

# 以圓錐量熱儀分析裝修板材燃燒特性之研究

柯佑沛\* 蔡匡忠\*\* 蔡銘儒\*\*\* 陳佳玲\*\*\*\*

\*國立高雄第一科技大學營建工程系助理教授

\*國立高雄第一科技大學環境與安全衛生工程系助理教授

\*\*內政部建築研究所防火實驗中心主任

\*\*\*國立高雄第一科技大學營建工程系研究生

## 摘要

自民國 100 年 9 月 1 日起將全面改以 CNS14705 圓錐量熱儀法為國內唯一耐燃建材測試方法。但台灣地區氣候高溫高濕，當裝修材長期暴露於如此之氣候條件下，其引燃時間與熱釋放率是否與規範所定義的恆溫恆濕條件下相同，是值得進一步探究。本研究以普通合板為基材，運用田口實驗設計及分析，探討基材厚度、表面材、試體前置溫、濕度四因子對測試結果的影響與重要性。實驗結果顯示，裝修材表面處理方式影響其防火性能最大，甚至造成有加速引燃的可能；試體之基材厚度及前置溫度屬於次要因子；而試體的前置濕度相對地則影響性程度較小。

關鍵詞：圓錐量熱儀、熱釋放率、平均質量損失率

## Abstract

CNS14705 “Method of test for heat release rate for building materials - cone calorimeter method”, and will make it the exclusive method for testing the fire resistance of construction materials countrywide from September 1, 2011. the materials are long exposed to the high temperature and humidity environment of Taiwan, the fire load and the heat release rate tested may not reveal the real behaviors. This research, plywood is used as the base material. The Taguchi method is applied with the thickness, surface materials, the initial temperature, and the initial humidity as the control factors. From the results, it is found that the surface materials is the most dominant factor. Improper surface treatment will even accelerate the ignition. The thickness and the initial temperature of the specimens are secondly important. Consequently, the humidity of the specimens has less effect on the test results.

Keyword: Cone Calorimeter, Heat Release Rate, Average Weight Loss Rate

## 一、前言

現階段國內雖已建置此項設備相關的建材燃燒資料，但因依據試驗規範之操作方式，受測試體需於一定之溫濕度條件下予以養護達至恆重方可進行；雖然可以在一定的溫濕度條件下取得穩定之實驗數據，但其試驗前置條件卻不見得與實際火害現場前置條件相符，台灣地區氣候高溫高濕，當裝修材長期暴露於如此之氣候條件下，其火載量與熱釋放率是否與規範所定義下恆溫恆濕條件下相同，是值得進一步探究；另在室內裝修上國人普遍因家居整體規劃為主要考量，於室內常使用各種板材裝修，又為增加視覺上的美觀，裝修板材上再黏貼各種表面材，於火災發生時，這些大量使用的裝修材料之燃燒特性則在在影響後續火災成長之行為。

本研究的目的是在於探討裝修材料在進行 CNS14705 測試時，下列四因子對板材品質特性的影響，包含：(一) 基材厚度、(二) 表面材種類、(三) 試體的前置溫度及 (四) 試體的前置濕度。

經由運用田口實驗設計分析評估上述四因子的對測試結果的影響與重要性，並探討前置溫、濕度對於板材之「引燃時間」、「總熱釋放量」、「熱釋放率」、及「平均質量損失率」等測試結果之影響與特性，用以討論目前測試標準中對於養護溫度與濕度等規定之適切性。

## 二、文獻回顧

室內火災發展的各個階段各有其特性；建築物室內防火的對策即在針對各階段的特性而因應之，以防火勢的擴大，以降低其危害。建築物裝修（飾）所用的材料是重要的關鍵。如果能採用具耐燃、防焰的防火材料，則由於其不易引燃或延燒、不會產生濃煙的特性，必能大大降低室內火災發生的頻率與火害的程度。因此，室內裝修（飾）採用防火材料可說是建築物防火的第一道防線。

### (一) 室內裝修材料的火災危險性

很多的火災調查統計分析指出，許多火災都是由於裝修材料的燃燒所引起的，而造成人員重大傷亡和財產損失嚴重也是由於裝修材料採用了大量的可燃、易燃材料所致。室內裝修採用可燃、易燃性材料裝修的火災危險性，表現在以下五個方面（陳俊勳，1997）：

#### 1. 使建築發生火災的機率增大

建築內部裝修採用可燃/易燃材料多、範圍廣，則火源接觸到可/易燃材料的機會就增加，因而引起火災的可能性增大。在很多的火災案例皆可發現起火點週遭堆滿易燃物的例子。

## 2.傳播火燄，使火焰迅速蔓延擴大

發生火災後，可/易燃性裝修材料會把火焰傳播開來，造成火勢迅速擴散。火勢在建築內部的蔓延可以透過天花板、牆面和地面的可燃裝修材，從失火房間擴散至走道，再從走道蔓延到垂直向（如樓梯、管道間等）的通道向上層延燒，或由燒破窗戶，由外牆往上層開口引燃可燃物（如窗簾、陽台可燃雜物）後往上延燒，而使火災蔓延擴大，造成大面積火災。

## 3.造成室內閃燃提前發生

室內裝修對火災的影響主要表現在火災初期，即在閃燃之前，它對初期火災的發展速度影響很大。建築物發生閃燃的時間長短，除與建築物內可燃物品的性質、數量有關外，還與建築內部是否進行裝修及所用材料的關係極大。裝修後建築物內更加封閉，熱量不易散發，加上可燃性裝修材料導熱性能差、熱容小，因此會促使建築物內溫度上升，縮短閃燃前所需室內溫度（約在溫度 400~600°C 之間）的醞釀時間。

## 4.加大建築內的火載量

建築物內的火載量變大，則火災持續時間加長，燃燒更加猛烈，且延長火災旺盛期時間，因此造成的危害更大。

## 5.產生大量的有毒煙氣

現代裝修材料除木、布質材料外，也新增很多石化塑料，這類裝修材燃燒時能產生大量的煙霧和有毒氣體，不僅降低了火場的能見度，而且還會使人中毒、嚴重影響人員疏散和搶救。據統計，火災中傷亡的人員，大多數是煙霧中毒和缺氧窒息致死的

### （二）應用圓錐量熱儀進行材料耐燃特性之相關研究

圓錐量熱儀數據之使用可分為二大方向：一是直接成為材料判定其耐燃等級之依據，其標準為 CNS 14705（2010）、日本建築基準法及建築基準法行令。熱釋放率對火災的大小及其成長是一個很重要的參數。建築材料對火災危害有兩種不同的型式：(1)周圍之火對物體產生的危害(引燃性)；(2)物質本身起火延伸到周圍(燃燒性)。圓錐量熱儀是一部用來測量熱釋放率的儀器，不僅可測得熱釋放率，還可得到引燃時間(Time to ignition)、有效的燃燒熱(Effective heat of combustion)、質量損失率(Mass loss rate)、熱釋放率(Heat release rate)及煙濃度(Total smoke released)，是一部多功能的儀器。利用圓錐量熱儀所得的數據，來對材料的可燃性予以分級，使建築材料的防火性能有一整體性的表現方式(Salvador, 2004)。日本在熱釋放率評估

部分以輻射量  $50 \text{ kW/m}^2$  時總發熱量達  $8 \text{ MJ/m}^2$ 、最高熱釋放率達  $200 \text{ kW/m}^2$  之時間進行分級，20 分鐘以上為不燃材料，10~20 分鐘以上為準不燃材料而 5~10 分鐘以上為難燃材料(何明錦、蔡匡忠，2003 年)。另一方向，由於圓錐量熱儀數據測得之實驗數據資料眾多包含釋放之總能量、試體之引燃時間、質量損失率、煙濃度及  $\text{CO/CO}_2$  氣體產生率、有效燃燒熱、熱釋放率峰值等，由於目前國際上最先進、最實用的方法是將材料在圓錐量熱儀中進行實驗，然後輸入針對火災情境(fire scenario)所寫之火災電腦模擬程式(fire model)中，以預測火場狀況，並可以判斷決定那些材料可以安全地在建築物當中使用而不會造成嚴重火災；最常被採用之火災模擬軟體係屬場模式分析軟體，Fire Dynamics Simulator (McGrattan et al., 2008)，簡稱 FDS，為西元 2000 年 NIST/BFRL (美國國家標準暨技術協會/建築火災實驗室) 所發展出來一套火災模擬軟體，在火災模擬上頗為流傳。

在判定建築材料與室內陳設物品之耐燃等級的研究中 (Price et al., 2002)，熱釋放率是重要的指標，主要可以從兩個觀點加以解釋。(1) 可燃物燃燒後的質量損失率直接反應於熱釋放率增加上，兩者間的關係若以完全燃燒的觀點來看係維持一當量比。(2) 熱釋放率高的材料，其熱釋放直接造成物質表面溫度的提升，加速材料分子的熱分解，材料暴露於高熱通量造成高質量損失率又加速熱量釋放。另 Ezinwa(2009)更以圓錐量熱儀所得資料進行全尺寸複合多層材料之熱釋放率峰值與總熱釋放量之模擬，其分析值與實測值間之誤差介於 1%~11%。

賴宜麟 (2005) 針對圓錐量熱儀試驗與全尺寸房間試驗、表面試驗、基材試驗之總發熱量、發煙量、表面著火性與平均質量損失率進行分析比較發現，房間試驗之總發熱量與各試驗法中除基材試驗之對比性極差外，其餘之對比性良好。而圓錐量熱儀的引燃時間與表面試驗中的排氣溫度曲線  $t_c$  有相當大的差異。另各試驗法在煙濃度之對比性並不高。陳福財(2008)對於不同加熱熱通量下圓錐量熱儀運用於材料火災反應數據，以  $15 \text{ kW/m}^2$  熱通量下，推估  $30 \text{ kW/m}^2$  及  $50 \text{ kW/m}^2$  熱通量下引燃時間、最大熱釋放率峰值及到達時間，發現以較低熱通量推估較高熱通量之引燃時間，加熱熱通量越大其引燃時間越短，約與 Quintiere (1998) 所提引燃時間公式接近但仍有誤差。陳榮俊 (2006) 研究針對不同熱流場環境下圓錐量熱儀數據應用於材料火災反應評估及火災模擬，探討圓錐量熱儀水平、垂直配置之差異性及提供更符合真實牆面火災預熱範圍之實驗方法，發現在水平配置下，各試材在各熱通量下 ( $15$ 、 $30$  及  $50 \text{ kW/m}^2$ ) 之引燃時間明顯比在垂直配置下之引燃時間短，且水平之總熱釋放值比垂直方向高。

### 三、因子探討分析

火災行為模式及防火避難逃生安全設計等研究皆需建立於防火基礎之研究，建築防火的基礎研究包含材料燃燒試驗與建築物空間發熱量試驗等項目。在進行火災性能設計或消防設計時，當估算火災持續之時間，推測火災溫度分度等，設定建築物當中可燃物之火載量或熱釋放率是必要的參數。當火災發生時室內所使用的裝修材料是重要的關鍵。

而要測試材料在受熱後之火害反應參數，包含引燃時間及材料熱釋放率等，圓錐量熱儀是國際間最被肯定及使用的小尺寸火災量測儀。現階段國內雖已建置此項設備相關的建材燃燒資料。但因依據試驗規範之操作方式受制於一定之溫濕度條件下進行，雖然可以在一定的溫濕度條件下取得穩定之實驗數據，但其試驗結果卻不見得與實際火害現場相符，台灣地區乃地處高溫高濕的氣候條件下，當裝修材長期暴露於如此之氣候條件下，其火載量與熱釋放率是否與規範所定義下恆溫恆濕條件下相同，是值得進一步探究。

因以，本研究選定四個主要因素作為探討重點，分別為表面材、基材厚度、材料前置的溫度及濕度，這些因素主要分別與可燃物型態（表面材、基材厚度）及自然環境（材料前置之溫度、濕度）有關。本實驗獲得之數據一圓錐量熱儀測得相關特性資料為引燃時間、熱釋放率、總熱釋放量及質量損失率。

所選定之實驗因子與水準選擇其原因概述如下：

#### （一）試體基材：

實驗分為二階段，第一階段實驗的基材選用一般建築和家庭裝潢普遍使用之普通合板。合板是將數層旋切單板（rotary-cut veneer）使其相鄰單板木理方向互相垂直膠合而成（王怡仁，2002）。本次實驗選用外界常用的 3 mm、9 mm 及 12 mm 三種尺寸。

#### （二）試體表面材：

圓錐量熱儀著重面材之著火性，以不同面材的實驗進行實驗，可評估各種面材對防火性能的影響。一般合板之表面處理方式有分為很多，（1）塗料：一般油漆、水泥漆、乳膠漆及防火漆等；（2）薄形材料：如壁紙、壁布、原木皮（薄片）、仿原木皮（塑膠皮）、人造木皮等貼等；（3）軟性具厚度材料：如壁毯、吸音材、吸音毯等，（4）硬性材質：如磁磚、玻璃、鏡子、金屬板等。本次實驗時選用最常使用具代表性的 3 種面材，分別為普通壁紙、防火塗料以及不處理。

#### （三）試體前置溫度及濕度：

本研究擬將中央氣象局所屬氣象站分成都會（台北、高雄）、都市（宜蘭、基隆、新竹、

台中、嘉義、台南、花蓮及台東)、市鎮(蘇澳、淡水、恆春、大武、成功、梧棲)、山區(鞍部、竹子湖、日月潭、阿里山)和離島(彭佳嶼、澎湖、蘭嶼、東吉島、金門、馬祖)等五種類型的 26 個測站，針對 2007 及 2008 二年來氣溫及濕度予以分析及比較。

依據中央氣象局所屬氣象站所統計資料，溫度部份分別以年平均溫度、年平均最高溫度及年平均最低溫度表示，依其分佈圖取溫度 35°C 及 15°C (受限於設備最低溫度調節功能)及規範要求之 23°C 為溫度實驗 3 水準。濕度部份分別以年平均濕度及年平均最低濕度表示，依其分佈圖取相對濕度 80%、30%及規範要求之 50%為濕度實驗 3 水準。

以上各實驗因子及水準，經由田口實驗設計法，以 L9 (34) 直交表配置，組合成 9 組實驗 (見表 1)。

表 1 田口實驗因子與水準配置

編號	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
P-1	3 mm	不處理	15°C	30%
P-2	3 mm	普通壁紙	23°C	50%
P-3	3 mm	防火塗料	35°C	80%
P-4	9 mm	不處理	23°C	80%
P-5	9 mm	普通壁紙	35°C	30%
P-6	9 mm	防火塗料	15°C	50%
P-7	12 mm	不處理	35°C	50%
P-8	12 mm	普通壁紙	15°C	80%
P-9	12 mm	防火塗料	23°C	20%

#### 四、實驗結果整理與分析

本次實驗共有 9 組組合，每組均進行 3 次實驗，共計實驗次數為 27 次。對其實驗結果用「田口式直交表實驗法」以望大與望小特性來評估本研究所選定之 4 個因子，每一因子 3 個水準變動下，壁裝材料及所處溫濕度環境對火災危害性大小之影響程度 (李輝煌，2003)。實驗因子討論可分為：(1) 引燃時間分析、(2) 熱釋放峰值 (HRR) max 分析、(3) 總熱釋放量 (THR) 分析、(4) 平均質量損失率分析等 4 項進行討論。

##### (一) 實驗結果整理：

將實驗所得數據整理成圖表 (如表 2 至表 4)，在第 2 組 (P2) 第 5 組 (P5) 及第 8 組 (P8) 實驗中，試體加熱後皆快速引燃，其主要原因為表面貼普通壁紙所引起。於第 3 組 (P3)、第 6 組 (P6) 及第 9 組 (P9) 實驗中，因表面塗防火塗料關係，材料受熱後即開始膨脹後引燃，但很快速即熄滅，火焰持續燃燒時間十分短暫，但因試體仍放置於熱源下，表面膨脹的防火材料逐漸變為粉末狀，因此質量有持續損失情形。

表 2 引燃時間試驗結果表

引燃時間					
試驗結果	y1	y2	y3	Ave	S
P1	28.0	23.0	29.0	26.67	3.21
P2	13.0	11.0	7.0	10.33	3.06
P3	7.0	7.0	6.0	6.67	0.58
P4	28.0	34.0	42.0	34.67	7.02
P5	13.0	8.0	10.0	10.33	2.52
P6	11.0	12.0	9.0	10.67	1.53
P7	35.0	26.0	33.0	31.33	4.73
P8	6.0	8.0	10.0	8.00	2.00
P9	21.0	19.0	21.0	20.33	1.15

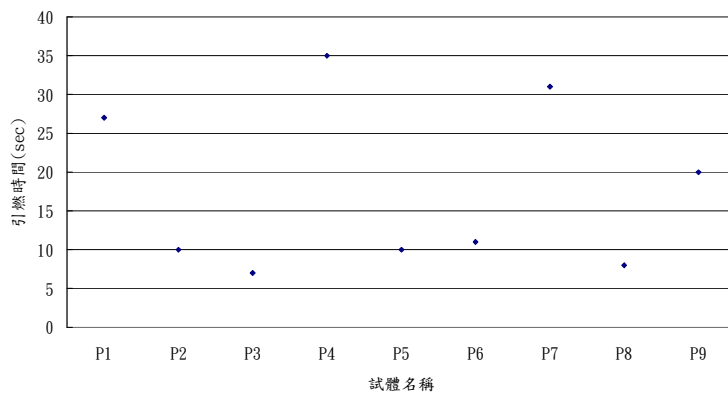


圖 1 引燃時間差異圖

表 3 平均質量損失率試驗結果表

平均質量損失率					
試驗結果	y1	y2	y3	Ave	S
P1	5.5	5.0	5.9	5.48	0.49
P2	5.3	4.0	4.0	4.40	0.75
P3	3.8	3.2	3.5	3.49	0.28
P4	7.3	7.4	7.2	7.25	0.10
P5	6.1	6.1	6.5	6.25	0.20
P6	0.7	0.8	2.3	1.28	0.87
P7	7.7	9.3	8.6	8.53	0.81
P8	7.4	7.2	6.5	7.00	0.48
P9	1.9	1.6	1.9	1.79	0.14

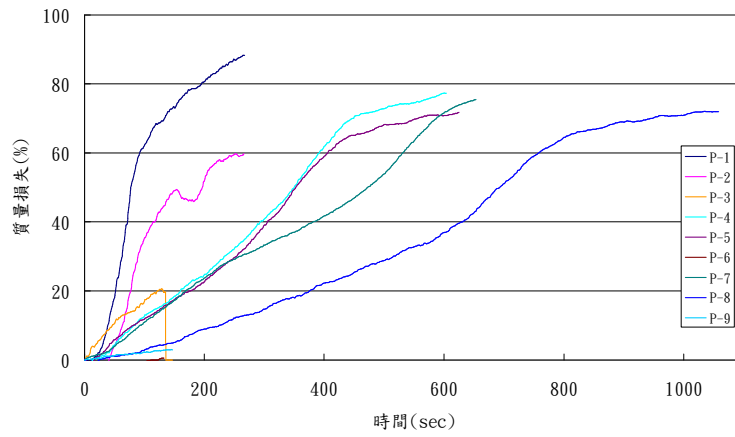


圖 2 質量損失曲線圖

表 4 熱釋放峰值及總熱釋放試驗結果表

試驗結果	熱釋放峰值					總熱釋放				
	Y1	y 2	y3	Ave	S	y1	y 2	y3	Ave	S
P1	228.4	243.8	329.0	267.07	54.20	228.4	243.8	329.0	267.07	54.20
P2	169.8	132.1	231.0	177.63	49.95	169.8	132.1	231.0	177.63	49.95
P3	53.0	62.0	51.8	55.61	5.59	53.0	62.0	51.8	55.61	5.59
P4	260.4	174.3	222.9	219.17	43.15	260.4	174.3	222.9	219.17	43.15
P5	228.9	127.4	158.0	171.44	52.06	228.9	127.4	158.0	171.44	52.06
P6	50.0	44.8	40.3	45.02	4.86	50.0	44.8	40.3	45.02	4.86
P7	224.0	166.7	206.0	198.89	29.31	224.0	166.7	206.0	198.89	29.31
P8	230.7	245.5	185.5	220.54	31.26	230.7	245.5	185.5	220.54	31.26
P9	21.9	27.5	32.3	27.25	5.22	21.9	27.5	32.3	27.25	5.22

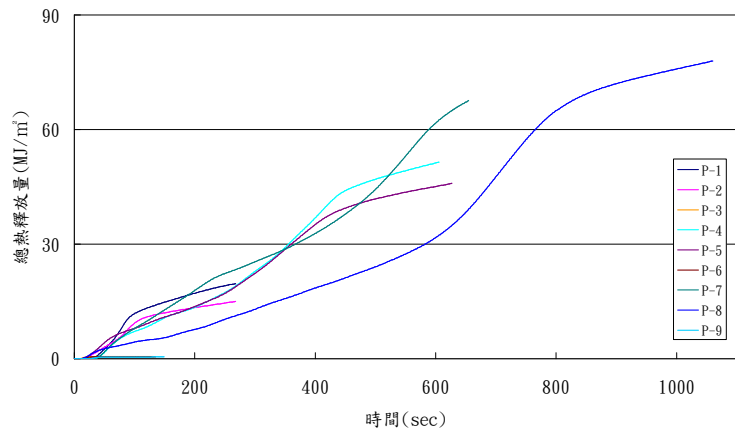


圖 3 總熱釋放曲線圖

## (二) 田口實驗分析

依田口實驗計劃法所選定之 9 組實驗，以田口方法分析，利用反應表進行分析和因子之效應，以瞭解基材厚度、表面材、試體前置溫度及前置濕度各因子間對室內裝修防火性能影響之效應。

### 1. 引燃時間分析



以下將針對實驗因子對於目標之相關性作一探討，首先以引燃時間作為分析目標，分析各因子對於加熱後試體引燃時間的影響情況。表 5 及表 6 皆以引燃時間為分析目標，分別為各因子對於平均值的反應表以及 S/N 值的反應表。表中的第一列為實驗中控制的各因子，各欄的資訊則代表不同因子在不同的水準 (Level) 下的反應，其中效應 (Effect) 的部分，則是該因子反應的最大值與最小值的差距。Rank 則是依據各因子效應之高低所做的排序。

由表 5 及圖 4 可看出，對於試體加熱實驗後引燃時間影響最大的因子為表面材，其次為試體的前置溫度，基材厚度及試體前置濕度的影響較小，順序為：表面材 > 前置溫度 > 基材厚度 > 前置濕度

表 5 以引燃時間為分析目標，各因子對平均值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	14.57	30.89	15.11	19.11
Lev. 2	18.56	9.55	21.78	17.44
Lev. 3	19.89	12.56	16.11	16.45
Effect	5.32	21.34	6.67	2.66
Rank	3	1	2	4

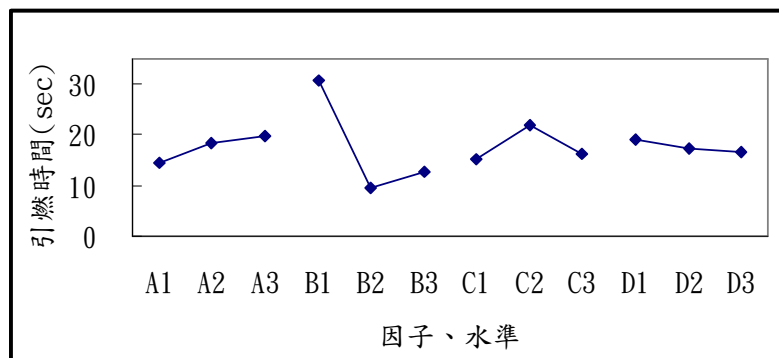


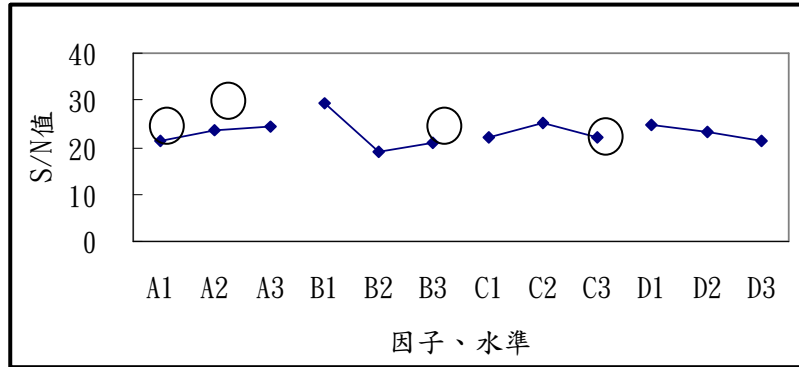
圖 4 以引燃時間為分析目標，各因子對平均值的反應圖

由表 6 反應表與圖 5 反應圖可得知，搭配出一組合使引燃時間最大化，即基材厚度 12 mm + 表面不處理 + 試體前置溫度 23°C + 試體前置濕度 30% 的狀況下，將有最遲的試體引燃時間。

表 6 以引燃時間為分析目標，各因子對 S/N 的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
--	------	-----	------	------

Lev. 1	21.39	29.51	22.08	24.77
Lev. 2	23.53	18.89	25.32	23.15
Lev. 3	24.44	20.97	21.96	21.45
Effect	3.05	10.62	3.36	3.32



12 mm      不處理      23°C      30%  
 基材厚度    表面材      前置溫度    前置濕度

圖 5 以引燃時間為分析目標，求最大化分析之因子反應圖

## 2. 熱釋放峰值 (HRR)<sub>max</sub> 分析

以熱釋放率峰值 (HRR)<sub>max</sub> 作為分析目標，分析各因子對於熱釋放率峰值的影響情況。由表 7 及圖 6 可以看出，對於熱釋放率最大值影響最大值的因子為表面材 > 前置溫度 > 前置濕度 > 基材厚度，其中表面材影響程度大過其它因子許多。

表 7 以熱釋放峰值為分析目標，各因子對平均值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	166.77	228.38	177.54	155.25
Lev. 2	145.21	189.87	141.35	140.51
Lev. 3	148.89	42.63	141.98	165.11
Effect	21.56	185.75	36.19	24.60
Rank	4	1	2	3

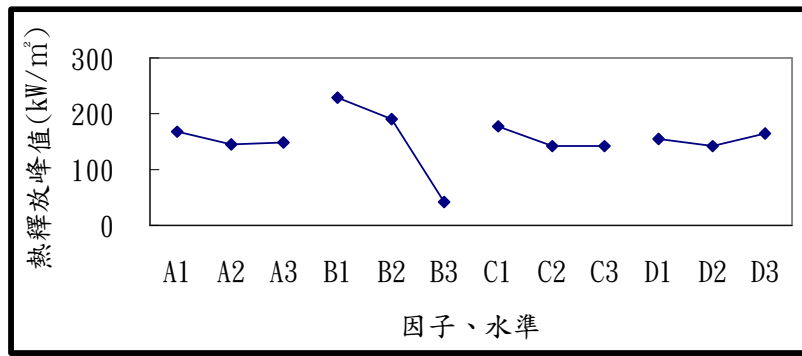
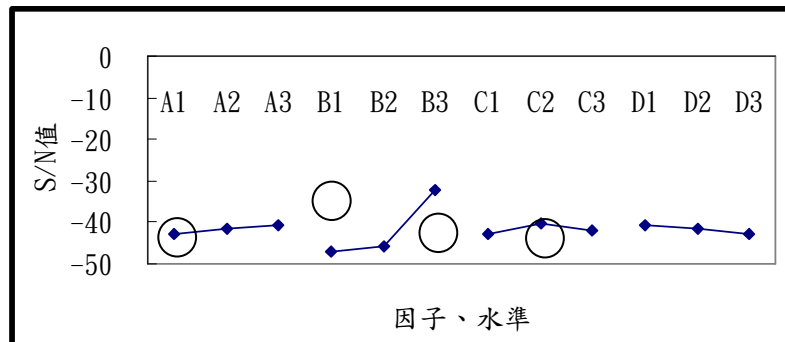


圖 6 以熱釋放峰值為分析目標，各因子對平均值的反應圖

由表 8 反應表與圖 7 反應圖可得知，搭配出一組合使熱釋放率 (HRR)<sub>max</sub> 最小化的組合，即基材厚度 12 mm + 表面塗防火塗料 + 前置溫度 23°C + 前置濕度 30% 的狀況下，熱釋放率最大值將可以有最小的情況。

表 8 以熱釋放峰值為分析目標，各因子對 S/N 值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	-42.93	-47.20	-42.89	-40.80
Lev. 2	-41.66	-45.69	-40.32	-41.45
Lev. 3	-40.59	-32.28	-41.97	-42.93
Effect	-2.34	-14.92	-2.58	-2.13



12 mm      防火塗料      23°C      30%  
 基材厚度      表面材      前置溫度      前置濕度

圖 7 以熱釋放峰值為分析目標，求最小化分析之因子反應圖

### 3. 總熱釋放量 (THR) 分析

以總熱釋放量 (THR) 作為分析目標，分析各因子對於總熱釋放量的影響程度。由表 9 及圖 8 可以看出，對於熱釋放率最大值影響最大值的因子為表面材 > 基材厚度 > 前置濕度 > 前置溫度，其中前置溫度影響則相對較小。

表9 以總熱釋放量為分析目標，各因子對平均值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	11.88	49.59	33.10	22.22
Lev. 2	33.36	46.91	22.99	30.54
Lev. 3	51.79	0.52	40.93	44.26
Effect	39.91	49.07	17.94	22.04
Rank	2	1	4	3

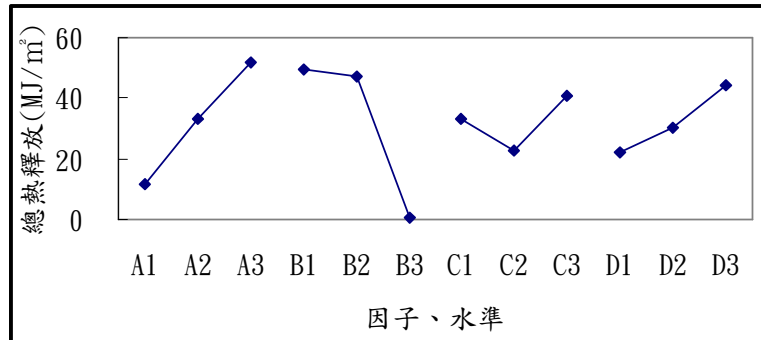
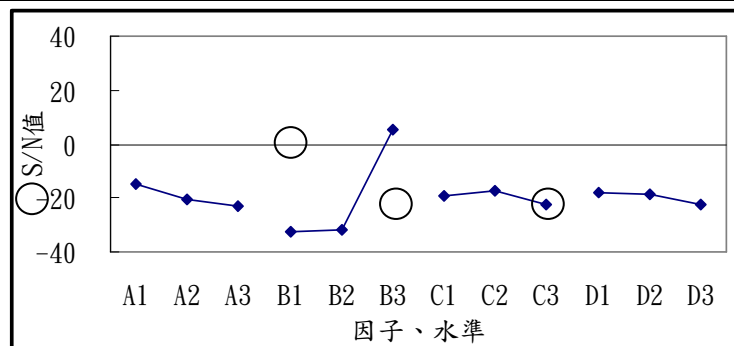


圖 8 以總熱釋放量為分析目標，各因子對平均值的反應圖

由表 10 反應表與圖 9 反應圖可得知，搭配出一組合使總熱釋放（THR）最小化，即基材厚度 3 mm+表面塗防火塗料+前置溫度 23°C+前置濕度 30%的狀況下，總熱釋放將可以有最小的情況。

表 10 以總熱釋放量為分析目標，各因子對 S/N 值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	-14.95	-32.70	-19.33	-17.77
Lev. 2	-20.67	-31.70	-17.41	-18.49
Lev. 3	-23.20	5.58	-22.07	-22.56
Effect	-8.24	-38.28	39.49	-4.79



3 mm      防火塗料      23°C      30%

基材厚度      表面材      前置溫度      前置濕度

圖 9 以總熱釋放量為分析目標，求最小化分析之因子反應圖

#### 4 平均質量損失率分析

最後，以合板燃燒質量損耗的變化，以平均質量損失率為分析目標，分析各因子對於此目標值影響程度。由表 11 及圖 10 之結果得知，對於質量損失率影響最大的因子為表面材 > 前置溫度 > 前置濕度 > 基材厚度，其中前置溫度、前置濕度及基材厚度影響程度相差不大。

表 11 以平均質量損失率為分析目標，各因子對平均值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	4.46	7.09	4.59	4.51
Lev. 2	4.93	5.88	4.48	4.74
Lev. 3	5.77	2.19	6.09	5.91
Effect	1.31	4.90	1.61	1.40
Rank	4	1	2	3

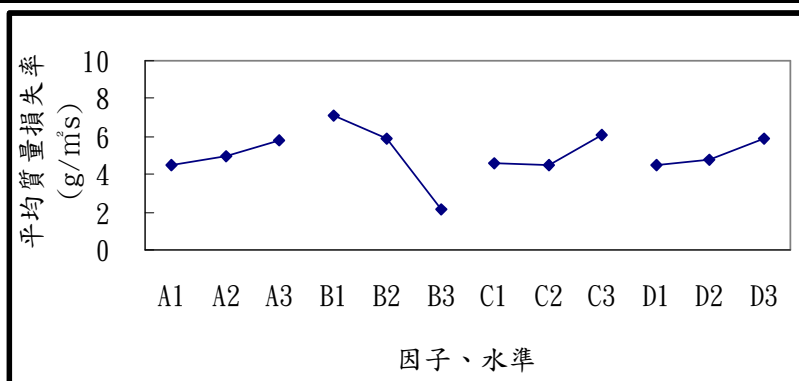


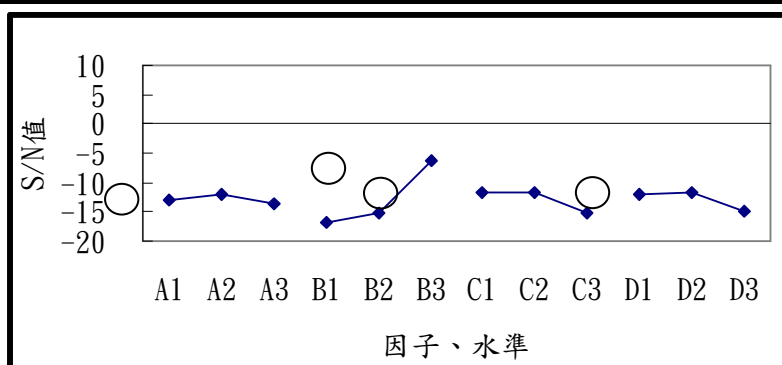
圖 10 以平均質量損失率為分析目標，各因子對平均值的反應圖

由表 12 反應表與圖 11 反應圖可得知，搭配出一組合使總熱釋放 (THR) 最小化，即基材厚度 9 mm + 表面塗防火塗料 + 前置溫度 15°C + 前置濕度 50% 的狀況下，總熱釋放將可以有最小的情況。

表 12 以平均質量損失率為分析目標，各因子對 S/N 值的反應表

	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
Lev. 1	-12.88	-16.89	-11.68	-11.93

Lev. 2	-12.15	-15.26	-11.75	-11.65
Lev. 3	-13.55	-6.43	-15.15	-15.00
Effect	-1.39	-10.45	-3.46	-3.36



9 mm          防火漆          15°C          50%  
 基材厚度      表面材          前置溫度      前置濕度

圖 11 以平均質量損失率為分析目標，求最小化分析之因子反應圖

## 五、結論

本研究以市面上常用室內裝修材合板為底材，以不同厚度、表面材、不同的前置溫度及濕度前置處理後，進行圓錐量熱儀試驗其結論如下：

(一)整理上述因子分析之結果，可以將各因子對於各個分析目標的影響程度整理成表 4-18。表中依據各因子對於分析項目的影響程度，分成三個等級：★代表影響程度甚大、●則是代表其為次要影響因子、▲則是在分析上，其影響程度與其他因子差距較大。

1. 引燃時間：因子對目標的效應表面材為 21.34 所佔比例為 59.3%，影響程度最大，前置溫度及基材厚度分別為 6.67 所佔比例為 18.5%及 5.32 所佔比例為 14.8%為次要因子，前置濕度效應為 2.66 所佔比例為 7.4%，差距較大。
2. 熱釋放峰值：因子對目標的效應表面材為 185.75 所佔比例為 69.3%影響程度最大，前置溫度為 36.19 所佔比例為 13.5%是次要因子，前置溫度及基材厚度分別為 24.6 所佔比例為 9.2%及 21.56 所佔比例為 8.0%，相對下影響較小因子。
3. 總熱釋放：因子對目標的效應，表面材為 49.07 所佔比例為 37.8%影響程度最大，基材厚度分別為 39.91 所佔比例為 30.7%是次要因子，前置溫度及前置濕度分別為 22.04 所佔比例為 17.0%及 17.94 所佔比例為 13.8%影響程度與其他因子差距較大。
4. 平均質量損失率：因子對目標的效應，表面材 4.90 所佔比例為 53.1%，影響程度最大，

前置溫度、前置濕度及基材厚度分別是 1.61 所佔比例為 15.5%、1.40 所佔比例為 15.2% 及 1.31 所佔比例為 14.2% 皆為次要因子。

表 13 各控制因子對於分析目標影響程度

分析目標	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
引燃時間	●	★	●	▲
熱釋放峰值	▲	★	●	▲
總熱釋放	●	★	▲	▲
質量損失率	●	★	●	●

5. 在本實驗條件所設定之因子下綜合整理得到以下之結果，就四個控制因子對合板燃燒之影響，以試體的表面處理方式對於各分析目的影響性遠高過其它因子，其次為試體之基材厚度及前置溫度，屬於次要因子。而前置濕度相對則影響性程度較小。其中在總熱釋放（THR）以望小特性分析結果，除了表面材的種類決定一開始引燃的火勢大小及持續能燃燒時間為主要因子外，其基材厚度則也為主要原因，因為當試體引燃後，除了表面塗防火塗料處理之試體因防火塗料關係火焰很快熄滅有很低的總熱放量外，其它試體皆有較長時間的持續燃燒現象，以此情況下，試體的厚度大小也就成為重要影響因子之一。實驗結果顯示，基材厚度愈大之試體其總熱釋放量也相對愈大，相對之下，試體的前置溫、濕度則影響較為不明顯。質量損失率的分析結果則除了表面材為主要因子外，其餘因子影響程度較為接近，皆同屬為次要因子。

(二) 將各分析目標其 S/N 值的反應圖所得最佳組合彙整後，由表 4-19 可得到最佳組合為：12 mm 基材厚度 + 表面防火塗料 + 前置溫度 23°C + 前置濕度 30% 將會有最遲的引燃時間、最小的熱釋放峰值、最小的總熱釋放及最小的質量損失。

表 14 各分析目標最佳組合表

分析目標	基材厚度	表面材	前置溫度	前置濕度
引燃時間	12 mm	不處理	23°C	30%
熱釋放峰值	12 mm	防火塗料	23°C	30%
總熱釋放	3 mm	防火塗料	23°C	30%
平均質量損失率	9 mm	防火塗料	15°C	50%

## 五、參考文獻

1. CNS 1349 O1010, 2008, 普通合板, 經濟部標準局。
2. CNS 2215 O1012, 2006, 粒片板, 經濟部標準局。

3. CNS 4458 A2061, 2008, 石膏板, 經濟部標準局。
4. CNS 6532 A3113, 2003, 建築物室內裝修材料之耐燃性試驗法, 經濟部標準局。
5. CNS 14705 A3386, 2010, 建築材料燃燒熱釋放率試驗法—圓錐量熱儀法, 經濟部標準局。
6. 王怡仁, 2002, 木質材料性質, 木材科技推廣研習會講義。
7. 何明錦、蔡匡忠, 2003, 裝修材料國際調和防火性能基準與試驗方法之實驗研究, 內政部建築研究所研究報告。
8. 李輝煌, 2003, 田口方法, 高立圖書有限公司。
9. 陳耀茂譯, 1997, 田口實驗計畫法, 滄海書局。
10. 陳榮俊, 2006, 不同熱流場環境下圓錐量熱儀數據應用於火災模擬及材料火害反應評估之研究”, 國立高雄第一科技大學, 碩士論文。
11. 陳福財, 2008, 以已知圓錐量熱儀數據推估其他熱通量下熱釋放率曲線之研究, 國立高雄第一科技大學, 碩士論文。
12. 陳俊勳, 1997, 建築物室內裝修(飾)防火性能要求, 建築物室內裝修(飾)防火材料使用講習會專輯, 台北: 內政部建築研究所。
13. 賴宜麟, 2005, 使用不同防火試驗法測試各式材料組合之防火性能比較, 國立高雄第一科技大學, 碩士論文。
14. Price, D., et al., 2002, "Burning Behaviour of Foam/Cotton Fabric Combinations in the Cone Calorimeter", *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 77, Iss.2, pp. 213-220.
15. Ezinwa, John Uzodinma, 2009, "Modeling Full-Scale Fire Test Behaviour of Polyurethane Foams Using Cone Calorimeter Data ", University of Saskatchewan, Degree of Master of Science.
16. Quintiere, J., 1998, Principles of Fire Behavior, Delmar Publishers.
17. Salvador, S., M. Quintard. and C. David, 2004, "Combustion of a Substitution Fuel Made of Cardboard and Polyethylene: Influence of the Mix Characteristics-Experimental Approach", *Fuel* Vol. 83, Issue 4-5, pp. 451-462, March.