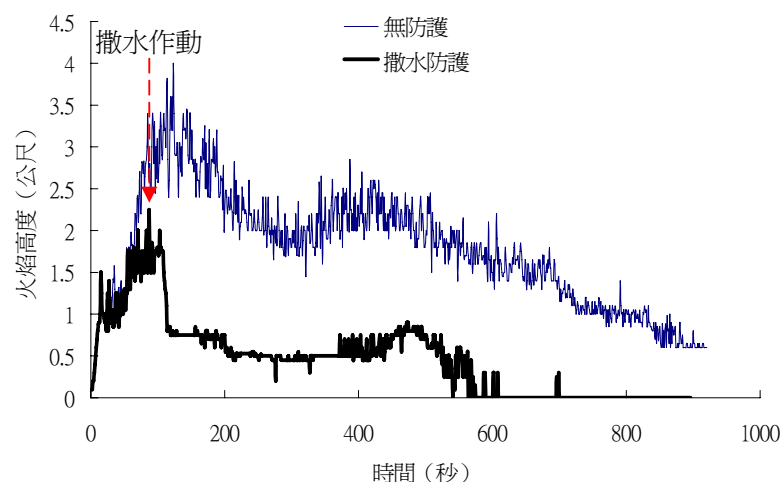


圖 10 1 輛機車燃燒火焰高度圖

### 3. 熱釋放率與火焰高度關係式

以秒為單位擷取 1 輛、2 輛及 3 輛機車燃燒過程的熱釋放率  $Q$  以及火焰高度  $L_f$ ，1 輛機車時火源長寬分別為 1.5m、0.5m，2 輛機車時火源長寬分別為 1.5m、1m，3 輛機車時火源長寬分別為 1.5m、1.5m。在一大氣壓常溫下  $\rho \cdot c_p \cdot g^{\frac{1}{2}} \cdot \beta \cdot T \cong 1116$ 。前述資料代入 (4) 式及 (3) 式，令 (3) 式的  $\frac{L_f}{A}$  為縱軸， $Q_{\text{mod}}^*$  為橫軸，採取對數座標，將實驗結果繪製如圖 11 所示。經回歸分析求得  $n = 0.5291 \cong 0.53$ ， $r = 2.716 \cong 2.72$ ，代入 (3) 式及 (4) 式可建立火焰高度與熱釋放量關係式為：

$$\frac{L_f}{A} = 2.72 \cdot \left( \frac{Q}{1116 \cdot A^{\frac{3}{2}} \cdot B} \right)^{0.53} \quad (5a)$$

$$\text{即 } Q = 168.4 \cdot A^{-0.39} \cdot B \cdot L_f^{1.89} \quad (5b)$$

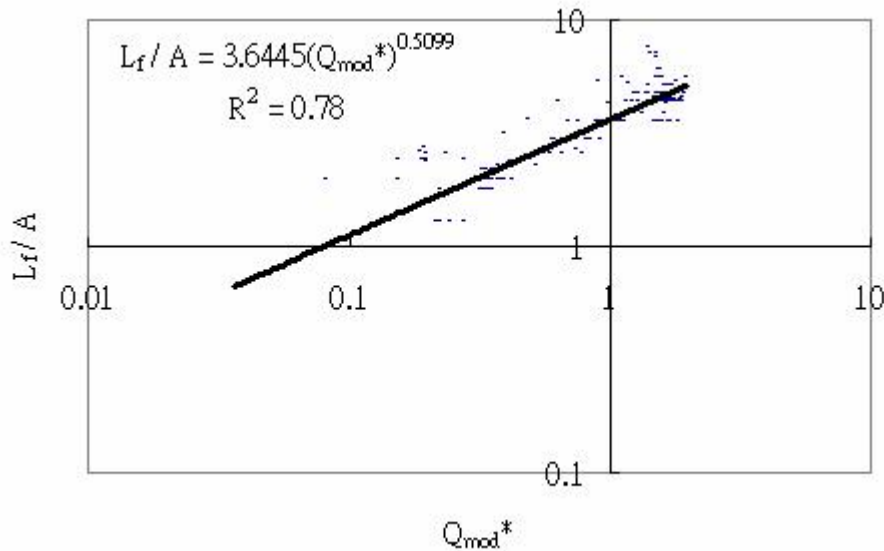


圖 11 熱釋放率與火焰高度對數分析圖

### 4. 撒水對多輛並排機車的防護效果

由前述有撒水防護下 5 輛機車的延燒狀況實驗觀察發現，延燒範圍僅達 3 輛機車，本研究火焰高度與熱釋放率關係式係以 1、2、3 輛實驗之數據進行回歸分析，以能量觀點而言並無外插之情形，應可適用於本研究實驗之熱釋放率之推算。又撒水防護下 5 輛機車燃燒之火源長、寬應修正為 3 輛機車燃燒之火源長度 1.5m、寬度 1.5m。將有撒水防護下的 5 輛機車與無撒水防護下 3 輛機車的熱釋放率繪製如圖 12 所示，可以發現：

- (1) 無防護下的 3 輛機車成長期於 150 秒時約可達 4 MW 左右並進入火盛期，而有撒水防護時，撒水在機車火災的成長期作動後抑制了火勢的成長，在 96 秒時發生最大熱釋放率 2.3 MW，230 秒以後並將熱釋放率控制在 0.3 MW 以下維持相當長一段時間，可見

用撒水來抑制機車火災，在多輛機車的情形亦相當有效。

- (2) 撒水防護下多輛機車實驗中，540 秒以後發生蓄水槽水量不足致撒水量不足，乃至於 III 號機車 F 區發生復燃現象，以致於實驗後期在 656 秒時發生最大熱釋放率 0.58 MW，可知以撒水來防護機車火災時，仍須有足夠之水源維持到滅火救援行動之時或者是可燃物燃燒殆盡之時。

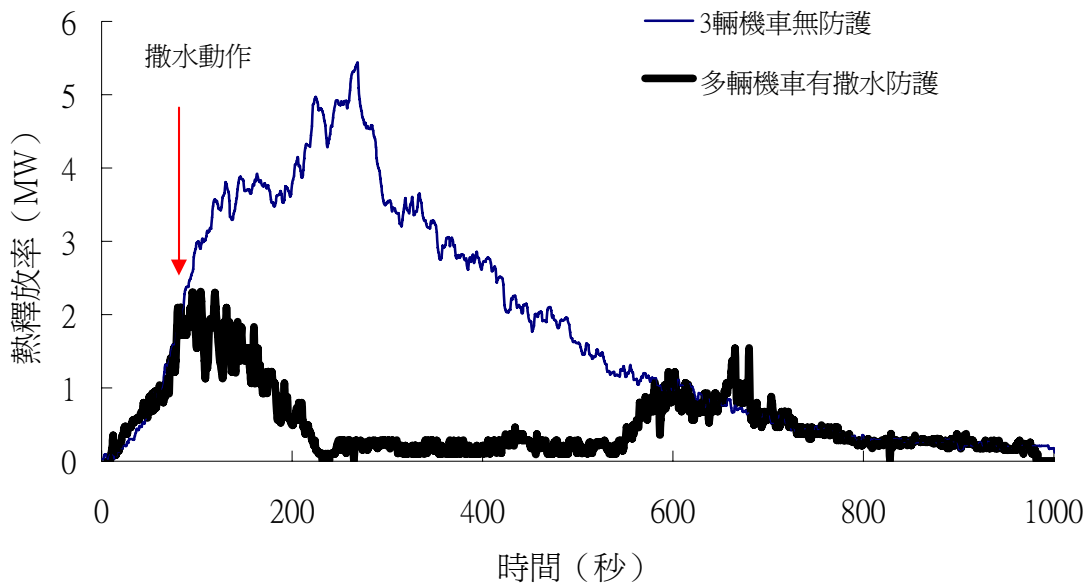


圖 12 多輛機車燃燒熱釋放率圖

#### 四、結論

1. 機車火災與一般火災成長模式相似，可區分為成長期、火盛期與衰退期三階段。成長期的火災成長循 t-square 模式其成長曲線接近接近  $Q = \Omega \cdot t^2$ ，其中的  $\Omega \approx 0.00019(\text{MW} / \text{s}^2)$ 。火盛期 1 輛、2 輛、3 輛機車的熱釋放率分別約為 1 MW、2 MW、4MW。
2. 無防護時的機車數量愈多熱釋放率愈大，機車火災的危險度也愈大。目前撒水設備的防護有能力將多輛並排機車的延燒範圍控制在 3 輛以內。
3. 在本研究的實驗條件下，自動撒水設備可以有效抑制多輛機車火災火勢的成長與側向的延燒，1 輛機車燃燒火盛期熱釋放率約為 1 MW 而有撒水防護則可控制在 0.03 MW 以下，3 輛以上機車燃燒火盛期熱釋放率約可達 4 MW 以上而有撒水防護則可控制在 0.3 MW 以下。
4. 在本研究的實驗條件下，自動撒水設備可以撲滅直接噴淋處的火焰，但無法撲滅機車的腳踏版、多輛機車的間隙等水無法直接噴淋處的防護死角，可能是水系統無法完全撲滅機車火災僅能抑制機車火災的主因。故建議增加噴頭的密度減少防護死角，直接撲滅機車火災；或者是配合消防救援時間來設計足夠的水量抑制機車火災。

## 致謝

感謝內政部建築研究所及其 93 年研究案「建築物附設機車停車空間有關防火安全規定之研究」提供本研究之參考資料。

## 參考文獻

1. 陳建忠、林慶元，2004，〈建築物附設機車停車空間有關防火安全規定之研究〉，pp.1-3，內政部建築研究所，台灣。
2. Lin, C.Y., 2000, "The Burning Behavior of Motorcycle," *Journal of The Chinese Institute of Engineerers*, Vol.23, No.1, pp.9-18, Taiwan.
3. 林大惠，2004，〈建築空間火災特性之分析與印證—住宅單元之實尺寸火災特性分析〉，pp.52-53，內政部建築研究所，台灣。
4. Janssens, M., 1991, "Measuring Rate of Heat Release by Oxygen Consumption," *Fire Technology*, Vol. 27, pp.234-249.
5. 川越邦雄等，日本建築學會，1989，〈建築物の總和防火設計法-第 2 卷 出火擴大防止設計法〉，pp.54，日本建築學會編，日本建築中心出版，日本。
6. 上杉英樹、大宮喜文等，日本建築學會，2002，〈火災と建築〉，pp.88-89，日本建築學會編，共立出版株式會社出版，日本。
7. 陳建忠、王榮進、林慶元等，2004，〈建築物防火避難安全性能驗證技術手冊〉，pp.15-16，內政部建築研究所，台北。

## REFERENCES in English

1. Chen, C.J., Lin, C.Y., 2004, "A Study for the Rules about Fire Safety in Motorcycles Parking Space in Building," pp.1-3, Architecture and Building Research Institute, Taiwan.
2. Lin, C.Y., 2000, "The Burning Behavior of Motorcycle," *Journal of The Chinese Institute of Engineerers*, Vol.23, No.1, pp.9-18, Taiwan.
3. Lin, T.H., 2004, "Analysis of the space fire characteristic of the building and confirmation - the real size fire characteristic analysis of the housing unit," pp.52-53 Architecture and Building Research Institute, Taiwan.
4. Janssens, M., 1991, "Measuring Rate of Heat Release by Oxygen Consumption," *Fire Technology*, Vol. 27, pp.234-249.
5. Kawakoa, 1989, *Total Building Fire Design Method -Vol.2 Fire Spread Control Method*, pp.54, Architecture Institute of Japan, Architecture Associate of Japan, Japan.
6. Waisuki, Omiya, 2002, "Fire and Building," pp.88-89, Architecture Institute of Japan, Kyoritsu CO., Japan.
7. Chen, C.J., Wang, R.J., Lin, C.Y., 2004, *Handbook of Verification Method for Building Fire Egress Safety*, pp.15-16, Architecture and Building Research Institute, Taipei.