

主 講 人 簡 歷

姓 名：林慶元

職 稱：教授

單 位：國立台灣科技大學建築系暨研究所

地 址：台北市基隆路四段 43 號

電 話：02-27376584

傳 真：02-27376721

學 歷：成功大學碩士，日本東京大學博士

經 歷：國立台灣科技大學教授兼主任、中華民國建築學會委員、中正理工學院講師

主要著作：

- 騎樓及其延續建築正面之火災安全設計研究（一～三）（主持人）
- 都市大規模地震後火災行為之研究（主持人）
- 火災安全、永續建築、再生構法相關著作及報告一百餘篇，名稱從略。

建築物附設機車停車空間有關防火安全規定之研究

陳建忠* 林慶元**

摘要

機車是台灣地區最常使用之交通工具。由交通部統計資料得知，截至民國九十二年四月底止，登記有案之機車數量為 12,051,546 輛。由此可知，台灣地區平均每兩人就擁有一輛機車，且經由本研究實地抽樣調查台北市機車放置在建築物周遭之情況，發現機車大多緊臨建築物放置。再者，藉由訪查機車製造廠商得知，機車外部構造（包括車殼與座墊）所使用之材料大多為高分子材料，（如 PP、PMMA、ABS 及 PU）。因此，當用火不慎或者發生人為刻意縱火而引發機車火災時，機車火災經常會波及到鄰近建築物，進而造成人員傷亡及財物之重大損失。因此，當享受機車帶給人們快速及方便之餘，理應思考如何使都市設計、建築設施與消防設備等相關技術與法令更加完備。並應思考如何藉由建築物之火災安全設計，來加強建築物之防火能力。

本研究藉由一輛、兩輛及三輛實體機車於自由空間狀態之燃燒試驗得知，機車燃燒最大火焰高度依序為 390 cm、425 cm 及 465 cm。利用 10MW 之燃氣分析儀測定機車燃燒之熱釋放率得知，一輛、二輛及三輛機車燃燒之最大熱釋放率依序為 1.16 MW、2.51 MW 及 5.44 MW。機車燃燒於成長期均呈現 t^2 之火災模式，成長係數平均值為 0.00019 MW/sec²。隨後進入高峰期，機車燃燒之平均熱釋放率依序為 1.0 MW、2.0 MW 及 4.0 MW。最後進入衰退期，各次燃燒均呈現 e^{-t} 之火災模式。機車燃燒之整體火場溫度，均呈現常態分布模式，且以火焰中心軸離地面 100 cm 之溫度最高。

*內政部建築研究所組長

**國立台灣科技大學建築系教授

壹、緒論

一、研究動機及目的

機車是台灣最常使用之交通工具，平均約兩人有一輛機車。藉由訪查得知，機車所使用之塑膠材料大多為 PP、ABS 及 PU 等高分子材料，燃燒成長快且發熱量大。機車火災常波及建築物，造成重大人員傷亡及財物損失，為謀求對策有必要對機車燃燒特性加以研究。

民國九十二年九月一日，台灣蘆洲大囍市社區一樓穿堂之機車火災，造成 14 人死亡 70 人輕重傷，兩棟八層樓公寓毀損，再次顯示機車火災的高危險性。

二、研究內容

機車構成材料重量百分比如圖 1 所示[1]，其中塑膠材料僅佔 16%，但對火災安全最具威脅。

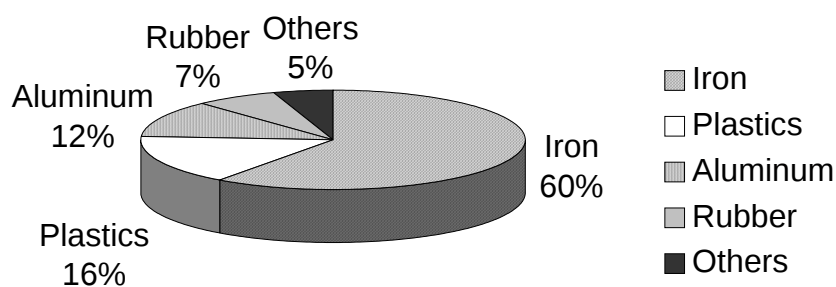


圖 1 機車構成材料統計圖

本研究進一步對各類機車重量、尺寸與所使用塑膠材料的種類及重

量百分比加以調查，其結果如表 1、表 2 與圖 2 所示。

表 1 各類機車重量調查表

廠商	C.C.數	車 種	重 量 (kg)	廠商	C.C.數	車 種	重 量 (kg)
光陽	125	豪邁	103	三陽	125	迪爵	105
	125	三冠王	102		125	捍衛巡弋	112
	125	威風	104		125	ATTILA	110
	50	ZIP	78		100	風動	90
	50	MAIN BOY	86		50	風動	87
山葉	125	迅光	112		50	DIO	72
	50	JOG PRO	76		50	CHA	76
	50	JOG	70.5	羽田	50	HOT	84

表 2 各類機車尺寸調查表

廠商	C.C.數	車 種	長(cm)	寬(cm)	高度(cm) (地面至儀表板)	高度(cm) (地面至座墊)
光陽	125	豪邁	166	56	108	78
	125	豪漢	167	50	108	79
	100	名流	170	50	109	82
	50	金豪美	169	56	111	82
山葉	125	FUZZY	168	58	102	77
	50	勁風	148	46	101	80
三陽	125	野狼	185	30	110	78
	50	DIO	156	46	107	78

鈴木	125	幻象星 艦	141	34	102	77
----	-----	----------	-----	----	-----	----

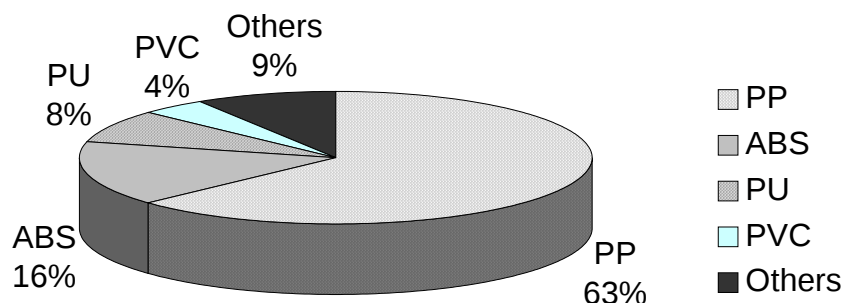


圖 2 機車使用之塑膠材料種類與重量百分比

由文獻[2]得知，未經過特別處理的塑膠材料，依其燃燒速度分為 A、B、C 三類，A 類燃燒最快而 C 類燃燒最慢。機車所用的塑膠材料主要為 PP、ABS、PMMA、PVC 及 PU。其中除 PVC 外，其餘均屬於 A 類。可知，目前之機車，在火災安全上確實具有高危險性。

國人大量地使用機車，使得機車火災成為台灣特有之火災型態。由於機車使用上具有地域特性，國外並未見到相關研究，但在國內則已進行了一系列建築物騎樓下全尺寸實體機車火災之研究[3][4][5]。因受限於試驗裝置能量，國內一直無法確實掌握機車引燃後燃燒的熱釋放率特性。有鑑於此，本研究利用內政部建築研究所防火實驗室新設之 10MW 燃氣分析儀（Cone Calorimeter），進行實體機車燃燒試驗，分析機車在自由空間燃燒時之熱釋放率，併配合立體格點狀分布之溫度量測技術，來建立機車火災之基本資料。

三、研究計畫

3.1 研究內容

針對機車火災而言，為了建立合理有效之對策機制，首要條件為瞭解機車燃燒特性（例如熱釋放率、最大火焰高度、火焰溫度及火焰影響範圍等）。而本計畫主要目的即以燃氣分析儀以及其他相關儀器設備，來量測實體機車燃燒時之各項火災特性。而實驗主要內容乃針對自由空間狀態下一輛機車、二輛機車及三輛機車的燃燒進行實驗與分析。但因受限於 10MW 燃氣分析儀最大負載能量，故本研究並未進行四輛機車之燃燒試驗。

藉由機車燃燒特性之實驗結果與以往研究成果，作為訂定機車停車空間相關規定之依據，將使建議之規定更趨於完備。

3.2 實驗項目

燃燒試驗於全尺寸實驗室內進行，量測下列項目：

1. 熱釋放率 (Heat Release Rate)。
2. 火焰高度 (Flame Height)。
3. 火焰及週邊溫度 (Temperature)。

燃氣分析儀設計參考 ISO 9705。計算熱釋放率所用之耗氧法公式則是引用 Janssens [6]之研究。

Janssens 之研究結果如下所示：

$$\dot{Q} = (\Delta H_C)_{O_2} \phi \frac{\dot{m}_e}{1 + \phi(\alpha - 1)} \frac{M_{O_2}}{M_{air}} (1 - \chi_{H_2O}^o) \chi_{O_2}^{A^o} \quad (1)$$

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

其中：

$(\Delta H_C)_{O_2}$ ：為可燃物完全燃燒時，消耗每公斤氧所釋放的熱量。

M_{O_2} ：氧之分子量。

M_{air} ：空氣之分子量。

$\dot{m}_e$ ：燃氣分析儀量測管內之質量流率。

χ_i^A ：氣體流經燃氣分析儀所測得的莫爾分率。

$\chi_i^{A^o}$ ：氣體於試驗前經分析儀所測得的莫爾分率。

α ：膨脹係數， $\alpha = 1.05$

ϕ ：氧消耗係數。

3.3 實驗方法

1. 以燃氣分析儀量測時間歷程之熱釋放率。
2. 如圖 3，利用鋼架構築量測溫度所需之三度空間格點。以 K Type 熱偶線量測機車燃燒火焰及週邊溫度。
3. 以 4 m 高之大型標尺(Surveyor's Rod)，作為量測機車燃燒火焰高度之基準。
4. 以攝影機記錄火焰高度，配合電腦軟體讀取連續火焰高度。
5. 以風速計 (Anemometer) 以及濕度計 (Hygrometer) 記錄實驗過程中之風速 (Wind Velocity) 及濕度 (Humidity)。
6. 數據擷取器 (Data Logger) 以每 2 秒鐘記錄一次數據之方式，將

風速、濕度、溫度等實驗數據儲存在電腦中。

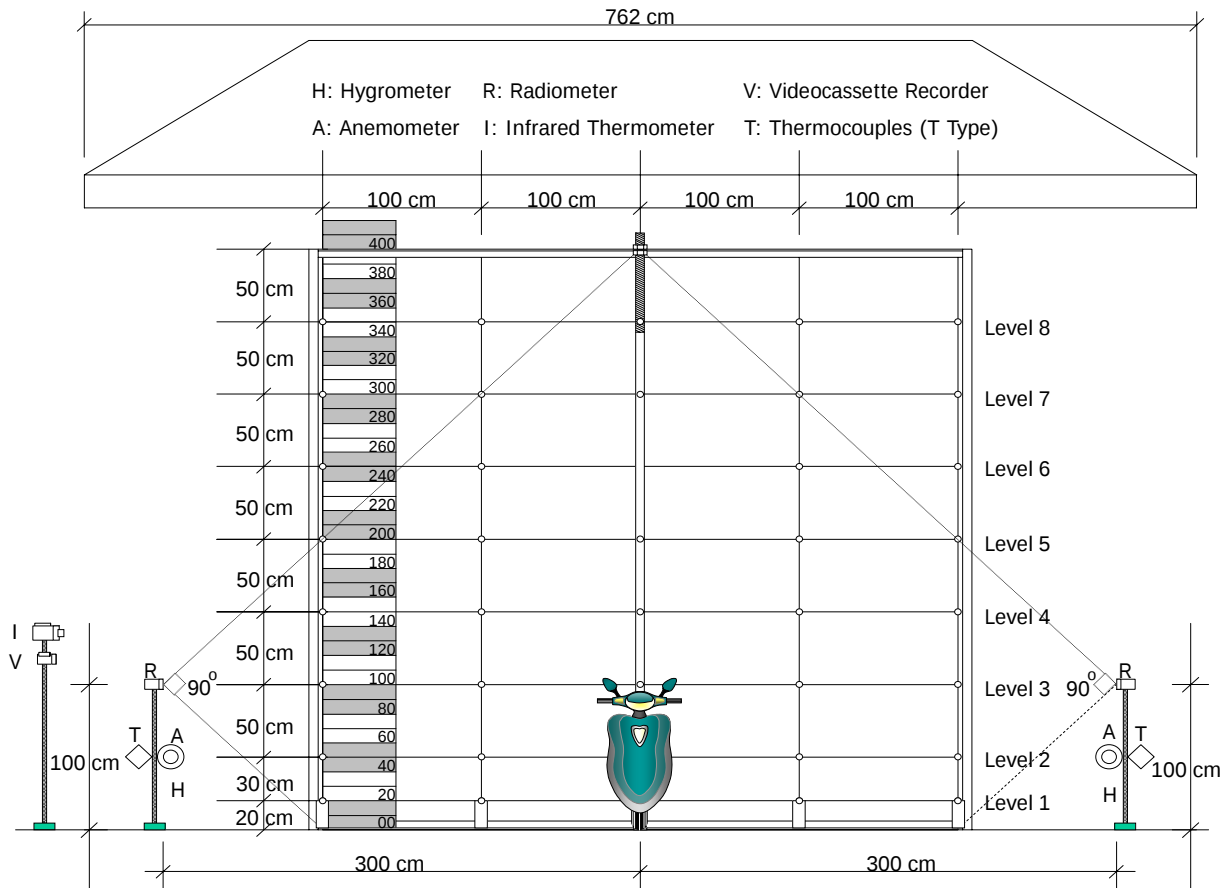


圖 3 機車燃燒實驗設備配置圖

3.4 實驗步驟

1. 將機車置於大型鋼架中心點。如圖 4 所示。
2. 在機車正面距離機車中心點 3 m，且距地面 1 m 及 2 m 之高度各佈置 1 組量測設備（數位式風速計、濕度計及溫度計）。
3. 機車正面適當位置架設 1 組大型標尺。

4. 在機車側面距離機車中心點 3 m，且距地面 1 m 及 2 m 之高度各佈置 1 組量測設備（數位式風速計、濕度計及溫度計）。
5. 機車側面適當位置架設 1 組大型標尺。
6. 每組量測設備應包含風速計 1 組、濕度計 1 組、輻射計 1 組及 T Type 熱偶線 1 條。
7. 檢查儀器設備及量測系統正常與否。
8. 以 200 ml 煤油點燃機車。
9. 以儀器設備觀測並記錄機車燃燒相關數據。
10. 試驗完成後檢查火害後狀況，清理場地。

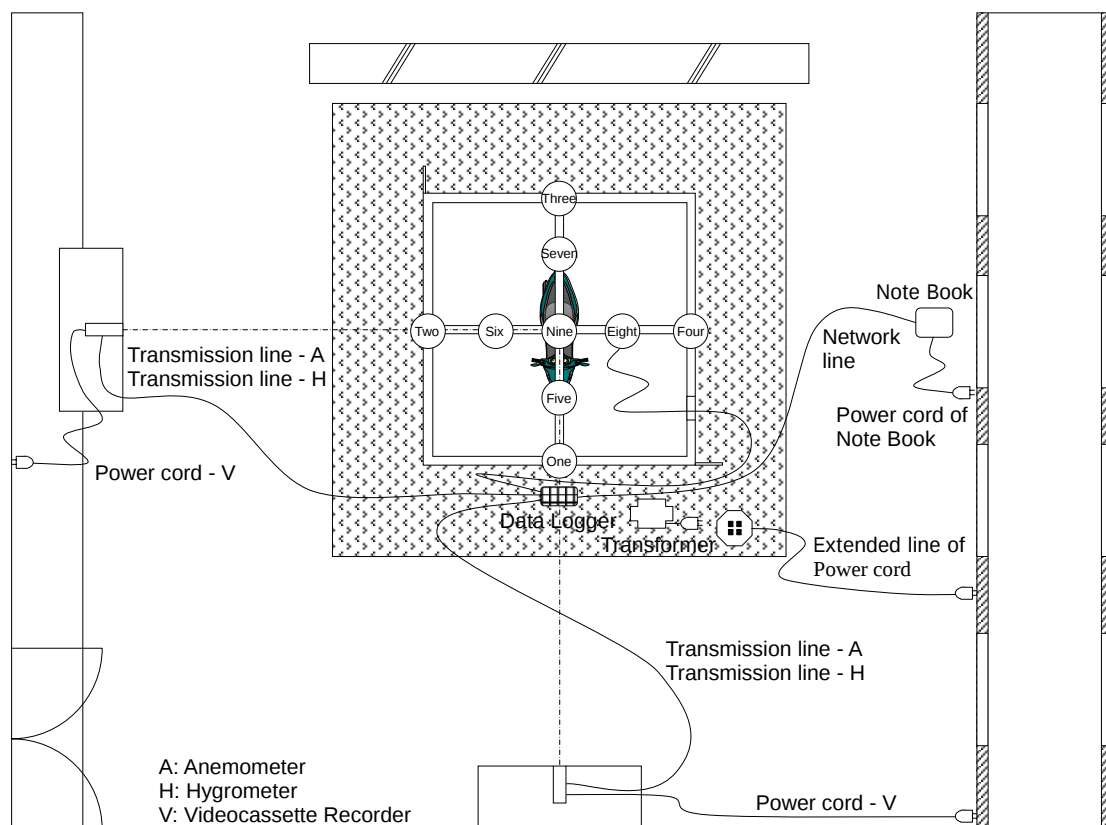


圖 4 機車燃燒實驗設備配線圖

四、實驗分析與討論

本研究共進行一輛機車燃燒試驗三次（第一次、第二次為預備實驗）、二輛機車燃燒試驗一次及三輛機車燃燒試驗一次，除預備實驗外，每次均測定機車燃燒前、後重量等基本資料。配合觀察得知，機車燃燒後，不論機車外部與機車內部所有可燃性材料，幾乎均燃燒成為灰燼。只剩下鐵材骨架，而如鋁材等雖為不燃性物質，但融解落於地面。燃燒損失之重量與比率，如表 3 所示，損失率均約達三成或者更高。而由於防火實驗室空間廣大導致氧氣供應充足，因此機車燃燒實驗均為在自由空間下燃燒型態，且屬於燃料控制型火災。

表 3 機車燃燒損失之重量與比率

實驗日期	燃燒機車數量 (輛)	機車型號 (C.C.)	燃燒前重量 (kg)	燃燒後重量 (kg)	燃燒損失 (kg)	燃燒損失率 (%)
93/04/07	1	50	預備實驗	預備實驗	預備實驗	預備實驗
93/04/07	1	50	預備實驗	預備實驗	預備實驗	預備實驗
93/04/23	1	50	85.0	60.6	24.4	28.7
93/04/23	2	50	67.8	41.9	25.9	38.2
		50	68.7	47.9	20.8	30.3
93/04/27	3	50	90.6	62.7	27.9	30.8
		50	74.2	47.1	27.1	36.5
		50	73.2	43.7	29.5	40.3

4.1 熱釋放率之時間歷程

不同數量機車燃燒熱釋放率之時間歷程圖，如圖 5 所示。圖中重要之資訊為燃燒成長模式、高峰持續模式、燃燒持續時間、到達燃燒高峰時間及最大熱釋放率，分別就其討論如下：

複數機車燃燒試驗時雖然機車間延燒有先後次序，但各次試驗之燃燒成長模式並不因機車數量不同而有所不同，其均依循同一關係。

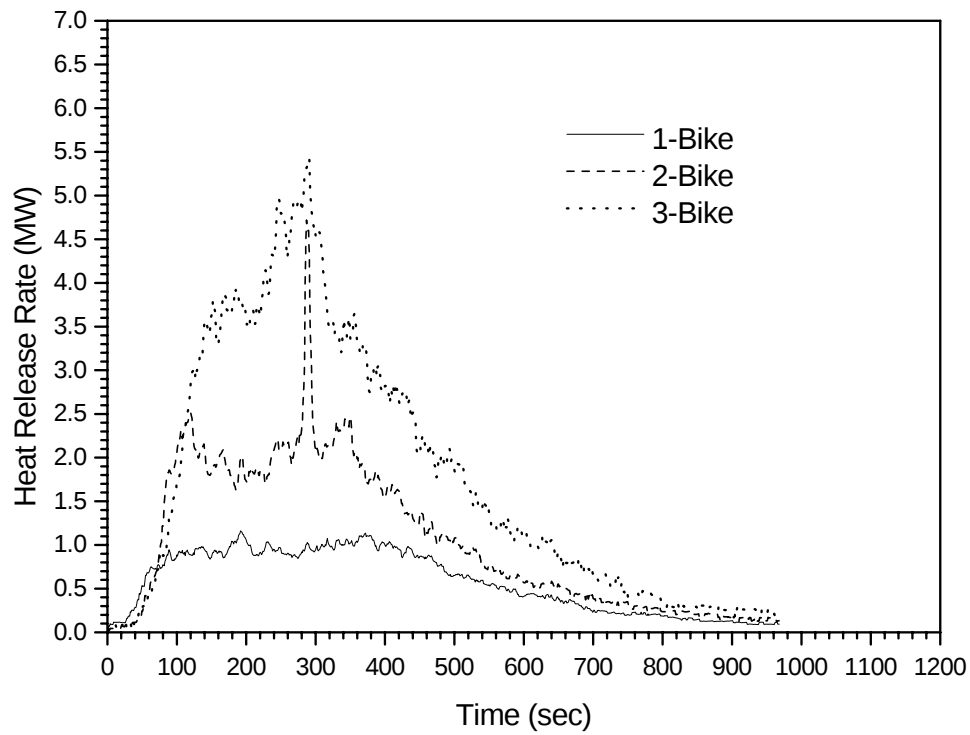


圖 5 不同數量機車燃燒之熱釋放率時間歷程圖

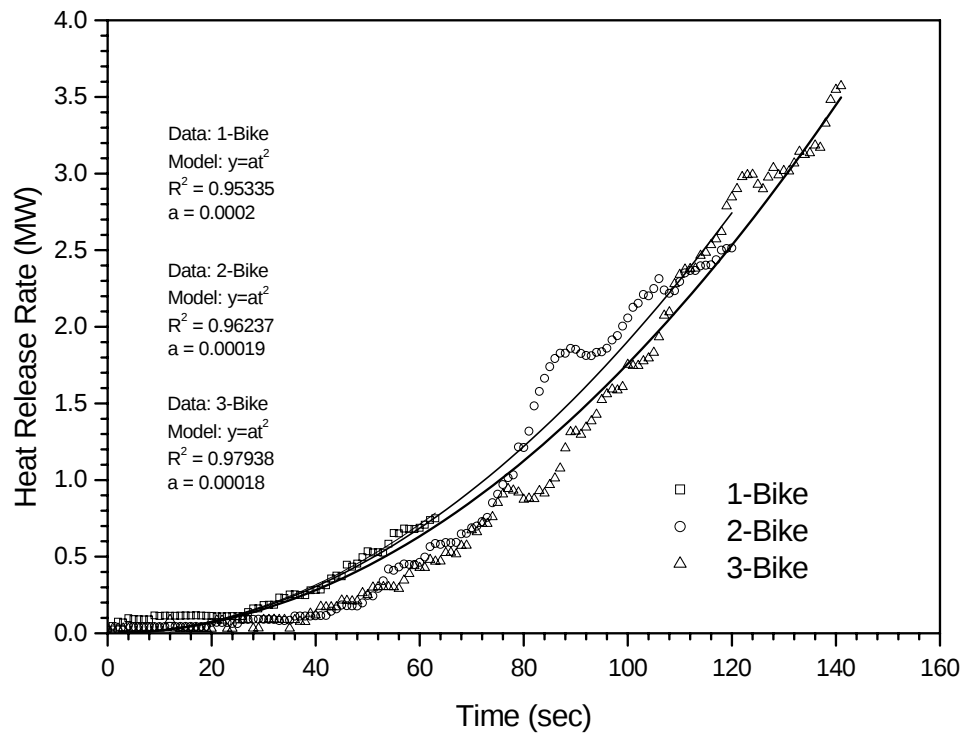


圖 6 燃燒不同機車數量其成長期熱釋放率與時間之關係

整理未達高峰前機車燃燒之成長模式，如圖 6 所示。而藉由分析得知燃燒熱釋放率與時間之關係如下：

$$Y = at^2 \quad (3)$$

其中：

Y ：機車燃燒之熱釋放率（MW）

t ：機車燃燒時間（sec）

a ：熱釋放率成長係數

不論一輛機車、兩輛機車或三輛機車燃燒時，其初期熱釋放率與時間之關係，趨勢相同，均為 t^2 火災，燃燒成長係數亦可謂相同，成長係數之平均值為 0.00019MW/sec^2 。

由圖 5 可知，一輛機車於底部引燃之後，燃燒約 60 秒後到達高峰，熱釋放率高峰期持續了 300 秒左右，並約於 360 秒起開始衰減。配合實驗觀察得知，由於車頭與車身全面燃燒使得熱釋放率約略形成兩段高峰期。

二輛機車的燃燒試驗，更可以清晰地看出兩段高峰期（圖 5 高峰期中出現之急速峰，係因變動燃氣分析儀風管排風速率所造成，故不予討論），燃燒成長約 120 秒到達高峰後，由於兩部機車同時於底部引燃，故高峰期亦由車頭與車身先後燃燒形成，高峰期持續的時間約為 240 秒，衰減則於第 360 秒左右開始。

三輛機車的燃燒成長模式則有別於一、二輛機車的燃燒成長模式，其置於中間的機車由底部引燃後，其車身先燃燒並擴及車頭，約略同時延燒至兩側機車車身，隨後兩側車頭亦立即加入燃燒的陣線。而比對圖

5 可知，燃燒成長約 140 秒後到達高峰，而在進入高峰期約 80 秒後，因相鄰機車延燒使得燃燒再次成長，此段高峰期約持續 100 秒後，即降回至與第一段高峰期約略相同大小之熱釋放率，並維持 40 秒後，進入衰退期。而三輛機車燃燒之衰減時間亦開始於第 360 秒左右。由此可知，無論機車之數量如何，各次燃燒均約略自第 360 秒起開始衰減，且於引燃 900 秒後只剩下餘焰，近乎結束。可見機車火災燃燒擴大之急速與集中。

將各次的燃燒模式相互比較後，可以知道機車燃燒於成長期均依循著同一火災模式 (t^2)，如表 4 所示。而機車燃燒時，到達熱釋放率高峰期所需時間則隨著機車數量增加而增加，但時間增量急速地減少。除此之外，到達熱釋放率高峰期之熱釋放率值，亦隨著機車數量增加而增加，且到達高峰期時之熱釋放率增量值，亦隨著機車數量增加而降低。

表 4 燃燒成長到達熱釋放率高峰期之時間與該時之熱釋放率值

實驗日期	機車數量 (輛)	到達時間 (sec)	熱釋放率值 (MW)	熱釋放率增量值 (MW)	時間增量 (sec)
930423	1	63	0.75	—	—
930423	2	120	2.51	1.76	57
930427	3	141	3.57	1.06	21

機車燃燒之最大熱釋放率隨著機車數量增加而增加，如表 5 所示。由表 5 可知，一輛機車燃燒之最大熱釋放率為 1.16 MW，二輛機車（排除因變動燃氣分析儀風管排風速率造成之誤差值）之最大熱釋放率為 2.51MW，而三輛機車燃燒之最大熱釋放率則高達 5.44 MW。故可知相鄰機車的快速延燒對於最大熱釋放率之影響極大，且具加乘效果。其次，由表 5 亦可得知，機車燃燒到達最大熱釋放率所需時間，隨著機車數量增加而增加。由於溫度與火焰高度均為熱釋放率之外在表現。因

此，亦可印證 4.2 節與 4.3 節所述，為何機車數量較多時，達到最高溫度所需之時間較長，火焰高度較高。

表 5 不同機車數量燃燒之最大熱釋放率及其到達時間

實驗日期	機車數量 (輛)	最大熱釋放率 (MW)	到達最大熱釋放率所需時間 (sec)
930407 (預備實驗)	1	1.74	152
930407 (預備實驗)	1	1.32	245
930423	1	1.16	192
930423	2	4.72	287
930427	3	5.44	291

經過分析可知，機車於自由空間下燃燒，成長期可以 t^2 火災模式描述。為求機車整體燃燒模式完整性，有必要建立可推測之最大或高峰燃燒模式（最大熱釋放率或高峰熱釋放率）。然而，在具有高峰期的燃燒型態中，以最大熱釋放率來描述整體燃燒行為，雖可達到極安全狀態，但是於實際防火安全設計上，設備與設施之設置成本相對於防火安全性，兩者須取得合理平衡點，或以平衡點為基準配合經費以及使用者需求，逐步提高安全等級。

本研究針對各次實驗高峰期之熱釋放率取平均值，可以發現一輛機車的平均高峰熱釋放率約為 1.0 MW，二輛機車的平均高峰熱釋放率約為 2.0MW，三輛機車的平均高峰熱釋放率約為 4.0 MW，熱釋放率平均值會隨著機車的數量而呈現等比關係。各高峰期均持續至第 360 秒，隨後開始衰減。綜合前述分析，本研究建議之機車燃燒模式，如圖 7 所示。

此模式中除了無法描述三輛機車燃燒於高峰期再次成長情況外，對機車燃燒時間歷程之成長、高峰、衰減現象以及總熱釋放量等火災資訊描述上，均呈現極高的契合度。藉由分析得知衰退期燃燒熱釋放率與時間之關係如下：

$$Y = b \exp(-kt) \quad (4)$$

其中：

Y ：機車燃燒之熱釋放率（MW）

t ：機車燃燒時間（sec）

b ：熱釋放率衰退係數

k ：熱釋放率衰退指數

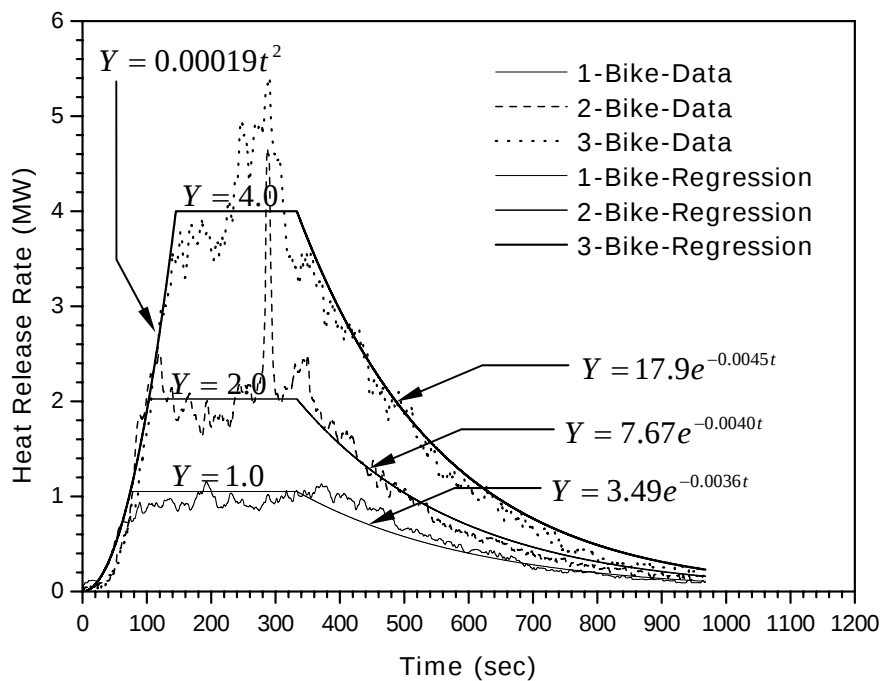


圖 7 機車燃燒模式

4.2 火焰高度

經由實驗及分析後得知，一輛機車、二輛機車以及三輛機車，於自由空間情況下，機車燃燒歷程中之最大火焰高度依序為 390 cm、425 cm 與 465 cm。如圖 8 所示。並由實驗得知當燃燒機車數量愈多，則燃燒熱釋放率愈大、火焰高度愈大、火焰溫度愈大、火焰面積愈大、煙層濃度愈大。

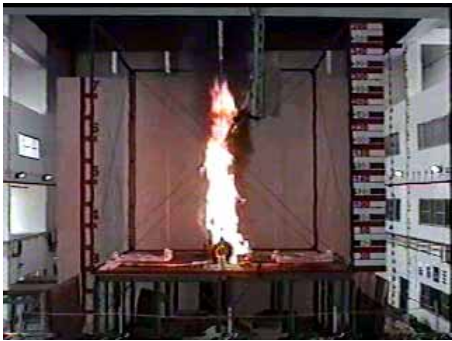
	實驗日期	93/04/23 上午
	機車數量	1 輛
	重量總損失	24.4 kg
	最大火焰高度	390 cm
	實驗日期	93/04/23 下午
	機車數量	2 輛
	重量總損失	46.7 kg
	最大火焰高度	425 cm
	實驗日期	93/04/27 上午
	機車數量	3 輛
	重量總損失	84.5 kg
	最大火焰高度	465 cm

圖 8 機車燃燒歷程中之最大火焰高度

由於火焰外觀形狀遵循著一定週期性變化不斷地重複，大致可以將週期性變化過程分為下列三個階段。

1. 火焰伸長，火焰中間部分發生縮減，接近火源區塊保持不變。
2. 火焰再向上延伸，火焰中間部分縮減幾乎到無，而接近火源區塊保持不變。
3. 火焰上方區塊遠離火源縮減，而接近火源區塊保持不變。

因此，本研究採認之火焰高度為接近火源區塊保持不變之連續火焰域之高度。其原因為：間歇火焰域之火焰高度會大於連續火焰域之高度，故若採認間歇火焰域之火焰高度，則於火害評估時，將會高估機車火災向上延燒之危險程度。

由本研究實驗結果得知，不論一輛機車、二輛機車或三輛機車，機車燃燒高峰期間之火焰高度均大於 3 m，且機車數量愈多時，機車燃燒之火焰高度愈大。由於 3 m 之火焰高度大於一般樓層高度，因此不論幾輛機車發生火災（即使僅有一輛機車發生火災），燃燒火焰均有向上方樓層延燒之虞。除此之外，機車數量愈多則火焰面積愈大，而火焰面積愈大則導致輻射延燒影響範圍愈大，危害距離愈遠。

4.3 火焰溫度

本研究為瞭解機車燃燒火場溫度分佈狀況，佈置於剖面 A-A 以及 B-B 共有 No.1 ~ No.72 之溫度測點，如圖 9 所示。

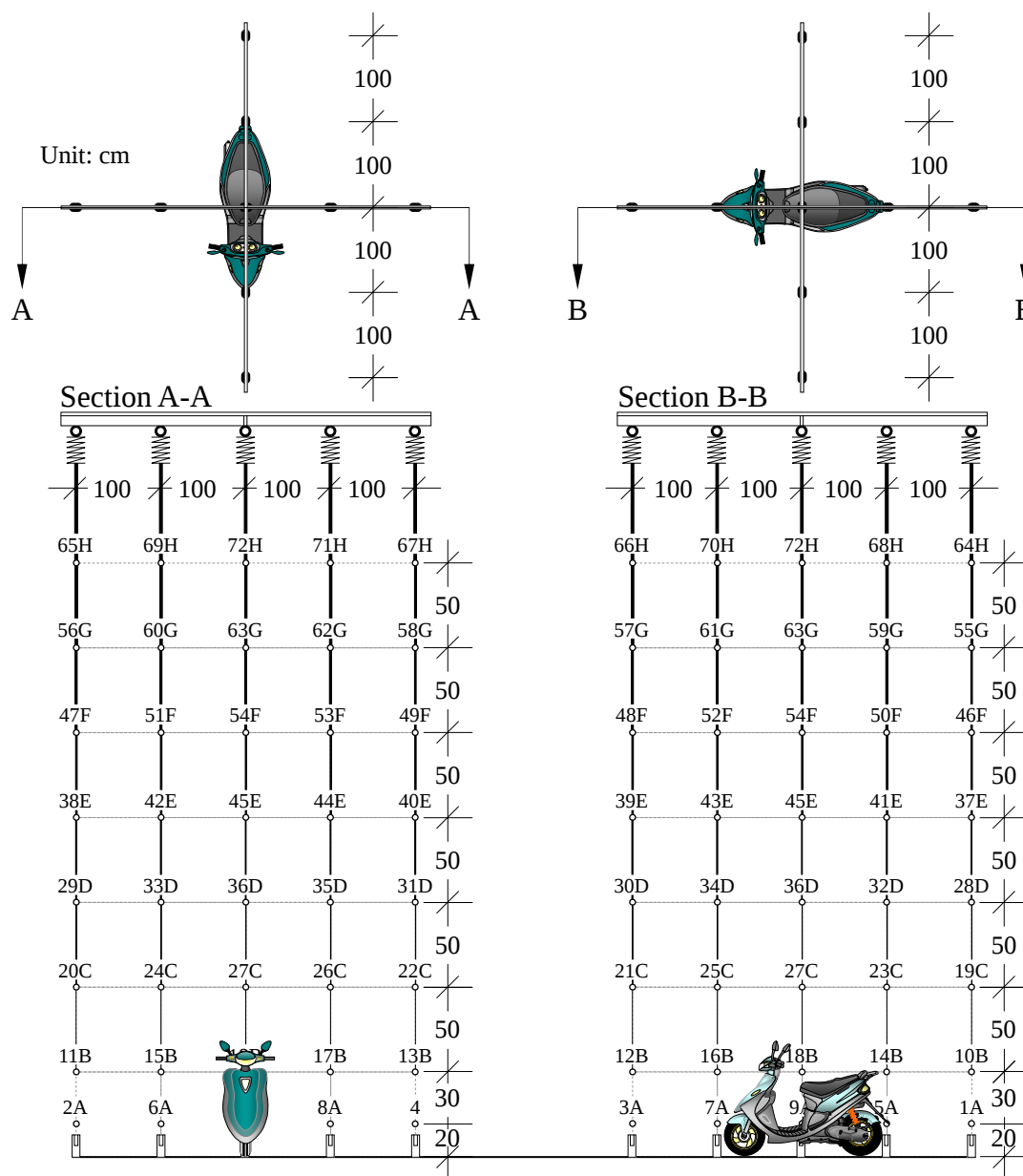


圖 9 剖面 A-A 及 B-B 之溫度測點佈置圖

由以往之研究成果得知，整個火場中以火焰中心軸溫度最高。因此，選擇 A-A 以及 B-B 兩個剖面，作為本研究討論與分析三度空間火場溫度之重點。本研究進行第二次實驗時(兩輛機車燃燒實驗)於第 104 秒之後，火焰中心軸溫度顯現不正常數據，故不予記錄。

針對自由空間下機車燃燒火場溫度而言，一輛機車、二輛機車及三輛機車各測點之最高溫度，分別如表 6、表 7 及表 8 所示。

表 6 一輛機車各測點最高溫度

高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (一輛，正面)					高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (一輛，側面)				
	與機車中心點距離 (cm)						與機車中心點距離 (cm)				
	-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0		-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0
100	65.4	144.7	870.9	122.0	66.7	100	75.5	205.3	870.9	156.8	78.9

表 7 二輛機車各測點最高溫度

高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (二輛，正面)					高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (二輛，側面)				
	與機車中心點距離 (cm)						與機車中心點距離 (cm)				
	-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0		-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0
100	92.1	257.1	-	183.6	88.5	100	119.6	457.6	-	319.5	103.3

註：中心軸溫度於第 104 秒後顯現不正常數據，故不予記錄。

表 8 三輛機車各測點最高溫度

高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (三輛，正面)					高度 (cm)	機車火焰中心軸溫度 (三輛，側面)				
	與機車中心點距離 (cm)						與機車中心點距離 (cm)				
	-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0		-200.0	-100.0	000.0	100.0	200.0
100	122.4	459.1	981.3	304.8	122.4	100	157.1	576.9	981.3	726.1	156.5

由實驗結果得知，不論一輛機車或三輛機車，整個火場溫度均以火焰中心軸之溫度最高。以一輛機車為例，火焰中心軸距離地面 1 m 處高達 870.9 °C，居火場溫度之冠。在相同高度下，離開火焰中心軸愈遠，溫度愈低並且呈現快速下降之趨勢，例如：在距離火焰中心軸 2 m 處溫度降為 65.4 °C。各次燃燒實驗整體火場溫度分布均呈常態分布，如圖 10 與圖 11 所示。此外，在相同高度與相同距離情況下，機車數量愈多火場溫度愈高。

而由三輛機車燃燒實驗之結果可得知，在相同高度下，機車長向剖面溫度分布高於短向溫度分布，如圖 12 所示。因此，則可以推論機車火災具有方向性，其長向火害距離大於短向火害距離。

機車燃燒火場中各點溫度隨著時間而變化並非固定值。但不論是一輛機車或者是三輛機車，火焰中心軸各測溫點之溫度變化均呈現相同趨勢。意即，當機車引燃後，火焰中心軸各測溫點之溫度隨著時間增加而急速地上昇，當達到最高溫度後會持續一段時間，隨之溫度緩慢下降。

由此現象可得知，在機車燃燒過程中，當氧氣供應充足情況下，屬於燃料控制型燃燒。因此，機車可燃物燃燒所釋放之能量隨時間增加而不斷增加，到達高峰期時釋放能量最大（熱釋放率最大），則火場溫度最高。當可燃物不再提供或增加時，則可燃物數量因燃燒而逐漸減少，故使火場溫度隨之降低。不同數量之機車燃燒在火焰中心軸第 27C 點之溫度變化，如圖 13 所示。

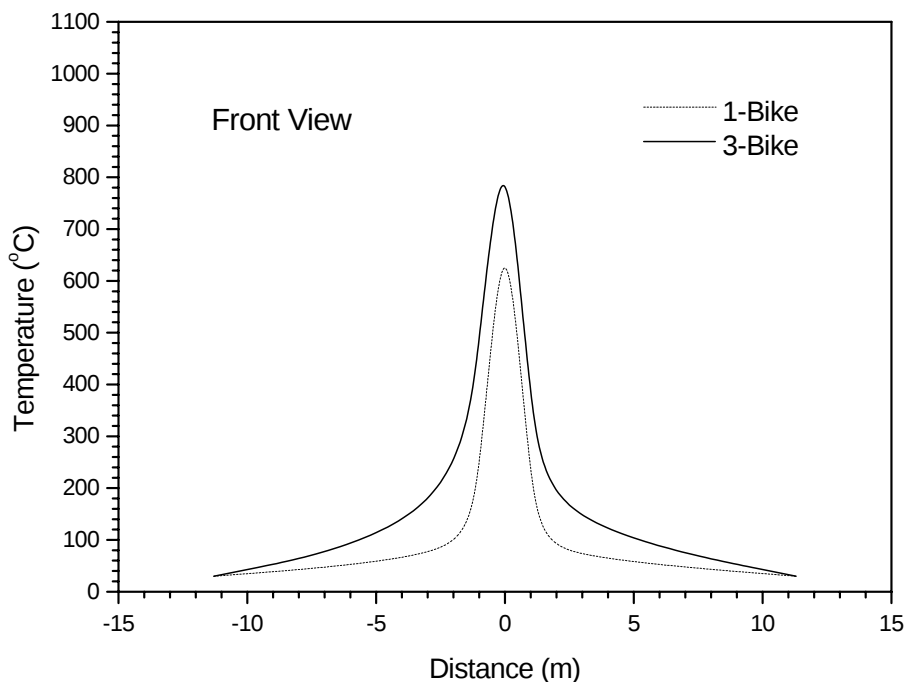


圖 10 一輛與三輛機車於相同高度下，火場溫度比較圖（正面）

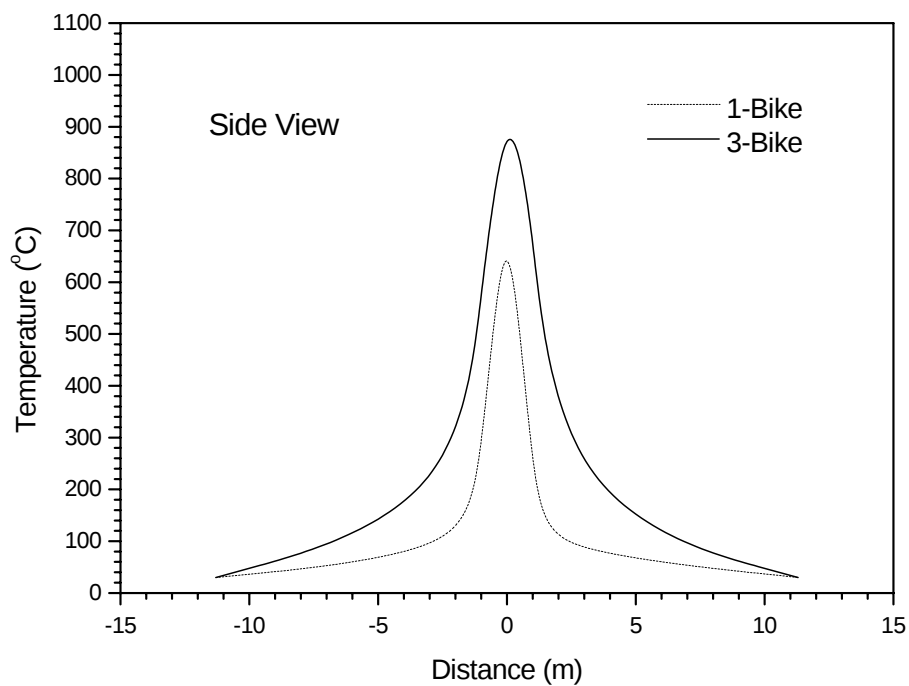


圖 11 一輛與三輛機車於相同高度下，火場溫度比較圖（側面）

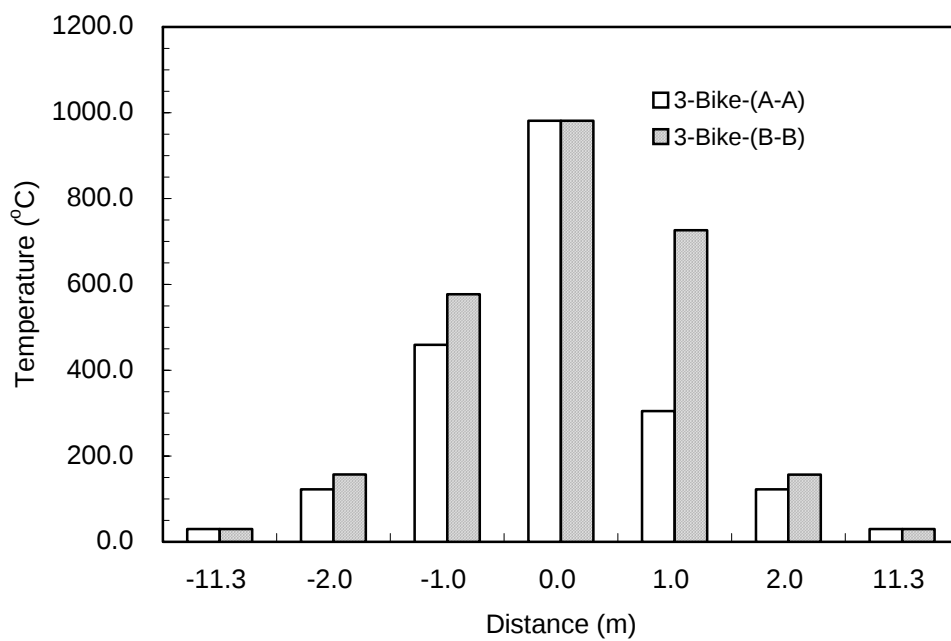


圖 12 三輛機車於相同高度下，長向與短向火場溫度比較圖

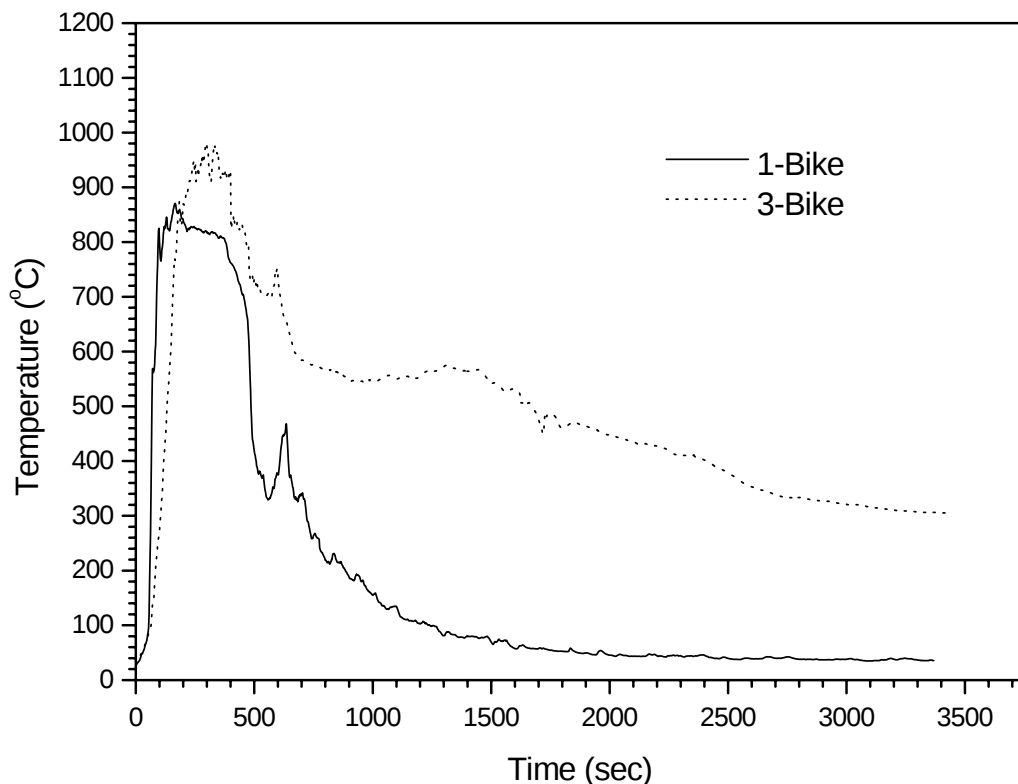


圖 13 不同數量機車燃燒在火焰中心軸第 27C 點之溫度變化

而在機車燃燒初期，火焰中心軸之溫度將隨著機車數量而有所不同。以火焰中心軸第 27C 點為例，第 27C 點之燃燒溫度會隨著機車數量增加而上升，如圖 14 所示。

由圖 14 可知，機車燃燒初期，相同測溫點 (27C) 其溫度上升速率，由大而小依序為一輛機車、二輛機車與三輛機車。探究其原因為：一輛機車燃燒時，氧氣直接由四週供應，燃燒較完全。而二輛機車與三輛機車燃燒時，因機車緊密停放，導致氧氣在供應起火源之過程中受到阻擋，故燃燒較緩慢導致溫度較低。由此可知，在探討機車火災行為時，除了必須考慮群聚機車之數量及排列方向外，尚必須考量機車之排列方式及起火源之位置。

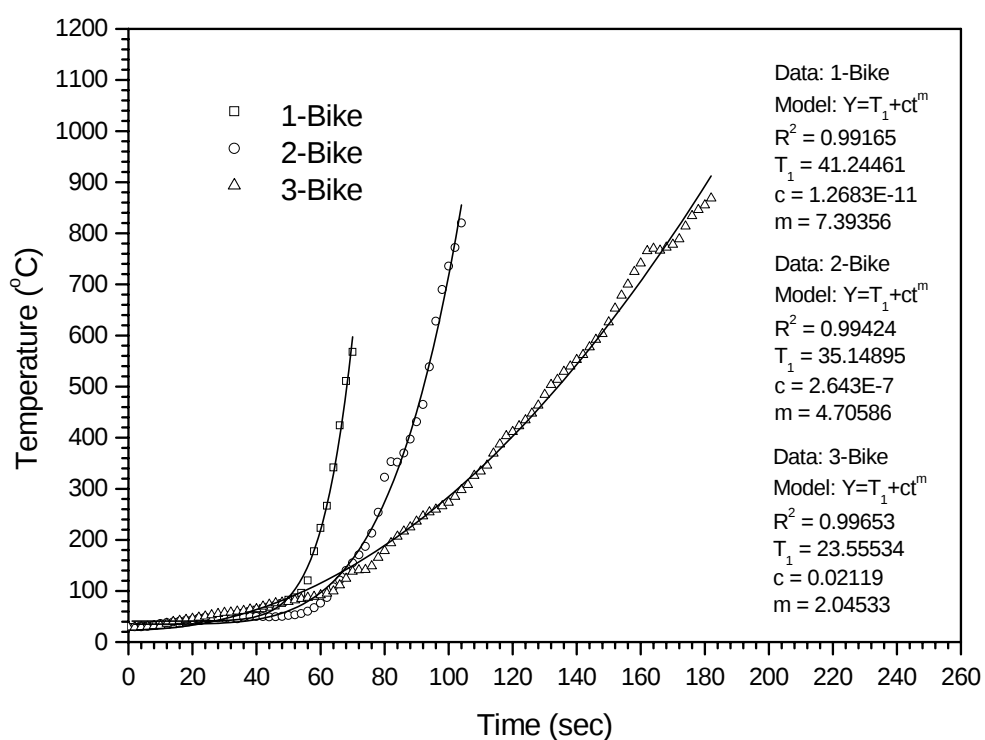


圖 14 機車燃燒初期在火焰中心軸第 27C 點之溫度變化

機車燃燒成長期火焰中心軸第 27C 點溫度與時間之關係式如下所示：

$$Y = T_1 + ct^m \quad (5)$$

其中：

Y ：機車燃燒火焰中心第 27C 點溫度 (°C)

T_1 ：溫度常數 (°C)

t ：機車燃燒時間 (sec)

c ：溫度成長係數

m ：溫度成長指數

由上述實驗結果可得知，不論是在機車火災之高峰期或成長期，機車火災之危害程度，會隨著機車數量之增加而加劇。探究其原因為：當機車數量增加時，表示可燃物增加，在氧氣供應充足情況下，燃燒火勢猛烈，導致危害程度提高。因此，針對機車火災而言，限制機車之數量實為降低火災損失之重要方法。

本次研究除探討火場各測點，於相同高度下溫度變化情況外，並探討火場各測點，於不同高度下溫度變化情況。由分析得知，火場溫度最高點發生在火焰中心軸上，但並非在中心軸之最高位置，也不是在中心軸之最低位置，而是在中心軸且距離地面 1 m 之位置，如圖 15 所示。一輛機車燃燒時，在相同高度下，火焰中心軸之溫度最高，且距離火焰中心軸愈近溫度亦愈高。另外，若以最高溫度所在位置為起始點且在相同距離下，離地面愈遠，則溫度愈低。

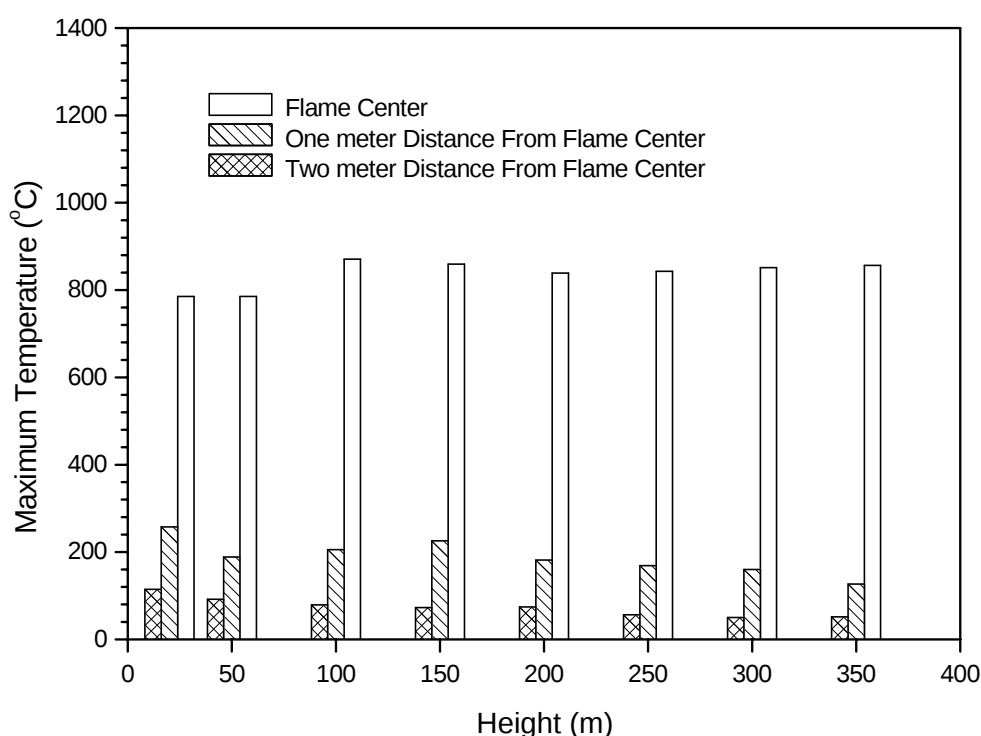


圖 15 高度、距離與單輛機車燃燒火場溫度之關係

機車火災發生後，還必須考慮火場到達最高溫度所需之時間。其原因為：若機車火災火場到達最高溫度所需之時間長，則除了可供作居民逃生避難之時間增加外，亦可使消防隊具備較多之救援時間。但很不幸的是，當機車火災發生時，不但溫度極高且達到最高溫度所需時間極短。以單輛機車燃燒為例，火焰中心軸到達最高溫度所需之時間僅有 166 秒，在不到 3 分鐘之時間內，火場溫度已經超過一般可燃物之引燃界限（260℃），如表 9 所示。

表 9 單輛機車燃燒火焰中心軸上溫度與時間之關係

距火焰中心軸距離 (m)	火場最高溫度 (℃)	到達最高溫度所需時間 (sec)
0 m	870.9	166
1 m	257.5	270
2 m	114.5	388

五、實驗結論

1. 歸納一輛機車、兩輛機車及三輛機車燃燒熱釋放歷程，可分為三階段：成長期、高峰期、衰減期。而三輛機車燃燒時，在熱釋放高峰期內尚有另一波的成長與高峰。
2. 不論一輛機車、兩輛機車或是三輛機車燃燒時，其成長期之熱釋放率與時間的關係均依循 $Y=at^2$ 火災模式，成長係數平均為 0.00019MW/sec²。

3. 一輛機車燃燒之最大熱釋放率為 1.16 MW，二輛機車之最大熱釋放率為 2.51 MW，三輛機車之最大熱釋放率則高達 5.44 MW。
4. 機車燃燒高峰期的平均熱釋放率分別為，一輛機車：1.0 MW，二輛機車：2.0 MW，三輛機車：4.0 MW。因此，於機車燃燒行為模式化時，將其設定為最大熱釋放率值，實屬合宜。
5. 各次燃燒實驗之整體火場溫度分布均呈常態分布，且以火焰中心軸溫度最高。一輛機車燃燒在火焰中心軸上距離地面 1 m 之溫度最高，溫度為 870.9°C。相同條件下，三輛機車之最高溫度為 981.3°C。
6. 以單輛機車燃燒為例，火焰中心軸到達最高溫度所需之時間為 166 sec，到達最大熱釋放率所需之時間為 192 sec。
7. 一輛機車、二輛機車及三輛機車，於自由空間下，機車燃燒之最大火焰高度依序為 390 cm、425 cm 與 465 cm。
8. 不論一輛機車、二輛機車或是三輛機車，機車燃燒高峰期時之火焰高度均大於 3 m，且機車數量愈多，燃燒火焰高度愈高。
9. 不論一輛機車、兩輛機車或是三輛機車燃燒時，衰退期燃燒熱釋放率與時間之關係均依循 $Y = b \exp(-kt)$ 火災模式。
10. 機車燃燒成長期火焰中心軸溫度與時間之關係式為 $Y = T_1 + ct^m$ 。

六、建議條文

本研究根據實驗分析結果、以往相關研究成果、現行法規（如建築技術規則及各類場所消防安全設備設置基準），並與專家學者藉由座談之討論方式，針對「建築物附設機車停車空間有關防火安全規定之研究」擬建議之條文，如表 10 所示。

表 10 建築物附設機車停車空間有關防火安全規定之建議條文

建 議 條 文	說 明
第六十二條之一 一、建築物內機車停車空間應以具有一小時以上防火時效之牆壁與該處防火構造之樓地板自成一個防火區劃，其開口應裝設一小時以上防火時效之防火門窗等防火設備。 二、前項之防火設備應具有一小時以上之阻熱性及遮煙性。 三、防火區劃之牆壁，應突出建築物外牆面一〇〇公分以上，但與其交接處之外牆面長度有二〇〇公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。	一、本條為規定用途區劃。 二、由於機車停車空間與汽車停車空間的火災危險性差異大，設計上應為不同之用途區劃，故建築技術規則設計施工編第七十九條之一第二項所稱之停車空間應就汽車停車及機車停車用途（所供停放車輛的燃燒特性不同）有異分別加以區劃。 三、機車火災所產生之火熱與濃煙毒氣極為危險，排除加害源頭為防止受害之最佳對策，故要求該空間區劃之阻熱性及遮煙性。 四、第三項規定為防止經由外牆的不同區劃側向延燒。
第六十二條之二 一、建築物內機車停車空間樓地板面積在一、〇〇〇平方公尺以上者，應按每一、〇〇〇平方公尺，以具有一小時以上防火時效之牆壁、防火門窗等防火設備與該處防火構造之樓地板區劃分隔。 二、前項之防火設備並應具有一小時以上之阻熱性。 三、防火區劃之牆壁，應突出建築物外牆面一〇〇公分以上，但與其交接處之外牆面長度有二〇〇公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。	一、本條為規定機車聽車空間用途區劃中強化面積區劃。 二、汽車停車空間火災危險性較低，可以歸屬為以用途區劃免除面積區劃的空間，機車停車空間火災危險性較高，建議強化面積區劃。 三、機車停車空間非人員常時滯在之場所，其內之面積區劃具防止延燒擴大之阻熱性即可。 四、第三項規定為防止經由外牆的不同區劃側向延燒。

第六十二條之三

建築物內機車停車空間，除無開口樓層外，依左列規定：

- 一、樓層高度未滿三·五公尺者，其上層樓地板應突出外牆一二五公分以上，但與樓板交接處之外牆高度有一八〇公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。
- 二、樓層高度在三·五公尺以上未滿四·五公尺者，其上層樓地板應突出外牆一〇〇公分以上，但與樓板交接處之外牆高度有一五〇公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。
- 三、樓層高度在四·五公尺以上未滿五·五公尺者，其上層樓地板應突出外牆七十五公分以上，但與樓板交接處之外牆高度有一二〇公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。
- 四、樓層高度在五·五公尺以上者，其上層樓地板應突出外牆五十公分以上，但與樓板交接處之外牆高度有九十公分以上，且該外牆構造具有一小時以上防火時效者，得免突出。

- 一、本條為規定樓層區劃要求。
- 二、本條規定為防止經由外牆的上向樓層延燒。
- 三、因應機車停車空間的樓層高度，配合規定必要之上層樓地板突出長度或層間牆高度。

第六十二條之四 一、建築物內之機車停車空間不得設置挑空與其他樓層相接。 二、機車停車空間內之直通樓梯間、昇降機間、垂直貫穿樓板之管道間及其他類似部份上開口設置之防火設備、維修門應具有遮煙性。	一、第一項規定機車停車空間內不得設置挑空。 二、第二項規定為防止機車停車空間火災時成為危害其他空間之煙毒源頭，要求豎穴區劃開口裝設之防火設備應具遮煙性。 三、遮煙性的試驗標準草案已經完成，國內亦有設備，應可以執行。
第六十二條之五 一、機車停車空間不得設置於建築物之騎樓與綠化範圍。 二、機車停車空間設於法定空地時，應距離建築物開口、出入口及避難用通路兩公尺以上，並設置高度一五〇公分以上，且具有一小時以上防火時效之牆壁。但距離建築物開口、出入口及避難用通路達六公尺以上者，得免設置。 三、前項之機車停車空間，除鄰接寬度六公尺以上之道路或深度六公尺以上之永久性空地側外，應距離基地境界線三公尺以上，或設置高度兩公尺以上，且具有一小時以上防火時效之圍牆。	一、本條為規定室外機車停車空間之設置要求。 二、第一項規定不得設置之範圍。 三、第二項及第三項規定利用防火間隔與具防火時效之牆體構造搭配，防止室外機車停車空間火災時延燒至基地內之建築物或鄰接基地之建築物，同時確保避難路徑之安全。

致 謝

本研究承蒙內政部建築研究所補助經費，建築研究所台南防火實驗室提供人力支援，特予致謝。

參考文獻

1. 黃素珍，「國內汽機車用塑膠材料現況」，化工資訊，第九卷，第十二期（1995）。
2. 阮立麗，「塑膠材料之火災危險性」，建築防火學術研討會論文集，臺北，第 87-100 頁（1984）。
3. 林慶元，「騎樓及其延續建築正面之火災安全設計研究」，行政院國家科學委員會專題研究成果報告，NSC89-2211-E-011-019，臺北（2000）。
4. 林慶元，「騎樓及其延續建築正面之火災安全設計研究」，行政院國家科學委員會專題研究成果報告，NSC89-2211-E-011-086，臺北（2001）。
5. 林慶元，「騎樓及其延續建築正面之火災安全設計研究」，行政院國家科學委員會專題研究成果報告，NSC89-2211-E-011-056，臺北（2002）。
6. Janssens, M., “Measuring Rate of Heat Release by Oxygen Consumption,” Fire Technology, Vol. 27, pp.234-249（1991）。