

# 火載量型態與延燒特性研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 96 年 12 月

096301070000G2030

# 火載量型態與延燒特性研究

研究人員：陳建忠組 長

蘇鴻奇副研究員

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 96 年 12 月

MINISTRY OF THE INTERIOR

RESEARCH PROJECT REPORT

**A Study on Fire Spread Characteristics for  
Different Fire Load Types**

BY  
CHINE-JUNG CHEN  
HUNG-CHI SU

December 2007

# 目次

表次 .....	III
圖次 .....	V
摘要 .....	VII
第一章 緒論 .....	1
第一節 研究背景與目的 .....	1
第二節 研究流程與步驟 .....	2
第三節 研究內容 .....	3
第二章 建築物火載量與火災延燒 .....	5
第一節 建築物室內火災特性 .....	5
第二節 火載量的基本觀念 .....	8
第三節 火載量技術應用概況 .....	10
第四節 木框架熱釋放率估算理論 .....	11
第三章 實驗計畫 .....	15
第一節 實驗目的 .....	15
第二節 實驗項目 .....	15
第三節 實驗方法與設備 .....	15
第四節 實驗配置與材料規劃 .....	17
第四章 實驗結果與整理 .....	19
第一節 ISO9705 木框架實驗結果整理 .....	19
第二節 ISO9705 木框架實驗結果分析 .....	22
第五章 結論與建議 .....	35
第一節 結論 .....	35
第二節 建議 .....	36
附錄 期初、期中、期末審查會議記錄 .....	39
參考書目 .....	45

## 表次

表 2-1 「火災特性與室內裝修防火關係」 .....	5
表 2-2 物體燃燒型式分類 .....	6
表 2-3 木材之點火溫度及發火溫度 .....	8
表 2-4 可動火載量與固定火載量分類 .....	9
表 3-1 木框架堆疊條件參數表 .....	18
表 4-1 ISO 9705 木框架實驗結果 .....	20
表 4-2 木框架堆疊條件變化之火源成長係數比較表 .....	22
表 4-3 木框架位置條件變化之穩定熱釋放率與火災成長 係數比較表 .....	25
表 4-4 傢俱燃燒實驗結果 .....	27
表 4-5 辦公椅組成材料表 .....	30

## 圖次

圖 1-1 研究流程圖 .....	2
圖 2-1 辦公傢俱燃燒釋熱速率與時間關係圖 .....	9
圖 2-2 木框架之幾何尺寸 .....	13
圖 3-1 ISO 9705 試驗房間(Test room)集煙罩及排氣 導管 .....	16
圖 3-2 天花板測溫點位置圖 .....	16
圖 3-3 熱電偶樹相關位置 .....	17
圖 3-4 O <sub>2</sub> /CO/CO <sub>2</sub> 氣體分析儀 .....	17
圖 3-5 木框架位置條件參數 .....	18
圖 4-1 燃燒時間與熱釋放率關係圖 .....	19
圖 4-2 ISO 9705 木框架實驗前設定情況 .....	21
圖 4-3 ISO 9705 木框架實驗過程燃燒情況 .....	21
圖 4-4 木框架堆疊條件變化之燃燒現象比較圖 .....	23
圖 4-5 孔隙率與火源成長係數比較圖 .....	24
圖 4-6 木框架位置條件變化之燃燒現象比較圖 .....	26
圖 4-7 高木櫃 A 燃燒實驗圖 .....	27
圖 4-8 高木櫃 A 之熱釋放率 .....	28
圖 4-9 高木櫃 B 實驗示意圖 .....	28
圖 4-10 高木櫃 B 之熱釋放率 .....	29
圖 4-11 矮木櫃實驗示意圖 .....	29
圖 4-12 低木櫃之熱釋放率 .....	30
圖 4-13 辦公椅實驗示意圖 .....	31
圖 4-14 辦公椅尺寸示意圖 .....	31
圖 4-15 辦公椅之熱釋放率 .....	31
圖 4-16 家具與木框架之熱釋放率比較 .....	32

圖4-17「CNS1387滅火器」之A類火災滅火效能值測定－第1模型	…	33
圖4-18「CNS1387滅火器」之A類火災滅火效能值測定－第2模型	…	33
圖4-19油盤燃燒熱釋放率結果	……	34

# 摘要

關鍵詞：火載量、木框架、性能法規、熱釋放率

## 一、研究緣起

耐火設計首先要建立預測該期間內分區火災特性的模型，但是對於可燃物分佈不均勻或者類似於大空間火災。分區內火災主要受以下因素的影響：(1)建築物的狀態(分區的形狀、尺寸)，(2)開口部位的形狀、尺寸，(3)分區周牆的熱性質，(4)可燃物的種類、數量、存放狀態。目前許多先進國家（美、英、日、紐、澳、瑞典）耐火設計法中係將房間開口通風特性及火載量列入主要設計參數，但火載量之考量除單位面積之燃燒量外其型態亦為重要影響因素，惟量化與評估較為困難，基於此點，除了引入先進國家的防火性能式設計法與國際接軌，如何針對目前國內現況修訂相關設計參數以符合所需，俾利推廣及實際進行性能式設計法實為重要之課題。

## 二、研究方法及過程

本研究以木框架作為火載量，在固定之火載量條件下，當可燃物分佈方式、空間、密度變化條件下，進行燃燒實驗，探討對火災延燒成長行為之影響。實驗方式進行採「ISO 9705」木框架實驗，實驗條件為「堆疊條件變化」與「放置位置變化」二項因子，各設定 4 項水準共計進行 16 次實驗。

## 三、重要發現

1. 於「建築物火災避難安全性能檢證法」中火災成長係數  $\alpha_f$  共分為 4 種等級，根據本計畫實驗結果顯示 16kg 木框架火載量燃燒所形成火源成長模式屬於「中等」以下。相同火載量不同堆疊條件與擺放位置條件變化所影響火災成長係數  $\alpha$  為 0.00037~0.00727 有 20 倍差距，所以應用檢證法時火源之設計應加考量火源型態。



2. 木框架火載量不同堆疊條件產生不同之孔隙率變化，孔隙率會影響木框架內氧氣之供給量，由 Gross (1962) 對於木框架燃燒定義孔隙率  $\phi$  與燃燒火源成長係數之關係，可以觀察出孔隙率太小或太大都會影響降低火源成長係數，火源成長係數約在 0.7 時會產生最大之火源成長係數。
3. 對於木框架於不同位置之燃燒現象較少文獻提出相關之評估經驗公式，經由本文之實驗結果整理相同木框架位置條件之燃燒現象可得知四個位置之燃燒穩定熱釋放率平均值與火源成長係數  $\alpha$  平均值相互間皆相近，但為位置於「側邊」與「後側」之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最大，「角隅」位置之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最小。
4. 探討以木框架模擬家具燃燒比較，木質家具燃燒與木框架燃燒行為較為相同，只要調整木框架表面積與引火源應可達到模擬要求。辦公椅應屬多種材料組合構成，燃燒特性中之「火源成長趨勢」可以木框架模擬。但辦公椅之不同構成材料分別於不同時間產生燃燒峰值則木框架較難以一堆之形式模擬，但可研究透過木框架不同擺設方式造成多段燃燒峰值來進行模擬可行性。
5. 「CNS1387 滅火器」之木堆實驗第 1 模型燃燒應可視為模擬木製高櫃或類似物品，第 2 模型燃燒應可視為模擬木製矮櫃或類似物品。
6. 「CNS1387 滅火器」之滅火效能對應至真實家具物品燃燒時，應可撲滅燃燒旺盛之木製高櫃，但無法撲滅燃燒旺盛之泡棉類沙發。

#### 四、主要建議事項

##### 建議一

**立即可行建議**—木框架可以模擬家具燃燒性質。但屬複合材料之辦公椅，可研究透過木框架不同擺設方式造成多段燃燒峰值來進行模擬可行性。

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：成功大學、台灣科技大學

進行大型實驗火載量設定是一項重要課題，但是真實家具費用可能很高而且取得較為不易，故以木框架模擬家具燃燒是一項實際之課題。

## 建議二

**中長期建議**—持續進行本土化實驗修正相關防火性能評估模式與建立火載量資料庫。

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局、本部營建署、消防署

火災性能化評估模式為突破一般規格化防火法規限制之方式，可使建築設計能發揮更佳的創意，本所除持續引進相關防火性能化設計與評估模式之外，並持續進行本土化實驗修正相關防火性能評估模式與建立火載量資料庫。

# **A Study on Fire Spread Characteristics for Different Fire Load Types**

## **Abstract**

**Keywords: Building Fire Safety, Fire load, Building Construction and Materials**

Fires in buildings have always been a threat to human safety and cause many thousands of deaths and billions of dollars of property loss each year. Building codes may be classified as prescriptive or performance-based. In prescriptive codes, most requirements prescribe the solutions without explicitly stating their intent. Performance-based design has become a legally usable design method in Taiwan. Fire load is one of the most basic parameters in fire safety.

This research adopts ISO 9705 room test to carry out wood crib experiments for fire simulation. The dimension of the room is 2.4m×3.6m×2.4m, a single opening 0.8m×2.0m without interior decorative material. Cribs here are taken to mean regular, three-dimensional arrays of sticks. Each stick is of a square cross section and of a length much greater than its thickness. The sticks are placed in alternating rows, with an air space separating horizontally adjacent sticks. Wood crib burning rates have been studied longer than any other product, with early data available from the 1930s. This study was designed to access the fire spread characteristics for various types of fire loads through wood crib experiments. The wood crib arrangement geometry and geometric position of wood crib in the test room are two parameters experimentally varied. Four levels for each parameter are adopted in this study and sixteen experiments are conducted.

From the results of wood cribs burning experiments, a wood crib test with a fire load of 16kg can be classified as medium growth rate t-squared fire. The coefficient of growth rate of fire ( $\alpha$ ) in our experiments is between 0.00037 and 0.00727 indicating that the maximum is approximately 20 times the minimum. It can be concluded that fire load types should be considered in the performance design. Crib porosity rate ( $\phi$ ) is observed to affect fire growth coefficient. When crib porosity rate approaches 0.7, the fire growth coefficient will reach the maximum. It appears that to cause various fire growth and spread, for a given fire load, the wood crib arrangement geometry and geometric position of wood crib in the enclosure should be considered in further design codes

# 第一章 緒論

## 第一節 研究背景與目的

在建築防火性能式設計法中，「火載量」為火災成長延燒防止、建築物結構耐火性能檢證、建築物火災避難安全性能檢證之基本參數之一。火載量是左右火災溫度火災持續時間的重要因素，在對實際火災特性進行預測時必須掌握其數值。火載量的使用種類與放置型態多具有複雜與多樣性，一般將建築物內空間中的可燃物火載量分為二大類：固定火載量（fixed load）與可動火載量（movable load）。固定火載量是指可燃性裝修材料施作之天花板、版牆、門扇等，或是櫥櫃、固定家具等；可動火載量是指建築竣工後搬入的可燃性家具、書籍、衣物、紙張等。固定火載量，在建築物設計時就確定了，而可動火載量無法根據設計圖求得，須根據建築物的用途、規模等實際量測計算。

建築防火性能式設計法中大多需要建立預測該期間內分區火災特性的模型，但是對於可燃物分佈不均勻或者類似於大空間火災，只有局部結構受火災影響的情況，則需要有其他預測手段。分區內火災主要受以下因素的影響，不同分區情況可能不完全一樣：(1)建築物的狀態(分區的形狀、尺寸)，(2)開口部位的形狀、尺寸，(3)分區周牆的熱性質，(4)可燃物的種類、數量、存放狀態。目前許多先進國家耐火設計法中係將房間開口通風特性及火載量列入主要設計參數，基於此點，除了引入先進國家的防火性能式設計法與國際接軌，如何針對目前國內現況修訂相關設計參數以符合所需，俾利推廣及實際進行性能式設計法實為重要之課題。

本研究目的希望對不同火載量型態於火災成長階段之延燒性進行實驗與討論分析。實驗進行於 ISO9705 實驗房間與實尺寸空間居室空間（5m\*6m），採用木角材堆疊成木框架，設定不同種類型態火載量

與不同擺設情況進行實驗驗證與分析討論延燒特性，探討火載量於不同型態與放置條件對於熱釋放率、火災成長與延燒之影響。

## 第二節 研究流程與步驟

本研究擬採文獻回顧，蒐集整理國內外有關木框架燃燒實驗文獻之評估經驗公式與模式。並配合「ISO 9705 房間實驗設備」以木框架作為火載量，在不同之空間條件、火載量，可燃物分佈方式、密度變化條件下進行燃燒實驗，探討木框架火載量型態對火災延燒成長行為之影響。

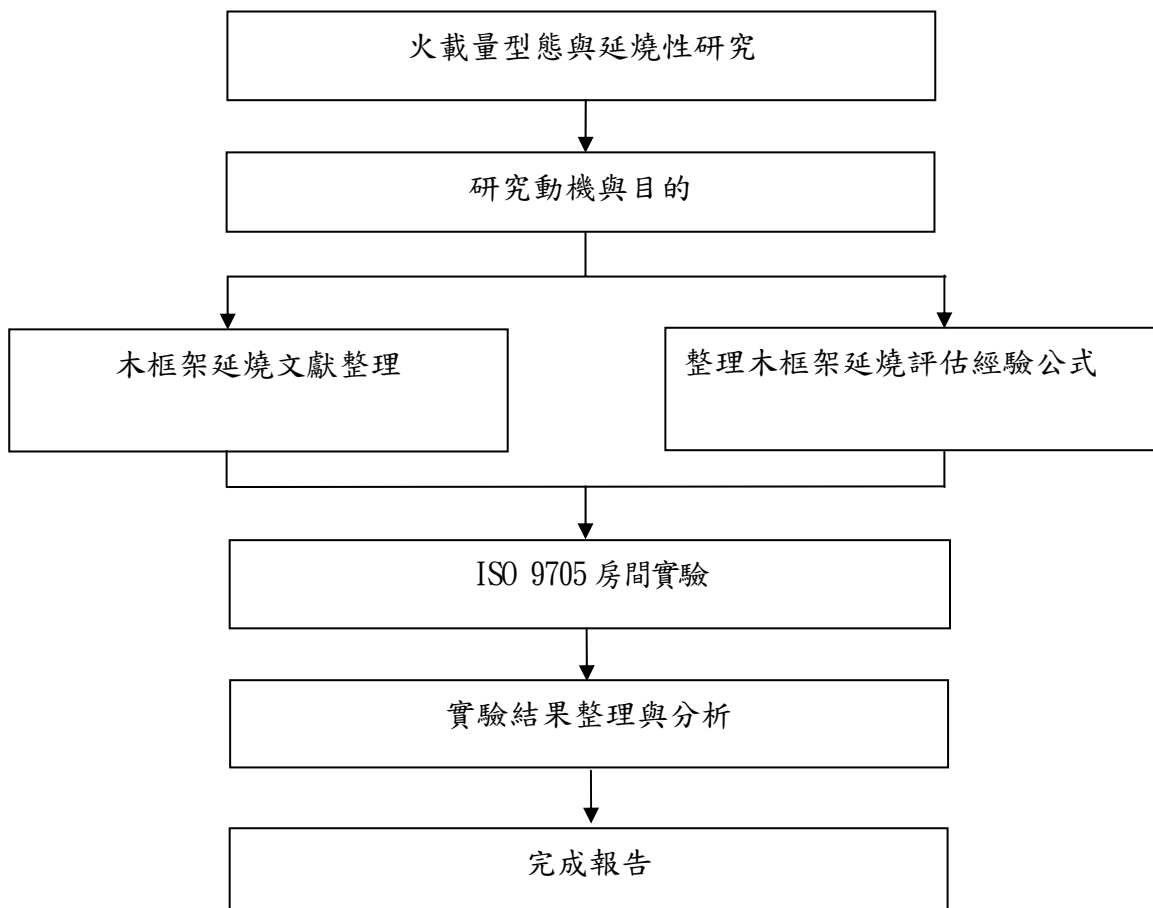


圖 1-1 研究流程圖

## 第三節 研究內容

研究內容說明如下：

### 一、文獻回顧

蒐集國內外有關木框架燃燒實驗之文獻，並整理木框架燃燒評估經驗公式與模式。

### 二、進行 ISO 9705 木框架實驗

以 ISO 9705 房間實驗設備進行木框架燃燒實驗，實驗採「堆疊條件變化」與「放置位置變化」二項因子，各設定 4 項水準共計進行 16 次實驗，探討火災延燒成長行為，並比較分析相關文獻資料木框架燃燒成長經驗公式。

## 第二章 建築物火載量與火災延燒

### 第一節 建築物室內火災特性

#### 一、火災成長與室內裝修防火對策之關係

建築物火災隨著進行過程與時間的變化，擴展的階段與過程可分為四個階段，各個階段其火災特性不盡相同，所以室內裝修相對於火災各階段亦有減低災害不同之對策。

表 2-1 「火災特性與室內裝修防火關係」

火災特性	防火目標	室內裝修對策
1. 引燃期	防止起火，微小火源能自然熄滅。	地毯、窗簾、布幕、展示用廣告版及其他指定物，必須具 <b>防焰性能</b> 。
2. 成長期	防止燃燒成長以達初期滅火之目的，抑或延緩火災成長速度以爭取逃生時間。	建築物內部牆面及天花之裝修材料應為 <b>耐燃材料</b> 。
3. 旺盛期	防止火災繼續擴大，防止延燒至其他區劃空間，防止延燒至鄰棟建築物。	分界牆或分間牆應為 <b>防火構造</b> 或使用不燃材料以及具有相當防火時效。
4. 衰退期	防止第二次點燃及再燃燒	防止外來可燃材料的加入。

(資料來源：文獻 2，P17)

室內裝修對應火災各階段之防火對策，主要目的為當有微小火源發生時能藉材料之防焰性自行熄滅，而當火災發生時能藉材料之耐燃性防止火災之擴大，並且延緩閃燃之發生增加逃生時間。

#### 二、室內裝修材料燃燒之行為

木材、煤等固態燃料以火源加熱即分解產生可燃性氣體，而起分解燃燒。汽油等液態燃料容易產生揮發性的低燃點之可燃性氣體而起

揮發性燃燒。氫、乙炔等氣體擴散在空氣中即可引起擴散燃燒。上述燃燒種類皆會產生火焰通稱發焰燃燒。木炭、焦炭是以固態型態而起表面燃燒但不發生火焰則稱為不發焰燃燒。

表 2-2 物體燃燒型式分類

可燃物種類	內容		燃燒形式		舉例
			發焰	不發焰	
氣體	以液態形式即能燃燒		發焰	擴散燃燒	氫、乙炔、丙烷
液體	液體本身不起燃燒	產生之蒸氣後與空氣混合才起燃燒	發焰	揮發性燃燒	汽油、酒精
		熱分解後生成揮發性氣體才起燃燒		分解燃燒	脂肪酸、機械油
固體	固體本身不起燃燒	產生蒸氣後才起燃燒	發焰	揮發性燃燒	黃磷
		熱分解後生成揮發性氣體才起燃燒		分解燃燒	石蠟
	以固態型態而起燃燒		不發焰	表面燃燒	木炭、焦炭
	固態本生與熱分解生成的氣體一起燃燒		發焰	分解燃燒	木材、煤

(資料來源：文獻 1，P21)

室內裝修材料受溫度上升後依其燃燒狀況可分為可燃性與不燃性二類，在高溫情況下有機物會產生燃燒行為，無機物則不會產生燃燒行為但材質本身會有化學上或物理性質上的改變。一般材料受熱後之行為特性可分為以下幾類：

### (一) 升溫

材料受熱源之傳導、輻射、對流影響後依其材質本身升溫速率特性而達最高溫度，持續加熱則產生熱分解、發焰、變形、破壞等現象。

### (二) 熱分解

有機材料於高溫下皆會發生熱分解現象，熱分解開始溫度越高則代表材料耐熱性越好，但不一定防火性越好，對於木質、塑膠、橡膠等材料其熱分解溫度越高，所發生著火燃燒的可能危險性就越低。

### (三) 著火



有機材料受熱並開始產生熱分解，其過程含有可燃性氣體，於特定溫度下持續受熱則可燃性氣體持續增加，並與空氣混合達到一定濃度時，則會開始產生燃燒的現象。有機材料於燃燒的過程中若釋出燃燒熱大於引燃能量，則會持續供應引燃能量而繼續燃燒直至材料燃盡。

#### (四) 變形破壞

大部分熱可塑性高分子材料受熱溫度上升會有軟化、溶化產生變形的現象，無機材質如金屬、玻璃於高溫時也會產生軟化、溶化之現象。有機材料中熱固性高分子材料與木質材料，受熱於高溫下不會產生軟化溶化，但常因內部組成成份之熱膨脹性、熱收縮性作用，而產生碳化、龜裂、脆化等現象。

#### (五) 強度變化

材料於受熱過程中其強度也會因溫度不同而產生強度的變化，如結構鋼材超過 300°C 時強度急速減低，如高強度混凝土於高溫環境容易產生爆裂現象而影響原有設計強度。

### 三、建築室內燃燒的特徵

建築物室內燃燒時可燃物所釋放出的熱量受到周圍環境限制，熱量不易散失容易產生蓄積的現象，而造成極高的火場溫度。當建築物室內發生火災時因為空間多為密閉性質，於燃燒的過程中氧氣的供應常不足，所以燃燒成長期較長，且為不完全的高溫燃燒容易產生大量的濃煙。

開口部小之室內空間中燃燒木材疊架時，燃燒速率由其通風係數控制；於大開口部大之室內空間中燃燒木材疊架時，燃燒速率轉由木材疊架本身的參數控制。美國 Dr. P. A. Croce 曾進行室內外燃燒速率比較實驗，於一個通風極佳的建築物室內進行木材疊架實驗，結果顯示室內木材疊架燃燒速率超過室外的燃燒實驗，美國學者 Friedman 於此現象解釋為因密閉空間中的木材疊架本身木材構件之間具有較佳的輻射能回饋效果。

## 第二節 火載量的基本觀念

### 一、火載量的意義

火載量為代表建築物或防火區劃內所有可燃物於完全燃燒時所釋放出熱能的總數，一般定義為單位樓地板面積之可燃性物質的熱含量，或密閉空間中可燃性物質的總熱含量，則此時稱每單位面積之火載量為火載量密度。

建築物火災發生後所持續燃燒時間之最主要因素為建築物室內可燃物燃燒時所釋放出熱能的多寡。建築材料的可燃性質應包含：（一）引燃的難易程度。（二）熱釋放率。（三）熱總釋放量。材料的點火溫度、性狀、外型與組織等會影響材料引燃的難易程度，例如相同重量之木材其為塊狀與片狀其熱總釋放量相同，而其引燃的難易程度則大為不同；表面積、組織、方向性、曝火狀況等則決定同種材料的熱釋放率，熱釋放率越大則火勢的成長越快；材料的重量則決定熱的釋放總量。

表 2-3 木材之點火溫度及發火溫度

樹種	點火溫度 (°C)	樹種	發火溫度 (°C)
柳杉	240	黃楊木	447
檜木	253	檫	426
鐵杉	253	栗子	460
赤松	263	櫻桃	416
落葉松	271	米松	445
雲杉	262	橡木	455
檫	264	鐵杉	445
橡木	270	赤松	430
杉毛檫	272	雲杉	437

(資料來源：文獻 4，P22)

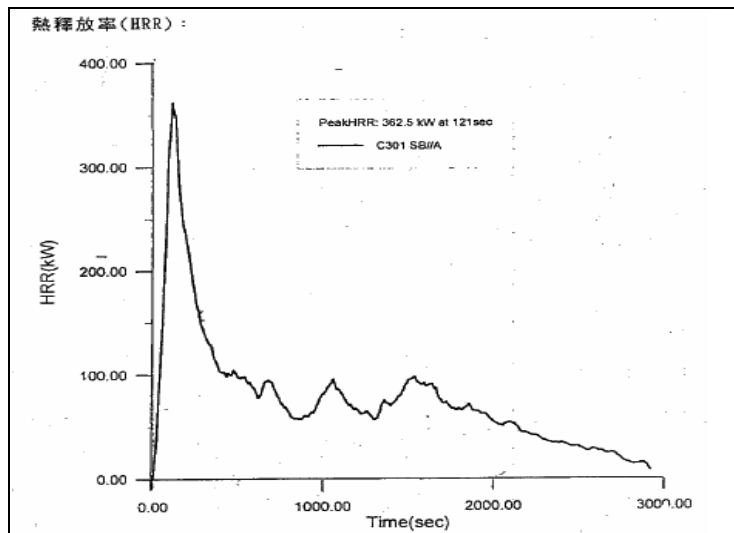


圖 2-1 辦公傢俱燃燒釋熱速率與時間關係圖 (資料來源：文獻 3，P108)

## 二、火載量的類別

建築物室內可燃物的種類與型態非常的豐富與多樣化，曾有學者 G. I. Finch 將可燃物的種類依其點燃容易的程度分為三大類別：「纖維性」(tinder)、「屑粒性」(kindling)與「大體積者」(bulk fuel)等。

為便於火載量的調查與計算，一般將建築物內空間中的可燃物火載量分為二大類：固定火載量 (fixed load) 與可動火載量 (movable load)。固定火載量是指可燃性裝修材料施作之天花板、版牆、門扇等，或是櫥櫃、固定家具等；可動火載量是指建築竣工後搬入的可燃性家具、書籍、衣物、紙張等。固定火載量，在建築物設計時就確定了，而可動火載量無法根據設計圖求得，須根據建築物的用途、規模等實際量測計算。

表 2-4 可動火載量與固定火載量分類

		固定火載量		可動火載量	
		室內裝修部分		室內家具部分	家具內容物
項目		變異情況		較多	最多
		較少			
1	地板		◎		
2	牆面		◎		

3	天花板	◎		
4	室內隔間	◎		
5	衣櫃、雜物櫃(固定式)	◎		
6	衣櫃、雜物櫃(活動式)		◎	
7	桌子		◎	
8	椅子		◎	
9	隔屏		◎	
10	床鋪		◎	
11	燈具			◎
12	電腦			◎
13	書籍			◎
14	衣服			◎
15	寢具			◎

(資料來源：文獻 5，P10)

### 第三節 火載量技術應用概況

火載量是左右火災溫度與火災持續時間的重要因素，在對實際火災連續性進行預測時，此數值必須加以掌握。在日本「建築物結構耐火性能檢證法」中即是以室內可燃物發熱量、內裝用材料發熱量及鄰接室熱入侵量之總合來計算場所的火載量，進一步估算火災持續時間，利用火災持續時間與結構物的防火時效相比較來評斷建築結構是否可能因為火災而倒塌。在「避難安全性能檢證法」中，火載量大表示發熱量大，間接影響了人員避難的時間。火載量為熱釋放率與時間的函數，在「建築火災煙控性能式設計法」中，熱釋放率則是預估火災成長之主要參數。另外，在 NFPA75、FM Global15-14 等規範中，亦有建築物內有可燃性建材或過量的可燃性物質時，全棟建築物均應裝設自動撒水設備等有關規定。因此，火載量在建築火災危險性評估時，有一定的重要性。

## 第四節木框架熱釋放率估算理論

### 一、Babrauskas 木框架燃燒估算理論

Babrauskas (2002) 木框架(wood cribs)意指為具有規則性排列之三度空間，每一支木角材皆具矩形斷面而且長度要超過厚度甚多，木條以交錯的方式堆積排列，每一層皆以空隙相互間隔。已有許多學者利用木框架(wood cribs)進行火災實驗，且木框架比其他材料更早被利用，許多分析經驗公式已被提出。本項討論與文獻條件一致以一堆之 (A1 組別) 條件進行。

Babrauskas 對於木框架底部整體點燃以及中間點燃方式的不同，提供了質量損失率的經驗公式。Babrauskas 指出，對於整體點燃之寬鬆結構，質量損失率受燃料表面控制(fuel surface control)，其參數包含初始質量、木條寬度和燃燒時間。密集結構之質量損失率則受木框架多孔性控制(crib porosity control)，其參數包括初始質量和幾何結構。對於中間引燃方式而言，定義火焰延燒至木框架邊緣時間為  $t_0$ ，且  $t_0$  與每層木條支數呈線性關係。在燃燒時間未達  $t_0$  前，質量損失率的參數為起始質量、燃燒時間、木條寬度和每層支數；在燃燒時間超過  $t_0$  之後，其質量損失率則與整體點燃方式相同。木框架堆疊之幾何參數如圖 2-2 所示。由 Babrauskas 研究所得之經驗公式：

$$\dot{m} = \frac{4}{D} m_0 v_p \left(1 - \frac{2v_p t}{D}\right) \dots\dots\dots (1)$$

其中  $\dot{m}$  = 質量損失率(kg/s)

$m_0$  = 木框架初始質量(kg)

$D$  = 木條寬度(m)

$v_p$  = 燃料表面消耗率(fuel surface regression rate ,m/s)，對於木料而

$$\text{言, } v_p = 2.2 \times 10^{-6} D^{-0.6}$$

$t$  = 從木框架完全引燃起算之時間(s)

令(1)式中  $t=0$ ，則可得到最大質量損失率為：

$$\dot{m} = \frac{4}{D} m_0 v_p \dots\dots\dots (2)$$

此式所計算出之質量損失率可視為將木條全部散開放置，木條間無相互覆蓋而不能接觸空氣之面積，估算值乃以木條所有面積計算，故其估算值會高於木框架中堆疊而有覆蓋面積之情形。

另外利用木框架堆疊時不被木條掩蓋之表面積，以及燃料表面消耗速率之觀念推導出木框架質量損失率之估算公式為：

$$\dot{m}_f = 2 \frac{S}{S+D} v_p \frac{m_o}{D} \dots\dots\dots (3)$$

其中  $\dot{m}_f$ ：木框架質量損失(kg/s)

$S$ ：木條與木條之間距(m)

$D$ ：木條寬度(m)

$v_p$ ：燃料表面消耗速度(m/s)

$$= 2.2 \times 10^{-6} D^{-0.6}$$

$m_o$ ：木框架初始重量(kg)

(3)式之估算值是將木條相互覆蓋之面積全部扣除，故其估算乃是以最低之燃燒面積估算。但實際實驗中，木條之堆疊並未釘死，故覆蓋面積間之空隙仍會有空氣進入，且木條經燒烤後會產生變形，使得燃燒面積增大，故實驗之熱釋放率會高於(3)式之估算值。Babrauskas 研究所得之經驗公式並考量到木框架之孔隙率限制條件如下列公式：

$$\dot{m} = 4.4 \times 10^{-4} \left( \frac{S}{h_c} \right) \left( \frac{m_o}{D} \right) \dots\dots\dots(4)$$

Babrauskas 研究所得之經驗公式並考量到木框架之燃燒空間通風限制條件時如下列公式：

$$\dot{m} = 0.12 A_v \sqrt{h_v} \dots\dots\dots(5)$$

利用(2)、(3)、(4)、(5)式計算出其質量損失率之後，再乘上木條之熱值(14.09 MJ/kg)即可求得理論熱釋放率。

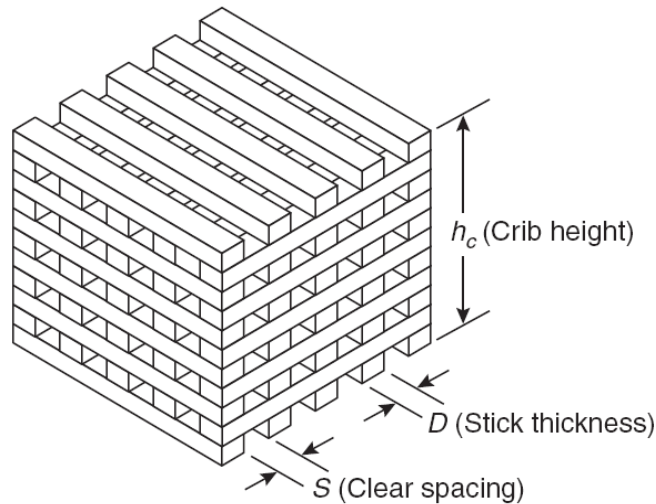


圖 2-2 木框架之幾何尺寸

### 一、Gross 木框架燃燒估算理論

Gross (1962) 對於非侷限空間之木框架燃燒實驗驗證出二種燃燒變化特徵，堆積較為寬鬆之木框架其燃燒特性應屬表面積燃燒控制，相對於堆積較為緊密之木框架其燃燒特性應屬孔隙率燃燒控制。Gross 對於孔隙率  $\phi$  之定義如下說明，木角材之尺寸為  $l \times b \times b$  (長 $\times$ 寬 $\times$ 高) 斷面為正方形， $N$  為木框架層數， $n$  為木框架每一層木角材支數，所以孔隙率  $\phi$  為

$$\phi = N^{1/2} b^{1.1} (A_v/A_s) \dots\dots\dots(6)$$

其中  $A_s$  為木框架表面積，

$$A_s = nN(4lb + 2b^2) - (N-1)n^2N^2 \dots \dots \dots (7)$$

$A_v$  為木框架垂直透空面積，

$$A_v = (1 - nb)^2 \dots \dots \dots (8)$$

孔隙率  $\phi$  所探討表示的物理意義為木框架燃燒時進入木框體的新鮮空氣量與燃載量的相對比值。對於孔隙率  $\phi_{Gross}$  並經實驗得出臨界控制值  $\phi_{臨界} = 0.08 \sim 0.1 \text{cm}^{-1.1}$ 。



## 第三章 實驗計畫

### 第一節 實驗目的

探討不同火載量型態條件對於熱釋放率、火災成長與延燒之影響：

於 ISO9705 實驗房間中所進行木堆實驗，探討火載量於不同放置條件對於熱釋放率、火災成長與延燒之影響。

### 第二節 實驗項目

火載量之研究其中最主要之目標為提供性能法規之制定與推展，但由於性能法規必須結合各方面之相關資料才能訂定完整，因此為了能更順利達成訂定性能法規之目標，本研究計畫結合本所 96 年度「建築物居室火災成長之研究－火災成長因素影響性探討」自行研究計畫共同整合實驗部分，所進行之時驗項目為利用「ISO9705 房間實驗設備」進行燃燒實驗。實驗上主要使用木堆作為研究對象，木堆材料為柳安木條（900×35×30cm），按照後續實驗規劃堆疊而成。

### 第三節 實驗方法與設備

ISO 9705 試驗房間(Test room)燃燒實驗設備：

(一) 集煙罩及排氣導管(Hood and exhaust duct)

排氣系統主要包含集煙罩、排氣導管及可讓氣體混合均勻的擾流片。集煙罩設置於分析房間開口上方，收集從房間開口部所流出之燃燒產物並經由排氣導管抽至氣體分析儀中進行分析。

(二) O<sub>2</sub>/CO/CO<sub>2</sub> 氣體分析儀(Gas analysers)

O<sub>2</sub> 氣體分析儀採用順磁性(Paramagnetic) 氣體分析儀，測量範圍 0~21% vol. O<sub>2</sub>。CO/CO<sub>2</sub> 採用非散射性紅外線(NDIR) 氣體分析儀，測量範圍為 0~1% CO 及 0~10% CO<sub>2</sub>。



圖 3-1 ISO 9705 試驗房間(Test room)集煙罩及排氣導管

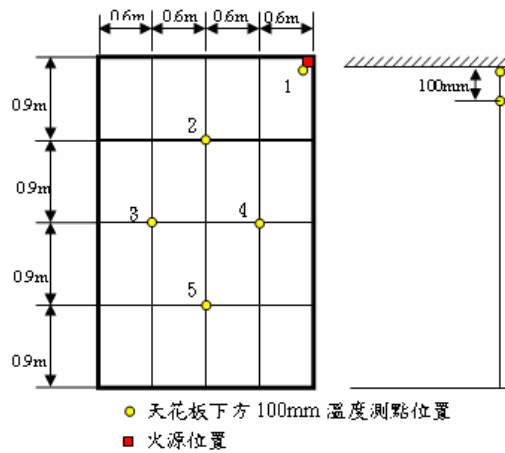


圖 3-2 天花板測溫點位置圖

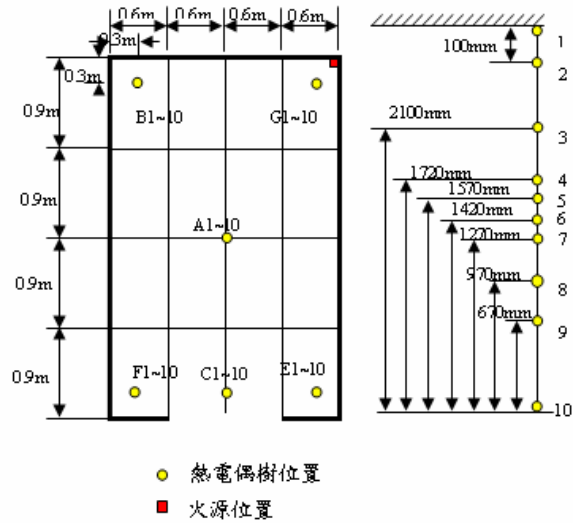


圖 3-3 熱電偶樹相關位置

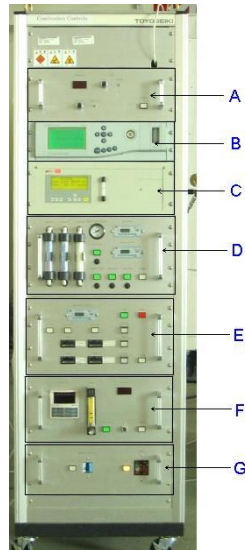


圖 3-4 O<sub>2</sub>/CO/CO<sub>2</sub> 氣體分析儀

#### 第四節 實驗配置與材料規劃

ISO 9705 房間實驗使用木框架作為火載量，實驗變化參數設定為二項因子為「堆疊條件變化」與「放置位置變化」，於這二項因子中再各設定 4 項水準，所以需進行 16 次實驗。以下就實驗因子分別加以說明：

(一) 木框架堆疊條件變化條件

實驗上使用木框架作為火載量，木角材為柳安木條（900×35×30cm），按照表 3-1 所述堆疊而成，每一次實驗皆採用相同數量之木角材 90 支堆疊成一堆，排列方式條件分為 4 種，即每一層各分為 3 支、5 支、9 支、15 支，所以對應之層數分別為 15 層、9 層、5 層、3 層。使用 1 公升（1000ml）酒精膏作為引火源，並用此設定點燃木堆，作後續觀察。

實驗紀錄項目包含 ISO 9705 Room 內部溫度。除了內部溫度之外，燃燒木堆產生的熱輻射也經由安置於地板中央的熱輻射計予以監控。熱釋放率則是透過煙罩將煙器抽出，透過氧消耗法計算書燃燒木堆所產生的熱釋放。

表 3-1 木框架堆疊條件參數表

試體代號	內容	木框架係數				備註
		長度 cm	寬度 cm	每層支數	層數	
3n15L	每層 3 支共 15 層	90	3	3	15	1. 木框架設定一堆。 2. 使用 1000ml 酒精膏作為引火源。
5n9L	每層 5 支共 9 層	90	3	5	9	
9n5L	每層 9 支共 5 層	90	3	9	5	
15n3L	每層 15 支共 3 層	90	3	15	3	

## （二）木框架位置變化條件

木框架位置變化為於 ISO9705 實驗屋之中央、側邊、角隅與後側共 4 個位置，探討限制空間之位置變化影響通風條件，對於火災延燒之影響，實際配置如圖 3-5 所示。

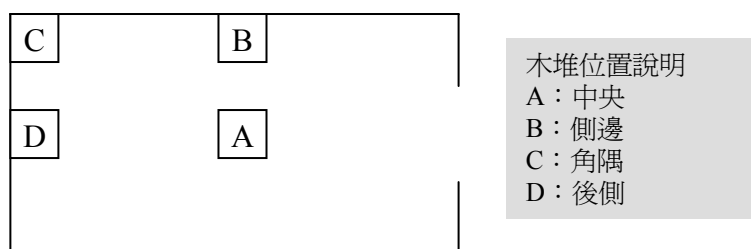


圖 3-5 木框架位置條件參數

## 第四章 實驗結果與整理

### 第一節 ISO9705 木框架實驗結果整理

ISO 9705 木框架實驗採「堆疊條件變化」與「放置位置變化」二項因子，各設定 4 項水準共計進行 16 次實驗。實驗結果平均值整理於表 4-1。該表中實驗結果相關參數說明如圖 4-1，「 $\alpha$ 」為火源成長係數為 T-squared 曲線數，「 $R^2$ 」為火源成長係數之相關係數；「 $t_0$ 」為木框架引燃開始時間，「 $t_s$ 」為火災成長至 90% 最大 HRR 時間，亦為 90% 穩定熱釋放率開始時間，「 $t_e$ 」90% 穩定熱釋放率結束時間；「 $\phi$ 」孔隙率 (Porosity factor) 計算採 p.13 Gross (6) ~ (7) 公式。

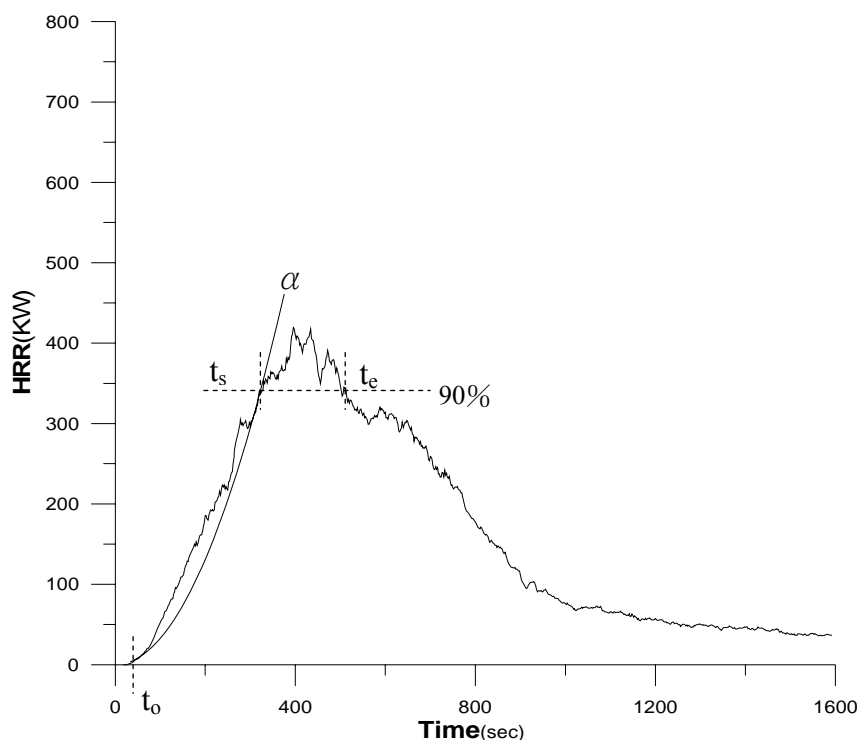


圖 4-1 燃燒時間與熱釋放率關係圖

表 4-1 ISO 9705 木框架實驗結果

實驗編號	木框架係數				孔隙率 Porosity factor	木框架位置	最高熱 釋放率	平均穩定 熱釋放率 90%	火源成長係數		火災成長時間 (sec)			最高溫度 (天花板)
	木角材 長度 l(cm)	木角材 寬度 b(cm)	每層 支數 n	木框架 層數 N	$\phi$		(kw)	(kw)	$\alpha$	$R^2$	$t_0$	$t_s$	$t_e$	$^{\circ}C$
A1	90	3	3	15	1.5335	A (center)	449.36	407	0.00228	0.8559	23	374	444	428.7
B1	90	3	3	15	1.5335	B (side)	334.68	272	0.00037	0.8462	42	816	900	252.2
C1	90	3	3	15	1.5335	C (corner)	591.17	534	0.00203	0.8420	30	380	425	376.3
D1	90	3	3	15	1.5335	D (back side)	350.68	288	0.00080	0.8323	36	591	669	240.6
A2	90	3	5	9	0.8354	A (center)	739.23	576	0.00727	0.9493	33	249	341	643.5
B2	90	3	5	9	0.8354	B (side)	792.16	673	0.00585	0.9003	25	285	333	552.3
C2	90	3	5	9	0.8354	C (corner)	610.76	515	0.00308	0.9305	44	362	411	391.5
D2	90	3	5	9	0.8354	D (back side)	547.99	516	0.00486	0.9737	37	288	370	326.0
A3	90	3	9	5	0.2668	A (center)	476.68	370	0.00327	0.8901	33	377	485	507.1
B3	90	3	9	5	0.2668	B (side)	562.95	457	0.00497	0.9549	33	292	392	445.8
C3	90	3	9	5	0.2668	C (corner)	611.97	512	0.00517	0.9483	33	303	385	385.9
D3	90	3	9	5	0.2668	D (back side)	481.34	451	0.00449	0.9599	37	311	440	308.3
A4	90	3	15	3	0.0521	A (center)	408.99	328	0.00236	0.9303	62	377	622	477.1
B4	90	3	15	3	0.0521	B (side)	378.26	295	0.00239	0.6885	40	385	607	302.1
C4	90	3	15	3	0.0521	C (corner)	525.60	416	0.00337	0.7050	21	361	528	347.1
D4	90	3	15	3	0.0521	D (back side)	516.15	455	0.00493	0.8847	34	309	452	316.9



圖 4-2 ISO 9705 木框架實驗前設定情況



圖 4-3 ISO 9705 木框架實驗過程燃燒情況

## 第二節 ISO9705 木框架實驗結果分析

### 一、木框架堆疊條件變化之燃燒現象

木框架(wood cribs)意指為具有規則性排列之三度空間，每一支木角材皆具矩形斷面而且長度要超過厚度甚多，木條以交錯的方式堆積排列，每一層皆以空隙相互間隔。已有許多學者利用木框架(wood cribs)進行火災實驗，且木框架比其他材料更早被利用，許多分析經驗公式已被提出。

經由本文之實驗結果整理相同木框架堆疊條件之燃燒現象如圖 4-4。經由表 4-2 可得知 3n15L 木框架之延燒性最慢且於不同位置之火源成長係數差異性最大。5n9L、9n5L 木框架延燒性較快速且於不同位置之火源成長係數差異性較小。

表 4-2 木框架堆疊條件變化之火源成長係數比較表

實驗編號	木框架係數				木框架位置	火源成長係數	
	木角材長度 l (cm)	木角材寬度 b (cm)	每層支數 n	木框架層數 N		$\alpha$	$R^2$
A1	90	3	3	15	A (center)	0.00228	0.8559
B1	90	3	3	15	B (side)	0.00037	0.8462
C1	90	3	3	15	C (corner)	0.00203	0.8420
D1	90	3	3	15	D( back side)	0.00080	0.8323
					$\mu$ (平均數)	<b>0.00137</b>	
					$\sigma$ (標準差)	<b>0.00080</b>	
A2	90	3	5	9	A (center)	0.00727	0.9493
B2	90	3	5	9	B (side)	0.00585	0.9003
C2	90	3	5	9	C (corner)	0.00308	0.9305
D2	90	3	5	9	D( back side)	0.00486	0.9737
					$\mu$ (平均數)	<b>0.00526</b>	
					$\sigma$ (標準差)	<b>0.00152</b>	
A3	90	3	9	5	A (center)	0.00327	0.8901
B3	90	3	9	5	B (side)	0.00497	0.9549
C3	90	3	9	5	C (corner)	0.00517	0.9483
D3	90	3	9	5	D( back side)	0.00449	0.9599
					$\mu$ (平均數)	<b>0.00447</b>	
					$\sigma$ (標準差)	<b>0.00060</b>	
A4	90	3	15	3	A (center)	0.00236	0.9303
B4	90	3	15	3	B (side)	0.00239	0.6885
C4	90	3	15	3	C (corner)	0.00337	0.7050
D4	90	3	15	3	D( back side)	0.00493	0.8847
					$\mu$ (平均數)	<b>0.00326</b>	
					$\sigma$ (標準差)	<b>0.00104</b>	



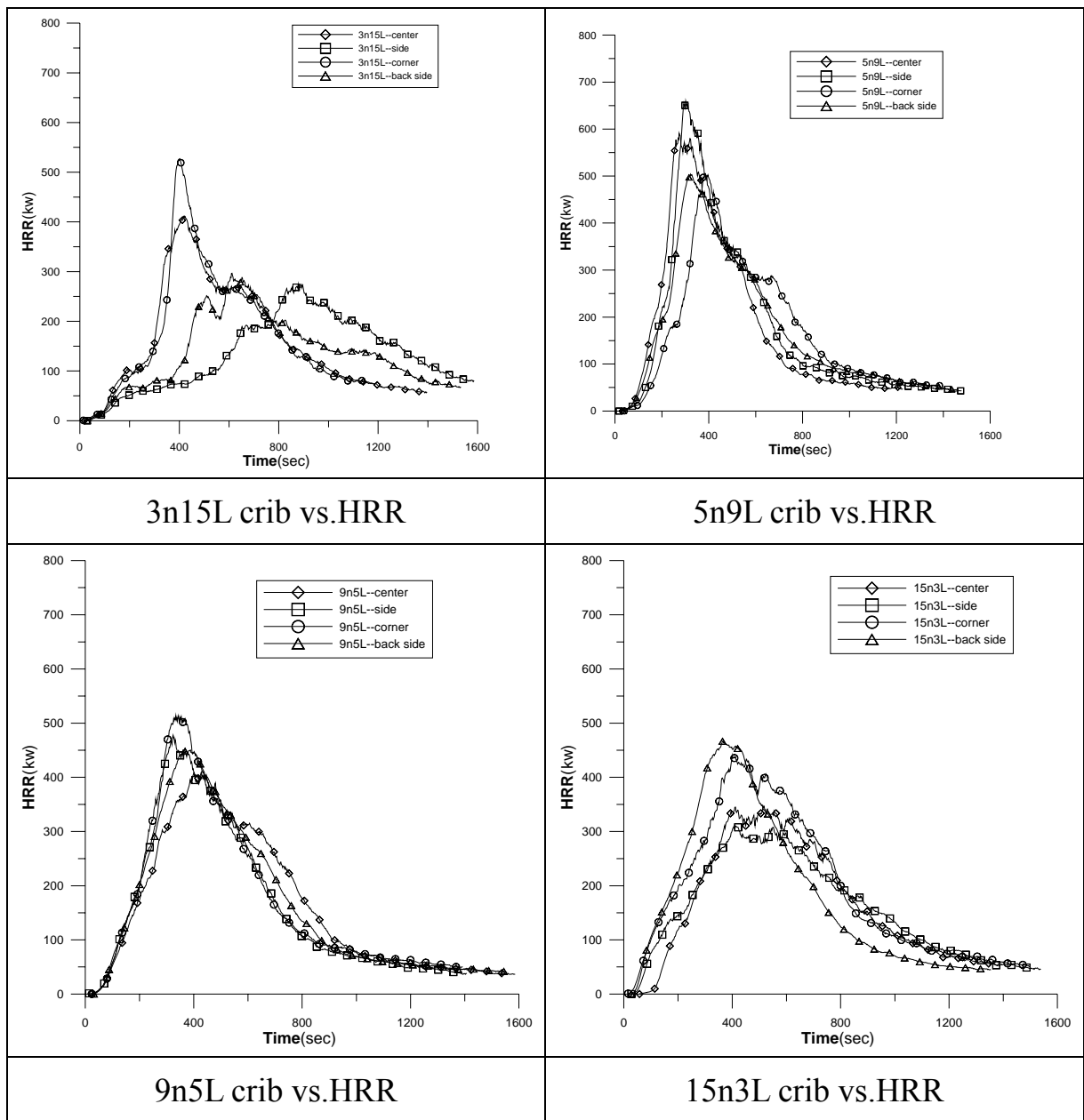


圖 4-4 木框架堆疊條件變化之燃燒現象比較圖

木框架堆疊條件變化相對與其孔隙率也會產生改變，所以由孔隙率的觀點也可以說明燃燒之變化趨勢。

由 Gross (1962) 對於木框架燃燒定義孔隙率  $\phi$  與燃燒火源成長係數之關係如圖 4-5，可以觀察出孔隙率太小或太大都會影響降低火源成長係數，孔隙率  $\phi$  約在 0.7 時會產生最大之火源成長係數。

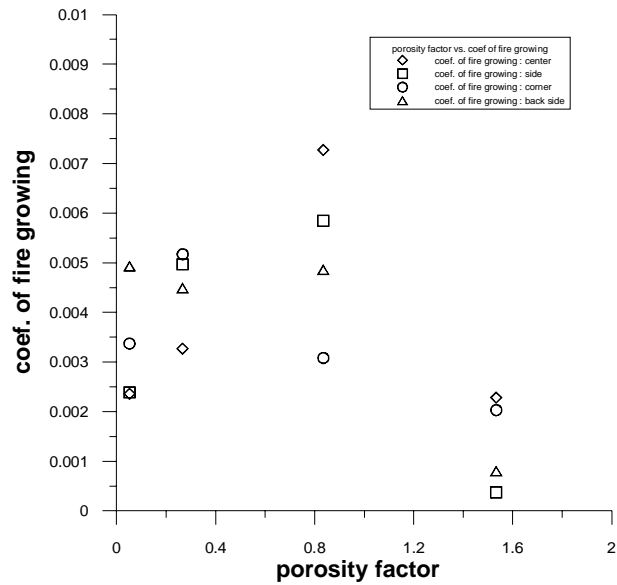


圖 4-5 孔隙率與火源成長係數比較圖

## 二、木框架位置條件變化之燃燒現象

對於木框架於不同位置之燃燒現象較少文獻提出相關之評估經驗公式，經由本文之實驗結果整理相同木框架位置條件之燃燒現象如圖 4-6。經由表 4-3 可得知四個位置之燃燒穩定熱釋放率平均值與火源成長係數  $\alpha$  平均值相互間皆相近，於 420kw~490kw 之間與 0.0033~0.0037 之間，但為位置於「側邊」與「後側」之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最大，「角隅」位置之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最小。

表 4-3 木框架位置條件變化之穩定熱釋放率與火災成長係數比較表

實驗編號	木框架係數				孔隙率 Porosity factor	木框架位置	平均穩定 熱釋放率 90%	火源成長係數	
	木角材 長度 l (cm)	木角材 寬度 b (cm)	每層 支數 n	木框架 層數 N	$\phi$		(kw)	$\alpha$	$R^2$
A1	90	3	3	15	1.5335	A (center)	407	0.00228	0.8559
A2	90	3	5	9	0.8354	A (center)	576	0.00727	0.9493
A3	90	3	9	5	0.2668	A (center)	370	0.00327	0.8901
A4	90	3	15	3	0.0521	A (center)	328	0.00236	0.9303
$\mu$ (平均數)							<b>420.25</b>	<b>0.0037</b>	
$\sigma$ (標準差)							<b>94.16</b>	<b>0.0020</b>	
B1	90	3	3	15	1.5335	B (side)	272	0.00037	0.8462
B2	90	3	5	9	0.8354	B (side)	673	0.00585	0.9003
B3	90	3	9	5	0.2668	B (side)	457	0.00497	0.9549
B4	90	3	15	3	0.0521	B (side)	295	0.00239	0.6885
$\mu$ (平均數)							<b>424.25</b>	<b>0.0033</b>	
$\sigma$ (標準差)							<b>160.33</b>	<b>0.0021</b>	
C1	90	3	3	15	1.5335	C (corner)	534	0.00203	0.8420
C2	90	3	5	9	0.8354	C (corner)	515	0.00308	0.9305
C3	90	3	9	5	0.2668	C (corner)	512	0.00517	0.9483
C4	90	3	15	3	0.0521	C (corner)	416	0.00337	0.7050
$\mu$ (平均數)							<b>494.25</b>	<b>0.0034</b>	
$\sigma$ (標準差)							<b>45.95</b>	<b>0.0011</b>	
D1	90	3	3	15	1.5335	D (back side)	288	0.00080	0.8323
D2	90	3	5	9	0.8354	D (back side)	516	0.00486	0.9737
D3	90	3	9	5	0.2668	D (back side)	451	0.00449	0.9599
D4	90	3	15	3	0.0521	D (back side)	455	0.00493	0.8847
$\mu$ (平均數)							<b>427.5</b>	<b>0.0037</b>	
$\sigma$ (標準差)							<b>84.55</b>	<b>0.0017</b>	

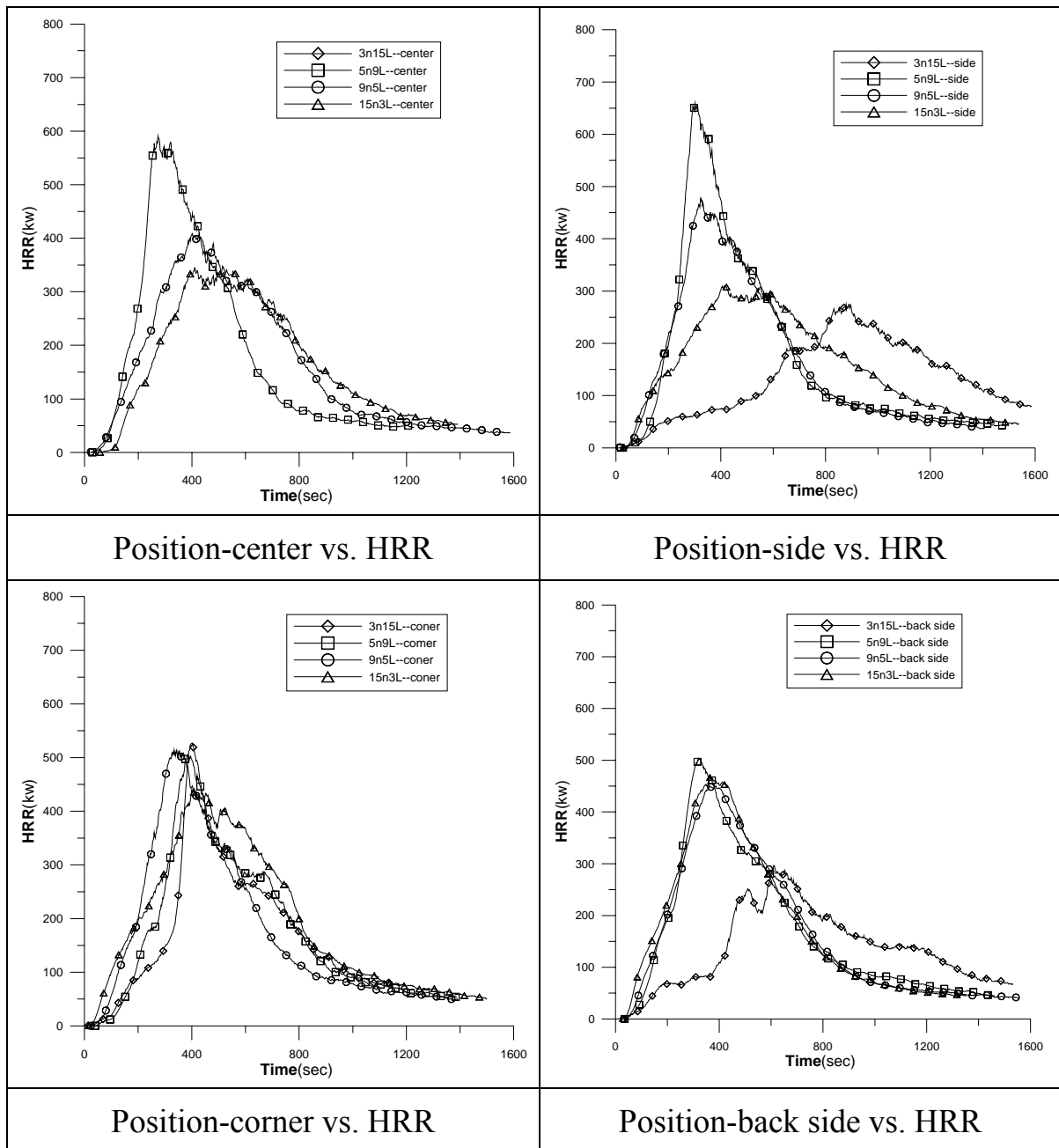


圖 4-6 木框架位置條件變化之燃燒現象比較圖

## 二、木框架燃燒與家具燃燒比較

進行大型實驗火載量設定是一項重要課題，火載量設定最好就是採用真實場景擺設之家具，但是真實家具費用可能很高而且取得較為不易，故以木框架模擬家具燃燒是一項實際之課題。本所於 94 年度自辦研究計畫曾經對桌、櫃、椅等家具進行燃燒實驗，後續即以該家具燃燒結果與本年度自案研究木框架燃燒結果進行比較，探討以木框

架模擬家具燃燒比較。

討論火載量燃燒特性時相關之基本性質影響概要如：「重量」會影響最大熱釋放率與總熱釋放量，「材質」與「表面積」會影響燃燒之速率。綜上所言「火源之成長係數」、「最大熱釋放率」與「穩定熱釋放率」等可以是描述燃燒特性之重要參數。

本所於 94 年度自辦研究計畫利用「ISO9705 房間實驗設備」進行實尺寸家具燃燒實驗結果綜合整理如下表，各項傢俱燃燒說明分述如後。

表 4-4 傢俱燃燒實驗結果

項次	名稱	實驗前重量 kg	實驗後重量 kg	燒失量 kg	燒失量比率%	熱釋放量 MJ	單位重熱釋放量 MJ/kg	火災成長係數 $\alpha$
1	高木櫃 A	52.9	1.1	51.8	97.9	727.6	13.75	0.01688
2	高木櫃 B	47.1	3.0	44.1	93.6	613.7	13.09	0.01831
3	矮木櫃	22.1	1.7	20.4	92.3	305.6	13.82	0.00138
5	椅子	20.8	10.9	9.9	47.6	202.8	9.75	0.01920

#### (1)高木櫃A

高木櫃 A 實尺寸燃燒實驗在 ISO 9705 煙罩下進行引火源熱釋放率為 30 kW，引燃時間為 19 分 29 秒，總時間為 40 分 30 秒，高木櫃尺寸為長 180cm×寬 32cm×高 152cm。



圖 4-7 高木櫃 A 燃燒實驗圖

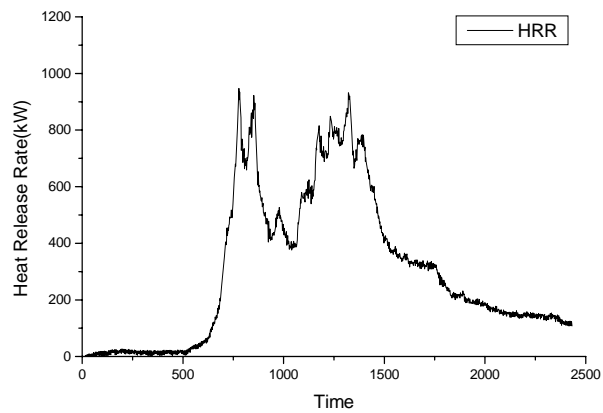


圖 4-8 高木櫃 A 之熱釋放率

實驗前重為 52.9kg，實驗後剩餘重為 1.1 kg，燒失量為 97.9%。由下可知，高木櫃 A-2 累計熱釋放量(Total Heat Release)約為 727.6 MJ，單位重之熱釋放量為 13.75 MJ/kg。

### (3)高木櫃B

高木櫃 B 實尺寸燃燒實驗在 ISO 9705 煙罩下進行引火源熱釋放率為 30 kW，引燃時間為 12 分 22 秒，總時間為 38 分 42 秒，高木櫃尺寸為長 160cm×寬 32cm×高 152cm。



圖 4-9 高木櫃 B 實驗示意圖

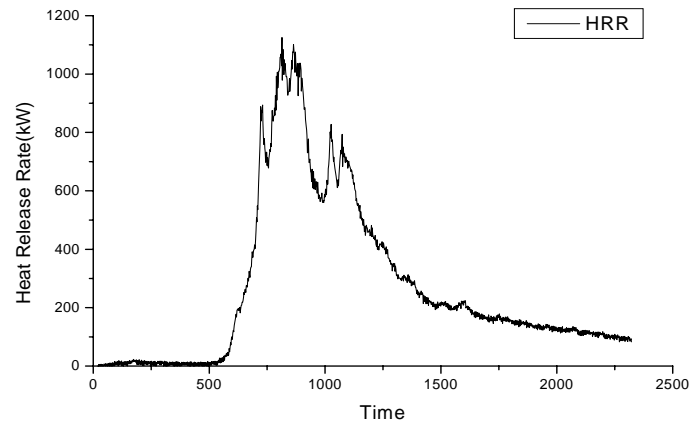


圖 4-10 高木櫃 B 之熱釋放率

實驗前重為 47.1kg，實驗後剩餘重為 3.0kg，燒失量為 93.6%。由下可知，高木櫃 B 累計熱釋放(Total Heat Release)約為 613.7 MJ，單位重之熱釋放量為 13.09MJ/kg。

#### (4) 矮木櫃

矮木櫃實尺寸燃燒實驗在 ISO 9705 煙罩下進行引火源熱釋放率為 30 kW，引燃時間為 36 分 40 秒，總時間為 54 分 02 秒，矮木櫃尺寸為長 130 cm×寬 32 cm×高 75 cm。



圖 4-11 矮木櫃實驗示意圖

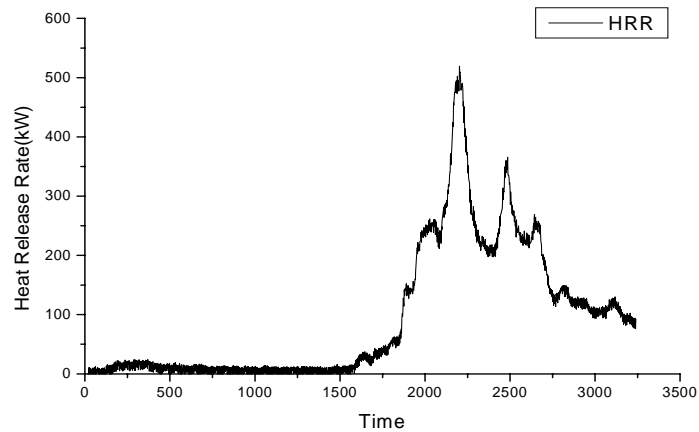


圖 4-12 低木櫃之熱釋放率

低木櫃實驗前重為 22.1 公斤，實驗後剩餘重為 1.7 公斤，燒失量為 92.3%。由下可知，低木櫃總熱釋放(Total Heat Release)約為 305.6 MJ。

(1)辦公椅

辦公椅實尺寸燃燒實驗在 ISO 9705煙罩下進行引火源熱釋放率為30 kW，引燃時間為1分40秒，總時間為34分42秒。由於辦公椅材料多數為易燃的化學聚合物所構成，因此一經引燃，熱釋放率即達峰值。

表 4-5 辦公椅組成材料表

項次	材料項目	材料說明
1	表材	壓克力布料
2	曲木板	多層原木薄片熱壓成型，厚12mm
3	泡棉	抗老化、高密度一體成型PU合成泡棉
4	扶手	PU自成皮鋼模發泡一體成型





圖 4-13 辦公椅實驗示意圖

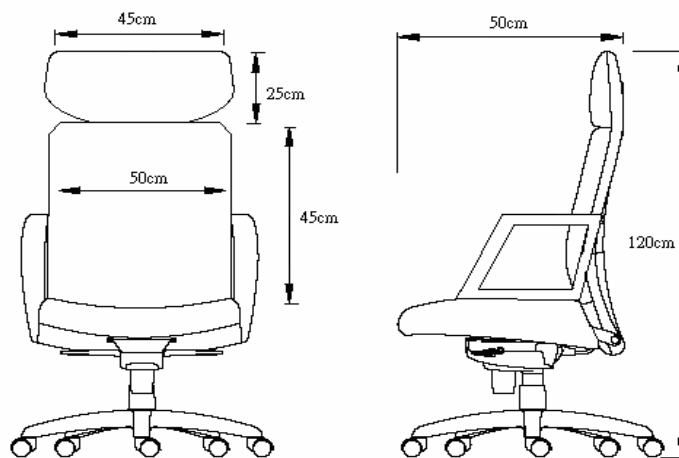


圖 4-14 辦公椅尺寸示意圖

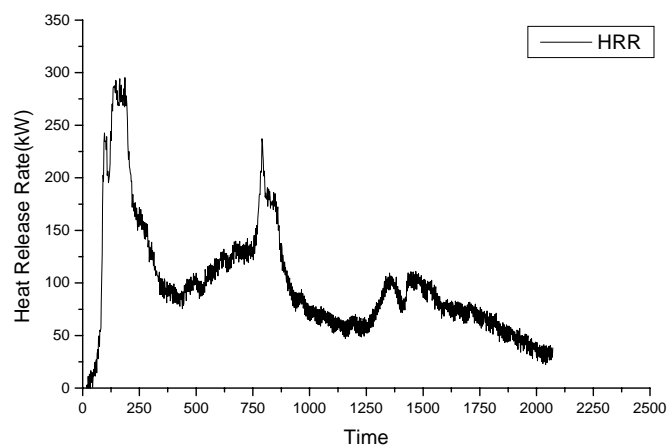


圖4-15辦公椅之熱釋放率

辦公椅實驗前重為20.8kg，實驗後剩餘重為10.9kg，燒失量為47.6%。由下可知，總熱釋放(Total Heat Release)約為202.8 MJ。

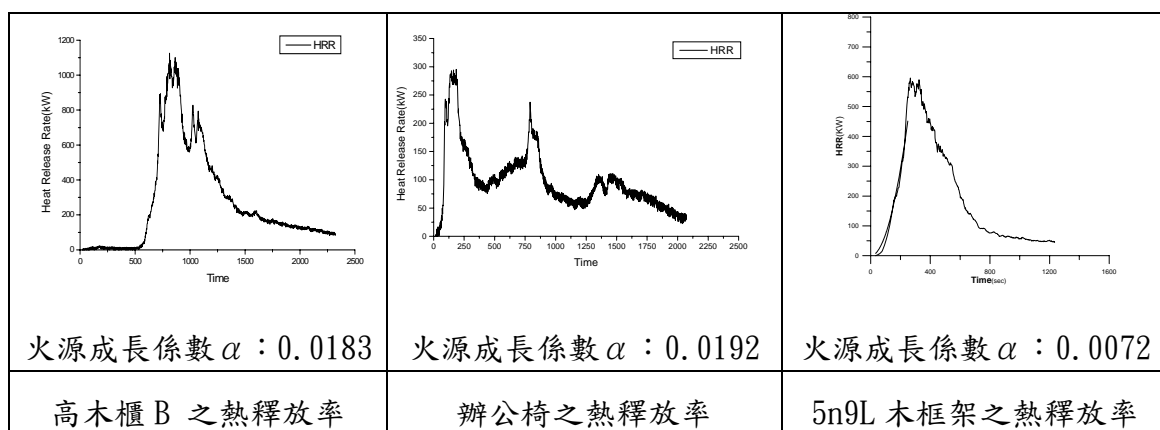


圖4-16家具與木框架之熱釋放率比較

根據圖 4-16 木質家具燃燒與木框架燃燒行為較為相同，雖然木框架火源成長係數較小，但只要調整木框架表面積與引火源應可達到模擬要求；辦公椅應屬多種材料組合構成如表 4-5，燃燒特性中之「火源成長趨勢」可以木框架模擬。但辦公椅之不同構成材料分別於不同時間產生燃燒峰值則木框架較難以一堆之形式模擬，但可研究透過木框架不同擺設方式造成多段燃燒峰值來進行模擬可行性。

### 三、「CNS1387 滅火器」之木框架模型討論分析

「CNS1387 滅火器」之 A 類火災滅火效能值測定係以木框架模型如圖 4-17 與圖 4-18，木角材採用乾燥杉或松木斷面尺寸為 3cm×3.5cm 長度為 90cm 與 73cm，第 1 模型木角材為 144 支重量約為 54kg，第 2 模型木角材為 90 支重量約為 27kg。

單位：mm

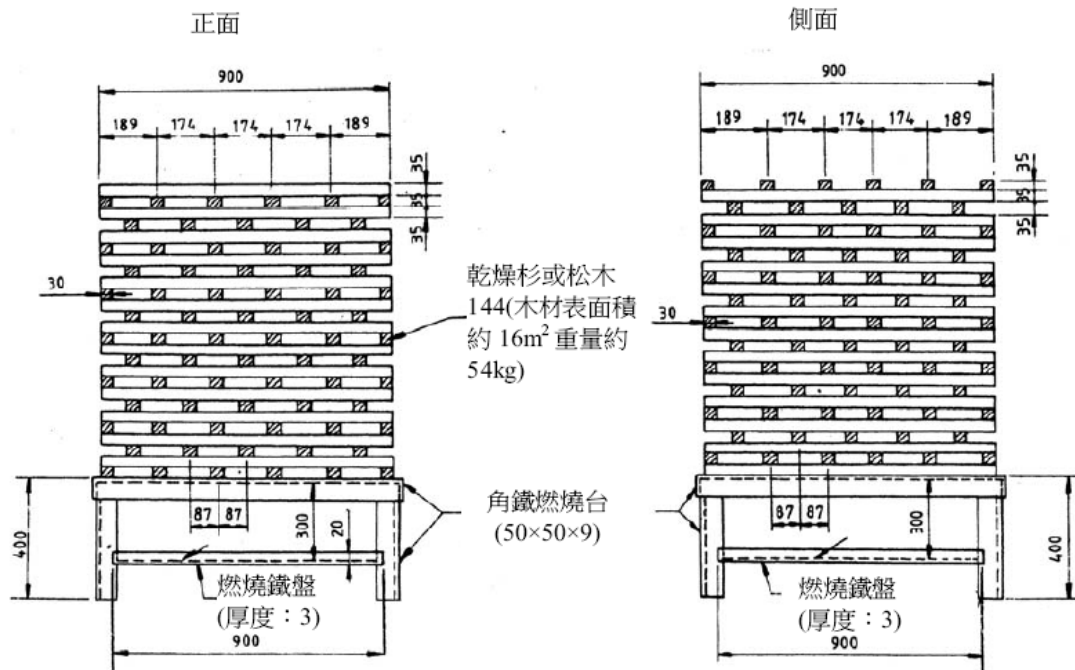


圖 4-17 「CNS1387 滅火器」之 A 類火災滅火效能值測定—第 1 模型

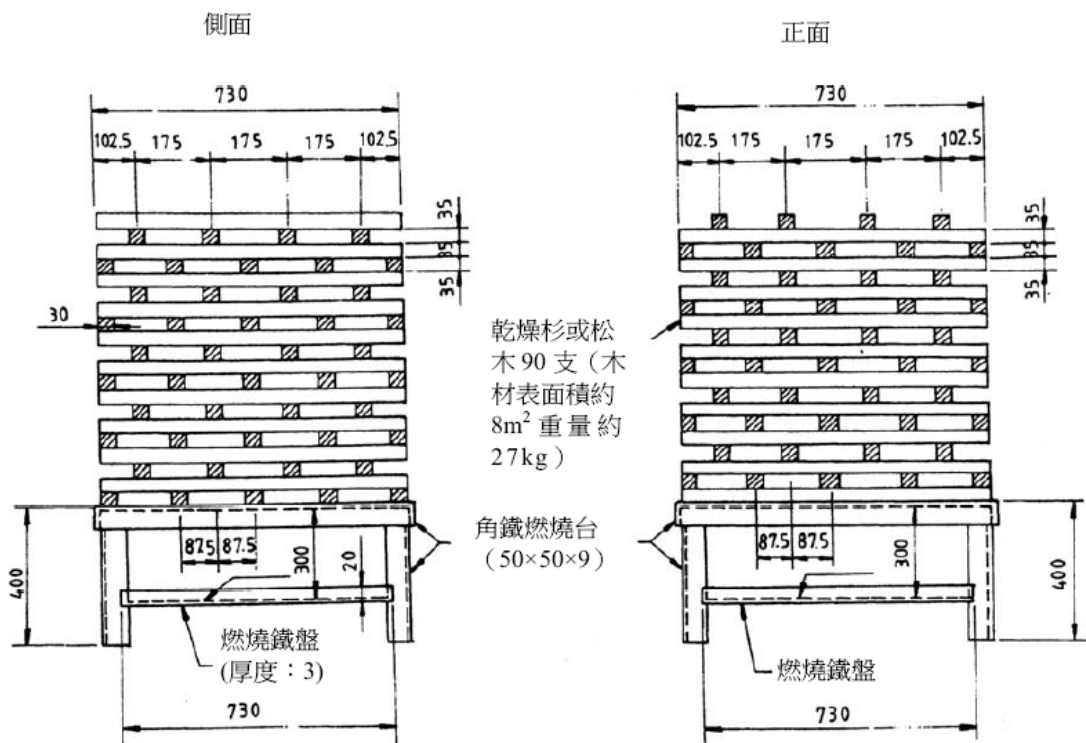


圖 4-18 「CNS1387 滅火器」之 A 類火災滅火效能值測定—第 2 模型

該模型之引燃源係採面積 90cm×90cm 鐵盤各倒入 3 公升與 1.5 公升汽油，依據本所油盤校正 10MW 氣體分析儀之結果如圖 4-19，大約等於 6.5 個油盤之熱釋放率，其引燃最大熱釋放率約為 6MW。所以當 CNS1387 油盤引燃時間 3 分鐘後之燃燒應已至衰退期，並已將木堆引燃趨近峰值。

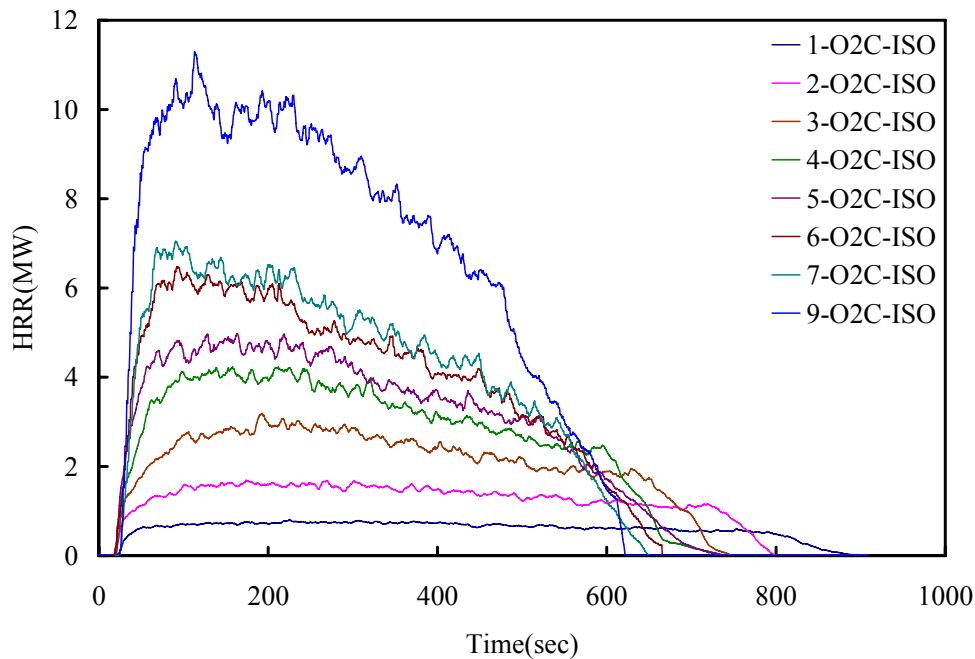


圖 4-19 油盤燃燒熱釋放率結果

依據本所進行木堆實驗預估第 1 模型木角材 144 支與第 2 模型木角材 90 支，在開放空間引燃之後其燃燒峰值約為 1.0MW 與 0.7MW。本所 93 年「火載量與閃燃時間評估在性能法規上之應用研究」所實驗與收集之家具燃燒資料庫比較，木製高櫃燃燒峰值約為 1.0MW，辦公椅約為 0.3 MW，單人座沙發燃燒峰值約為 2.0MW，三人座沙發燃燒峰值約為 3.0MW。所以第 1 模型燃燒之峰值約與木製高櫃或類似物品相當，第 2 模型燃燒之峰值約與木製矮櫃或類似物品相當。

故 CNS1387 滅火器之滅火效能對應至真實家具物品燃燒時，應可撲滅燃燒旺盛之木製高櫃，但無法撲滅燃燒旺盛之泡棉類沙發。

## 第五章 結論與建議

### 第一節 結論

- 一、於「建築物火災避難安全性能檢證法」中火災成長係數 $\alpha_f$ 共分為4種等級，根據本計畫實驗結果顯示16kg木框架火載量燃燒所形成火源成長模式屬於「中等」以下。相同火載量不同堆疊條件與擺放位置陶件變化所影響火災成長係數 $\alpha$ 為0.00037~0.00727有20倍差距，所以應用檢證法時火源之設計應加考量火源型態。
- 二、木框架火載量不同堆疊條件產生不同之孔隙率變化，孔隙率會影響木框架內氧氣之供給量，由Gross (1962)對於木框架燃燒定義孔隙率 $\phi$ 與燃燒火源成長係數之關係，可以觀察出孔隙率太小或太大都會影響降低火源成長係數，孔隙率約在0.7時會產生最大之火源成長係數。
- 三、對於木框架於不同位置之燃燒現象較少文獻提出相關之評估經驗公式，經由本文之實驗結果整理相同木框架位置條件之燃燒現象可得知四個位置之燃燒穩定熱釋放率平均值與火源成長係數 $\alpha$ 平均值相互間皆相近，但為位置於「側邊」與「後側」之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最大，「角隅」位置之不同堆疊方式所產生燃燒差異性最小。
- 四、探討以木框架模擬家具燃燒比較，木質家具燃燒與木框架燃燒行為較為相同，只要調整木框架表面積與引火源應可達到模擬要求。辦公椅應屬多種材料組合構成，燃燒特性中之「火源成長趨勢」可以木框架模擬。但辦公椅之不同構成材料分別於不同時間

產生燃燒峰值則木框架較難以一堆之形式模擬，但可研究透過木框架不同擺設方式造成多段燃燒峰值來進行模擬可行性。

五、「CNS1387 滅火器」之木堆實驗第 1 模型燃燒應可視為模擬木製高櫃或類似物品相當，第 2 模型燃燒應可視為模擬木製矮櫃或類似物品相當。

六、「CNS1387 滅火器」之滅火效能對應至真實家具物品燃燒時，應可撲滅燃燒旺盛之木製高櫃，但無法撲滅燃燒旺盛之泡棉類沙發。

## 第二節 建議

### 建議一

**立即可行建議**—木框架可以模擬家具燃燒性質。但屬複合材料之辦公椅，可研究透過木框架不同擺設方式造成多段燃燒峰值來進行模擬可行性。

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：成功大學、台灣科技大學

進行大型實驗火載量設定是一項重要課題，但是真實家具費用可能很高而且取得較為不易，故以木框架模擬家具燃燒是一項實際之課題。

### 建議二

**中長期建議**—持續進行本土化實驗修正相關防火性能評估模式與建立火載量資料庫。

主辦機關：本部建築研究所

協辦機關：經濟部標準檢驗局、本部營建署、消防署

火災性能化評估模式為突破一般規格化防火法規限制之方式，可使建築設計能發揮更佳的創意，本所除持續引進相關防火性能化設計與評估模式之外，並持續進行本土化實驗修正相關防火性能評估模式與建立火載量資料庫。

## 附錄 期初、期中、期末審查會議記錄

### 期初審查會議記錄與回應

審查意見	研究回應
<p>1. 本研究所探討之建築空間對象應先界定，以利後續研究成果應用之適切性。</p> <p>2. 「建築物結構耐火檢證法」與「建築物火災避難安全性能檢證法」所對應探討之火災階段，其所著重之時程點並不相同，建議本研究應確認所討論火災階段之內容。</p> <p>3. 歷年有關火載量之研究成果應先整理與分析，將合理化之成果彙整以利後續研究之應用。</p> <p>4. 日本檢證法與歐美防火工程對於延燒之時間估算定義不同，建議本研究可先釐清二者相異之處，並評估選取利於本土發展之方式加以驗證探討。</p> <p>5. 建議本研究應再加強確認文獻回顧之部分，運用既有之研究成果，再行探討文獻不足之部份或本土發展需求之處，以利研究成果應用之適切性。</p>	<p>1. 本研究探討性質屬單一房間。</p> <p>2. 本研究探討著重於火災成長階段。</p> <p>3. 會納入參考。</p> <p>4. 會納入參考。</p> <p>5. 會加強本土性資料庫之建立。</p>



## 期中審查會議記錄與回應

審查意見	研究回應
<p><u>何教授三平：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 不同木框架之燃燒位置是否與家具燃燒之曲線進行比較。</li> <li>2. 圖 4-6-1 之縱座標是否為 MW。</li> <li>3. 以系統化找出不同堆疊方式於相同或不相同火載量下可發展出何種火災成長曲線，以利將來模擬實際家具火災之基礎。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 後續研究會進行木框架模擬家具燃燒討論分析。</li> <li>2. 圖 4-6-1 會加以修正。</li> <li>3. 會納入參考。</li> </ol>
<p><u>賴教授啟銘：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 火場初期成長時，火的延燒途徑是相當重要的，可否由本案與第二案（火災成長因素）配合前期 full scale 辦公室火場實驗結果，合理地利用火載量型態來模擬火場內燃料的分布型態。</li> <li>2. 探討變因為 porosity，可否探討 layout，亦即陳述形狀因素。</li> <li>3. 本案與第二案的 B 因子（木堆分布）依實驗工作上是否可以共同執行。</li> <li>4. 後段工作相當重要之關鍵，值得統整第二案與前期研究成</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 會納入參考。</li> <li>2. 本案設定實驗採「堆疊條件變化」與「放置位置變化」二項因子。</li> <li>3. 會納入參考。</li> <li>4. 後段分析討論時會納入參考。</li> </ol>

<p>果予以發展。</p>	
<p><u>楊教授詩弘：</u></p> <p>1. 研究計畫若為延續型之計畫，應將計畫整體做整體描述，例如往年已做進度與後續未執行進度為何，以利審查之建議。</p>	<p>1. 會納入參考。</p>
<p><u>汪理事長精銳：</u></p> <p>1. 木角材所選定之種類與相關性質應於報告中陳述。</p>	<p>1. 會於報告中陳述。</p>
<p><u>土木技師公會全聯會代表：</u></p> <p>1. 如報告第二章第二節述及建築物室內可燃物的種類與型態分布非常的多樣化，因此如以典型規則的實驗模式之結果，逕以論斷延燒性，是否會有「以一蓋全」之嫌，請參考或做必要之限縮陳述。</p>	<p>1. 會於報告中加以說明與界定。</p>

## 期末審查會議記錄與回應

審查意見	研究回應
<p><u>何教授三平：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本研究木框架燃燒所得之 <math>\alpha</math> 值似乎很小，建議深入探討如何改變以增加 <math>\alpha</math> 值，以求能涵蓋 4 等級之火災成長。</li> <li>2. 辦公室等實物燃燒成長曲線應與其他國家所得之火災成長曲線相比較，以利瞭解國內使用物質之危害等級</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 增加 <math>\alpha</math> 值之方式可藉由增加引燃源之強度與時間達到。</li> <li>2. 可配合本土化火載量資料庫之持續建置進行。</li> </ol>
<p><u>賴教授啟銘：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 研究成果與預期目標相符合，成果優良。</li> <li>2. 建議分析不同的火場火源所得的燃燒數據，以得知所討論的木框架型態 (i. e. 火源成長係數)，據以建立穩定及具重複性的實驗用火源。</li> <li>3. 請於報告書中說明何謂多孔性控制。</li> <li>4. 請確認孔隙率 <math>\phi</math> 之單位。</li> <li>5. 本研究結果是否為疏離性火源 (3n15L) 的燃燒行為與空間所在位置有關，而較緊密者則較無關連，請說明。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請參閱本文 p12 說明。</li> <li>2. 實驗結果顯示木框架孔隙率太大或太小時，空間所在位置較有影響，於孔隙率 <math>\phi</math> 約 0.7 時空間所在位置影響最小。</li> </ol>
<p><u>楊教授詩弘：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 針對本年結果，請提出後續要</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 會納入參考。</li> </ol>

<p>做的研究規劃。</p>	
<p><u>土木技師公會全聯會代表（李天河）：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 請確認附錄部分是否為「期初、期中審查會議記錄與回應」？並做必要之修正。</li> <li>2. 有關期初與期中審查會議之審查意見回應，顯示多處「會納入參考」，請確認是否「已納入參考」及其「修正內容」，並建議做必要之修正。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已修正。</li> <li>2. 已確認。</li> </ol>
<p><u>陳建忠組長：</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 本案研究成果可與 CNS 相關消防器材檢測規定之引燃木堆火源比較討論或提出建議。</li> <li>2. 研究成果應說明如何運用於火災模擬軟體之參數設定。</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 已於第四章討論分析「CNS1387 滅火器」之木框架模型。</li> <li>2. 會列入下年度研究參考。</li> </ol>

## 參考書目

### 中文部份：

1. 中井多喜雄、陳博文 (1996)，防災消防設備的技術，千華出版公司
2. 陳建忠 (1999.06)，建築物室內裝修防火技術手冊之編定與應用，內政部建築研究所，台北市
3. 林慶元 (1994.06)，建築物室內傢俱燃燒特性之研究，內政部建築研究所，台北市
4. 陳長庚 (1985.07)，建築防火設計模式提議，成功大學碩論，台南市
5. 陳建忠 (2002)，建築物各類場所火載量調查與評估技術之研究(一) 公共集會類建築物，內政部建築研究所，台北市
6. H W Yii (2000)，Effect of Surface Area and Thickness on Fire Loads，Fire Engineering Research Report 2000/13，Christchurch
7. Q. Xu, G. J. Griffin, Y Jiang, A. D. Bicknell, G. P. Bradbury and N. White<sup>2</sup>, CALIBRATION BURNING OF WOOD CRIB UNDER ISO9705 HOOD, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, April 3, 2007
8. The SFPE Handbook of Fire Protection Engineering, 3rdEd., ISBN: 087765-451-4.
9. Q. Xu, G. J. Griffin, Y Jiang, C. Preston, A. D. Bicknell, G. P. Bradbury and N. White, STUDY OF BURNING BEHAVIOR OF SMALL SCALE WOOD CRIB WITH CONE CALORIMETER, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, May 8, 2007