

內政部建築研究所籌備處專題研究計畫成果報告
計畫名稱：建築材料著火性及燃燒性之研究

計畫編號：

執行期間：81年7月1日至82年6月30日

建築材料著火性及燃燒性之研究

計畫主持人：陳俊勳 教授
共同主持人：嚴定萍 研究員
顧問：游宏仁 博士

主辦單位：內政部建築研究所籌備處
執行單位：財團法人台灣營建研究中心
中華民國八十二年八月

建築材料著火性及燃燒性之研究

摘 要

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、有效的燃燒熱、質量損失率、平均熱釋放率及煙濃度，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。

THE STUDY OF IGNITABILITY AND COMBUSTIBILITY FOR
BUILDING MATERIALS
ABSTRACT

The rate of heat release is regarded as the most important parameter for evaluation of fire hazard. There are two types of fire danger for building materials: (1) The materials ignited by a surrounding fire. (ignitability) (2) The materials burned by itself and spreaded to the surrounding. (combustibility). The cone calorimeter is a powerful instrument which can measure the rate of heat release, ignitability, effective heat of combustion, mass loss rate, average rate of heat release and smoke density of a material simultaneously. The combustibility can be classified into five categories according to the experimental measurements and, then, evaluate the fire protection performance of the building materials.

目 錄

中文摘要	頁次 I
英文摘要	II
目錄	III
表目錄	V
圖目錄	VI

第一章 緒論

1.1 研究目的與動機	1
1.2 研究方法及範圍	4

第二章 世界各國使用圓錐量熱儀之情形

2.1 加拿大	6
2.2 歐洲	8
2.3 美國	10
2.4 澳洲	12
2.5 我國	12

第三章 圓錐量熱儀

3.1 儀器設備簡介	13
3.2 試體尺寸及準備方法	16
3.3 實驗程序	18
3.4 計算原理	21

第四章 結果與討論

4.1 實驗結果	24
4.2 結果判定	34
4.3 結果討論	35

第五章 總結

5.1 結論	37
5.2 未來研究方向與建議	37

參考文獻

.....	38
-------	----

表 目 錄

	頁次
表	
一 一般燃料消耗每單位質量的氧所釋放出的燃燒熱	5
二 加拿大材料分類表	7
三 加拿大分級標準	8
四 EUREFIC 內裝材料分類表	9
五 美國國家標準局傢俱內填充物分類表	11
六 測試材料編號表	24
七 材料結果判定	34

圖 目 錄

	頁次
圖	
一 儀器透視圖	40
二 圓錐加熱器	41
三 排氣系統	42
四 水平裝置	43
五 垂直裝置	44
六 水平試品架	45
七 垂直試品架	46
八 金屬網	47
九 氣體分析設備	48
十 煙濃度量測系統	49
十一 熱通量計	50
十二 燃燒器	51
十三 緣框	52
十四 纖維水泥板熱釋放率	53
十五 纖維水泥板質量損失率	53
十六 輕質混泥土板熱釋放率	54
十七 輕質混泥土板質量損失率	54
十八 礦物纖維板熱釋放率	55
十九 礦物纖維板質量損失率	55
二十 石膏板熱釋放率	56
二十一 石膏板質量損失率	56
二十二 木粒片水泥板熱釋放率	57
二十三 木粒片水泥板質量損失率	57
二十四 粒片板(1)熱釋放率	58
二十五 粒片板(1)質量損失率	58

二十六	美耐飾面纖維板熱釋放率	59
二十七	美耐飾面纖維板質量損失率	59
二十八	粒片板(2)熱釋放率	60
二十九	粒片板(2)質量損失率	60
三十	樹脂注入熱壓縮木材熱釋放率	61
三十一	樹脂注入熱壓縮木材質量損失率	61

第一章 緒 論

1.1 研究目的與動機

近年來，火災發生的次數頻繁，不但造成財物上的嚴重損失，對於人員的傷亡，更是足以讓人感到終生遺憾。從國內幾宗重大建築物火災案例中，經災後調查與評析，發現造成重大火災的起因及迅速擴大延燒，均與建築物內大量使用易燃性裝修材料有密切關係。多數建築物火災是藉由室內裝修開始引燃再漫延擴大，同時更助長火災的延燒。因此，室內裝修材料的耐燃性乃是影響火災成長與擴大的主要因素之一，尤其是對閃燃是否發生及閃燃時間常有決定性的影響。而所謂的閃燃是指當火災發生時至局部傢俱燃燒，其溫度上昇通常很慢，但當天花板開始點燃後，室內所有的可燃物很快會被點燃，這個由局部燃燒轉變為全盛期火災是火災成長中最重要部份，就是“閃燃”。因燃燒反應加速進行，造成氧氣濃度快速減少，室內氣體溫度急遽上昇，產生膨脹而阻止外面新鮮空氣進入室內，此時因為氧氣濃度不足導致室內火場不完全燃燒，這是一氧化碳上昇的主要原因。可燃性的室內裝修材料，對於發生閃燃所需的熱量較低，同時縮短發生閃燃所需的時間，使得閃燃更容易提早發生。相對的，耐燃性的室內裝修材料，對於發生閃燃所需要的熱量較高，同時對發生閃燃所需的時間較長，使閃燃不容易而延遲發生，有助消防滅火的先機及增加人員逃生避難的機會。建材起火造成火災危害有兩種不同型態，一種是周圍之火對物質產生之危害，一種是物質本身起火延伸到周圍。前者典型之型態是引燃性，而後者之型態則是熱釋放率。

在我國現行之技術規則中，有關內裝材料防火等級及其相關之使用場所，在第八十八條中有明文規定。至於防火等級中所謂的不燃材

料、耐燃板及耐火材料即是相對於中國國家標準 (CNS) 6532[1]中的耐燃一級、二級及三級。這些級數的判定儀器是表面試驗爐和基材試驗爐，但後者只有在耐燃一級的鑑定才會使用。此外有關壁紙、窗簾、地毯、合板等薄材料之防焰性能測試，目前有45度燃燒性能測試，垂直式火焰抗燃性質測試以及煙度和氧指數試驗，這些有關的資料，諸如儀器使用規範、實驗程序和判定基準等在參考文獻 [2]中皆有詳細的列舉。而這些儀器目前都在五股內政部建築研究所防火試驗室運轉使用中。

由以上的敘述，我們可以了解材料防火性能的測試方法很多。因此就有一個有趣的問題發生，即是否能有一種統一規格化的儀器能夠對所有材料的防火性能作測試，而且世界各國都能接受其相關的標準。而且在實際的操作中，我們也發現了一些問題。例如現在有很多裝璜材料是化學合成材料，諸如泡棉、塑膠等，目前我們就沒有辦法對這些材料提供適當的測試方法。此外依規定，現場使用的材料必須和作試驗者相同，若是單材材料則沒有什麼問題，但實際上有很多的裝璜材料是好幾種材料組合而成，因代表性的問題往往會造成作試驗的困擾。更重要的一點是我們現在只能提供材料是否符合相關判定基準，而不能知道材料在試驗過程中變化的情形，以致不能了解材料在火場中的反應行為，對材料防火品質提升沒有辦法提供建議解決之道。

針對第一個問題，若答案是“有”，很明顯的我們必須先要有一個能表現所有材料對火場的反應參數，根據許多國外專家學者所作的一些研究中，可得知這個參數就是“熱釋放率”，根據這個原理，於是發展出了圓錐量熱儀，其示意圖可見圖一。經過多年的改良，該儀器所具備的功能也似乎解決了我們前述的實際操作的許多問題。

目前建築物內部，大量使用的裝材料，大多屬於易燃性物品諸如耐火版、DVC板等，不僅含有大量之毒性化學物質，且其燃燒後釋放出的熱量相當高。所產生的熱會藉輻射方式引燃其它物品，當整棟

建築物內的總熱量超過某一限度，會引響建築物本身的結構，降低結構的強度、耐久性及荷重支持力，而使建築物倒塌。所以爲了阻止火災之延燒擴大，防止建築物的倒塌，以及火災後建築物重建的可能性，研究材料的熱量釋放率是重要且迫切的問題。

內政部建築研究所防火實驗室對室內裝修材料防火性能測試所添購的設備，至目前有氧指數、垂直及45°燃燒速度測試儀、表面試驗爐、基材試驗爐和燃燒氣體毒性測試儀。這些設備皆針對特定的防火性能作檢驗測試，而沒有整體評估的功能。特別針對此問題而引進一種整合性的工具Cone Calorimeter。

Cone Calorimeter可測得材料之熱釋放率、單位面積之熱釋放率、重量損失率、引燃所須時間（著火性）、煙濃度及有效之燃燒熱。這些數據由一次實驗中可全部獲得，因此可整體評估受測材料之防火性能，若再加上一氧化碳及二氧化碳之氣體分析儀，則不但可以評估燃燒氣體的毒性，而且可使熱釋放率估算更加準確。

材料的燃燒特性包括防焰性、火焰擴散性、熱量釋放情形、煙濃度、燃燒時氧氣含量之情形及熱效應等。熱量釋放率對火災的特性是一個很重要的參數，它對火災的大小，火災成長速率及有多少時間可逃離現場提供了一個參考指標。氧消耗率的測量對估計熱釋放率是一個簡單且有力的方法。重量損失率是材料防火性能的重要參數，與熱釋放率、發煙量、煙毒有密切關係，因此可以朝Cone calorimeter之試驗發展。測量熱釋放率的儀器已發展了數年，然而最重要的是由美國國家標準局（NIST）所發展出來的Cone Calorimeter。

我們可以用相同的材料，在Cone Calorimeter所作的結果和其它儀器所作的實驗結果彼此可以導出一相互關聯的關係，使建築物室內裝修材料的防火性能有一整體性的表現方式，並可進一步了解這些儀器原始設計的原理。

1.2 研究方法及範圍

近幾年間，研究火災的科學家已能用熱釋放率來評估火災，因此熱釋放率被認為是預防火災最重要的因素是最近幾年的事。熱釋放率可以用來預測一個未知火災的特性，如火災的大小、火災的成長率等。若物質的熱釋放率高，其燃燒後所釋放出的熱量，會引燃其它物品，而使火災迅速成長，造成嚴重的後果。再者，對建築物本身的結構也有不良的後果。利用測量氧氣消耗率來計算熱釋放率是一個簡單、而有效的方法。氧氣消耗率由測量進入系統的空氣體積流率和火災系統的燃燒產物及出口的氧氣濃度，再求其出口與入口氧氣濃度的差而得之。因此，熱釋放率可簡單的由測量進入系統的空氣體積和出口的氧氣濃度求出。這方法是基於對大部份的燃料，其消耗每單位氧所釋放出的熱量趨近於相同的觀念，而轉換去測量熱釋放率。因為這些常見的燃料，所有燃燒過程是C - C鍵與C - H鍵的氧化且這些過程有相似的活化能 [3]。一般燃料其消耗每單位質量的氧所釋放的熱量是13.1KJ/g，有5%的誤差，如下表 [4]。以測量氧消耗率的方法來計算熱釋放率的適用範圍很廣，可應用在小型的實驗室實驗及大型的火災系統測試上。

$$\dot{q} = \frac{\Delta hc}{r_v} \left(\dot{m}O_{2\infty} - \dot{m}O_2 \right)$$

$\frac{\Delta hc}{r_v}$: 消耗每單位質量(g)的氧所釋放出的燃燒熱(KJ)為13.1KJ/g (誤差±5%)

一般常見的燃料消耗每單位質量(g)的氧所釋放出的燃燒熱(KJ)

		KJ/g	KJ/g,O ₂
Methane	CH ₄	-50.01	-12.54
n-Butome	C ₄ H ₁₀	-45.72	-12.78
Polyethylene	(-C ₂ H ₄ -) _n	-43.28	-12.65
Polystyren	(-C ₈ H ₈ -) _n	-39.85	-12.97
Plymethylmethacrylate	(-C ₅ H ₈ O ₂ -) _n	-24.98	-12.98
Polyvinylchloride	(-C ₂ H ₃ C-) _n	-16.43	-12.84

Polyacrylonitrile	$(-C_3H_3N-)_n$	-30.60	-13.60
Polyethylene terephthalate	$(-C_{10}H_8O_4-)_n$	-22.00	-13.21
Polycarbonate	$(-C_{16}H_{14}O_4-)_n$	-29.72	-13.12
Nylon	$(-C_6H_{11}O_4-)_n$	-29.58	-12.67
Cotton		-15.55	-12.61
Newsprint		-18.40	-13.40
Wood, Maplt		-17.76	-12.51
Coal, Bituminous		-35.17	-13.51

Calbration gas (methane, CH₄) = 12.54 KJ/g, O₂

表一 一般燃料消耗每單位質量的氧所釋放出的燃燒熱

圓錐量熱儀利用錐型加熱器加熱試品表面，使試品焦化產生可燃性氣體，再引入點火器，點火引燃(有些試品不需點火器)。試品放在磅秤上，所以可以記錄質量的損失，而計算出質量損失率。再把燃燒後的產物導入出口系統，在途中抽取燃燒產物樣品分別進入煙濃度測量系統和氣體分析儀。在煙濃度測量系統，利用光線的透光率，而來評估煙的濃度。在氣體分析儀，測量出燃燒後產物的氧濃度，利用氧消耗率的觀念計算出熱釋放率、有效的燃燒熱及平均熱釋放率。若加上一氧化碳及二氧化碳的氣體分析儀，則所得的結果會更準確[5]。

Cone Calorimeter是一種多功能的儀器，提供測量材料暴露在相同輻射加熱量下及有沒有加入額外引燃器的反應、著火時間、熱釋放率、質量損失率、有效的燃燒熱及物質的煙濃度和產物。可用來測量、描述物質及燃燒產物的性質，有助於我們更瞭解材料的燃燒的特性，對檢驗、品質控制及生產監測有潛在性的發展。也可描述在實驗室的環境之下火焰的性質，但無法完全的描述出在真實情況下的火災特性。然而，這測試的結果，可以被使用為評估一個火災所遭遇到所有有因素的要素之一。

第二章 世界各國使用圓錐量熱儀之情形

現就目前世界各先進國家使用 Cone Calorimeter 作為分級使用的情形作一簡介，並作為我們自行研究內裝材燃燒性分級的參考。

2.1 加拿大

加拿大是目前唯一在 Fire Code 和 Building Code 中以圓錐量熱儀的測試結果，來判定內裝材料之不燃性的程度 (degree of non-combustibility)；請參考文獻[6]。這個主要原因根據在加拿大國科會防火試驗中之 Tuschya 博士[7]說明在以往加拿大對內裝材的判定基準是以 CAN/ULC-S114[15]的 750℃ 爐（類似於 JIS 1321 或 CNS 6532 中之基材實驗爐）置入樣品 15 分鐘（基材爐須 20 分鐘），若測試前 30 秒內沒有火焰產生、重量損失率不超過 20%、溫度升高不超過 36℃ 即可判定為不燃材料 (non-combustible)，否則即為可燃物 (combustible)。該標準是在 1942 訂定，而且可謂十分嚴苛。隨時代的進步，有許多新產品介於可燃物與不可燃物之間，無法很明確的歸納出。尤其是石膏板 (gypsumboard)，許多人認為在適當的防火設計下，仍可被使用於不可燃建築物 (noncombustible building) 中，例如醫院和監獄，但這些材料卻不可能通過 CAN/ULC-S114 的測試，因此加拿大技術規則委員會就要求以新的測試方法將材料不燃性予以分級，而非單純的只是像前述標準只有通過或不過的測試。

基材試驗是以試體發熱而使爐內溫度上升的方法，來評估每單位體積的發熱量，記錄初期溫度、爐內的最高溫度、溫度差、重量損失、溫度上升曲線。其目的是以相當於火災最旺盛時的高溫狀態，來評估「不燃性」，具有耐火構造之意。750℃ 之決定是考量使用於耐火構造的不燃材，需要某種程度的耐火性而決定的，15 分鐘的決定是因為耐火構造需保持比較長久的時間。Oleszkiewicz 在一個區間內模擬火災燃燒其總熱量小於 8MW 的情況下，得到經由一個窗子其外部的牆壁所

接受到的輻射通量為 $30\sim 60\text{kW}/\text{m}^2$ 。根據Stefan-Boltzmann定律黑體在 750°C 時其熱釋放率為 $62\text{kW}/\text{m}^2$ ， $50\text{kW}/\text{m}^2$ 相當於黑體在 700°C 時的熱釋放率，若不是黑體則物體溫度比 700°C 高。所以配合CAN/ULC-S114而選擇 $40\text{kW}/\text{m}^2$ 與 $50\text{kW}/\text{m}^2$ 來作研究是相當合理的。

加拿大技術規則委員會提出建議的測試方法有兩種，分別為 OSU Calorimeter 和 Cone Calorimeter，經過委員會的投票結果，Cone Calorimeter 的方法被委員會採用。該執行方法及分級標準可詳見參考文獻[6]。該規則雖已進行了五年，但仍未完成，仍在進行當中。所取的參考材料如下：

- 一級 聚合石膏板 (Polyplaster slab)
 - 礦棉纖維隔熱板 (Mineral fibre insulation)
 - 陶瓷纖維隔熱板 (Ceramic fibre insulation)
- 二級 石膏板 (Gypsum board)
 - PS泡粒水泥板 (Cement-foam bead concrete slab)
 - 木粒片水泥板 (Cement-wood particle concrete slab)
 - 隔熱玻璃纖維 (Glass fibre insulation)
 - 外牆隔熱被覆 (Exterior insulation-cladding system)
 - 防火劑處理PU泡棉 (FRT polyurethane foam)
- 三級 防火劑處理合板 (FRT plywood)
- 四級 木質產品 (Timber products)
- 五級 合成樹脂泡棉隔熱材料 (Polystyrene foam insulation)
PMMA slab

表二 加拿大材料分類表

NBCC(National Building Code of Canada)允許二級、三級材料若配合適當的防火設計，則可使用於不可燃建築物中之被覆材料及隔間材料。若使用五級之合成樹脂泡棉隔熱材料於不可燃建築物中，則外面須在加裝至少 12.7mm 厚的石膏板。該分級標準如下表：

	輻射射入通量	材料受熱時間	材 料 反 應
1 級	$= 50\text{KW}/\text{m}^2$	1 5 min	最高熱釋放率 $\leq 10\text{KW}/\text{m}^2$ 且總熱釋放率 $\leq 5\text{MJ}/\text{m}^2$
2 級	$= 50\text{KW}/\text{m}^2$	1 5 min	最高熱釋放率 $\leq 100\text{KW}/\text{m}^2$ 且總熱釋放率 $\leq 25\text{MJ}/\text{m}^2$
3 級	$\geq 50\text{KW}/\text{m}^2$	1 5 min	最高熱釋放率 $\leq 150\text{KW}/\text{m}^2$ 且總熱釋放率 $\leq 50\text{MJ}/\text{m}^2$
4 級	$\geq 50\text{KW}/\text{m}^2$	1 5 min	最高熱釋放率 $\leq 300\text{KW}/\text{m}^2$ 且總熱釋放率 $\leq 100\text{MJ}/\text{m}^2$
5 級	$\geq 50\text{KW}/\text{m}^2$	1 5 min	最高熱釋放率 $\geq 300\text{KW}/\text{m}^2$ 且總熱釋放率 $\geq 100\text{MJ}/\text{m}^2$

表三 加拿大分級標準

2.2 歐洲

在歐洲方面，防火性能測試研究最有名的國家，分別為英、德、法三國，但這三國防火性能測試方法差異很大並且各有特色，加上政治歷史民族的因素，若想就已有的測試方法整合，幾乎是不可能。因此近年，出現的Cone Calorimeter測試方法，似乎可能成為歐洲各國都能接受的一種測試方法，這可由ISO 5660 [8]預定在今年定稿可見其契機，但ISO 5660只是規定一個標準儀器和測試方法。ISO 5660是國際標準化組織 (ISO)根據美國ASTM測試檢驗標準而提出來的，所以大部份與ASTM E1354相同，但有兩個重要的地方不同，其引燃性和煙濃度的量測被ISO其它工作小組所指定處理，因此它們不能放在ISO這個工作小組所發展的檢驗測試基準之內。對引燃性的量測，ISO 採用類似圓錐量熱儀但不完全相同的方法來進行，代號為ISO 5657 (著火性試驗方法)。ISO 並未訂定檢驗基準，而且這個議題仍在研究當中。所以目前只是在廣泛增加實驗數據並作整理，以作為未來材料分類基準的基礎。在塑膠 (包括電纜) 方面，歐洲已作了許多有關實驗，其成果可見參考文獻 [9]，但在德國，其有許多知名的大塑膠廠商，以往

可挾其龐大的資金，去作各種不同標準規範的測試驗證，因此可以壟斷廣大市場，如今出現一種簡單且單一性高的測試儀器，使許多廠商皆可從事測試，打破大廠商以往的優勢，其反彈阻力可以預期，另外塑膠本身由於成份複雜，因此實驗再現性的表現並不很好，而且許多人也攻擊未能有火焰延燒速度的量測（而事實上 ASTM-E84的 Tunnel test對塑膠類產品火焰延燒速度之量測結果，目前已有很多人懷疑其正確性），所以塑膠產品的實驗目前著重在產品的品質驗證和控制。至於在內裝材部份，也有相關的實驗在進行，但重點是擺在全尺寸的傢俱燃燒實驗。在這裡須說明的是在圓錐量熱儀未完全發展成功之前，所有的全尺寸的燃燒實驗，只是觀察傢俱著火後各種燃燒現象，直至圓錐量熱儀出現後這些全尺寸實驗才開始“模仿”這個小尺寸實驗，在燃燒產物收集管道中，裝上氣體分析儀（氧氣分析儀是必要的）和光學遮蔽率量測儀器，以及引燃時間的計算，因此在某種程度上我們可以說這兩者測試方法是相似（同）的，其差異主要是在熱釋放率程度的大小，全尺寸者大約在百萬瓦(MW)左右，而圓錐量熱儀在仟瓦(KW)左右。因此在歐洲已有一個EUREFIC的計畫，完成了一以全尺寸牆角測試(Conner test)將內裝材料依其在火場中之燃燒反應分為五類。見下表：

	火 場 反 應	材 料
A 級	根本不會燃燒	石膏板
B 級	部份著火但不致引起閃燃	輕薄的壁紙貼在石膏板上
C 級	在爐子加強熱量輸出後兩分鐘才會產生閃燃	在木頭塗上火阻材料；在聚苯乙烯泡沫上的石膏板
D 級	爐子加強熱量輸出不到兩分鐘即產生閃燃	厚重的壁紙；PVC-牆覆蓋物
E 級	在爐子未加強輸出能量前即產生閃燃	固體木材

表四 EUREFIC內裝材料分類表

2.3 美國

第一次圓錐量熱儀的檢驗測試基準草稿是在1986年由ASTM所提出，但ASTM隨即在1990發表了完整的檢驗測試基準來描述圓錐量熱儀，為ASTM E 1354-90(10)。在1991年和1992年間ASTM作了少許的修改，目前的版本為ASTM E 1354-92(10)，而ASTM檢驗測試基準並不只有量測熱釋放率，還能夠測量出著火時間、質量損失率、有效的燃燒熱、平均有效熱釋放率及煙濃度。

在美國，衆所皆知州權自主性高，因此有各式各樣的測試標準，在中央政府有 FEDERAL 標準，例如 FAA和 MIL，而各州又有其 STATE 標準，而這些標準很多是採用經由私人組織發展出來的，例如ASTM，NFPA，UL和 FM 等，而這些標準再經由全美各地的 Fire Marshal 集會審核認可編入所謂三大Code之中，(ICBO, SBCC, BOCA)，而各地的建築技術規則，則採用其習慣常用的 Code 來作其審核建築防火設計的依據。在目前，前述之三大Code除了SBCC中有考慮引燃性的規定外，其它並未有熱釋放率的量測標準，因此圓錐量熱儀雖已有 ASTM-E-1354-92[11]的標準出現，但距離進入Code還有一段很長的路途來走，這主要原因在於三大Code中，建築物內裝材燃燒性的判定主要是依據ASTM E-84的Tunnel test[12]的測試結果，該方法已實施三十多年，無論廠商尤其是各地的審核官員都十分熟悉這個規定，雖然很多人承認現有很多新材料在 Tunnel test的測試結果不儘可以正確描述其在火場中反應行爲，即使圓錐量熱儀會有較正確的預測，但該觀念對許多人而言還太新，因此需要時間來教育和推廣。至於在UL中，他們已開始尋找圓錐量熱儀和 Tunnel Test（佔委託UL防火測試項目之百分之八十）之間的對比關係，最主要是希望以圓錐量熱儀來作 follow-up service（三個月之產品抽檢），目前是以Foamp lastics之類的產品作為首要目標，這個原因是因為若再以Tunnel Test 來作follow-up service，不但耗時而且花費很大，客戶不儘滿意。

目前其研究重點在找出全尺寸和小尺寸實驗之間的對比關係(Co-rrrelation)，類似於這個研究成果亦可參考 NFPA 264A[13]，這篇文章係運用圓錐量熱儀，規定試片置於水平位置受到 35KW/m² 的輻射熱通量，其量測結果再利用一導出的經驗式去換算成在全尺寸傢俱燃燒之熱釋放率，主要是探討實驗的重複性與再現性。由圓錐量熱儀所得

$$Q = 0.63 [q] [\text{質量參數}] [\text{底座參數}] [\text{形狀參數}]$$

[q]：圓錐量熱儀所得之熱試放率

[質量參數]：實際可燃物（傢俱）的質量

[底座參數]：不可燃物-1.66

溶化塑膠-0.58

木 材-0.30

焦化塑膠-0.18

[形狀參數]：平直方形-1.0

包旋形-1.5

兩者之間形狀者採上述兩者之間之值

平均熱釋放率，是以引燃後180秒的時間來作平均。當紡織品與填充物具有很高的抗火性，（如毛織品和尼奧普林泡棉）或使用影響較大的內襯物時，則上式即不適用。最近美國國家標準局(NIST)收集一些數據來歸納傢俱內填充物的反應行為，如下表[13]，但這些結果不適用在沒有覆蓋紡織品的泡棉上。

類 型	引燃後180秒的平均熱釋放率 (KW/m ²)
普通PU泡棉 (ordinary PU form)	> 280
經三聚氰氨處理過的PU泡棉 (melamine-treated PU foam)	< 280

CMHR型PU泡棉 (CMHR-type PU foam)	< 160
親水型PU泡棉 (hydrophilic-type PU foam)	< 85
尼奧普林泡棉 (neoprene foam)	< 45

表五 美國國家標準局傢俱內填充物分類表

2.4 澳洲

在澳洲，他們以AS 1530, PART 3 [13]之規定，採用類似圓錐量熱儀原理的儀器量測垂直方位之600mm×450mm常用厚度的試片，其引燃源有提供2.4KW/m²輻射熱通量之輻射板以及兩個氣體火源，再依據試片之引燃時間、火焰延燒速度、熱釋放率及煙濃度將材料分別十級。

2.5 我國

本國測試方法即是採用根據ASTM E 1354-92[10]所規定的標準儀器：圓錐量熱儀(Cone Calorimeter)來進行相關材料的測試。該儀器是採購美國Atlas公司最新研發出來的機種Cone II，也是全世界第一部使用電腦來作自動校正，目前已在五股防火實驗室安裝完成。建研所籌完成使用該型儀器的訓練。由於該儀器係完全根據ASTM E 1354所規定的標準所設計，因此其實驗步驟和程序(包括試片準備方式)，實驗報告書中所應有的數據也必須遵照其規定。

第三章 圓錐量熱儀

3. 儀器設備簡介

圓錐量熱儀之詳圖請參照圖一說明，本儀器主要設備包括圓錐加熱器 (Conical Heater)、排氣系統 (Exhaust System)、磅秤 (Load Cell)、試品架 (Specimen Holder)、氣體分析設備 (Gas Analyzer Instrumentation)、煙濃度量測系統 (Smoke Obscuration Measuring System)、校正設備 (Calibration Equipment) 及引燃裝置 (Ignition Circuit)。

(1) 圓錐加熱器 (Conical Heaters)

該加熱器的外殼是由不銹鋼製成，呈圓錐狀 (圖二)，裡面有電子加熱棒及三支電熱偶，產生輻射通量的範圍由 $0\text{kw}/\text{m}^2$ 至 $100\text{kw}/\text{m}^2$ ，其加熱試片的方式有水平面加熱及垂直面加熱。

(2) 排氣系統 (Exhaust System)

排氣系統包含一個耐高溫的排氣電扇、風罩、通風口、排氣管及流量計，其流量範圍從 $0.012\text{m}/\text{s}$ 至 $0.035\text{m}/\text{s}$ (圖三)。在風罩與排氣管間有一管口板 (Orific Plate)，內徑 57mm ，用來促進廢氣混合均勻，而距離風罩 685mm 處是氣體取樣的地方。流量的計算是測量管口板的降壓，距離風扇 350mm 。試片燃燒之後的廢氣經由風罩、排氣管排出，途中有二支電熱偶、氣體取樣、雷射棒及流量計，在氣體取樣的地方廢氣需混合均勻。

(3) 磅秤 (Load Cell)

磅秤所能量測試片的重量不超過 500克 ，試品架的重量不超過 3.5kg ，其誤差為 0.1g 。在試驗過程中，磅秤可連續記錄試片的重量。

(4) 試品架 (Specimen Holder)

試品架分為水平試品架及垂直試品架，由不銹鋼製成，裡面放置一塊低密度的耐火纖維墊 ($65\text{kg}/\text{m}^2$) 約 13mm 及適量的隔熱棉，使試品能緊靠著 (圖四、五、六、七)。水平測試時，錐形加熱器底部與試品表面距離 25mm，垂直測試時，則調整錐形加熱器的位置，使錐形加熱器的中心線位於試品中心線的上方。若試品受熱後有膨漲及收縮的現象產生，則需加入網子，以避免試品膨脹後對錐形加熱器的影響及消除邊緣效應 (圖八)。

(5) 氣體分析設備 (Gas Analyzer Instrumentation)

該分析設備請參照圖九說明，它包含了泵，避免飛灰 (Soot) 進入分析器的過濾紙及去除水汽的冷凝器。在途中將氣體分成兩部份，一部份至氧氣分析器，另一部份至一氧化碳及二氧化碳分析器，往氧氣分析器的氣體若不測量二氧化碳的濃度，則需將二氧化碳去除。

(6) 煙濃度量測系統 (Smoke Obscuration Measuring System)

該系統是由氬氖雷射光及兩個檢出器組成 (圖十)，而得到遮蔽係數 (Extinction Coefficient)，放置於距風罩 795mm 的排氣管上，雷射光必須永遠都開著。

(7) 校正設備 (Calibration Equipment)

(A) 熱通量計 (Heat Flux Meter)

熱通量計直徑 12.5mm，表層為一永久的黑體，測量範圍約 $100\text{kw}/\text{m}^2$ ，誤差 $\pm 3\%$ 且重覆性在 0.5%，為冷水式，在校正過程中置於試品面的中心 (圖十一)。

(B) 燃燒器 (Calibration Burner)

燃燒器是一個方形的黃銅管，前端有一塊方形的金屬網，甲烷由金屬網流出。燃燒器連接一個流量計且需純度 99.9% 的

甲烷氣，用來校正熱釋放率（圖十二）。

(C) 濾光鏡 (Optical Calibration Filter)

濾光鏡用來校正雷射光系統，一塊是0.8 O.D. (Optical Density) 另一塊是0.3 O.D.。

(8) 引燃裝置 (Ignition Circuit)

由點火器及10kv的變壓器組成，在水平方向位於試品表面上方 13 ± 2 mm，在垂直方向位於試品架上方5mm，當試品引燃之後移開點火器。

3.2 試體尺寸及準備方法

(1) 試體製作要領：

(A) 取樣：試體之材料及組成，須與實際所用相同。

(B) 數量：5個

※說明：規定需使用3個，但為因應各種狀況應有備品備用，例如

1. 因人為因素或儀器故障而使試驗進行中斷時，必須更換試體，重新測試。

2. 發生實驗結果不明確而不確定原因時，須重新試驗認定。

(C) 尺寸：試體表面積尺寸為100mm×100mm，厚度則不超過50mm

(2) 試體前置處理：

在試體進行試驗前，必須經過前置處理，使實驗數據具有再現性及重覆性，並保證性能判定具有準確性及可靠性。所以試體製作完成後，須置入環境控制箱中，控制恆溫恆濕，以溫度 $23 \pm 3^{\circ}\text{C}$ ($73 \pm 5^{\circ}\text{F}$) 相對濕度 $50 \pm 5\%$ 處理達到質量維持一定的情況下即可。

(3) 試體試驗前的準備

(A) 將試品置於磅秤上，記錄試品重量。

(B) 使用游標尺測量試品厚度並記錄之。

(C) 以錫箔紙包裝試品。

(D) 將耐火纖維板3及隔熱棉置入試品台。

(E) 把試品置入緣框(Retainer Frame) (圖十三)，若試品須加網子，則先放入網子再放試品。

(F) 用隔熱棉填滿緣框。

- (G) 將兩支插銷插入緣框，並固定它
- (H) 用刀片將暴露的錫箔紙割掉。
- (I) 把緣框置於試品架上。

3.3 實驗程序

(1) 打開冷卻水開關

(2) 打開電腦電源，鍵入cone2a，則在螢幕上選擇Main Menu，在Windows下選擇Calibration的Begin Calibration，則開始進行一連串的校正工作。

(3) 將冷凝水從cold trap倒出，一天作一次即可。

※注意：若有水積存，操作時則會把冷凝水帶入氣體分析系統，而破壞整個系統。

(4) 打開所有校正氣體（甲烷及CO,CO₂混合氣）

※注意：氮氣用來作歸零校正及清除管內的廢氣，所以須永遠開著，不能關掉。

(5) 更換吸收Sample Gas的水汽吸收器(Drierite, 藍色)及CO,CO₂及收器(Ascarite, 粉紅色)。

※注意：(A) Drierite吸收水汽變為粉色，Ascarite吸收CO,CO₂變為白色，變色的部份不能超過全長的三分之一。

(B) 這些吸收劑都有毒，所以更換時需帶手套且不准吃任何東西。

(6) 更換直徑9cm過濾飛灰的過濾紙。

※注意：(A) 矯正前需更換，作一次試驗後更換一張。

(B) 過濾紙較平的面朝上。

(C) 裝上蓋上時，邊緣不能有空隙。

(D) 上方的玻璃棉(Glass wool)是防止Soot進入氣體分析系統，當黑色部份至一半時，需更換玻璃棉。

(7) 關掉排氣設備一段時間後再打開。

(8) 穩定排氣流率(30.0g/sec)

(9) 讓冷卻槽(cold cell)的溫度降到9℃以下。

(10) 放試品架於磅秤上歸零，調整至 $0.0 \pm 0.2\text{g}$ 。

※注意：若歸零的速度慢，則可用手調，使它較快歸零。

(11) 雷射系統校正，先放入 $0.8 \text{ O.D. (Optical Density)}$ ，再放入 $0.3 \text{ O.D. (Optical Density)}$ ，有文字的面朝下。

(12) 放五百克砝碼與試品架於磅秤上，再拿掉五百克砝碼留下試品架於磅秤上，校正五百克重。

(13) 等氣體分析器校正完以後放入Calibration Burner (甲烷) 計算C Factor (Calibration Factor)。

※注意：(A) 這段時間可以準備試品。

(B) 甲烷流量計上，一大圈為一公升，一小圈為十公升，一開始按下Star Test鍵至20公升時再按一下，需注意觀察，避免出錯。

(C) C Factor的值要在 $0.04 \sim 0.06$ 間，才可以接受。

(14) 輻射通量校正，先放入Heat Flux Meter再輸入所需的值。

※注意：(A) Calibration Burner與Heat Flux Meter是水冷式，所以表面不燙。

(B) 在校正過程中，磅秤上需覆蓋隔熱棉，避免輻射熱影響磅秤的準確性。

(C) 拿Heat Flux Transducer時，前端的黑體部份避免摩擦到。

(D) 在輻射通量校正前，需調整錐型加熱器的高度，使錐型加熱器的底部與試體表面距離25mm。

(15) 輸入測試表格的資料。

(16) 開始測試，先放入試品架於磅秤上，再按Star Test鍵，則點火器自動移入試品上方。

(17) 當試品表面都有火焰時，按下Flame Veri鍵，直到燈亮才鬆手(約十秒)，才按下Spark Off/Out鍵，點火器自動移出。

(18) 當火焰熄滅時，按下End Test鍵，資料繼續收集2分鐘。

(19) 結果計算

※注意：把一天內所作的測試數據，留到最後才一起作計算。不然每計算一次後，則需再校正一次，才能夠再重新試驗。

其它注意事項：

- (1) Sample Gas壓力保持在40Kpa，若壓力掉時，其管路可能有阻塞或漏氣。
- (2) 水汽吸收器及CO，CO₂吸收器常有漏氣的現象產生，應特別注意。
- (3) 氧氣分析器的流量保持在刻度4的地方，一氧化碳及二氧化碳分析器的流量保持在2~2.5l/min。
- (4) 雷射光不校正時，需把門關上。
- (5) 水量供給的壓力保持40~60Psi(414~275Kpa)，流量3.9lpm。
- (6) 進入系統內的空氣壓力設定在60~70Psi間。
- (7) 甲烷氣的純度需99.5%，壓力40Psi(276Kpa)。
- (8) 消除氣體用的氮氣壓力維持10Psi(69Kpa)。
- (9) 歸零用的氮氣純度99.9%，壓力20Psi(138Kpa)。
- (10) CO CO₂混合氣CO純度0.95%，CO₂純9.8%，壓力20Psi(138Kpa)。

3. 4 計算原理

(A) Calibration Factor (C Factor)

由甲烷提供10.0KW的熱量，再利用Eq(1)與Eq(2)推導出C Factor

$$10.0 = (12.54 \times 10^3)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \frac{(X_{O_2}^0 - X_{O_2})}{1.105 - 1.5X_{O_2}} \quad (1)$$

求出C

$$C = \frac{10.0}{1.10(12.54 \times 10^3)} \sqrt{\frac{T_e}{\Delta P}} \frac{1.105 - 1.5X_{O_2}}{X_{O_2}^0 - X_{O_2}} \quad (2)$$

12.54 × 10³ K//Kg : 消耗每單位質量甲烷所釋放出的熱量
 1.10 : 氧氣與空氣的分子量比值
 T_e : 出口流的絕對溫度(K)
 ΔP : 出口流的壓力差(Pa)
 X_{O₂}⁰ : 空氣中的氧莫耳分率
 X_{O₂} : 燃燒產物中氧的莫耳分率

(B) 熱釋放率

$$\dot{q}(t) = \left(\frac{\Delta h_c}{r_0}\right)(1.10)C \sqrt{\frac{\Delta P}{T_e}} \frac{(X_{O_2}^0 - X_{O_2}(t))}{1.105 - 1.5X_{O_2}(t)} \quad (3)$$

每單位面積的熱釋放率

$$\dot{q}''(t) = \frac{\dot{q}(t)}{A_s} \quad (4)$$

總熱釋放量

$$q'' = \sum_i \dot{q}_i''(t) \Delta t \quad (5)$$

氧氣分析器所讀出的時間需考慮延遲時間

$$X_{O_2}(t) = X'_{O_2}(t + t_d)$$

$\frac{\Delta hc}{r_0}$: 一般燃料消耗每單位氧所釋放出的燃燒熱，此值為
 $13.1 \times 10^3 \text{ KJ/Kg} \circ$

As : 試片面積為 0.01 m^2

t_d : 氧氣分析器延遲的時間(sec)

(C) 質量損失率

第一次掃瞄($i=0$):

$$-\left[\frac{dm}{dt}\right]_{i=0} = \frac{25m_0 - 48m_1 + 36m_2 - 16m_3 + 3m_4}{12\Delta t} \quad (7)$$

第二次掃瞄($i=1$):

$$-\left[\frac{dm}{dt}\right]_{i=1} = \frac{10m_0 - 3m_1 - 18m_2 + 6m_3 - m_4}{12\Delta t} \quad (8)$$

對任意次掃瞄($1 < i < n-1$, n 為總次數):

$$-\left[\frac{dm}{dt}\right]_i = \frac{-m_{i-2} + 8m_{i-1} - 8m_{i+1} + m_{i+2}}{12\Delta t} \quad (9)$$

當 $i=n-1$:

$$-\left[\frac{dm}{dt}\right]_{i=n-1} = \frac{-10m_n - 3m_{n-1} + 18m_{n-2} - 6m_{n-3} + m_{n-4}}{12\Delta t} \quad (10)$$

最後一次掃瞄($i=n$):

$$-\left[\frac{dm}{dt}\right]_{i=n} = \frac{-25m_n + 48m_{n-1} - 36m_{n-2} + 16m_{n-3} - 3m_{n-4}}{12\Delta t} \quad (11)$$

(D)平均有效燃燒熱

$$\Delta h_{C,eff} = \frac{\sum_i \dot{q}_i(t) \Delta t}{m_i - m_f} \quad (12)$$

$$\Rightarrow \Delta h_{C,eff}(t) = \frac{\dot{q}_i(t) \Delta t}{-\left(\frac{dm}{dt}\right)} \quad (13)$$

m_i : 試品起始質量(kg)

m_f : 試品最終質量(kg)

(E)煙濃度

由雷射光求遮蔽係數(Extinction Coefficient, K)

$$K = \left(\frac{1}{L}\right) \ln \frac{I_0}{I} \quad (14)$$

$$\sigma_{f(avg)} = \frac{\sum_i V_i K_i \Delta t_i}{m_i - m_f} \quad (15)$$

σ_f : Specific extinction area(m²/kg)

\dot{V} : 出口流體積(m³/s)

Δt : 取樣的時間間隔(sec)

I_0 : 原始雷射強度

I : 測量後的雷射強度

第四章 結果與討論

4.1 實驗結果

本實驗的試驗目的是探討材料在火災旺盛時期，其燃燒行為表現，以熱釋放率及總熱釋放量，來評估材料的防火性能，而以煙濃度、一氧化碳濃度及二氧化碳濃度作為材料發煙性及毒性的參考。

圓錐量熱儀是根據美國ASTM E1354的規格製成，具有自動校正的功能、資料的列印及繪圖功能、數據的收集及計算由電腦全部處理。

本次實驗所選用的九種材料，全由廠商提供，分別為纖維水泥板、輕質混泥土板、礦物纖維板、石膏板、木粒片水泥板、粒片板(1)、美耐飾面纖維板、粒片板(2)、樹脂注入熱壓縮木材。每種材料在測試前，均以 $23 \pm 3^\circ\text{C}$ 及相對溼度 $50 \pm 5\%$ 處理，各測試三片。

下表為材料的詳細說明。

編號	材 料 名 稱
B010	纖維水泥板
B011	輕質混泥土板
A38-30	礦物纖維板
A57-14	石膏板
B005	木粒片水泥板
B504	粒片板(1)
B510	美耐飾面纖維板
B508	粒片板(2)
B505	樹脂注入熱壓縮木材

表六 測試材料編號表

各種材料測試結果如下：

(A) 纖維水泥板：B010

試驗環境	溫度 21.3℃ 濕度 68% r.f.	校正係數	0.04233604	
	壓力 767 mmHg	厚度	7.7 mm	
編號	B010-17	B010-15	B010-16	
最初重量 (g)	136.44	138.14	145.70	
著火時間 (sec)	N I	N I	N I	
熱釋放率峰值 (KW/m ²)	9.03	8.17	8.36	
熱釋放率峰值時間 (sec)	605.66	477.69	513.55	
平均 熱釋放率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	1.19	1.29	-0.81
	著火 180秒內	1.46	1.48	2.00
	著火 300秒內	1.86	1.85	2.99
	試驗終止	2.62	2.43	2.65
總釋放熱 THR (MJ/m ²)	1.77	1.68	1.78	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	1.22	1.20	1.18	
平均質量損失率 MLR (g/s.m ²)	2.704	2.601	2.857	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.00350	0.00178	0.00326	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.02938	0.03799	0.04012	
剩餘重量 (g)	123.44	126.12	132.29	
備註	1. N I : 沒有引燃			

(B) 輕質混凝土板：B011

試驗環境	溫度 21.3℃ 濕度 68% r.f.		校正係數	0.04233604
	壓力 767 mmHg		厚度	12.5 mm
編 號	B011-16	B011-15	B011-17	
最 初 重 量 (g)	143.89	134.84	134.85	
著 火 時 間 (sec)	N I	N I	N I	
熱 釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	7.85	8.02	8.43	
熱釋放率峰值時間 (sec)	487.93	385.53	518.67	
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	0.25	0.36	0.31
	著火 180秒內	1.73	0.70	1.07
	著火 300秒內	1.86	0.96	1.44
	試 驗 終 止	1.94	1.73	2.13
總 釋 放 熱 THR (MJ/m ²)	1.38	1.34	1.46	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	0.94	0.90	1.17	
平均質量損失率MLR (g/s.m ²)	2.534	2.422	2.203	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.00107	0.00087	0.00056	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.08527	0.05950	0.05449	
剩 餘 重 量 (g)	131.23	123.13	123.80	
備 註	1. N I : 沒有引燃			

(C) 礦物纖維板：A38-30

試驗環境	溫度 24.8℃ 濕度 74.5%r.f.	校正係數	0.040769	
	壓力 768 mmHg	厚度	16.2 mm	
編 號	A38-30-16	A38-30-15	A38-30-17	
最 初 重 量 (g)	32.15	32.61	32.46	
著 火 時 間 (sec)	N I	N I	N I	
熱 釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	19.72	15.84	19.32	
熱釋放率峰值時間 (sec)	30.23	201.23	16.91	
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	0	10.31	12.72
	著火 180秒內	0	10.46	11.75
	著火 300秒內	0	10.67	10.98
	試 驗 終 止	0	10.05	9.19
總 釋 放 熱 THR (MJ/m ²)	7.56	6.00	5.54	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	6.68	7.09	6.53	
平均質量損失率MLR (g/s.m ²)	1.579	1.575	1.570	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.03295	0.18017	0.18519	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.87222	0.38737	0.36042	
剩 餘 重 量 (g)	20.86	24.15	23.98	
備 註	1. N I : 沒有引燃			

(D) 石膏板：A57-14

試驗環境	溫度 22.8℃ 濕度 66% r.f.	校正係數	0.0437344	
	壓力 768 mmHg	厚度	13.4 mm	
編號	A57-14-17	A57-14-15	A57-14-8	
最初重量 (g)	104.84	102.13	101.15	
著火時間 (sec)	48.66	45.45	44.83	
熱釋放率峰值 (KW/m ²)	90.88	90.58	95.93	
熱釋放率峰值時間 (sec)	63.01	57.92	58.91	
平均 熱釋放率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	49.64	49.12	46.29
	著火 180秒內	25.30	23.11	24.48
	著火 300秒內	17.77	14.20	17.41
	試驗終止	12.47	9.25	12.19
總釋放熱 THR (MJ/m ²)	7.16	5.31	6.94	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	3.78	2.97	3.65	
平均質量損失率 MLR (g/s.m ²)	3.347	3.082	3.332	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.02432	0.02196	0.03298	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.11640	0.12010	0.10567	
剩餘重量 (g)	85.92	84.80	82.19	
備註	1.表面的原紙燒完之後，火燄就熄滅了。			

(E) 木粒片水泥板：B005

試驗環境	溫度 21 ℃ 濕度 74.5%r.f.	校正係數	0.04233604	
	壓力 767 mmHg	厚 度	9.8 mm	
編 號	B005-16	B005-17	B005-18	
最 初 重 量 (g)	139.33	121.25	128.08	
著 火 時 間 (sec)	328.08	416.30	471.44	
熱 釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	86.10	91.21	81.52	
熱釋放率峰值時間 (sec)	572.93	548.33	619.04	
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	19.23	34.07	27.55
	著火 180秒內	28.90	59.99	51.21
	著火 300秒內	46.04	53.49	48.03
	試 驗 終 止	35.67	39.22	32.64
總 釋 放 熱 THR(MJ/m ²)	27.43	25.06	22.81	
平均有效燃燒熱 HOC(MJ/kg)	6.46	6.47	5.45	
平均質量損失率MLR(g/s.m ²)	5.974	5.930	5.566	
平均一氧化碳生成量(kg/kg)	0.02199	0.03109	0.03188	
平均二氧化碳生成量(kg/kg)	0.49776	0.45848	0.39605	
剩 餘 重 量 (g)	96.94	82.52	86.47	
備 註				

(F) 粒片板(1) : B504

試驗環境	溫度 21.5℃ 濕度 72.5%r.f.		校正係數	0.04233604
	壓力 766.5 mmHg		厚度	12 mm
編	號	B504-9	B504-11	B504-12
最	初 重 量 (g)	113.93	113.56	113.80
著	火 時 間 (sec)	54.95	59.26	55.23
熱	釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	190.15	211.02	213.82
熱	釋 放 率 峰 值 時 間 (sec)	677.38	636.43	687.62
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	112.60	119.96	114.04
	著火 180秒內	103.98	105.03	103.08
	著火 300秒內	93.82	94.55	92.54
	試 驗 終 止	97.09	96.52	102.28
總	釋 放 熱 THR (MJ/m ²)	82.62	85.73	83.48
平	均 有 效 燃 燒 熱 HOC (MJ/kg)	10.78	10.98	10.84
平	均 質 量 損 失 率 MLR (g/s.m ²)	10.801	10.922	10.617
平	均 一 氧 化 碳 生 成 量 (kg/kg)	0.00149	0.00063	0.00288
平	均 二 氧 化 碳 生 成 量 (kg/kg)	0.66129	0.67168	0.66877
剩	餘 重 量 (g)	37.35	35.46	36.82
備	註			

(G) 美耐飾面纖維板：B510

試驗環境	溫度 23.3℃ 濕度 76.6%r.f.	校正係數	0.04233604	
	壓力 764.5 mmHg	厚度	7.4 mm	
編 號	B510-10	B510-11	B510-12	
最 初 重 量 (g)	66.55	67.20	66.62	
著 火 時 間 (sec)	40.49	50.51	46.06	
熱 釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	238.80	241.75	277.32	
熱釋放率峰值時間 (sec)	411.14	436.70	406.02	
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	50.18	59.18	66.10
	著火 180秒內	64.15	72.16	89.28
	著火 300秒內	82.91	90.17	107.34
	試 驗 終 止	91.21	100.80	107.74
總 釋 放 熱 THR (MJ/m ²)	62.15	63.12	63.06	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	11.50	11.62	11.83	
平均質量損失率MLR (g/s.m ²)	11.826	12.272	13.093	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.00441	0.00181	0.00112	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.71696	0.71101	0.72751	
剩 餘 重 量 (g)	12.57	12.87	13.32	
備 註	1. 試品有氣爆的現象，所以測試時加上網子。			

(I) 樹脂注入熱壓縮木材：B505

試驗環境	溫度 21.5℃ 濕度 72.5%r.f.	校正係數	0.04233604	
	壓力 766.5 mmHg	厚度	12.5 mm	
編 號	B505-9	B505-10	B505-11	
最 初 重 量 (g)	181.20	180.72	180.09	
著 火 時 間 (sec)	66.05	67.61	58.16	
熱 釋 放 率 峰 值 (KW/m ²)	112.88	113.79	107.71	
熱釋放率峰值時間 (sec)	1419.81	1363.44	1435.16	
平 均 熱 釋 放 率 (HRR) (KW/m ²)	著火 60 秒內	62.20	62.69	69.43
	著火 180秒內	59.57	57.79	59.86
	著火 300秒內	56.96	56.54	61.35
	試 驗 終 止	78.69	75.36	78.07
總 釋 放 熱 THR (MJ/m ²)	135.12	125.89	133.75	
平均有效燃燒熱 HOC (MJ/kg)	10.64	10.36	11.18	
平均質量損失率MLR (g/s. m ²)	8.151	7.770	7.372	
平均一氧化碳生成量 (kg/kg)	0.00242	0.00245	0.00096	
平均二氧化碳生成量 (kg/kg)	0.71796	0.72578	0.74845	
剩 餘 重 量 (g)	54.32	59.27	60.43	
備 註	1. 試品有氣爆及膨脹的現象，所以測試時加上網子。			

4.2 結果判定

目前世界各國只有加拿大對圓錐量熱儀有一判定的標準，其它各國只規範圓錐量熱儀的測試方法及儀器的規格，並沒有一個判定標準。因此，本次的測試結果均以加拿大的判定標準來對材料的防火性能予以分級。

加拿大判定方法是材料在 $50\text{KW}/\text{m}^2$ 的輻射通量下，以材料的熱釋放率峰值及總釋放熱(THR)來對材料分級，判定的等級請參考表三(加拿大分級標準)。B010三片的THR及峰值均達到一級。B011三片的THR及峰值均到一級。A38-30三片的THR及峰值均達到二級。A57-16三片的THR及峰值均達到二級。B005三片的峰值達到二級，但THR有一片達二級二片達到三級，所以判定為三級。B504三片的THR及峰值均達到四級。B510三片的THR及峰值均達到四級。B508三片的峰值達到四級，但THR二片達到五級一片達到四級，所以判定為五級。B505三片的峰值達到三級，但三片的THR均達到五級，所以判定為五級。其結果整理於下表：

編號	材料名稱	判定結果
B010	纖維水泥板	一級
B011	輕質混泥土板	一級
A38-30	礦物纖維板	二級
A57-14	石膏板	二級
B005	木粒片水泥板	三級
B504	粒片板(1)	四級
B510	美耐飾面纖維板	四級
B508	粒片板(2)	五級
B505	樹脂注入熱壓縮木材	五級

表七 材料的結果判定表

4.3 結果討論

1. 在測試過程中，無機質材料其平均熱釋放率有時會出現負值，這是由於儀器本身的誤差所造成的。在每次校正時，氧氣分析儀必須讀取當時環境的氧濃度作為Baseline。材料在測試中，若氧氣分析儀所得到的氧濃度低於Baseline，則熱釋放率為正值，若得到的氧濃度高於Baseline，則熱釋放率值為負值。對於無機材料，氧濃度應與Baseline相同，但由於氧氣分析儀本身的誤差，而造成所讀到的值有時略高於Baseline，有時略低Baseline。
2. 當我們剛開始將試品架與試品放在磅秤上時，往往會造成振動，而使磅秤所讀到的值不穩定。但這情況不會影響平均質量損失率，因為平均質量損失率是取試品質量變化在10%與90%之間的值來計算的。
3. 有效燃燒熱、一氧化碳生成量，及二氧化碳生成量與質量損失率有密切關係。當燃燒結束時，質量損失率趨近於0，造成有效燃燒熱、一氧化碳及二氧化碳的值產生無限大的情況。
4. 根據ASTM E1354，從開始到整個試體表面都有火焰的情況為止，這段時間稱為引燃時間，且這火焰須能持續十秒以上。本人從多次實驗中，發現這種判定方法有些困難，因為有很多材料的表面都是經過防火處理，塗上各種不同的防火膠及防火漆。當產生火焰時，火焰始終無法擴展到整個試體表面，有時局部燃燒，有時火焰尚未擴展到整個就熄滅了。而且有些材料必須經過很長的時間，幾乎燃燒快結束時，火焰才擴展到整個面。若以ASTM W1354的判定方法來看，則將造成很大的困擾，所以本人是以從一開始到試體表面有火焰產生的情況為止，這段時間稱為引燃時間，且這火焰須能持續十秒以上。
5. 實驗中發現B510與B505有氣爆及產生膨脹的情況發生，對錐型加熱器有不良的影響，所以這兩種試片在測試中都加上網子，避免膨脹過高而傷害加熱器。網子本身會吸收掉一些熱量，對引燃時間及熱釋放率都有影響，需特別注意。

6. B010及B011屬於無機質材料，測試前及測試後的質量損失，為材料本身所含的水份。熱釋放率峰值小於 $10\text{KW}/\text{m}^2$ ，總熱釋量小於 $5\text{MJ}/\text{m}^2$ ，屬於一級材料。
7. A38-30本身含有無機材料及有機材料，但無機成份多於有機，所以試片無法引燃。試體表面有一層乙烯乳膠漆屬有機質，所以在一開始有大量的煙產生。由於此試片的掃描間隔為一秒，所以它的圖形跳動的非常厲害，造成分析上的困擾，沒有必要這麼精細，可選擇掃描間隔為五秒或五秒以上。A57-14（石膏板）當表面的石膏紙燒完之後，則火焰就熄滅了，其引燃時間平均在46秒左右。這兩種材料的熱釋放率峰值大於 $10\text{KW}/\text{m}^2$ ，小於 $100\text{KW}/\text{m}^2$ ，總釋放熱大於 $5\text{MJ}/\text{m}^2$ ，小於 $25\text{MJ}/\text{m}^2$ ，屬於二級材料。
8. B005（木粒片水泥板）是由木粒片與水泥攪拌混合而成，在開始旺盛起來，峰值在這時候產生，屬於三級材料。
9. 木粒片(1)與木粒片(2)在燃燒過程中都有兩個峰值出現。造成木粒片(1)為四級而木粒片(2)為五級的原因，可能是本身所用的木粒片種類不同，所使用的膠合劑不同，及壓密化程度不同所影響的。

第五章 總結

5.1 結論

- 1.由於儀器本身誤差，有時會造成一些不合理的現象，在分析時需特別注意。
- 2.質量損失率有效燃燒熱、一氧化碳生成量及二氧化碳生成量有關，所以材料在前置處理，秤重過程及調整歸零時需特別小心，儘量降低人爲的誤差。
- 3.引燃時間由人爲的觀察而得到的，應統一規定其判定的現象，避免造成困擾。
- 4.測試中，材料若有傷害錐型加熱器的情況產生，則需加上網子。加網子對引燃時間及熱釋放率會有影響，可針對此方向來探討對材料燃燒性的影響。
- 5.包裝鋁箔紙的方法，應統一規定，避免造成人爲的誤差。在包裝過程中，應特別小心，避免將鋁箔紙刺破，否則熔化的材料會從破洞流出或燃燒。

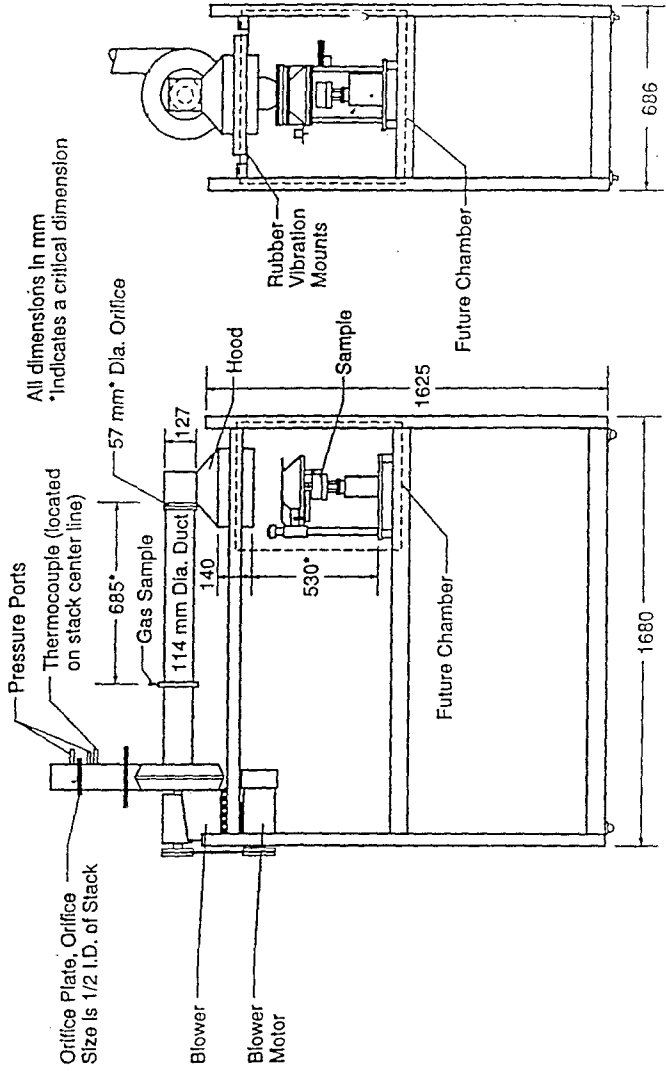
5.2 未來研究方向與建議

目前以熱釋放率作為判定材料的燃燒性只有加拿大，所以我們可以朝著訂定判定基準的方向去研究，而發展出適合我國的法規。在發展過程中需要作更多的研究，例如：對各種不同的材料在不同的輻射通量的表現，在水平及垂直情況下的表現，以及與表面試驗爐、基材試驗、FM量熱儀FRP、及其它儀器之間的關係作一比較。

參考文獻

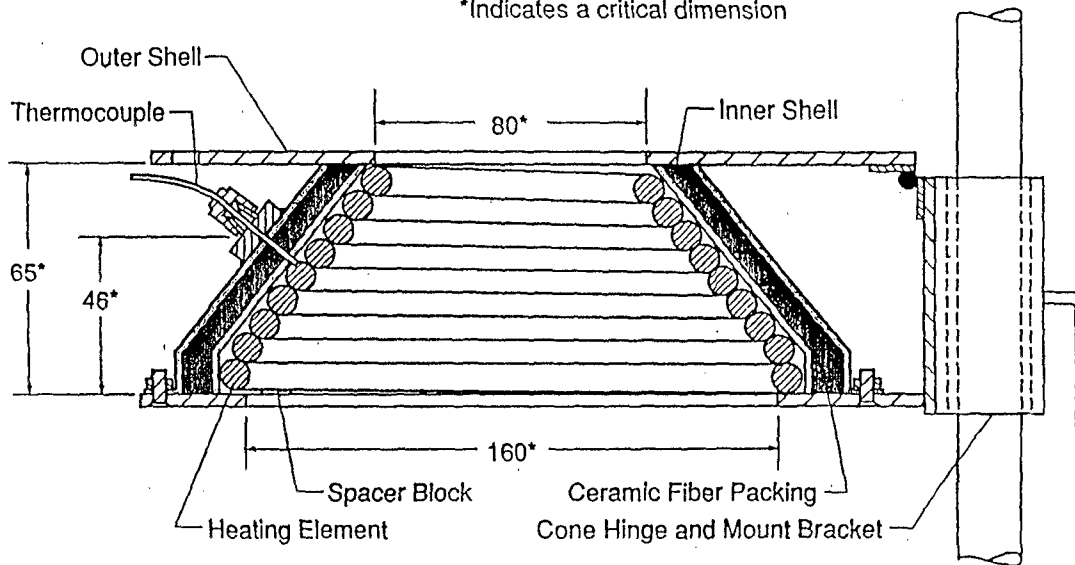
- [1] 中國國家標準 CNS 6532, “建築物室內裝飾材料之耐燃檢驗法”
- [2] 陳俊勳, “建築物防火性能探討” 中日工程技術研討會, 台北 81年11月。
- [3] Clayton Huggett, “Estimation of Heat Release by Means of Oxygen Consumption Measurements”, Fire and Materials, Vol.4, NO.2, 1980
- [4] J.P. Redfern, “Rate of Heat Release Measurement Using The Cone Calorimeter”, Journal of Thermal Analysis, Vol. 35, 1861-1877, 1989
- [5] W.J. Parker, “Calculations of The Heat Release Rate by Oxygen Consumption for Various Applications Applications”, NBSIR 81-2427-1, 1982
- [6] Richardson, L.R., and Brooks, M.E. “Combustibility of Building Materials”, Fire and Materials, 15, 131-136, 1991
- [7] Tsuchiya, Y., Private Communication
- [8] ISO International Standards, “Rate of Heat Release From Building Products (CONE CALORIMETERS),” 1993.
- [9] Scudamore, M.J., Briggs, P.J. and Pragger, F.M., “Cone Calorimetry—A Review of Tests Carried out on Plastics for The Association of Plastic Manufacturers in Europe” Fire and Materials, VOL.15, 65-84, 1991.
- [10] ASTM E-1354-90, “Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter,” 1990.

- [11] ASTM E-1354-92, "Standard Test Method for Heat and Visible Smoke Release Rates for Materials and Products Using an Oxygen Consumption Calorimeter," 1992.
- [12] ASTM E-84-89, "Standard Test Method for Surface Burning Characteristics of Building Materials"
- [13] NFPA 264A, "Test for Heat Release Rates of Upholstered Furniture and Mattresses," 1990.
- [14] AS 1530, Part 3. "Test for early fire hazard properties of Materials."
- [15] CAN/ULC-S114, Standard Method of Test for Determination of Non-Combustibility in Building Materials. (1980)
- [16] Babrauskas, V., "Heat Release Rate in Fires, the Oxygen Consumption Principle, and the Cone Calorimeter" , 圓錐量熱儀研討會, 台北, 82年4月。
- [17] Hasemi, Y. "Combustibility of Building Materials and Evaluation of Surface Burning and Flame Spread I" , 圓錐量熱儀研討會, 台北, 82年4月。
- [18] 游宏仁, "Commodity Classification and Screening using A Large-Scale Fire Products Collectors" , 圓錐量熱儀研討會, 台北, 82年4月。
- [19] 周智中, "室內裝修耐燃材料檢測作業推動計畫" , 圓錐量熱儀研討會, 台北, 82年4月。

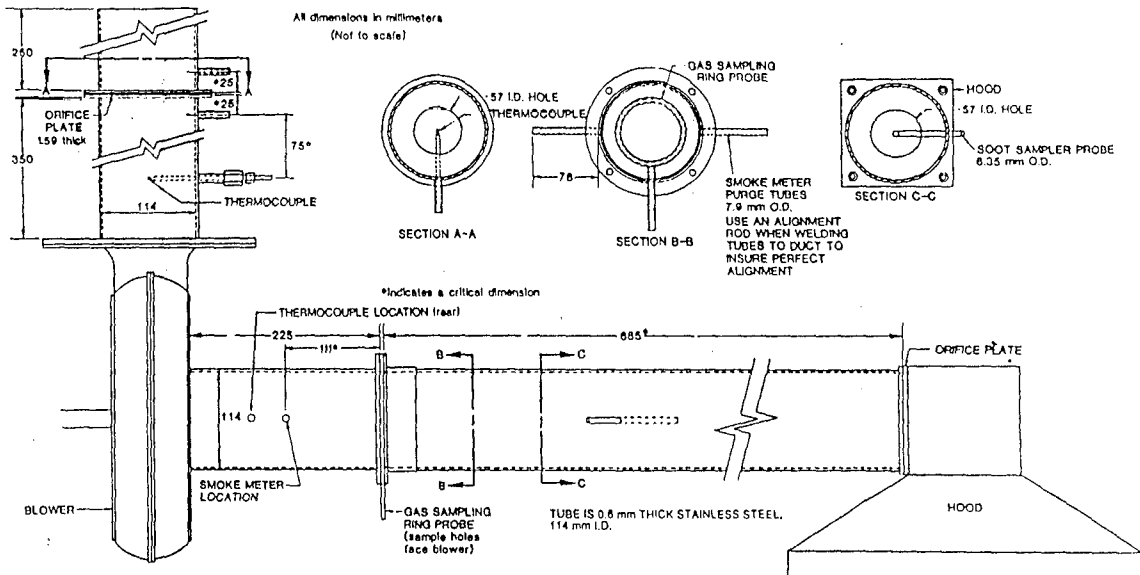


圖一. 儀器透視圖

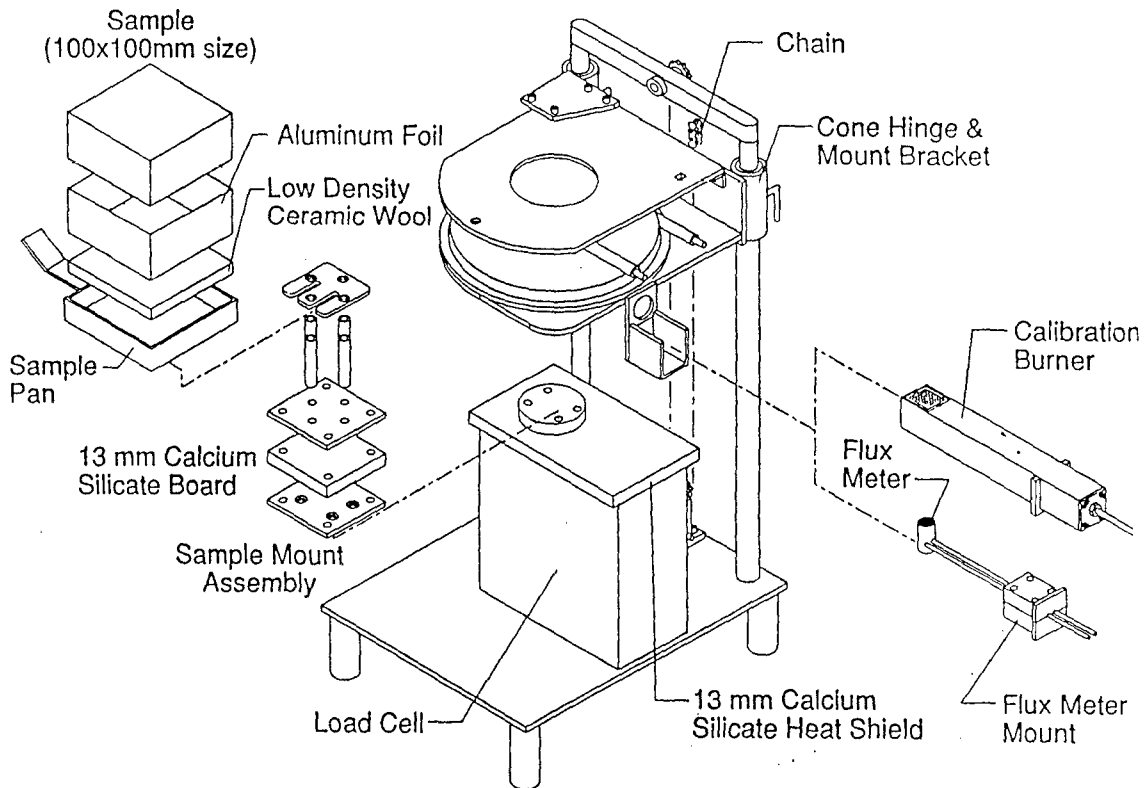
All dimensions in millimeters
*Indicates a critical dimension



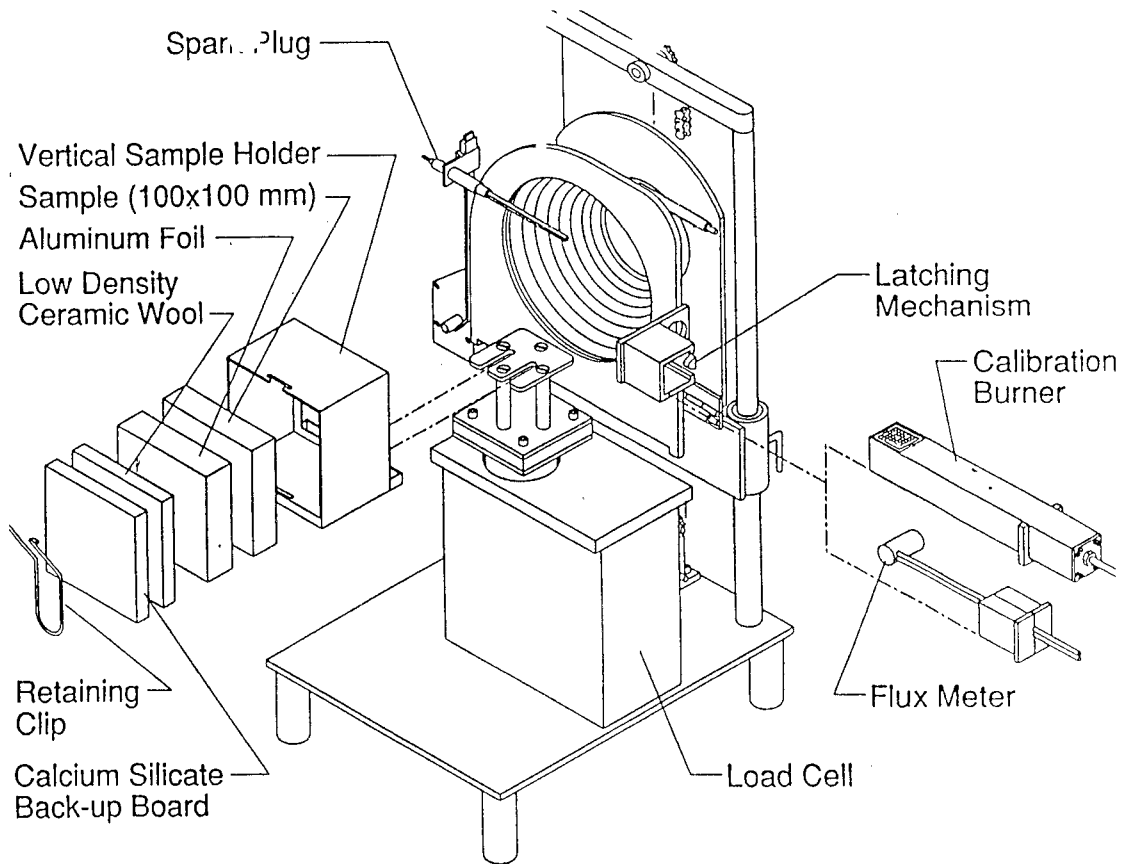
圖二. 圓錐加熱器



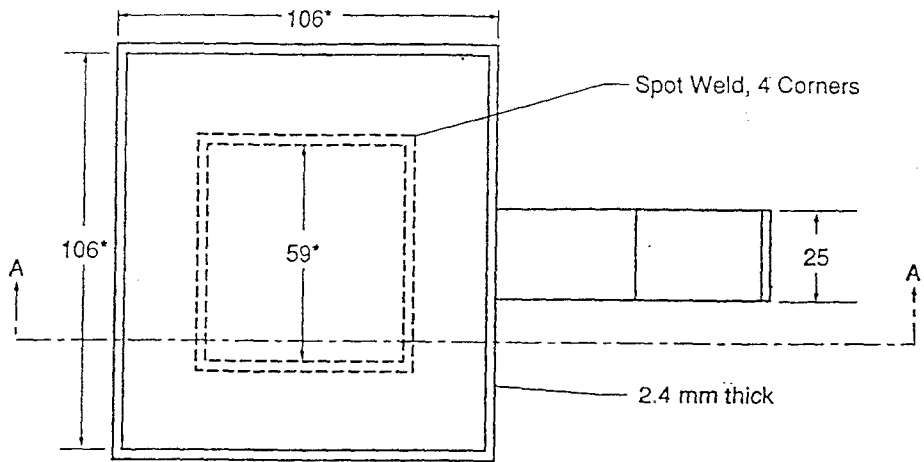
圖三. 排氣系統



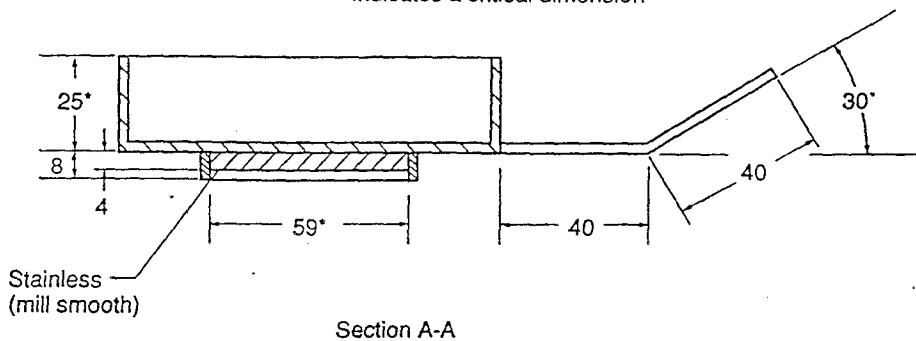
圖四．水平裝置



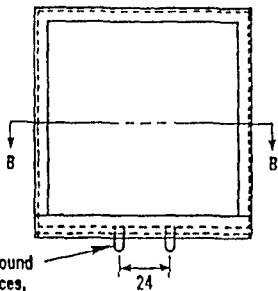
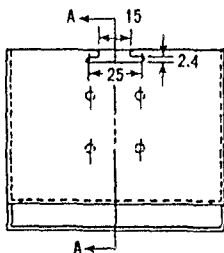
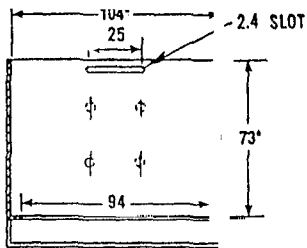
圖五．垂直裝置



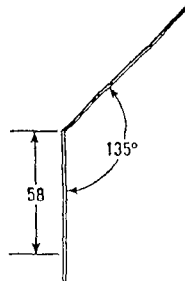
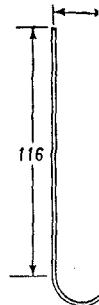
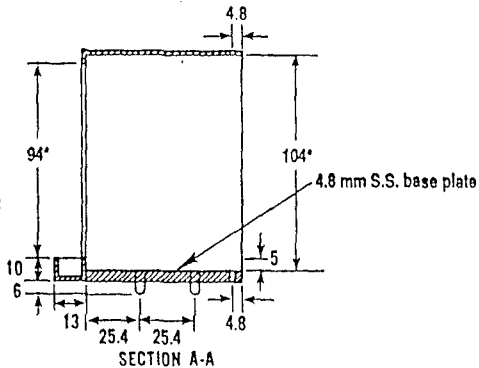
All dimensions in mm
 *Indicates a critical dimension



圖六. 水平試品架



4.8 dia. pins, round off ends, 4 places, press fit

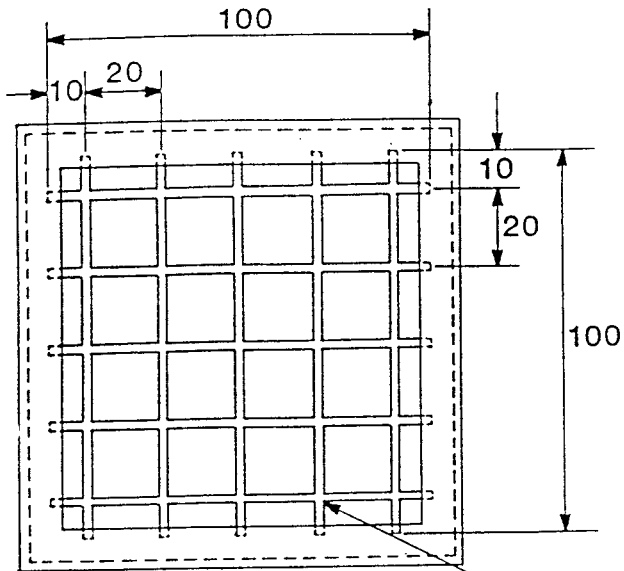


Material: 1.59 mm Stainless Steel
(except base plate)

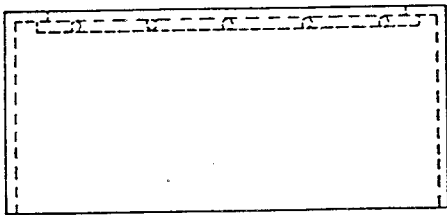
ALL DIMENSIONS IN mm
(EXCEPT WHERE NOTED)

*Indicates a
critical dimension

圖七. 垂直試品架



All dimensions in millimeters



Sample retaining grid
(optional)

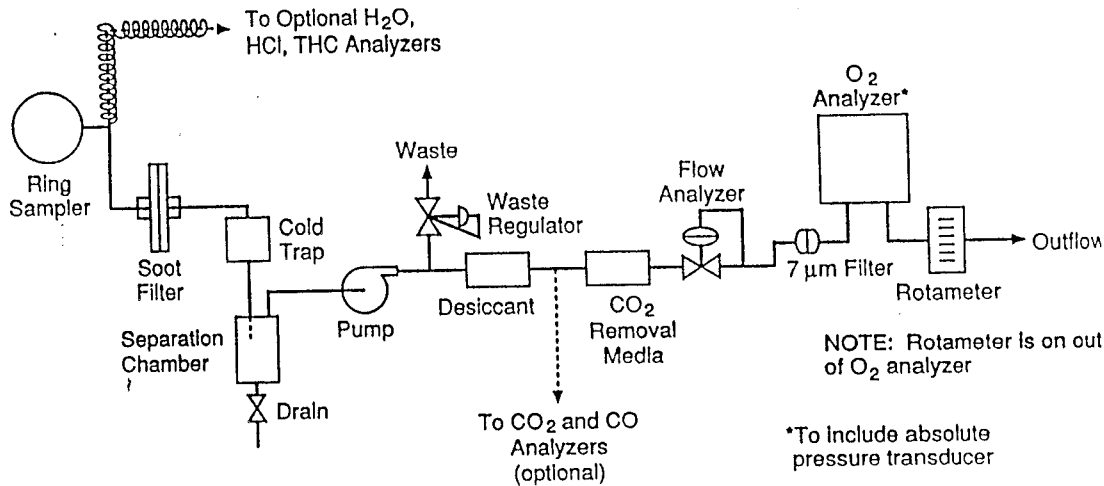
For use with samples
that are expected to
intumesce.

Material: 2mm stainless
steel rod

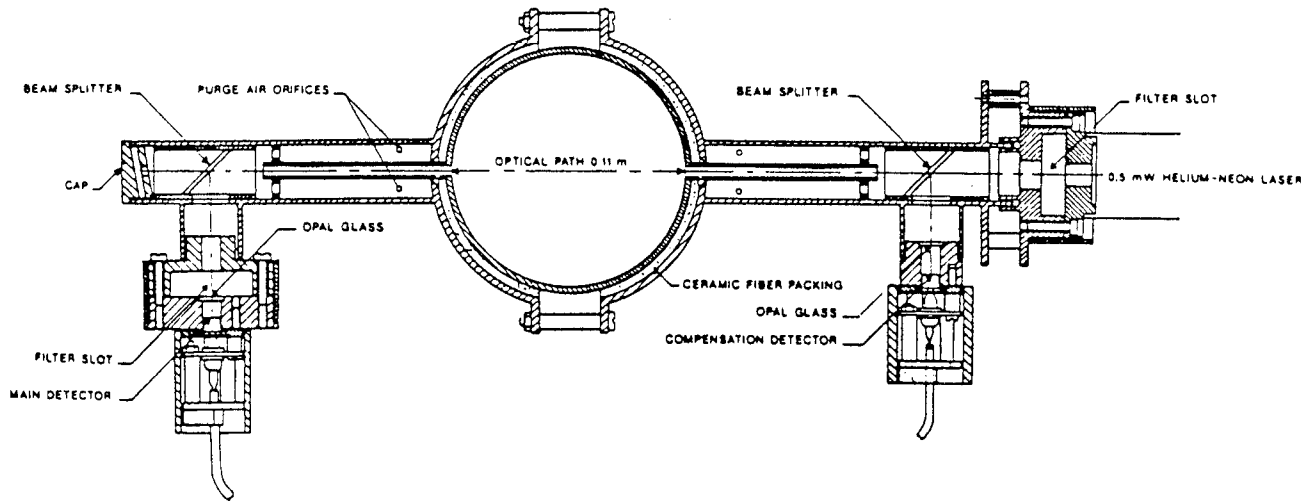
Weld all intersections

Material: Stainless steel, 1.9 mm thick

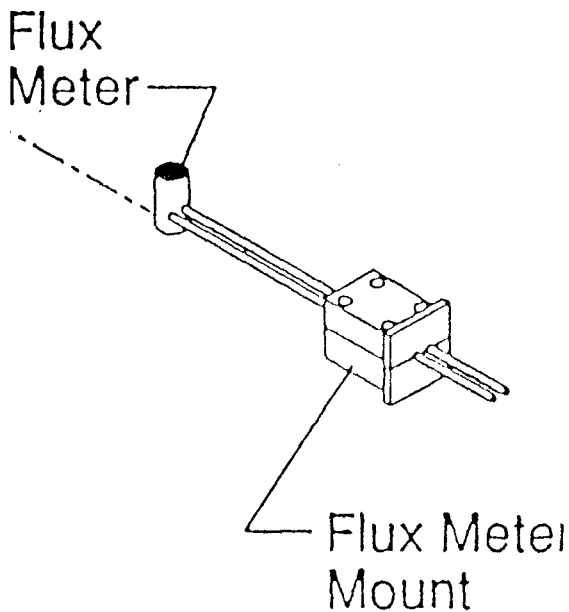
圖八. 金屬網



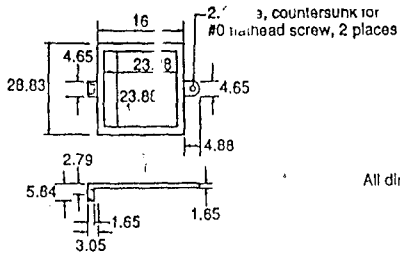
圖九．氣體分析設備



圖十. 煙濃度量測系統

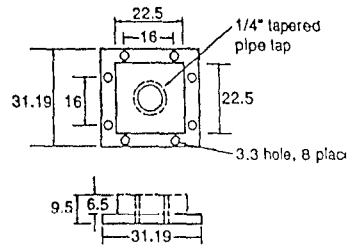


圖十一．熱通量計

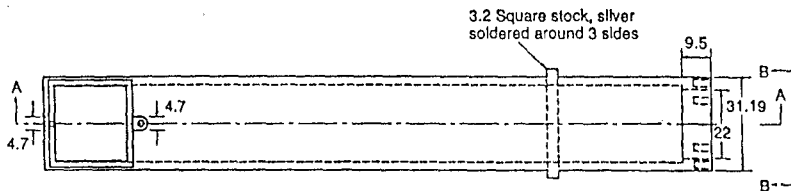


SCREEN RETAINING RING
(brass)

All dimensions in mm (except where noted)

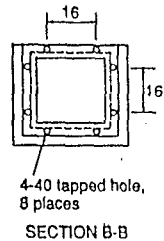
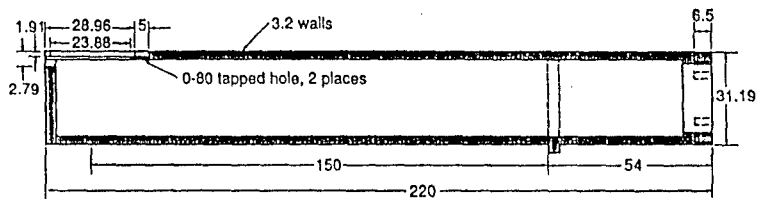


END CAP
(brass)

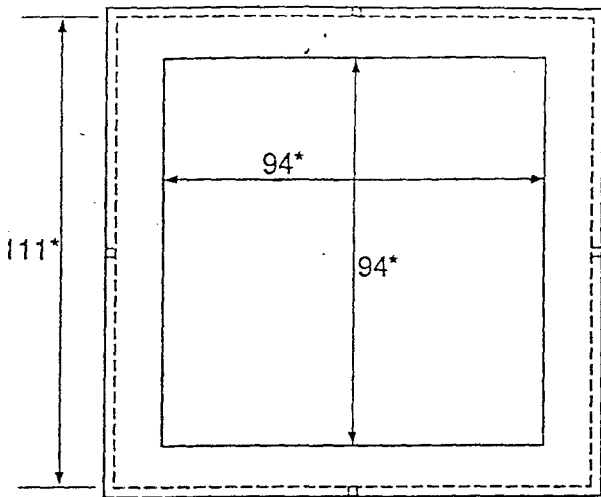


BURNER MAIN BODY
(brass)
SECTION A-A

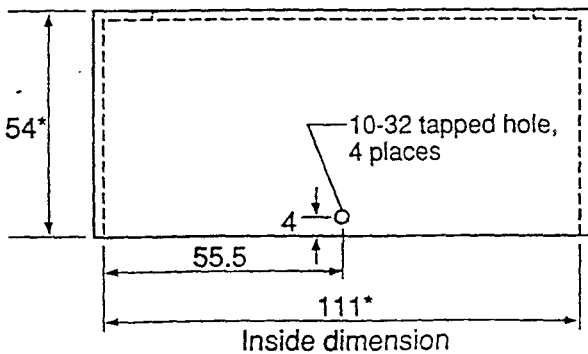
Pack burner with
ceramic fiber batting



圖十二. 燃燒器

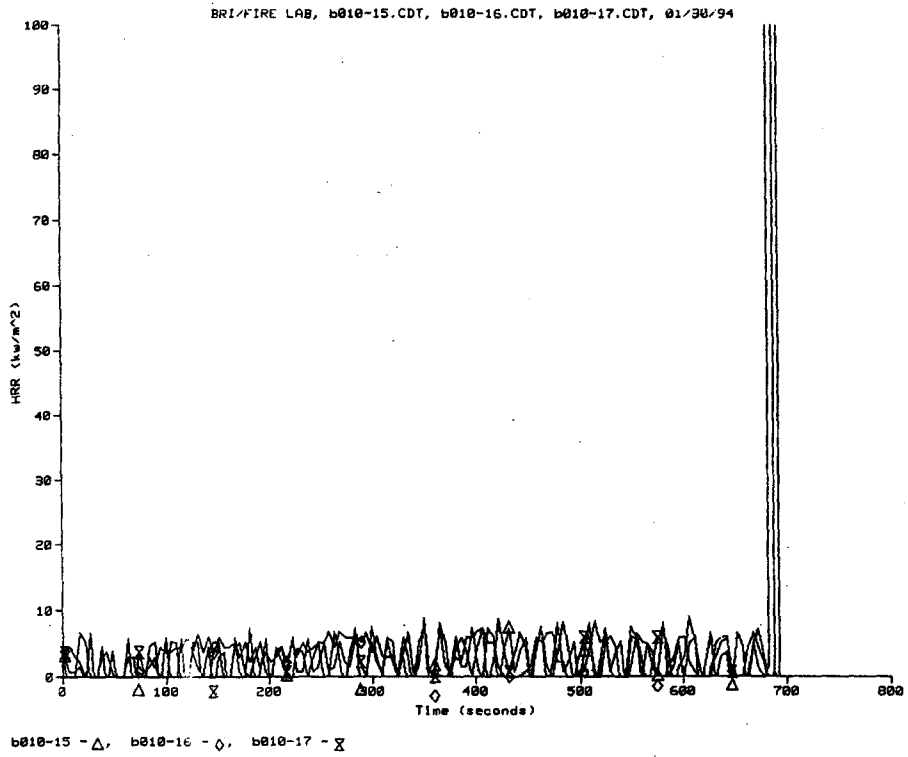


All dimensions in millimeters
 *Indicates a critical dimension

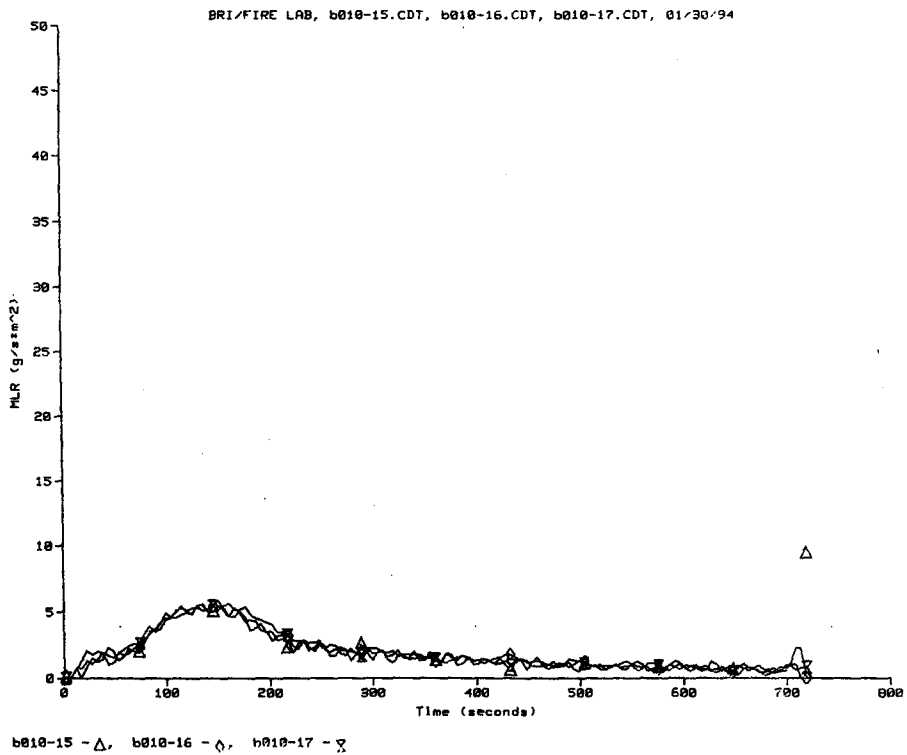


(stainless steel, 1.9 mm thick)

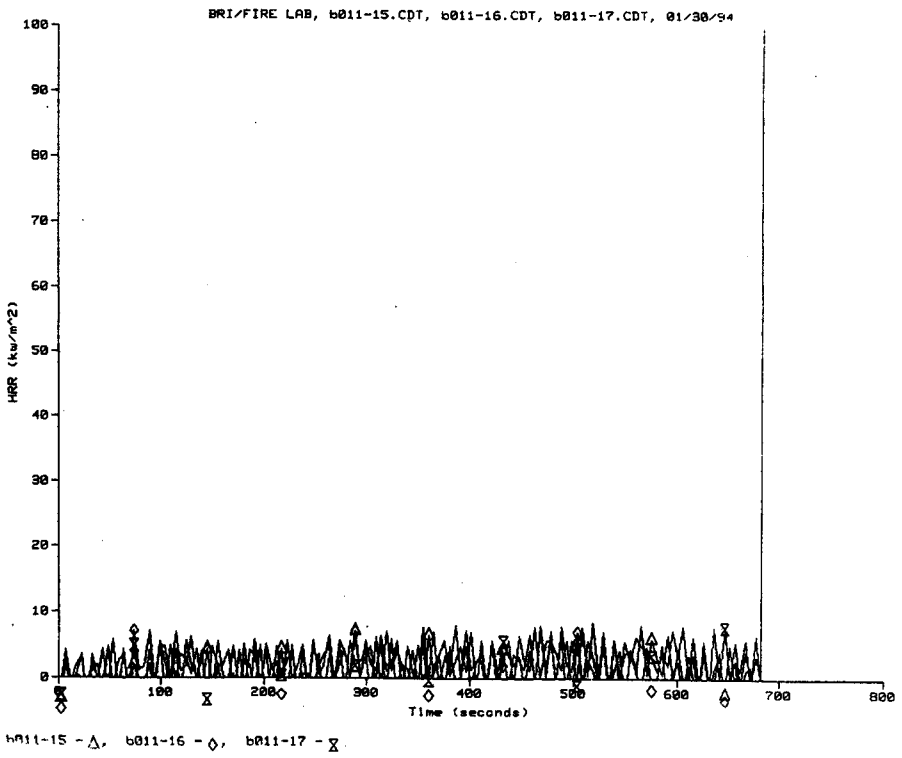
圖十三. 緣框



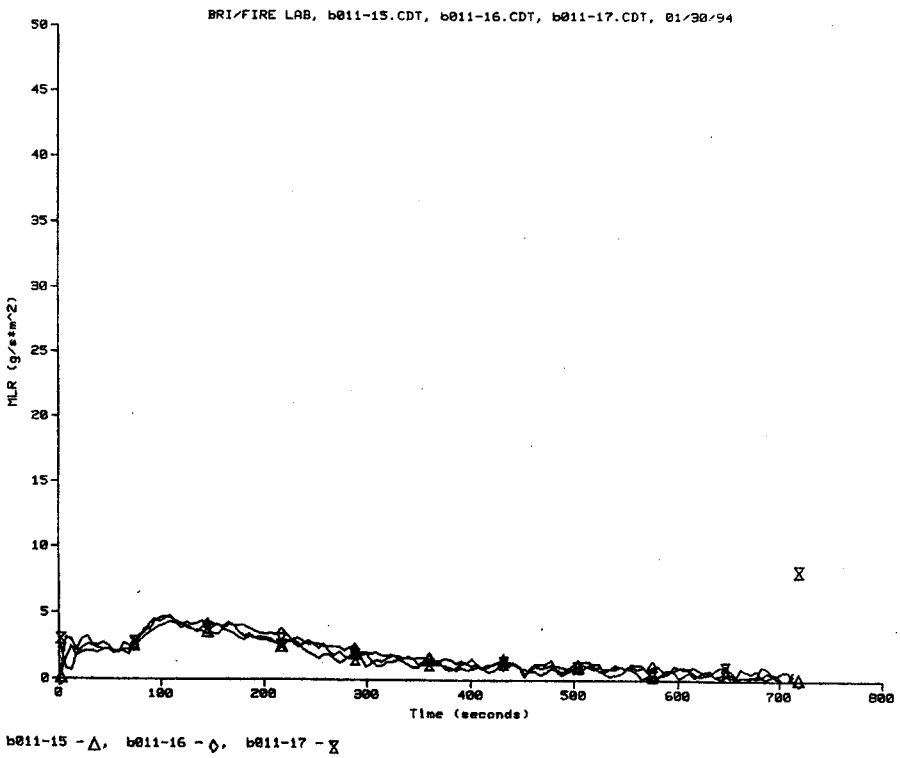
圖十四 纖維水泥板熱釋放率 (KW/m²)



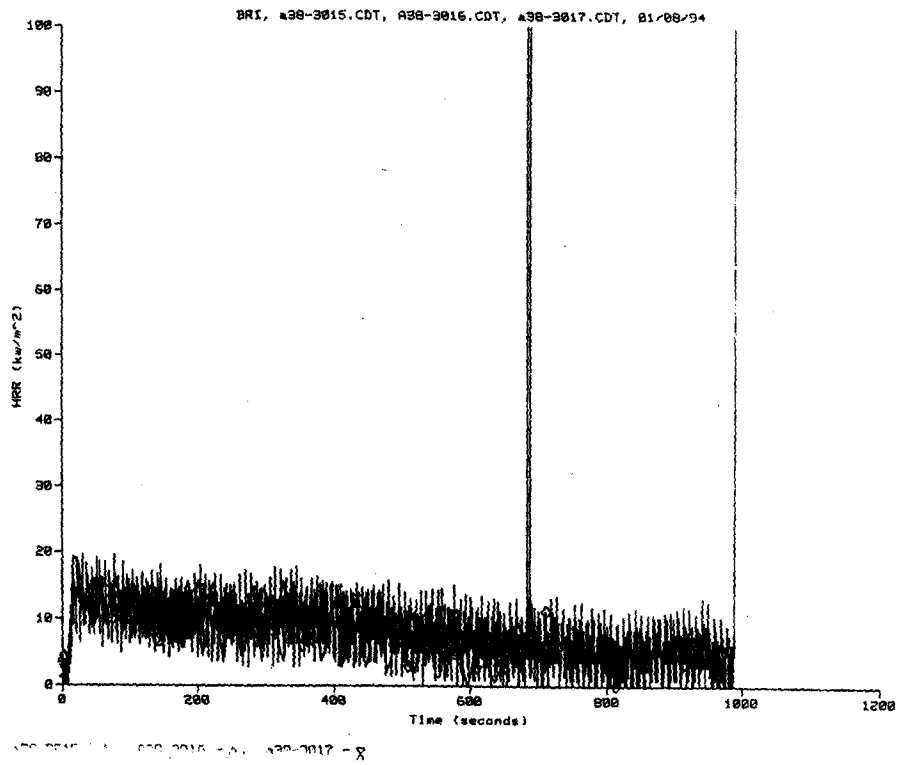
圖十五 纖維水泥板質量損失率 (g/s.m²)



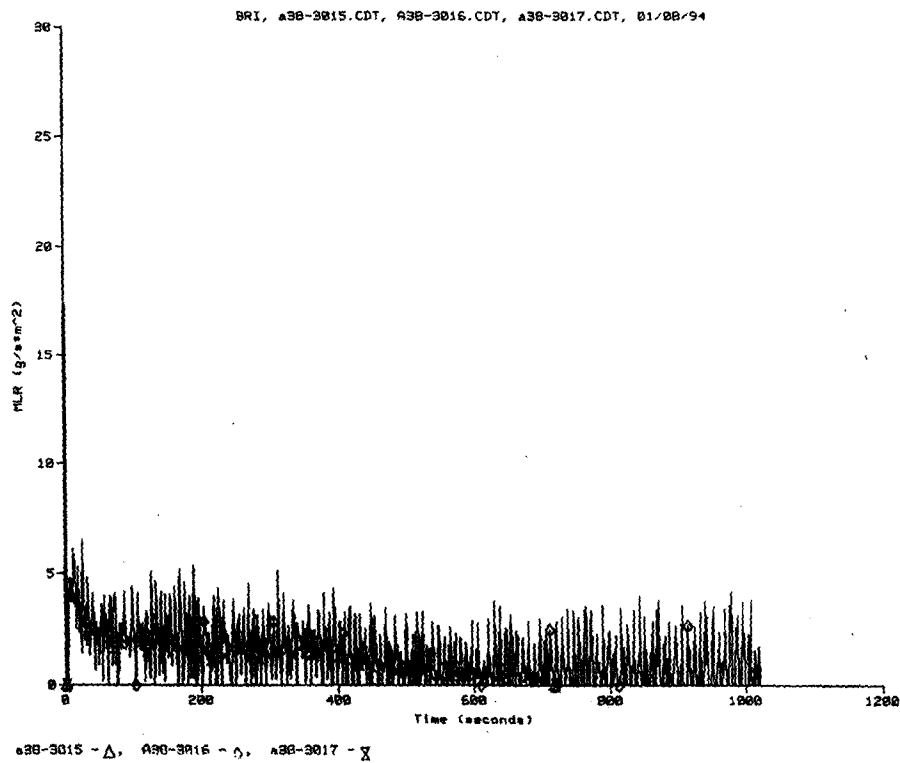
圖十六 輕質混泥土板熱釋放率 (KW/m²)



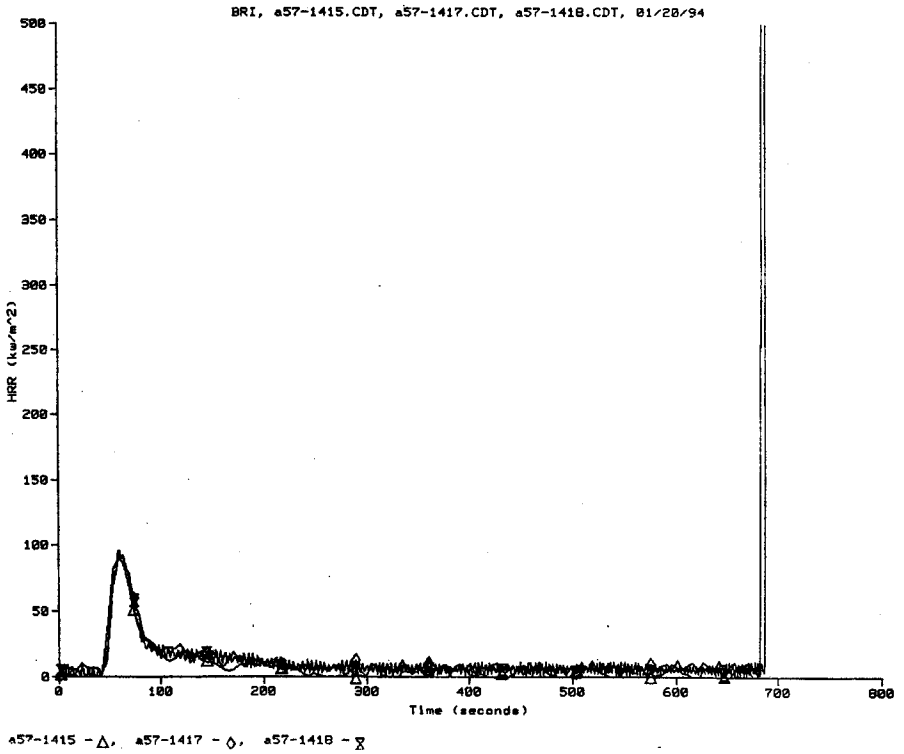
圖十七 輕質混泥土板質量損失率 (g/s.m²)



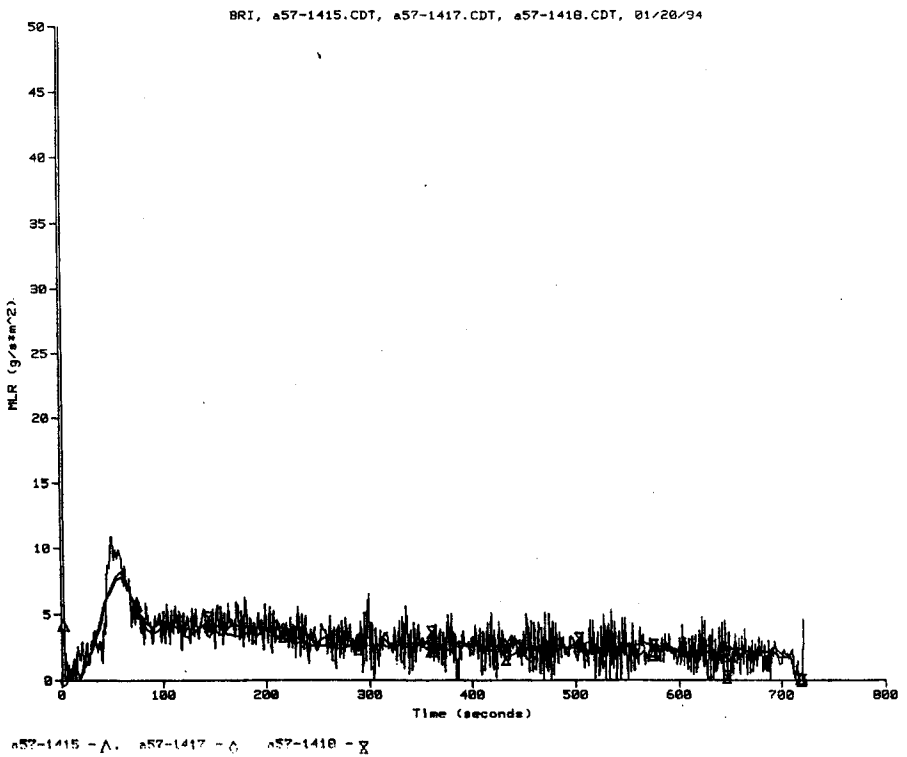
圖十八 礦物纖維板熱釋放率 (KW/m²)



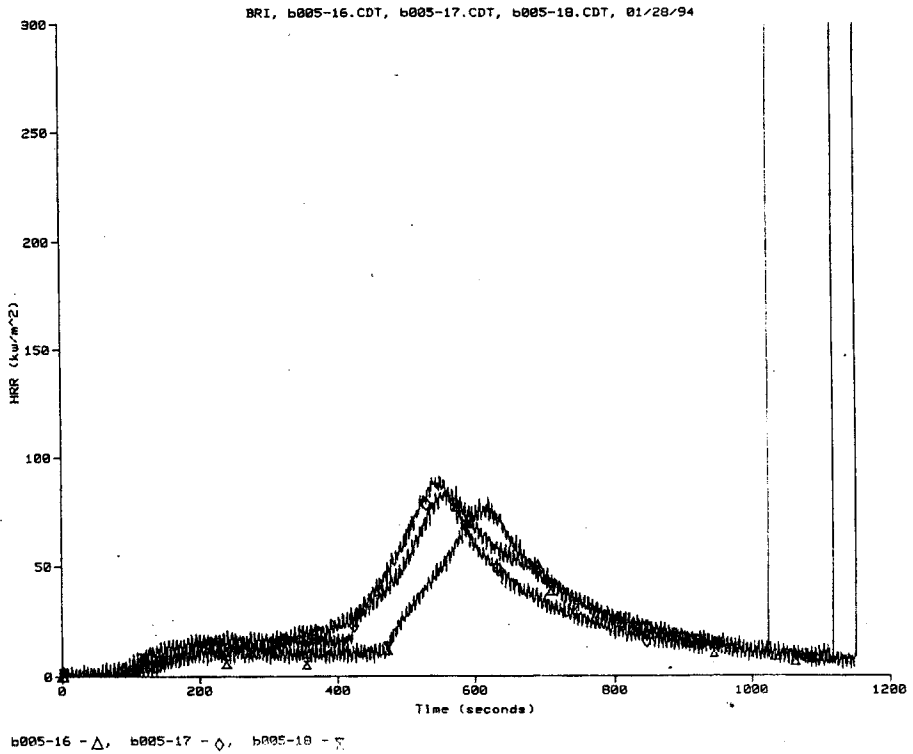
圖十九 礦物纖維板質量損失率 (g/s.m²)



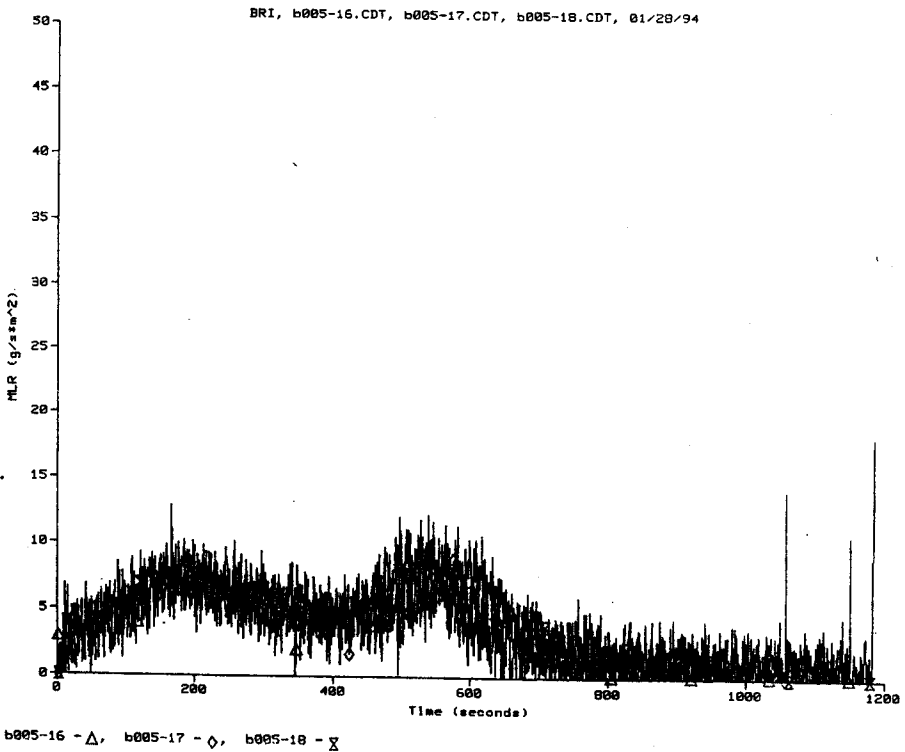
圖二十 石膏板熱釋放率 (KW/m²)



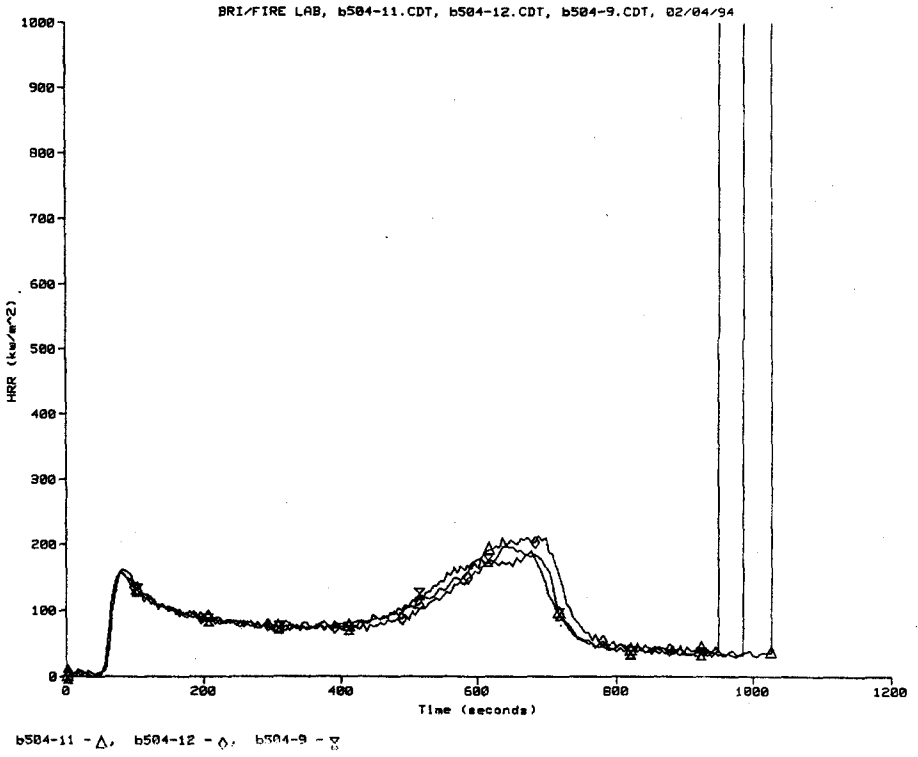
圖二十一 石膏板質量損失率 (g/s.m²)



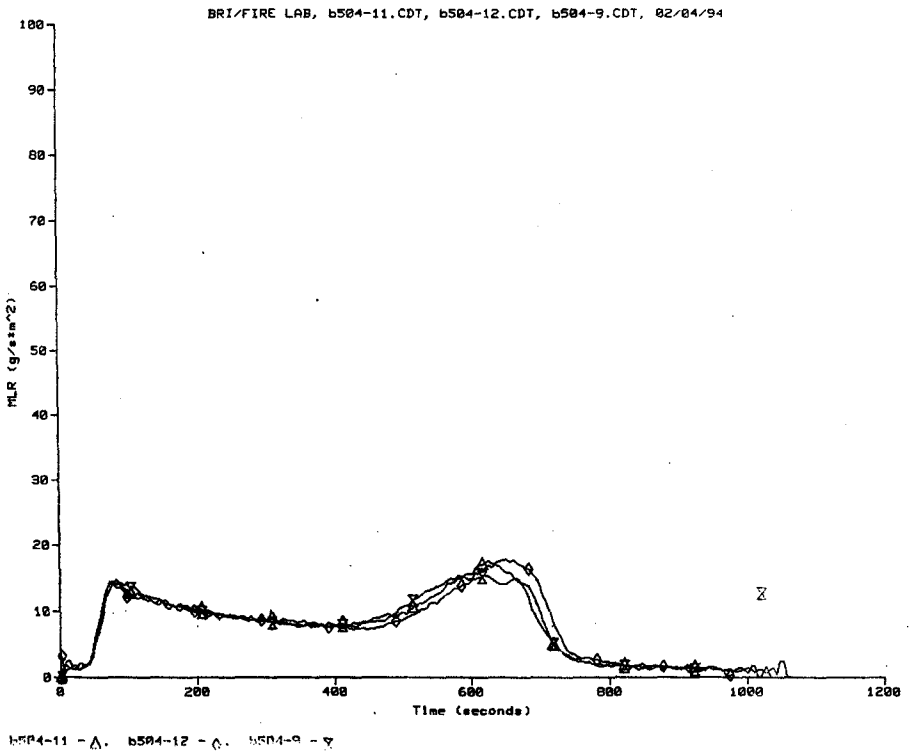
圖二十三 木粒片水泥板熱釋放率 (KW/m²)



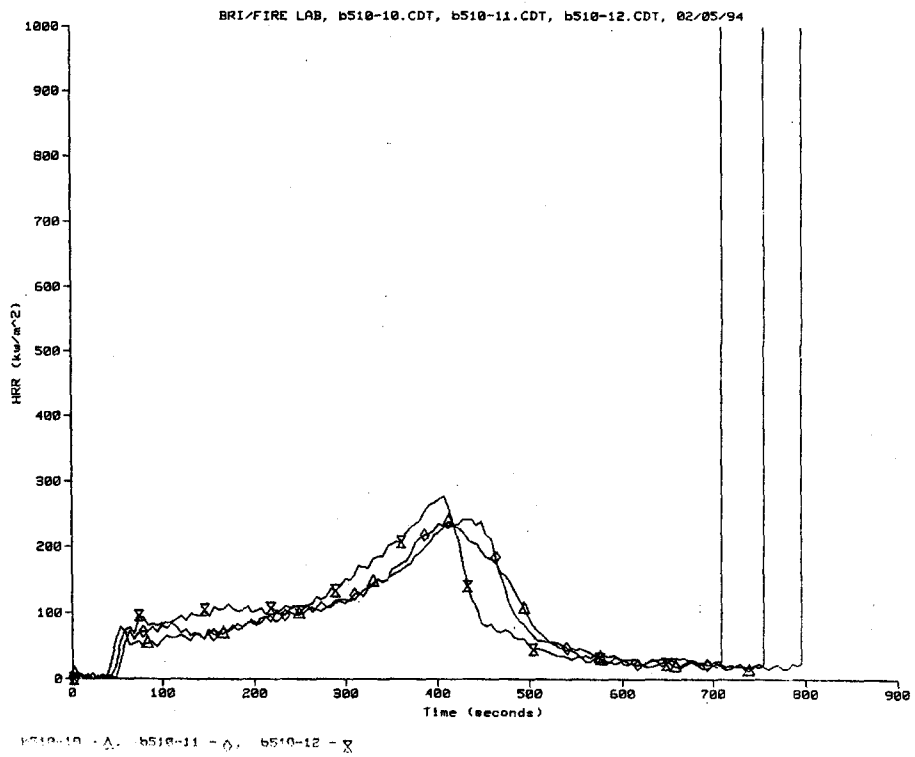
圖二十三 木粒片水泥板質量損失率 (g/s.m²)



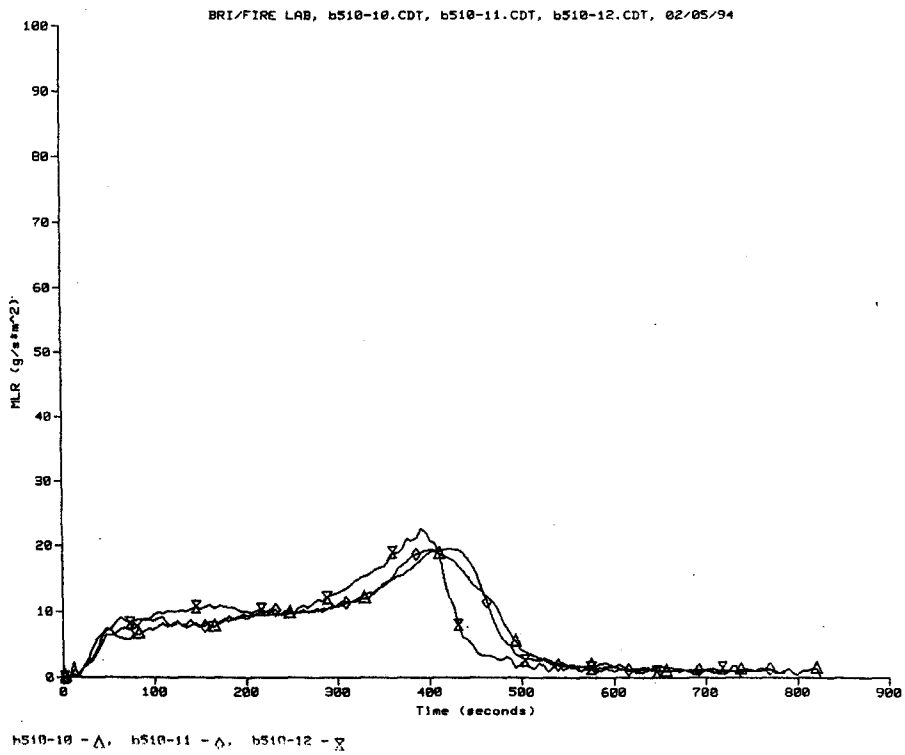
圖二十四 粒片板(1)熱釋放率(KW/m²)



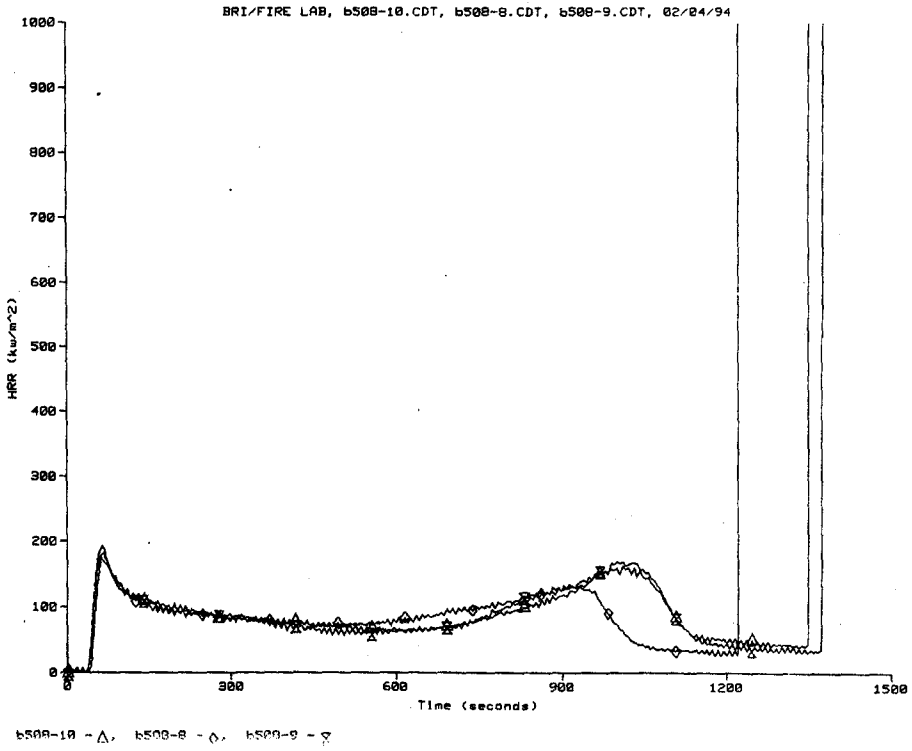
圖二十五 粒片板(1)質量損失率(g/s.m²)



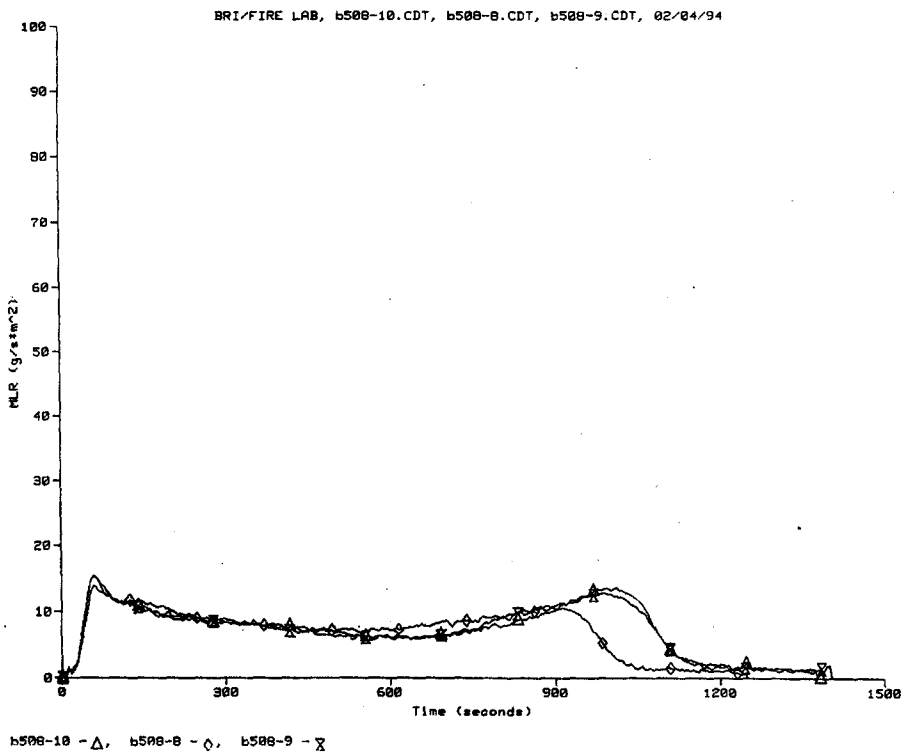
圖二十六 美耐飾面纖維板熱釋放率 (KW/m²)



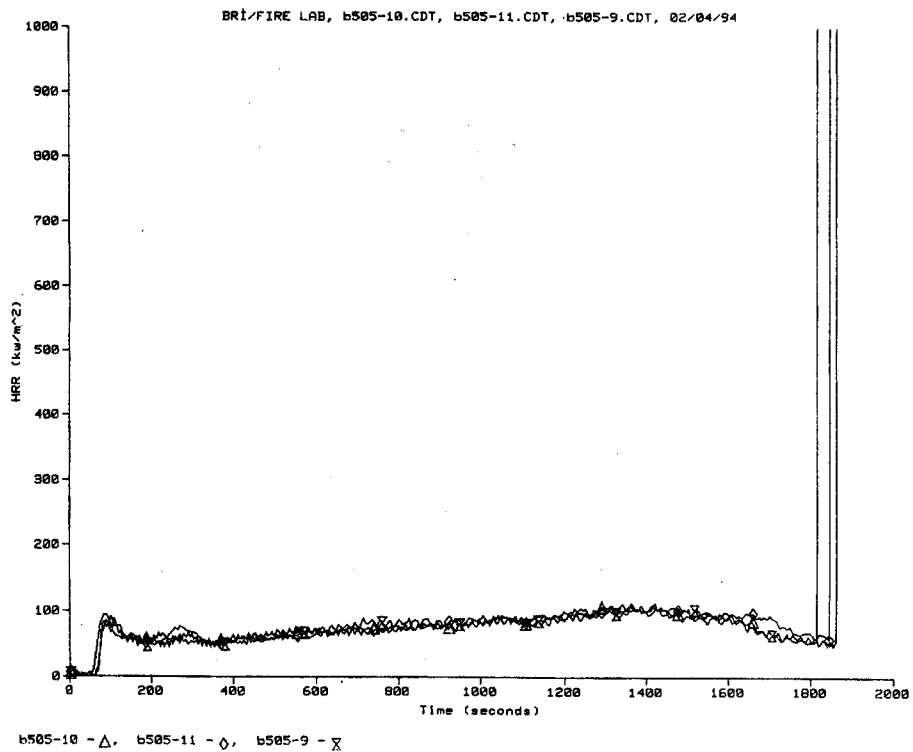
圖二十七 美耐飾面纖維板質量損失率 (g/s.m²)



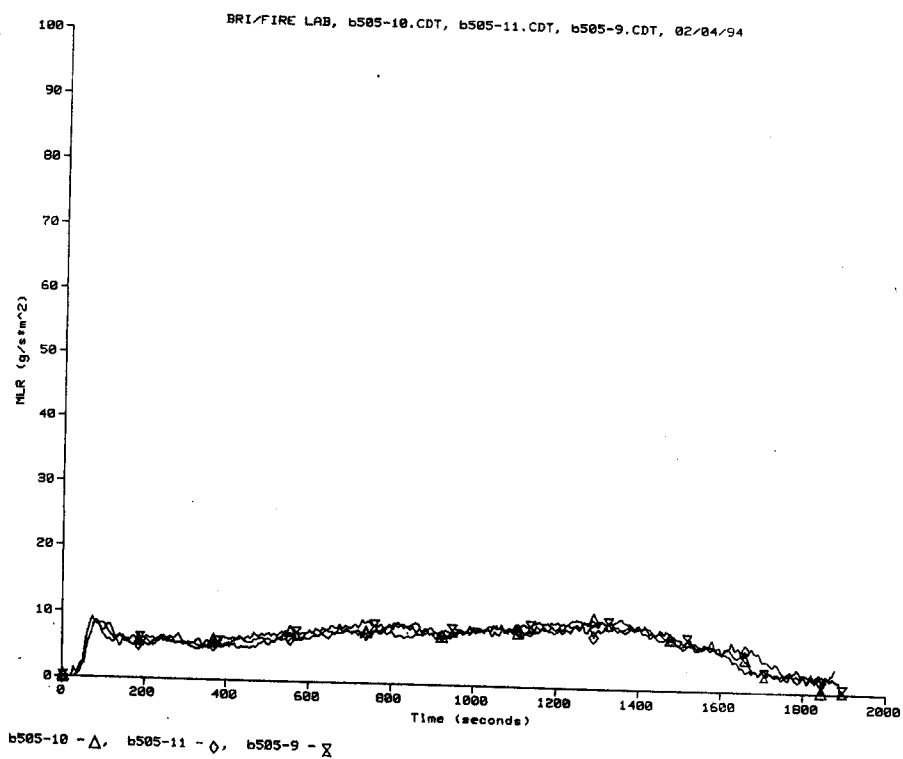
圖二十八 粒片板(2)熱釋放率(KW/m²)



圖二十九 粒片板(2)質量損失率(g/s.m²)



圖三十 樹脂注入熱壓縮木材熱釋放率 (KW/m²)



圖三十一 樹脂注入熱壓縮木材質量損失率 (g/s.m²)