

建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究

研究主持人：陳佳玲

研究期程：中華民國 108 年 1 月至 108 年 12 月

內政部建築研究所自行研究報告

中華民國 108 年 11 月

(本報告內容及建議，純屬研究小組意見，不代表本機關意見)

目次

表次.....	III
圖次.....	V
摘要.....	IX
第一章 緒論.....	1
第一節 研究緣起與背景.....	1
第二節 研究目的.....	2
第三節 預期成果.....	2
第二章 規範與文獻回顧.....	3
第一節 建築外牆飾板構造及設計工法.....	3
第二節 外牆隔熱飾板火災案例.....	9
第三節 外牆隔熱飾板火災特性研究.....	11
第四節 外牆隔熱飾板系統構造防火試驗方法.....	16
第三章 建築物外牆立面防火試驗.....	29
第一節 CNS 15213-1 試驗之實尺寸設備建置.....	29
第二節 引燃源熱釋放測試.....	39
第三節 試體安裝及量測方法.....	40
第四節 試體規劃與試驗結果.....	42
第四章 結論與建議.....	61
第一節 研究成果.....	61
第二節 主要建議事項.....	61
附錄.....	63
參考書目.....	69

表次

表 2-1 外牆節能設計手法分類.....	4
表 2-2 外牆隔熱材料燃燒試驗結果[22].....	15
表 3-1 PU-25mm 試體資料表.....	43
表 3-2 PU-25mm 主立面試體溫度量測時間表.....	46
表 3-3 PU-25mm 側立面試體溫度量測時間表.....	47
表 3-4 PU-1 試體資料表.....	48
表 3-5 PU-1 主立面試體溫度量測時間表.....	53
表 3-6 PU-1 側立面試體溫度量測時間表.....	56
表 3-7 PU-1 熱通量量測時間表.....	59

圖次

圖 2-1 岩棉隔熱材	5
圖 2-2 熱橋現象	6
圖 2-3 通氣層工法	7
圖 2-4 密著工法	8
圖 2-5 澳洲墨爾本建築物 PU 節能外牆實例	8
圖 2-6 外牆外隔熱飾板構造	9
圖 2-7 火災受損區域	10
圖 2-8 格蘭菲塔大樓火災當時	11
圖 2-9 外牆保溫系統構造圖	11
圖 2-10 圓錐量熱儀試體〔17〕	12
圖 2-11 實尺寸 EPS 外牆延燒試驗	16
圖 2-12 試驗屋結構示意圖〔25〕	17
圖 2-13 燃燒器示意圖〔25〕	18
圖 2-14 試體表面熱電偶配置圖〔25〕	18
圖 2-15 測試室內表面熱電偶配置圖〔25〕	19
圖 2-16 火焰傳播範圍	19
圖 2-17 試驗裝置尺寸圖	21
圖 2-18 熱通量量測點	21
圖 2-19 試體按裝	22
圖 2-20 試驗裝置及熱電偶位置示意圖	24
圖 2-21 熱源平均熱輻射通量時間曲線	25
圖 2-22 垮塌區域示意圖	25
圖 2-23 試驗設備及試體示意圖	26
圖 2-24 測點位置分布圖	27

圖 2-25 引燃源之燃料流率	27
圖 3-1 CNS15213-1 建築物外牆立面防火試驗法設備	30
圖 3-2 測試室外框設計圖	31
圖 3-3 支撐背牆骨架設計圖	31
圖 3-4 左右支撐側牆骨架設計圖	32
圖 3-5 試驗室框架組合示意圖	32
圖 3-6 舊有的鋼構屋切載建造實驗屋框架	33
圖 3-7 實驗屋框架	33
圖 3-8 支撐背牆設計圖	34
圖 3-9 支撐背牆及固定試體用立柱	34
圖 3-10 左右支撐側牆設計圖	35
圖 3-11 左右支撐側牆	35
圖 3-12 支撐邊牆	36
圖 3-13 引燃源容器	36
圖 3-14 引燃源容器填置粒徑	37
圖 3-15 設備架構分解圖	38
圖 3-16 實驗屋建置完成	38
圖 3-17 火災模擬燃燒器	39
圖 3-18 火災模擬燃燒器的質量流量控制器	40
圖 3-19 災模擬燃燒器瓦斯供應設計	40
圖 3-20 熱釋放率 (100 kW)	40
圖 3-21 量測位置	42
圖 3-22 熱通量計安裝位置	42
圖 3-23 PU-25mm 試驗歷程	45
圖 3-24 PU-25mm 主立面試體溫度變化	46
圖 3-25 PU-25mm 側立面試體溫度變化	47

圖 3-26	PU-25mm 試驗歷程.....	49
圖 3-27	PU-1 試驗歷程.....	51
圖 3-28	PU-1 主立面試體溫度變化.....	51
圖 3-29	PU-1 側立面試體溫度變化.....	52
圖 3-30	PU-1 熱通量計變化.....	58

摘要

關鍵詞：建築外牆隔熱飾板、建築物外牆立面防火試驗、防火性能

一、研究緣起

依據我國綠建築評估系統，日常節能指標依綠建築 EEWB 評估系統慣例，以「建築外殼」、「空調系統」及「照明系統」等三項來進行節能評估，其中「建築外殼」又包含「外牆節能」、「屋頂節能」兩大部份，而高樓層建築外牆所佔建築外殼表面積比例較屋頂所占面積較大。對於亞熱帶氣候的我們，且台灣面對能源的有限，加上環保意識抬頭，思考如何利用外牆隔熱飾板的設計，於夏季時達到隔熱、遮陽、通風的功能，已是建築節能設計手法的選項之一。且建築物使用隔熱材料之後，可以節省 50%~80% 的耗能，外牆隔熱確實是建築物節能有效的手法之一。

在歐美國家外牆外隔熱系統已有完整健全的防火性能要求，都非常重視隔熱材料和外牆飾板整體系統的防火性能研究，且對防火要求相關法規及評估方法也建立相當完善，如不同外牆隔熱系統應用範圍的限制，尤其注意在高層及超高層牆面使用上的限制。而我國現行建築規範對於外牆外隔熱飾板之防火性能並沒有具體要求。建築物在強調建築節能的同時，如何兼顧防火安全成為關注的考量重點，國內雖有建築物外牆立面試驗方法，但對於其防火性能要求，尚未建立分級及評估標準，因此本研究預計在建築研究所防火試驗中心依據現有 CNS 標準進行設備建置，除可作為提升業者開發創新具防火性能之建築外牆隔熱飾板之研發能力，也可研究國內常用之外牆飾板發生火災時其材料的特性變化，以作為訂定判定基準之參考。

二、研究方法及過程

1. 蒐集國外對外牆隔熱飾板隔熱材料相關防火標準的主要內容及要求，進行防火性能之探討。
2. 進行 CNS 15213-1 試驗之實尺寸設備建置。
3. 運用標準驗證市售之建築外牆隔熱飾板的防火性能，進行實驗及探討，以供現行法規對其耐火性能分級評定的修訂參考。

三、重要發現

1. 依據 CNS 15213-1 試驗法的要求內容，建置建築物外牆立面防火試驗的設備，並利用實驗中心原有廢棄的 C 型鋼架，配合設備尺寸改裝成一組試驗框架，實驗設備放置於試驗框架中則可配合其他實驗設備同時進行數據收集，或依實驗場地靈活移動設備。
2. 模擬燃燒器的瓦斯與流量之間的熱質與時間控制，經過多次測試其熱釋放率符合標準要求的於 10 秒內達 100kW。
3. 目前依標準已完成 2 次外牆隔熱材料的延燒性試驗，試體選用 107 自辦案「建築外牆飾板防火性能研究初探」中的 2 項材料。(1) 試體 PU-20mm 與 107 年的耐燃試驗及小尺寸延燒試驗其試驗結果有一致性，皆易引燃且都會快速燃燒至試體頂端，過程中也都產生大量濃煙，顯示其試體雖然符合 ASTM E648 「以輻射熱源量測地坪材料之臨界輻射熱通量」一級試驗，但耐燃及延燒試驗皆未符合標準要求。(2) 試體 PU-1 為耐燃 1 級材料，且在小尺度 100kW 熱源下加熱 10 分鐘皆未被引燃，但在中尺度試驗時，試體於 4 分 30 秒時被引燃後則持續燃燒至試體頂端，直至燃燒後的試體掉落火勢才漸漸變小、熄滅，試驗結果與耐燃試驗及小尺寸延燒試驗結果不太相同。

四、主要建議事項

建議一

中長期建議：對國內市售外牆隔熱飾板進行實測，以驗證其防火性能

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

本研究所建置完成之標準防火試驗設備主要針對外牆隔熱飾板其防火性能之試驗。國內目前未有其他實驗室建置符合此項標準的設備，而今年僅對隔熱材料進行試驗，與實際應用外牆系統並不相同，建議後續能針對國內市售不同外牆隔熱飾板之防火性能進行驗證。

中長期建議：進行外牆飾板的小尺度及中尺寸的試驗比對，找出其相關性，作為其系統初步防火性判定的參考。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

圓錐量熱儀試驗法為我國對建築材料耐燃性判定的試驗方法，其試驗結果能得知材料自身的燃燒性能及是否具備火焰傳播能力，也可用於外牆隔熱系統可否通過中大尺寸防火實驗的初步判定。建議可持續對圓錐試驗及中尺度試驗進行材料驗證與比對，以找出其 2 者相互聯聯性，作為日後業者開發外牆隔熱系統時能以小尺度實驗結果，對其系統可否通過中尺度或大尺度防火實驗的初步判定。

ABSTRACT

Keywords: Building exterior wall panel, Insulation Materials, Fire performance

I Research Purpose :

Taiwan is in the subtropical climate and we are facing limited energy issues nowadays. With the awareness of environmental crisis, we think about how to use the design of external wall insulation panels, which already is one of the options for building energy efficient constructions, to insulate heat, block the sun and also keep the building well ventilated during summertime. Building with these panels are considerably insulated, it can save around 50% to 80% of energy use. Which in conclusion, exterior wall insulation is indeed one of the effective ways to save energy in buildings.

II. Expected results:

1. Collect the main contents and requirements of foreign fire protection standards related to external wall insulation panels , and discuss the fire performance.
2. 2. Construction of full-scale equipment for CNS 15213-1 test.

第一章 緒論

第一節 研究緣起與背景

根據統計，30 年以上的建築物已有 410 萬棟 [1]，這些老舊建築物外牆面貼磁磚的工法已開始出現老化現象，極易造成剝落問題，為解決此類問題都常是透過外牆整建的方法改善。內政部訂定「中央都市更新基金補助辦理自行實施更新辦法」作為自主補助作業之法源依據，已逐年受理數直轄市、縣（市）政府推動的一系列的「老屋拉皮」風，補助老房子或外牆破損的大樓進行外牆美化，使既有建築物透過整建活化，再賦予新的生命週期達到都市更新目的及資源再利用的永續發展目標。在國際間於 1992 年巴西舉辦的地球高峰會議以來，地球環保熱潮興起，建築產業界也開始綠建築運動。依據我國綠建築評估系統，日常節能指標依綠建築 EEWB 評估系統慣例，以「建築外殼」、「空調系統」及「照明系統」等三項來進行節能評估，其中「建築外殼」又包含「外牆節能」、「屋頂節能」兩大部份 [2]，而高樓層建築外牆所佔建築外殼表面積比例較屋頂所占面積較大。對於亞熱帶氣候的我們，且台灣面對能源的有限，加上環保意識抬頭，思考如何利用外牆隔熱飾板的設計，於夏季時達到隔熱、遮陽、通風的功能，已是建築節能設計手法的選項之一。

目前，對於一般空調，建築物使用隔熱材料之後，可以節省 50%~80% 的耗能，因此很多國家把隔熱材料視為繼石油、煤炭、核能及天然氣以外的第五大能源。外牆隔熱確實是建築物節能有效的手法之一。而建築中常使用的外牆隔熱飾板的方式主要有外牆內隔熱及外牆外隔熱等類型，本次研究之範疇為外牆外隔熱飾板進行研究。

外牆隔熱飾板其系統通常由隔熱材料、黏結層和裝飾面材組成，其防火性能受使用材料的類型、厚度、燃燒性能及系統整體構造等因素影響。在歐美國家外牆外隔熱系統已有完整健全的防火性能要求，都非常重視隔熱材料和外牆飾板整體系統的防火性能研究，且對防火要求相關法規及評估方法也建立相當完善，如不同外牆隔熱系統應用範圍的限制，尤其注意在高層及超高層牆面使用上的限制。其防火性能的要求，主要分為材料的燃燒性與系統的防火性二方面評估外牆

隔熱飾板的火災風險。建築物外牆隔熱飾板若具有防火性能，將可防止或延緩火焰成長與傳播，而我國現行建築規範對於外牆外隔熱飾板之防火性能並沒有具體要求。建築物在強調建築節能的同時，如何兼顧防火安全成為關注的考量重點，國內雖有建築物外牆立面試驗方法，但對於其防火性能要求，尚未建立分級及評估標準，因此著手進行外牆隔熱飾板防火性能的研究，有其必要性。

第二節 研究目的

國內現有 CNS 15213-1 建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗，為規定貼附於建築物外牆上中尺度非承重立面之防火試驗方法，但對於外牆隔熱飾板的防火性能，尚未建立分級及評估標準。因此本研究預計在建築研究所防火試驗中心依據現有 CNS 標準進行設備建置，除可作為提升業者開發創新具防火性能之建築外牆隔熱飾板之研發能力，也可研究國內常用之外牆飾板發生火災時其材料的特性變化，以作為訂定判定基準之參考。

4. CNS 15213-1 試驗之實尺寸設備建置。
5. 蒐集國外對外牆隔熱飾板隔熱材料相關防火標準的主要內容及要求，進行防火性能之探討。

第三節 預期成果

1. 完成國外有關外牆隔熱飾板其相關防火性能規定與試驗方法之蒐集分析。
2. CNS 15213-1 試驗之實尺寸設備建置，未來可提供業界對建材研發與檢測驗證需求及檢測服務。
3. 運用標準驗證市售之建築外牆隔熱飾板的防火性能，進行實驗及探討，以供現行法規對其耐火性能分級評定的修訂參考。

第二章 規範與文獻回顧

第一節 建築外牆飾板構造及設計工法

壹、建築外牆隔熱飾板之定義：

建築外牆隔熱飾板是指貼附於建築物外牆上非承重外牆立面，也就是貼附在既存外牆或框架上之非承重立面，以濕式貼著飾面、粉刷飾面之飾材或飾材乾掛飾面等工法黏著或設置於外牆構造體之建築材料。但不包括帷幕牆，因帷幕牆屬架構於建築物之非承重外牆構造，非屬外牆飾材。建築技術規則建築設計施工篇第一條規定：「外牆：為建築物外圍之牆壁」、「承重牆：承受本身重量及本身所受地震、風力外並承載及傳導其他外壓力及載重之牆壁」，本研究之範圍主要係針對材料應用於外牆隔熱飾板之防火性探討，因此非屬結構性能之牆體〔3〕。

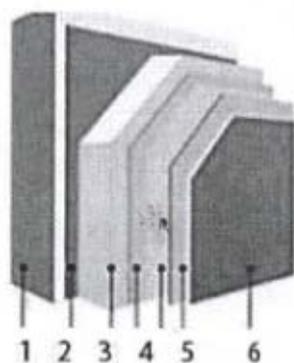
建築物造成空調能耗之主要熱負荷來源包括：「室內發散熱負荷」、「新鮮外氣熱負荷」及「建築外殼熱負荷」。其中「建築外殼熱負荷」則是由建築牆體、屋頂、透光開口部位流入室內的熱量。其中，屋頂與牆體的隔熱性能及開窗部位的遮陽性能是上述三大因素中，可透過建築外殼熱性能來抑制經由屋頂面、玻璃面與牆壁以熱傳透方式進出的熱流〔4〕。依據內政部建築研究所-外牆節能技術指南草案〔5〕牆外節能設計手法分為五大類型，分別為：1. 建築造型遮陽；2. 遮陽構件；3. 開口率控制；4. 開口部通風；5. 隔熱構造與材料。如表 1.1 所示。

表 2-1 外牆節能設計手法分類

指南技術手法之分類		
外牆節能設計手法	複合通風型(RS)	全空調型(BC)
SS 建築造型遮陽 (Building Self-Shading)	RS-SS01 造型陽台遮陽 RS-SS02 翻展式立面	BC-SS01 造型陽台遮陽 BC-SS02 樓板退縮 BC-SS03 翻轉式立面 BC-SS04 表層單元模組化
S 遮陽構件 (Shading Elements and Devices)	RS-S01 盒狀遮陽 RS-S02 格柵遮陽 RS-S03 百葉遮陽 RS-S04 沖孔遮陽	BC-S01 盒狀遮陽 BC-S02 格柵遮陽 BC-S03 沖孔遮陽 BC-S04 可動導光板 BC-S05 可動遮陽板 BC-S06 立面分段板片 BC-S07 環境感應式轉動遮陽 BC-S08 環境感應式形變遮陽 BC-S09 植生綠牆遮陽 BC-S10 多層次遮陽 BC-S11 太陽能板遮陽
WR 開口率控制 (Window Ratio)	RS-WR01 漸變開口 RS-WR02 轉向開口	BC-WR01 漸變開口 BC-WR01 模組式開口
G 開口部通風 (Glazed Ventilation)	RS-G01 可開啟窗 RS-G02 先進窗系統	BC-G01 層間換氣口 BC-G02 先進窗系統
M 隔熱構造與材料 (Thermal Insulation Materials)	RS-M01 複層帷幕 RS-M02 隔熱牆體構造 RS-M03 隔熱塗料	BC-M01 複層隔熱造型構件 BC-M02 複層帷幕 BC-M03 特殊材料複層隔熱牆

(資料來源：內政部建築研究所，外牆節能技術指南草案)

其中，外牆節能設計手法 M 隔熱構造與材料 RS-M02 隔熱牆體構造之節能特性主要與壁體的熱傳透率 (U 值) 有關，就外牆構造之熱傳透率而言，12 cm 厚的 RC 外牆 U 值高達 3.78 W/(m².K)，而有良好隔熱層鋁金屬帷幕牆可在 0.71 W/(m².K) 以下，可知 RC 外牆既笨重且其隔熱效能不佳，外牆構造應以減少外熱侵入為必要條件，因此建築物外牆需增加隔熱性能與降低日射吸熱，有加裝隔熱材可以有良好之節能外牆，如綠色魔法學校之節能外牆構造 (圖 2-1) [6]。



1. RC牆板或椎磚背板
2. 高強度建築接著黏結膠漿
3. 天然火山岩棉
4. 抗機械撞擊特製透氣防水耐震膜
5. 高分子玻璃纖維網
6. 玻璃、薄片石材、磁磚、塗料

圖 2-1 岩棉隔熱材

（資料來源：綠色魔法學校）

依據美國建規範 ASTM 定義，外牆外隔熱系統是一種非承重的外牆覆蓋系統，由美國能源部支持橡樹嶺國家實驗室進行研究，證實相對於磚塊，灰泥及水泥纖維板是為控制熱和濕度表現最好的覆層〔7〕。

貳、外牆隔熱飾板的類型與構造工法

一般常見的外牆隔熱原理為利用隔熱材與空氣層區隔內外牆以隔絕外界熱量進入，也就是在牆面加上熱傳導係數較低的隔熱材料，增加牆體的熱阻值，以達到炎熱的夏季外面的熱氣不會傳到室內，而冬季室內的溫度不會散失到外面。

一、外牆隔熱飾板的節能類型：依隔熱材料設置位置的不同，其類型可分為外牆內隔熱及外牆外隔熱〔8〕。

1. 外牆內隔熱：將隔熱飾板設在外牆的內側，這種方法因是在室內做隔熱，所以對隔熱系統的防水性、耐候性的技術要求較不高，因此面飾材的選擇較為多樣，如壁紙、各類板材或粉刷等等。施工範圍被樓板分隔，僅在一個樓高的牆面施作，也就大大降低施工的難度與成本。其缺點在於：因材料或施工的問題，表面易出現裂縫，室內需吊掛時可能有較大的限制，且因隔熱系統放置於室內，也會佔用室內的使用空間。另一個較麻煩的問題為熱橋的存在，

由於外牆沒有隔熱材料包覆的部份，當室內外溫差大、冷熱空氣頻繁接觸時，而牆體隔熱保溫導熱不均勻的時候，則會造成房屋內如牆板的接縫、牆角等處結露、發霉甚至滴水等熱橋現象（圖 2-2）【8】。

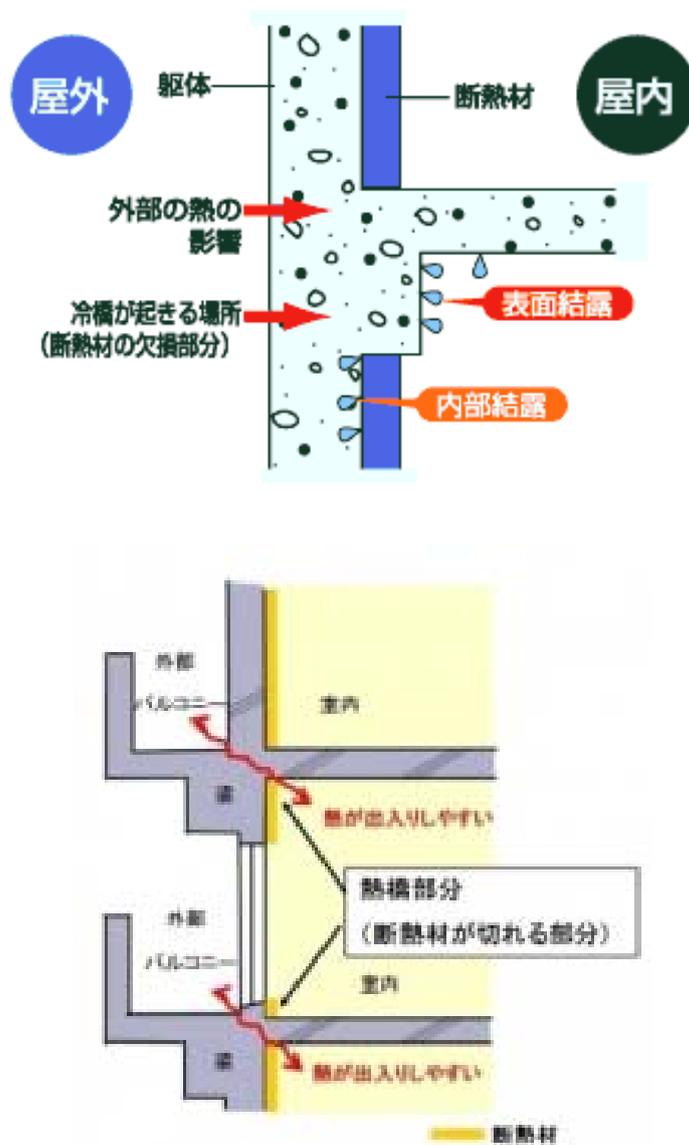


圖 2-2 熱橋現象

（資料來源：<http://www.perma-stone.com/merit.html>）【9】

2. 外牆外隔熱：將隔熱飾板放置於建築外牆的外側以達到隔熱的目的，適用範圍較廣，其優點為：(1) 避免熱橋效應，因為隔熱飾板設在牆體的外側，梁柱等構造都有包覆，可防止這些部位結露而產生熱橋現象；(2) 適用範圍較廣，新建的建築物或舊有建築外牆改善都可應用；(3) 因隔熱飾板架設於外

牆的外側，可以減少外界溫度、濕度及紫外線等等大自然造成牆面局部收縮變形或產生裂縫，延長建築物結構的使用壽命。其缺點是生產技術、品質要求及施工成本較為嚴格及昂貴。

二、建築物外牆外隔熱飾板工法：

外牆外隔熱飾板其節能工法依空氣層的有無可分為二種，如下圖所示（圖 2-3、圖 2-4）：

1. 通氣層工法：組成是在隔熱飾板與既有牆體間留設空氣層，其原理為在外牆底部及上方設置通氣口，太陽照射加熱後在透氣層會形成空氣對流，熱空氣藉由上方通氣口排出。對於居住空間可藉由外牆的傳導大幅降低冷熱，冬暖夏涼。此外也可隔絕濕氣的傳遞，不會有壁癌的問題〔10〕。
2. 密著工法：即隔熱飾板以建築黏貼膠泥貼附於建築外牆牆面上，歐洲普遍使用此工法，甚至隔熱材料如聚氨酯（PU）通過耐候性試驗、防水試驗及抗風壓試驗、防火試驗等等安全測試，直接貼附於既有外牆上即可作為節能裝飾板（圖 2-5）。

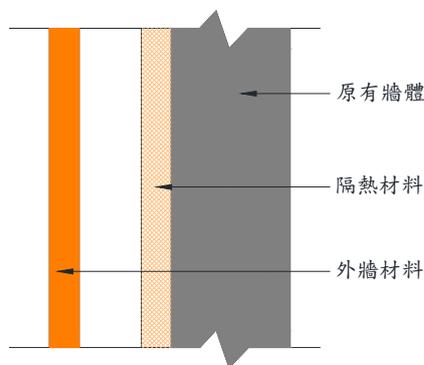


圖 2-3 通氣層工法

（資料來源：本研究繪製）

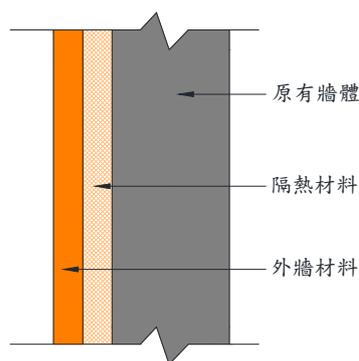


圖 2-4 密著工法

(資料來源：本研究繪製)



圖 2-5 澳洲墨爾本建築物 PU 節能外牆實例

(資料來源：永詳有限公司)

三、外牆隔熱飾板之材料組成：

外牆隔熱飾板主要由原建築牆體、隔熱層、保護層及面飾層組合而成。目前各國廣泛採用的隔熱材料主要有無機材料及有機材料(如圖 2-6) 二大類，其中常用的有機隔熱材料主要有發泡聚苯乙烯 (expanded polystyrene, EPS)、擠塑聚苯乙烯 (XPS)，酚醛板、石墨聚苯板及聚胺酯 (polyurethanes, PU) 等有機隔熱材料，其優點是質輕、保溫、隔熱性好，但最大的缺點是易燃燒防火性差，燃燒時烟霧大、有毒性。特別是 EPS 及 XPS 耐火性極差，在 80°就產生熔融變形滴落，雖隔熱保溫效果很好，但火災安全上存在著隱憂。



1. 原建築牆體
2. 建築黏結膠泥
3. 絕緣隔熱層/EPS透氣節能板
4. 無水泥基透氣防水纖維性材
5. 高分子玻璃纖維網
6. 玻璃、薄片石材、磁磚、塗料

圖 2-6 外牆外隔熱飾板構造

(資料來源:建築外牆整修維護之材料與技術發表會〔12〕)

第二節 外牆隔熱飾板火災案例

2013年3月9日北京朝陽區一棟18樓層高住宅火災，該棟大樓於2010年4月時進行外牆節能工程，採用的隔熱系統為聚苯板薄抹灰外牆系統，隔熱材是厚度100mm之聚苯乙烯，燃燒性能B2級，外牆隔熱系統設計為自建築物第二層起，每隔2個樓層需設一道200mm寬的岩棉防火隔間帶。火災調查結果，當日火災發的原因是建築牆角的塑膠垃圾起火，外牆隔熱飾板的聚苯乙烯被破壞而引燃並延燒，火焰延燒高度約6m時二樓窗口的防火隔離帶成功阻擋火焰繼續向更高樓層漫延(圖2-7)，本次為防火隔間帶有效阻止火災擴大的成功案例〔13〕。



圖 2-7 火災受損區域

(資料來源：朱春玲，2018 [13])

2017 年 6 月 14 日凌晨英國倫敦西區白城 24 層格倫菲大樓 (Grenfell Tower) 發生大火 (圖 2-8)，87 人死亡，百餘人受傷。該大樓於 2016 年 5 月耗資 1000 萬英鎊進行外牆拉皮工作，為了隔熱保暖，使用鋁板複合材料作為外牆包覆材料，這種建材屬於三明治型結構，由二層鋁板中間包覆聚乙烯樹脂所組成 (圖 2-9)。根據「格倫菲格塔調查團」調查報告指出起火原因為 4 樓住戶之冰箱故障起火，讓該大樓成為死傷慘重的惡火地獄頭號致命關鍵，即是不合規定的外牆包覆系統，因使用了易燃建材，加上窗框未保留防火隔間帶，二者加成效果下，使用火苗得以沿著外牆，在半小時內就快速垂直向上延燒，且於 2011 年重新換裝的 106 扇防火門，「不符消防規定」；防火時效應為 60 分鐘的防火門，僅僅撐了短短的 20 分鐘，功效不到 3 分之 1 [14]。



圖 2-8 格蘭菲塔大樓火災當時

(資料來源：美聯社)

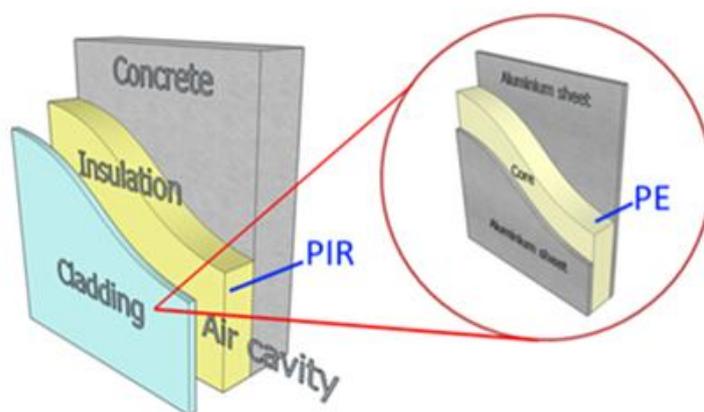


圖 2-9 外牆保溫系統構造圖

(資料來源：美聯社)

第三節 外牆隔熱飾板火災特性研究

隨著各國外牆節能飾板應用普及日增，其防火問題不可忽視，等別是以採用聚苯乙烯和聚氨酯發泡材料作為其隔熱材料時，必須要求其材料的耐燃性及系統的防火性，特別在門、窗等開口部位的側面，必須使用有防火材料完全包覆以保護隔熱材，不能有外露情形。因未有耐燃防火處理的普通聚苯乙烯和聚氨酯發泡材屬易燃材料且在著火後會有火焰延燒的危險。

建築物起火時，門窗玻璃在火焰或高溫下，很快破碎脫落，火舌從這些破碎的門窗伸出再向外蔓延途徑有：1. 為輻射熱穿過門窗引燃對面的建築物外牆；2. 是火舌從窗口伸出向上竄，將上層窗口的可燃物引燃，逐層向上蔓延。特別

是外牆飾板發生火災後，因煙囪效應火災蔓延特別迅速。如果外牆飾板的裝飾材為瓷磚、石材等材料，當發生火災時，火焰和烟氣將使局部外牆面溫度升高，可能因面磚與保溫層的導熱係數不一致而出現變形，而造成面磚大面積脫落，此時保溫材料若未有任何耐燃或防火功能，很快會引燃大量燃燒導致火災迅速擴大蔓延，同時，保溫材料燃燒產生的烟氣及毒氣對於消防人員造成極大傷害。

Chow, C. L. [15] 等人提出使用較差的隔熱材料會導致較高的熱量損失，從而增加供暖，通風和空調系統的製冷或供暖負荷。新的建築特色，如雙層立面可能會降低散熱率。但是，對於具有隔熱外牆的建築物來說，更容易發生閃燃。火災中產生的熱量會被困住，使室內空氣溫度迅速上升。

陳建忠 [16] 等人於研究圓錐量熱儀之發展與應用時提出，利用圓錐量熱儀試驗結果可適切地了解建材燃燒時之熱釋放率變化情形，並可模擬不同物品在火災發生時，可能產生之生成物，如黑煙、有毒物、腐蝕物等。早期法規遇到的問題在於判定不燃物的重要變數不合理，發展至今認定熱釋放率可作為重要判定指標，現今國際上普遍肯定圓錐量熱儀具有足夠公信力。

朱春玲 [17] 等人提出圓錐量熱儀小樣品（圖 2-10）的試驗結果，可用於外牆保溫系統可否通過大尺寸防火實驗的初步判定。根據其試驗的熱釋放率峰值分為 3 類：(1) 當熱釋放率峰值 $< 5 \text{ kW/m}^2$ 時，可判斷系統不具火焰傳播性，不需進行系統防火試驗；(2) 當熱釋放率峰值為 $5 \text{ kW/m}^2 \sim 250 \text{ kW/m}^2$ 時，不能判斷系統不具火焰傳播性，需進行系統防火試驗；(3) 當熱釋放率峰值 $> 250 \text{ kW/m}^2$ 時，可判斷系統具火焰傳播性，不需進行系統防火試驗。

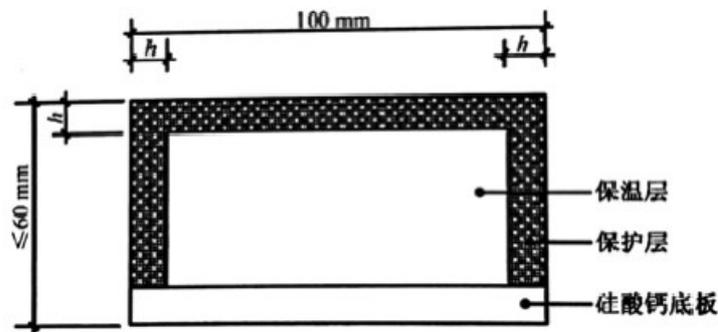


圖 2-10 圓錐量熱儀試體 [17]

曾緒斌 [18] 等人以三個不同的外牆保溫系統進行試驗，分別為薄抹灰外牆

保溫系統、金屬面外牆保溫系統及帷幕外牆保溫系統，其 3 組試體都以聚氨酯泡沫為保溫材料。試驗先以氧指數試驗及 SBI 試驗對聚氨酯泡沫保溫材料進行性能試驗，其燃燒性能達到 C 級即為難燃材料。再以實體建築的 2、3、4 層外牆裝設外牆保溫系統，以木堆作為火源，模擬房內起火其火焰和熱氣通過窗口向外噴射，觀測火災發生後外牆保溫系統是否會被引燃及火焰傳播是否會造成相鄰樓層的房間著火。3 組以同樣為 C 級的難燃材料為保溫材的外牆系統，實體建築物防火實驗其結果為：金屬面外牆保溫系統的防火性能較差，具有較高的火災危險性，薄抹灰外牆保溫系統及帷幕外牆保溫系統的表現相對較具有一定的防火性能。可知，建築外牆保溫系統的防火性能除了與保溫材料的燃燒性能有關外，外牆保溫系統的自身結構及應用方式也是重要影響因素，而達到難燃等級以上的聚氨酯保溫系統可以有很好的防火安全性能。

萬復森梁益誠 [19] 使用未具試體頂端延伸板及具試體頂端延伸板兩項實驗，針對不同寬度及厚度之 1 m 高 PMMA 進行牆面火焰延燒研究。依具延伸板的實驗結果得知：1. 其火焰高度於延燒後期有明顯產生差異，越寬的火焰，其火焰高度愈高。2. 火焰的加熱強度，明顯隨火焰寬度增加而增加。3. 火焰寬度應確實會影響延燒結果，牆面火焰延燒速率隨著火焰寬度增加而增加，且寬度對火焰的高度及加熱強度均有影響。

曾緒斌 [20] 研究中以 3 組薄抹灰外牆保溫系統進行實體火災試驗，其分別使用等級為 C 級（試體 1）、B 級（試體 2）與 D 級（試體 3）的聚氨酯保溫材料。實驗主要觀察火焰傳的速度和高度、試驗後保溫材料碳化或損毀的範圍及對相鄰樓層的影響。

由於薄抹灰外牆保溫系統表面是一層水泥砂漿，對火焰具有一定的抵制作用，但隨著火災規模的增加，聚氨酯發泡材在火焰的熱作用下會分解出可燃氣體，可燃氣體被點燃，則保溫系統被引燃。試驗結果保溫材料為試體 1（C 級）及試體 2（B 級）的外牆系統在實體火災實驗中防火性能明顯好於試體 3（D 級）。

試驗過程中火焰延燒高度，試體 3 的蔓延高度為 5.0 m，試體 1 約為 4.5 m，所以外牆系統表面高度 2.5 m 及 5 m 處，試體 1 的溫度小於試體 3，而相鄰樓層間內屋頂溫度試體 3 也是較高，但 3 組試體均未超過 200 °C（若房

間內屋頂溫度超過 200 °C，就容易造成房間內可燃物的燃燒)。

內政部建築研究所 106 年協同研究報告「帷牆層間縫隙構造防火性能及設計構法之研究」[21]以 ASTM E2307-15b (層間塞) 與 NFPA 285 (外牆延燒) 熱電偶布放的方式，進行帷幕牆與層間塞的防火與阻熱性能試驗。結果發現，純粹使用具有防火時效性的層間塞材料與帷幕牆相互結合，並無法完整確保其防火與阻熱時效性，因各項構件的施工與接合部的保護措施均會影響帷幕牆與層間塞的防火與阻熱性能。因此要提昇帷幕牆與層間塞的防火性能，需以具有防火與阻熱性能的材料及使用耐燃材料保護各部件接合部位。

內政部建築研究所 106 年自行研究計畫「建築外牆飾板防火性能研究初探」[22]對國內建築外牆飾板使用之隔熱材料進行 CNS 14705-1 圓錐量熱儀耐燃試驗及試體尺寸為寬 0.8 m x 高 1 m 的不同條件熱源的延燒試驗其結果 (表 2-2) 得知：

1. 根據單點引燃的試驗結果，可以推論當外牆飾材使用 EPS 材料時，若是部分的 EPS 裸露，並且不慎引燃，火焰會向上延燒，對高樓層有很大的危險性，而溶解滴落的 EPS 也會造成造低樓層燃燒，液滴附著於背板上則會使火勢加劇，反而增加火災危險性。
2. 高度聚氨酯保溫材 (PU-25 mm) 於 CNS 14705-1 試驗屬級外材料，在延燒試驗其結果為，單點及線性引燃條件下皆會引燃，但火焰移開隨即熄滅並不會延燒，於 50kW 及 100kW 熱源條件下都會延燒至試體頂端。顯示這種材料於一定的熱輻射環境下才會被引燃，但一旦引燃則會持續延燒至試體燒燼，若應用於實際建築上，火災發生時火勢較大且有危險性。
3. 符合耐燃 1 級之聚胺脂發泡保溫材 (PU-1)，以 4 種引燃方式 (燃燒器 50 kW 火源、燃燒器 100 kW 火源、噴燈單點引燃以及線性引燃) 試驗結果都無燃燒及延燒的現象，其結果與耐燃有相同一致性。

表 2-2 外牆隔熱材料燃燒試驗結果[22]

試體	試驗條件								
	耐燃 等級	50kW		100kW		單點引燃		線性引燃	
		有 背板	無 背板	有 背板	無 背板	有 背板	無 背板	有 背板	無 背板
EPS-3	級外	試體 受熱 熔解 滴落	試體 受熱 熔解 滴落	★	試體 受熱 熔解 滴落	★	★	★	★
EPS-4	級外	★	★	★	★	★	★	★	★
PU-1	1 級	☆	☆	☆	☆	-	-	-	-
PU-25 mm	級外	★	★	★	★	-	-	-	-

★有延燒 ☆無延燒

宋長友〔23〕等人針對整體構造系統以 UL 104 牆角防火試驗、BS 8414-1 窗口防火試驗進行，針對局部構造或單一材料以 GB/T 8625 中尺度燃燒爐試驗，小尺度 ASTM E 1354 圓錐量熱儀試驗進測試。透過大量試驗數據結果得知：

1. 有機保溫材料的燃燒性能是影響系統防火安全性的基本條件，通過大量實驗證明，外牆保溫系統構造設計（包含粘結或固定方式、防火層間帶、防火保護面材及面材厚度），可以解決有機保溫材料的防火安全問題。
2. 大尺寸的牆角火災實驗和窗口火災實驗，是對外牆保溫系統的整體防火性能進行檢驗，可以觀測到火焰在保溫系統的水平或垂直的延燒能力，以實際火災對建築物的攻擊而言，大尺寸實驗更具普遍意義。
3. 小尺度圓錐量熱儀試驗結果科學、客觀地表現了外牆保溫系統對火反應的特性，實用性強，可用於外牆輔助檢驗。
4. 外牆保溫系統防火等級劃分及適用建築高度規定是提高防火安全性的有效途徑。

Liang Zhou [24] 等人進行了垂直方向岩棉做為防火阻隔應用在 EPS 隔熱外牆板的延燒試驗，此研究先將 EPS 試體進行了圓錐量熱儀試驗，在熱通量 50 kW/m² 時，長 10 公分寬 10 公分的 EPS 試體最大熱釋放率為 4.52 kW/m²，接著將垂直方向的岩棉作為防火阻隔時，研究不同的岩棉寬度以及岩棉間距對於 EPS 溫度與延燒速率之影響，實驗結果發現岩棉作為防火阻隔時，間距寬度越低，越能有效減少 EPS 之延燒速率。最後進行了實尺寸七層樓高的 EPS 外牆延燒試驗（圖 2-11），使用 30 公分寬的水泥作為垂直防火阻隔，實驗結果證實垂直的防火阻隔能夠有效阻擋 EPS 外牆發生火災時火焰水平方向的延燒。



圖 2-11 實尺寸 EPS 外牆延燒試驗

（資料來源：Liang Zhou 等人, 2017）

第四節 外牆隔熱飾板系統構造防火試驗方法

在歐美等外牆節能系統廣泛應用的國家，對於防火性能有嚴格的要求，對不同的外牆隔熱系統和隔熱材料均有訂定防火測試的方法和分級標準，並考慮燃燒時煙產生量及煙毒性的釋放，同時對不同防火等級的外牆隔熱系統應用在哪類建築使用的範圍進行限制。從試樣尺度劃分試驗方法的類別，包括小尺寸試驗、中尺寸試驗和大尺寸防火試驗。小尺寸試驗主要是對隔熱材料的燃燒性能進行檢驗；中尺寸試驗可以對隔熱材料的燃燒性能進行檢驗，也可以針對具有某種構造的外保隔熱系統進行檢驗；大尺寸試驗可以對整個外牆隔熱系統的所有構造進行檢驗。

壹、NFPA 285

美國「國際建築規範」（IBC）規定，外牆隔熱系統之防火性能要求其為：

(1) 依據 ASTM E 119 建築結構和材料的防火試驗確認其組件對外牆的耐火性能沒有負面影響；(2) 依據 NFPA 285「含可燃成分的非承重外牆火災延燒特性」試驗法對外牆系統其火焰傳播特性進行評估，確認其外牆系統可以阻止火焰在一個樓層擴散至另一個樓層，且能抵抗火焰側向擴散到相鄰建築物，屬中尺度防火試驗。

NFPA 285 [25] 為中尺度非承重牆組件火焰傳播特性試驗方法，通過模擬多層建築外牆整體結構的防火性能，確保牆體的表面、中心或者火源中心和其周圍組件之間不會傳播火焰。試驗觀察項目包含：熱電偶溫度、火焰垂直高度、火焰水平長度、第二層試驗室的溫度及第二層試驗室（圖 2-12）火焰情況等。實驗屋為上下二層樓的構造，試體尺寸為寬 4.06 m 高 5.33 m，試驗火源含有二個燃燒器（900kW 的測試室燃燒器及 400kW 的窗戶燃燒器）（圖 2-13），試驗時間為 30 分鐘。

試驗通過條件為：試體火焰延燒高度未達窗戶上方 3.05m、火焰延燒距離未達中心線水平方向 1.5m 的距離（圖 2-16）、熱電偶溫度點 28, 18-19 和 31-40（圖 2-14）不能超過 538°C、溫度點 49-54（圖 2-15）不得高於起始溫度 260°C 等限制。

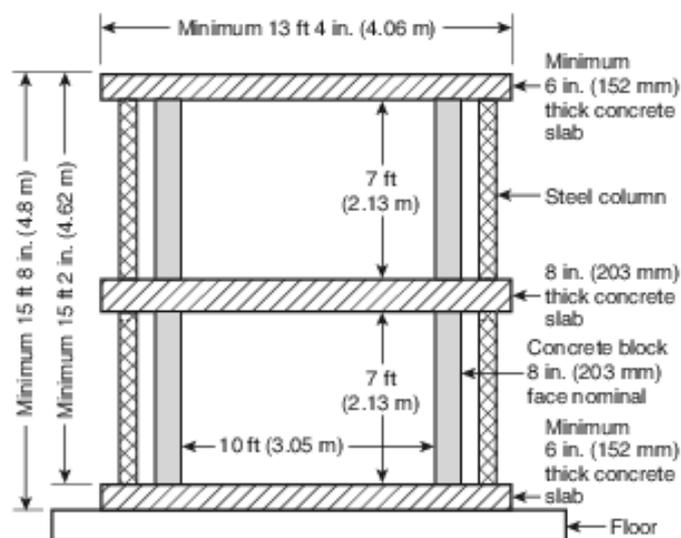


FIGURE 4.2.3 Front View of Test Apparatus Structure (not to scale). For exact dimensions, see 4.2.1 through 4.2.7.

圖 2-12 試驗屋結構示意圖 [25]

(資料來源：NFPA 285)

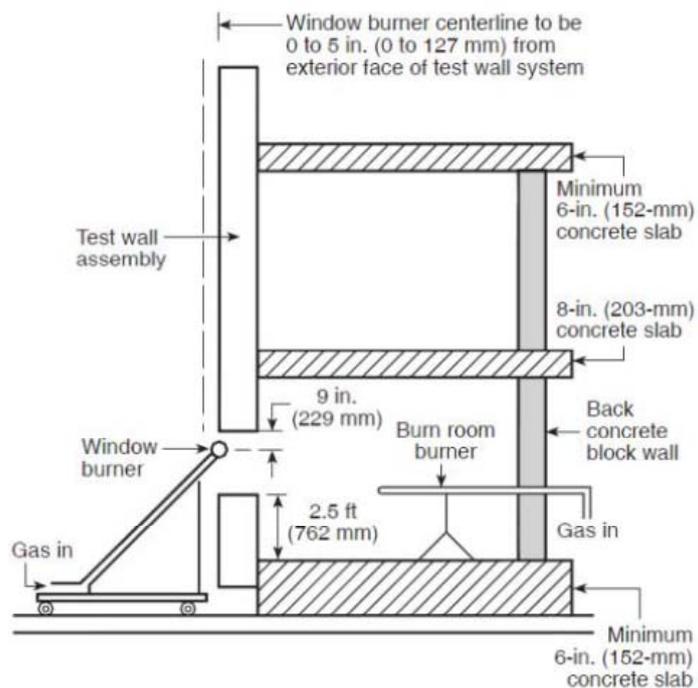


圖 2-13 燃燒器示意圖 [25]

(資料來源：NFPA 285)

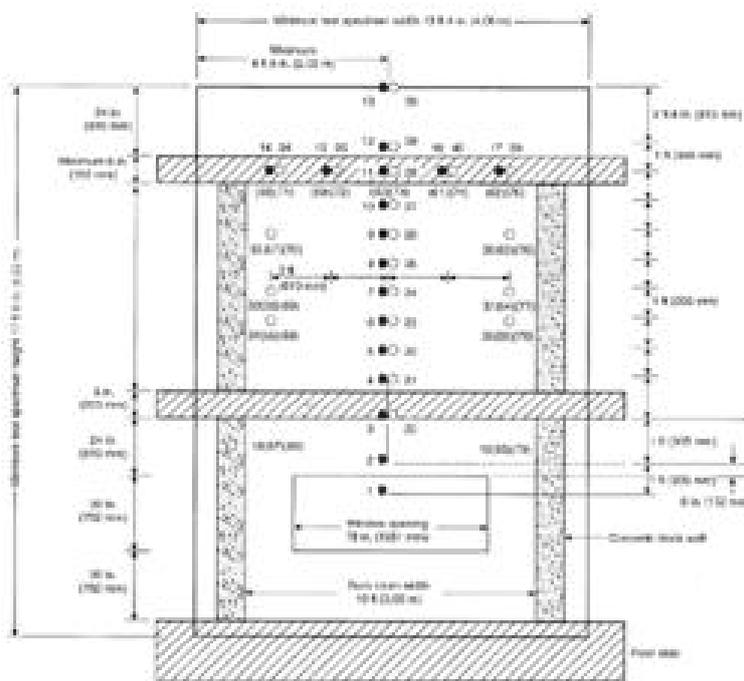


圖 2-14 試體表面熱電偶配置圖 [25]

(資料來源：NFPA 285)

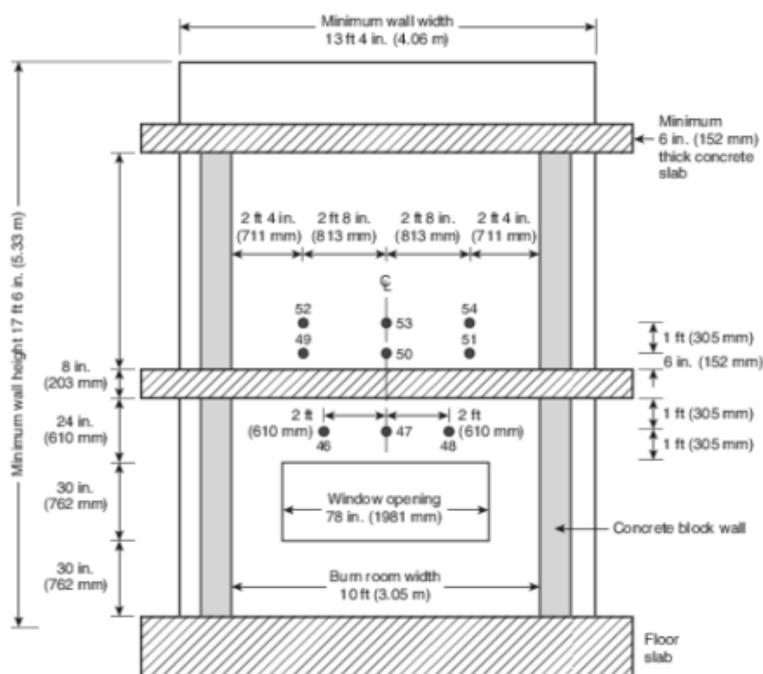


圖 2-15 測試室內表面熱電偶配置圖 [25]

(資料來源：NFPA 285)

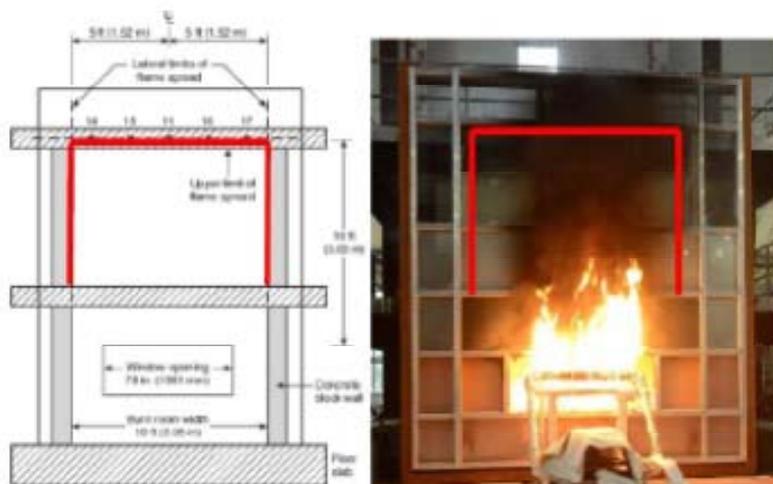


圖 2-16 火焰傳播範圍

(資料來源：本研究製作)

貳、英國 BS 8414-1

英國建築防火安全規範 (ADB) 中對建築外牆保溫材料的防火要求依據建築的類別、高度及邊界的不同，對外牆材料分別有不同等級的要求，而外牆保溫系統也可以選擇進行 BS 8414 的大尺度防火試驗，並依 BRE 135 [26] 進行性能

性能判定，通過該試驗後則無使用上建築物高度的限制。

BS 8414 建築外牆包覆系統防火性能—第 1 部分：適用於建築表面非承重外包覆系統的試驗方法：試驗裝置由牆體、燃燒室、熱源及量測系統等部分組合而成，以模擬室內火災從建築物的窗口對外牆隔熱系統向外擴散的原理來檢驗建築外牆隔熱系統是否具有阻止火焰的傳播性。

1. 牆體：由主試驗牆體和副試驗牆體以 90 度夾角組合而成，主牆體的高度 ≥ 9000 mm、寬度 ≥ 2600 mm，副牆體的高度 ≥ 9000 mm、寬度 ≥ 1500 mm（如圖 2-17）。
2. 燃燒室：設置於主牆的底部，火焰從其開口噴出，開口尺寸為高（ 2000 ± 100 ）mm、寬（ 2000 ± 100 ）mm。
3. 熱源：平均輻射熱通量應符合標準曲線。
4. 熱電偶：量測範圍為（ $0\sim 100$ ） kW/m^2 ，量測位置在主牆體上，如圖（2-18）所示。
5. 試體：應包含外牆隔熱系統的有組件，結構及組成與實際工程使用的工法完全相同，試體的厚度不得大於 200 mm。主牆的試體寬度不得小於 1200 mm，高度要大於燃燒室開口頂部以上 6000 mm，副牆的試驗寬度不得小於 1200 mm，高度與主牆上的試體相同高度，且試體的安裝不能阻礙燃燒室的開口（如圖 2-19）。
6. 試驗時間：熱源引燃試驗開始後 30 分鐘，試體已無燃燒現象，則終止試驗；試驗開始後 30 分鐘，若試體有任何部分有燃燒現象，則試驗應持續進行至 60 分鐘後終止試驗。
7. 結果判定：
 - （1）外部火焰延燒範圍：在水平線 2 上的任一外部熱電偶其溫度超過初始溫度 600°C ，且持續時間超過 30 秒。
 - （2）內部火焰蔓延範圍：在水平線 2 上的任一內部熱電偶其溫度超過初始溫度 500°C ，且持續時間超過 30 秒。

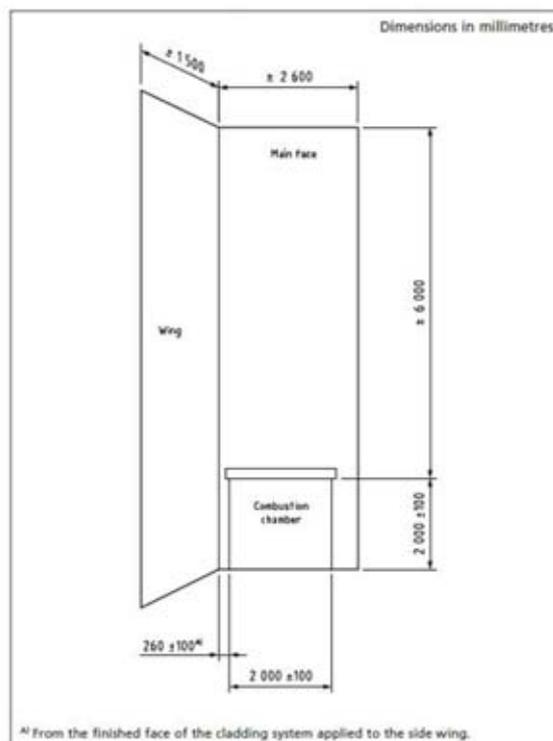


圖 2-17 試驗裝置尺寸圖

(資料來源：BRE Global Client Report ,2017) [27]

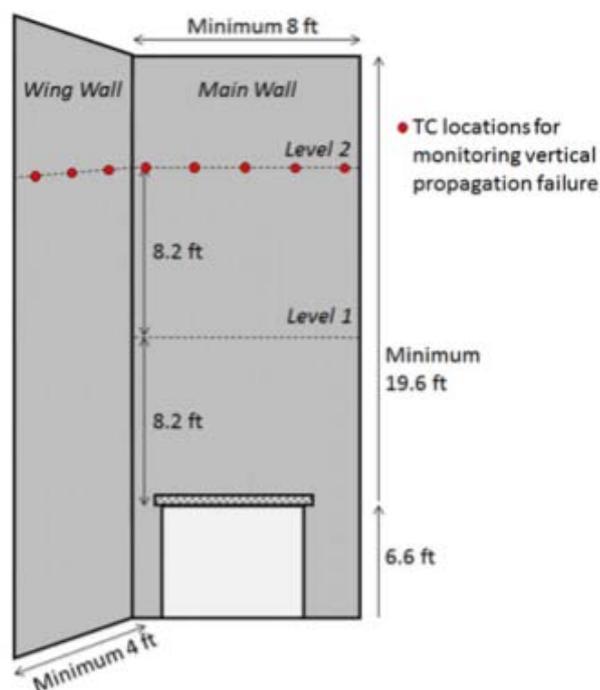


圖 2-18 熱通量量測點

(資料來源：Gaurav Agarwal 等人,2018) [28]



圖 2-19 試體按裝

(資料來源：BRE Global Client Report ,2017) [27]

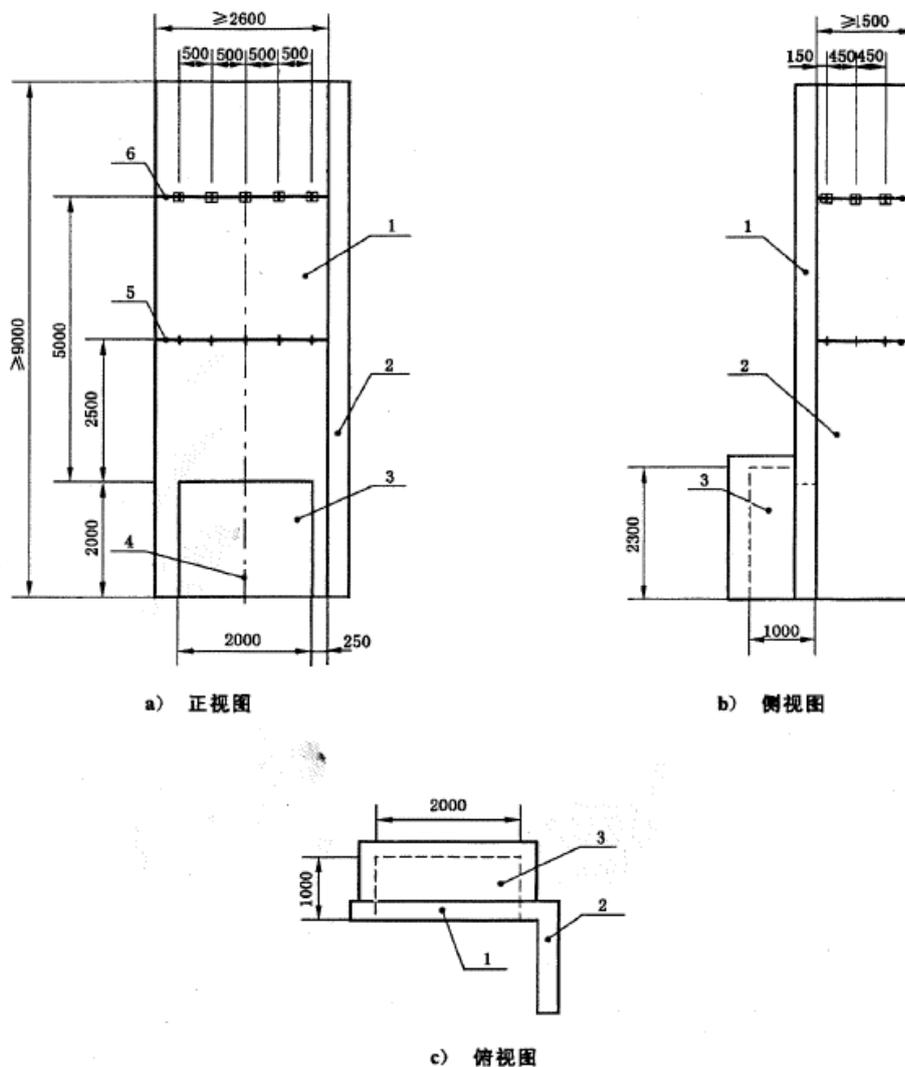
參、中國大陸 GB/T 29416 [29]：

本試驗法是為建築外牆外保溫系統的防火性能試驗方法，適用於測試規定的構造方式將多種材料安裝在建築物外牆外表面上，具有保溫性能的完整結構系統之防火性能試驗。

1. 試驗裝置：包含主牆體、副牆體、燃燒室、熱源、垮塌區域及熱電偶量測等，受測的試體必需包含外牆外保溫系統的所有組成部分進行安裝（如圖 2-20、圖 2-21 及圖 2-22）。
2. 試驗：引燃熱源當水平準位線 1 上外部任一個熱電偶溫度高出初始溫度 200 °C 持續 30 秒時，則為試驗的開始時間。試驗過程中應觀測並記錄各熱電偶溫度及試體整體或部分出現破損、剝離、垮塌等情況及時間。試驗終止條件為試驗 30 分鐘內出現試體全面燃燒等不安全因素；或試驗時間達 30 分鐘試體已無燃燒現象；或試驗時間達 30 分鐘試體的任何部位仍有燃燒現象，則試驗應持續進行至 60 分鐘後才終止試驗。

3. 結果判定：出現下列任何一種情形其防火性能都將判定為不合格：
- (1) 試驗過程中出現全面燃燒等不安全因素，試驗被提前終止。
 - (2) 試驗期間出現持續火燃燒火焰其垂直方向的高度超過 9m，或火焰水平延申長度自牆夾角處沿向主牆超過 2.6m，向副牆延燒超過 1.5 m。
 - (3) 試驗間水平准位線 2 的任一外部熱電偶溫度超過初始溫度 600°C，且持續時間大於 30 秒。
 - (4) 試驗間水平准位線 2 的任一內部熱電偶溫度超過初始溫度 500°C，且持續時間大於 30 秒。
 - (5) 試驗期間內從試體上脫落的燃燒殘片火焰蔓延至垮塌區域之外，或是試驗過程中試體滴落在垮塌區域內仍持續燃燒，且持續燃燒時間大於 3 分鐘。
 - (6) 試驗期間因悶燒其損害區域，垂直方向超過水平准位線 2 或水平方向在水平准位線 1 和 2 之間達到副牆的外邊界。
 - (7) 試驗期間內試體出現全部或部分垮塌，而垮塌物掉落到垮塌區域外。

依據其試驗結果，對外牆保溫系統的外部延燒、內部延燒、是否會有閃燃情形及系統穩定性都有全面性的安全要求。另依據 GB/T 29416 (2012) 建築外牆外保溫系統的防火性能試驗方法進行全尺度的外牆保溫系統防火試驗，其試驗結果需符合判定外，在進行本標準的防火試驗前，其材料需符合 GB/T 20284 的燃燒性能要求。



- 1 ——主牆;
- 2 ——副牆;
- 3 ——燃燒室;
- 4 ——燃燒室中心線;
- 5 ——水平準位線 1;
- 6 ——水平準位線 2;
- + ——水平準位線 1 上的熱電偶(外部溫度);
- ⊕ ——水平準位線 2 上的熱電偶(外部溫度+內部溫度)。

圖 2-20 試驗裝置及熱電偶位置示意圖

(資料來源：GB/T 29416)

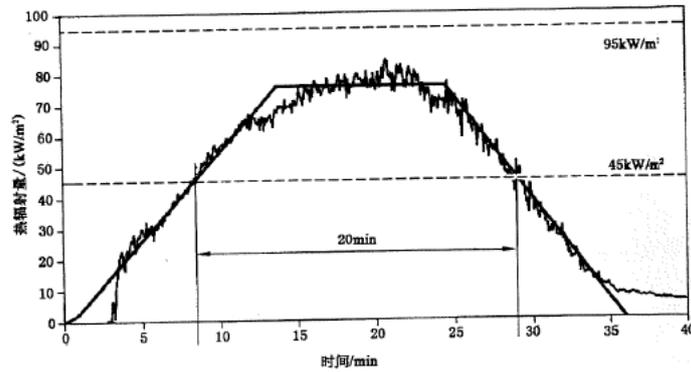


图 A.2 非木塚类燃料的平均热辐射通量时间曲线

圖 2-21 熱源平均熱輻射通量時間曲線

(資料來源：GB/T 29416)

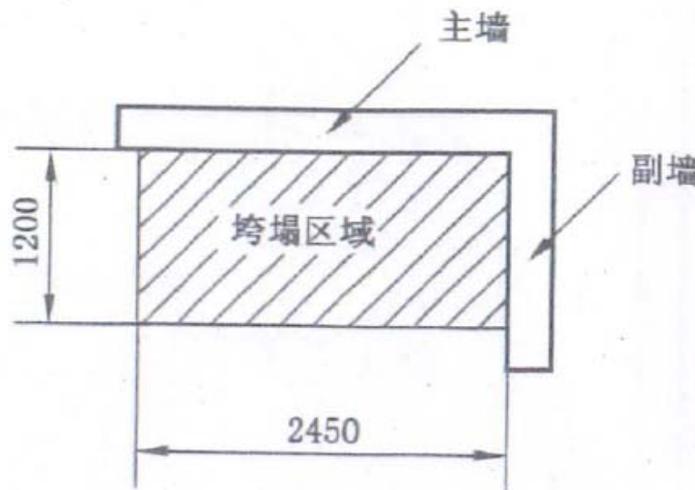


圖 2-22 垮塌區域示意圖

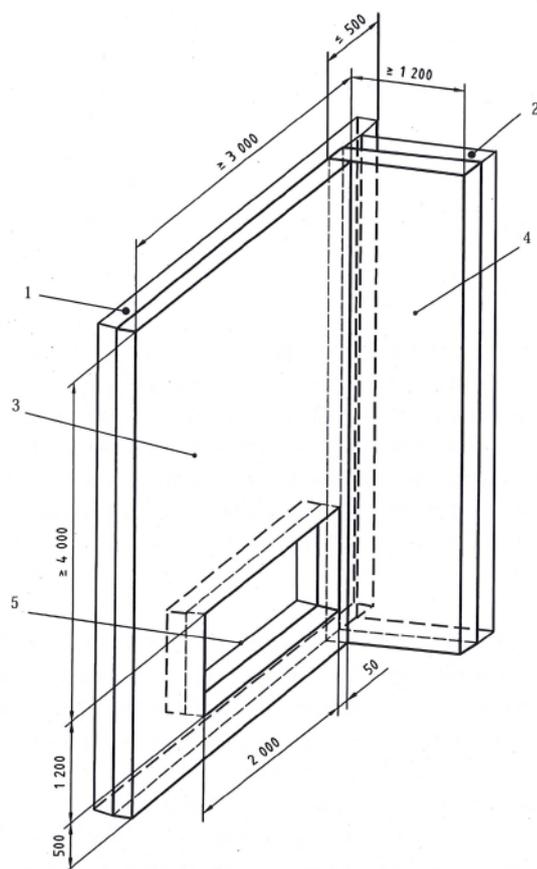
(資料來源：GB/T 29416)

肆、CNS 15213-2 建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗〔30〕

本標準是對於貼附於既存外牆或框架上之非承重立面之防火試驗方法，其試驗原理是以窗戶等開口竄出之火焰直接加熱大尺度外牆立面表面，評估牆面火焰從引燃源水平面以跳躍方式向上延燒至另一水平面之火焰延燒行為，此方法不適用於陽台、窗戶、窗戶及布幕。

試驗設備及試體組合包含支撐背牆、支撐側牆、主立面試體、側立面試體及燃燒箱（圖 2-23）。試驗設備的高度應在燃燒箱開口部上緣處 4m 以上，支撐背牆的寬度應為 3 m 以上，支撐側牆的寬度應為 1.2 m。燃燒箱外觀應為正方形，

體積介於 $20\text{m}^3\sim 100\text{m}^3$ ，使用標準燃料為丙烷，燃料流率如圖 2-25 所示。試體的高度為 5.7m 以上，主立面試體及側立面試體寬度分別為 3m 及 1.2m，其構造及材料應與實際使用狀態一致。溫度量測用的熱通量計及熱電偶佈點位置如圖 2-24，於試驗過中能提供試體內層及空隙之火焰延燒資訊。



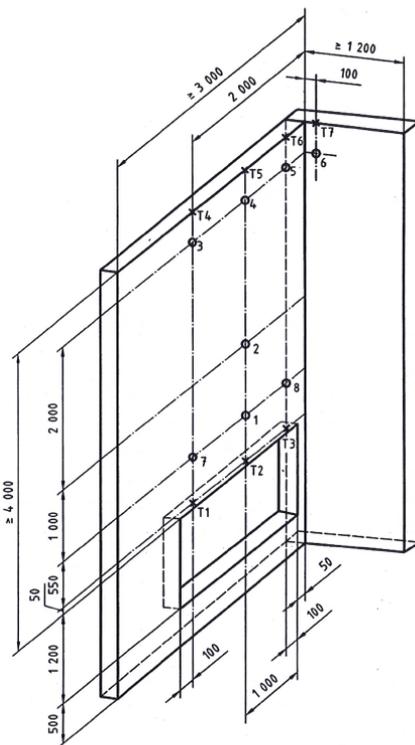
圖例：

1. 支撐背牆
2. 支撐側牆
3. 主立面試體
4. 側立面試體
5. 燃燒箱開口部

圖 2-23 試驗設備及試體示意圖

(資料來源：CNS 15213-2)

單位：mm



圖例：

- 總熱通量計(1~8)
- × 熱電偶(T1~T7)

圖 2-24 測點位置分布圖

(資料來源：CNS 15213-2)

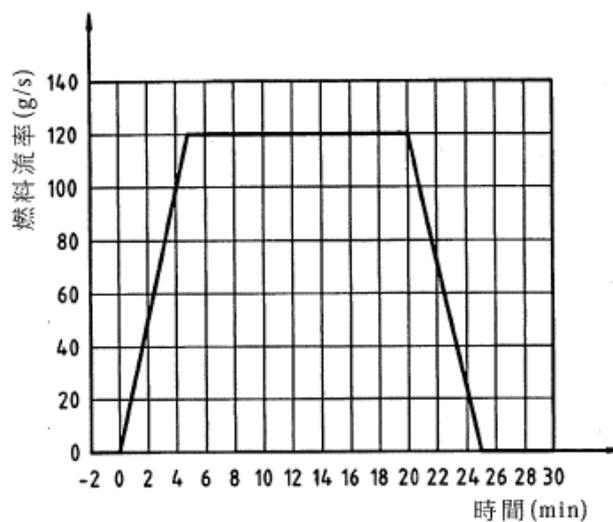


圖 2-25 引燃源之燃料流率

(資料來源：CNS 15213-2)

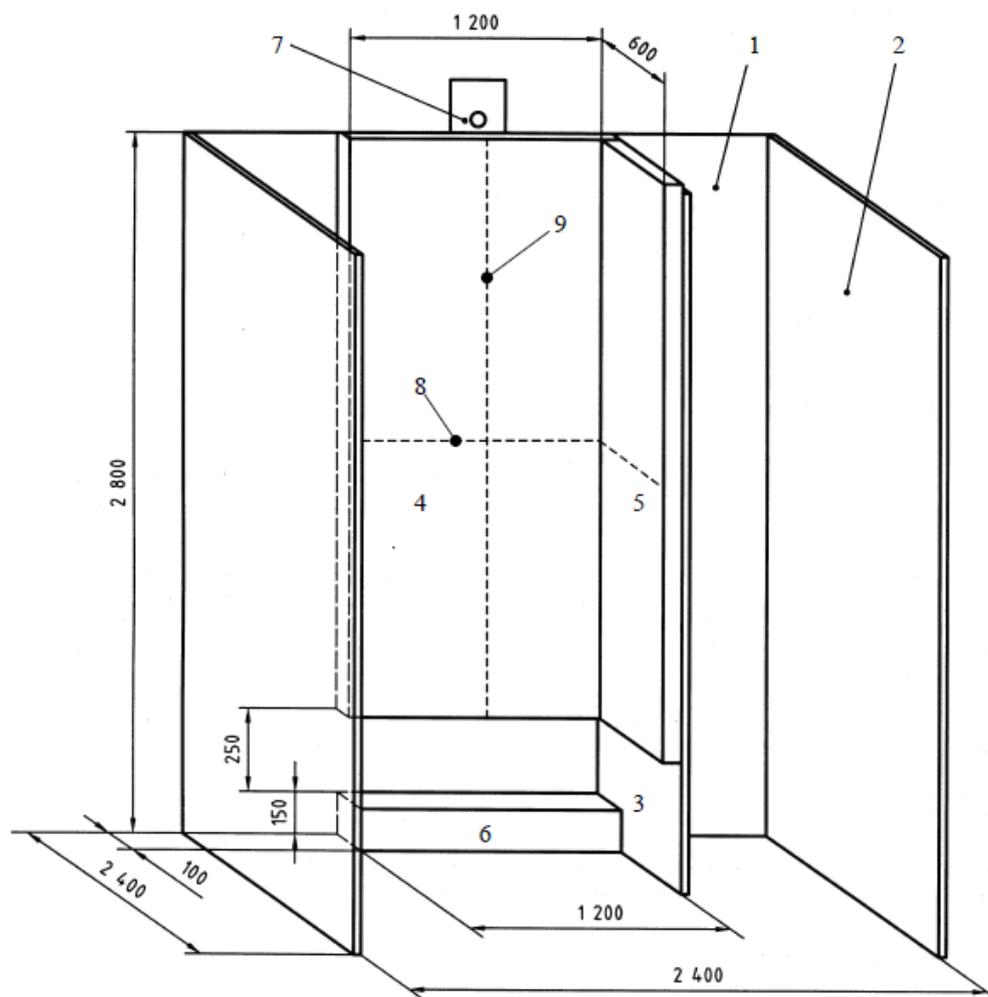
第三章 建築物外牆立面防火試驗

對外牆隔熱系統的防火性能主要要求為：1. 點火性：在有火源的條件下，隔熱材料是否會被引燃而燃燒。2. 延燒性：當燃燒或有火災時，外牆隔熱系統是否有傳播火焰的能力。這二項主要在要求材料的自身燃燒性能如何，及系統受到外部火源攻擊時的抵抗能力或其防火性能。目前我國對於建築材料乃依據 CNS 14705-1 建築材料燃燒熱釋放率試驗法-圓錐量熱儀法進行耐燃性等級的判定，而對於外牆隔熱飾板其系統的防火試驗方法，國家標準已訂定 CNS 12512-1 建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗[31]，因此本研究將依據此標準建置試驗設備，並依據標準進行市售隔熱材料(選用 107 年自辦案「建築外牆飾板防火性能研究初探」試體編號 PU-25 mm及 PU-3)驗證其材料的延燒性能。

第一節 CNS 15213-1 試驗之實尺寸設備建置

壹、CNS 15213-1 建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗

本標準為規定貼附於建築物外牆上中尺度非承重立面的防火試驗方法，外牆立面是指貼附在既存外牆或框架上之非承重立面。其試驗的原理以火焰直接加熱由 90°內牆角所構成之中尺度外牆立面表面，評估其火焰延燒行為。藉由完整的 CNS 15213-1 試驗法與試驗設備，是能夠驗證外牆隔熱飾板其系統發生火災延燒時所產生的各種現象與特性變化，也可進一步作為國內標準建立其防火性能的分級及評估要求標準之參考。



圖例：

- | | |
|-----------|----------|
| 1. 支撐背牆 | 2. 支撐側牆 |
| 3. 支撐邊牆 | 4. 主立面試體 |
| 5. 側立面試體 | 6. 引燃源 |
| 7. 熱通量計位置 | 8. 水平接合部 |
| 9. 垂直接合部 | |

圖 3-1 CNS15213-1 建築物外牆立面防火試驗法設備

(資料來源：CNS15213-1)

貳、試驗設備建置

試驗設備包含試驗框架、試體支撐架及引燃源：

1. 試驗框架：

為了防火實驗中心空間能靈活應用及設備能與其他實驗搭配以共同收集實驗數據，因此建置一穩固放置設備的外框架，如此能方便依實驗需求吊裝移動設備，為求穩固設計以C型鋼為骨架，包覆試體支撐架。

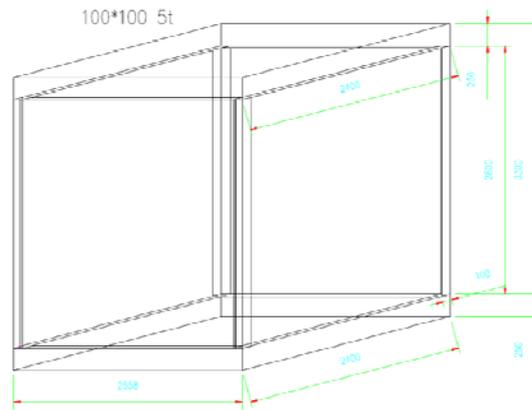


圖 3-2 試驗框架外框設計圖

(資料來源：本研究整理)

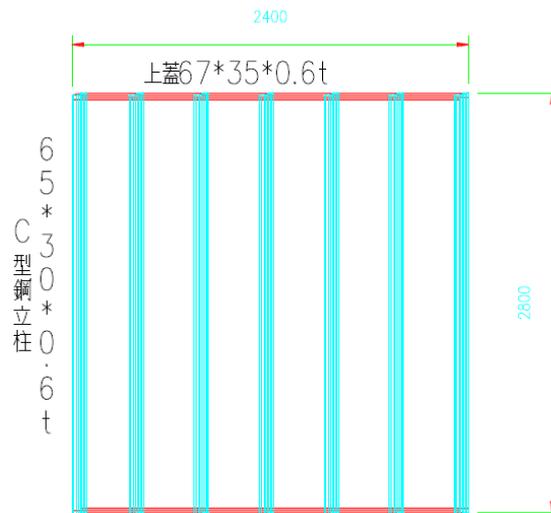


圖 3-3 試驗框架背牆骨架設計圖

(資料來源：本研究整理)

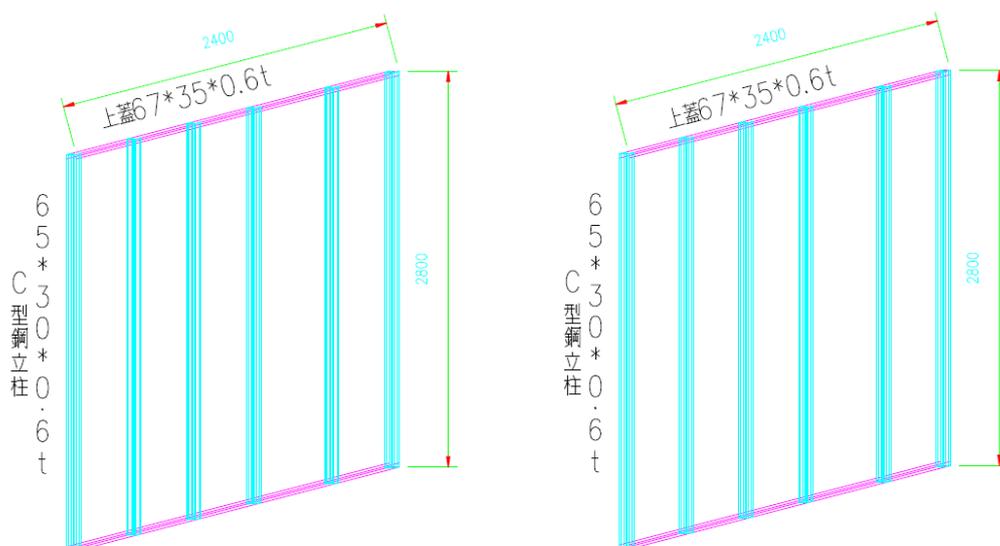


圖 3-4 試驗框架側牆骨架設計圖

(資料來源：本研究整理)

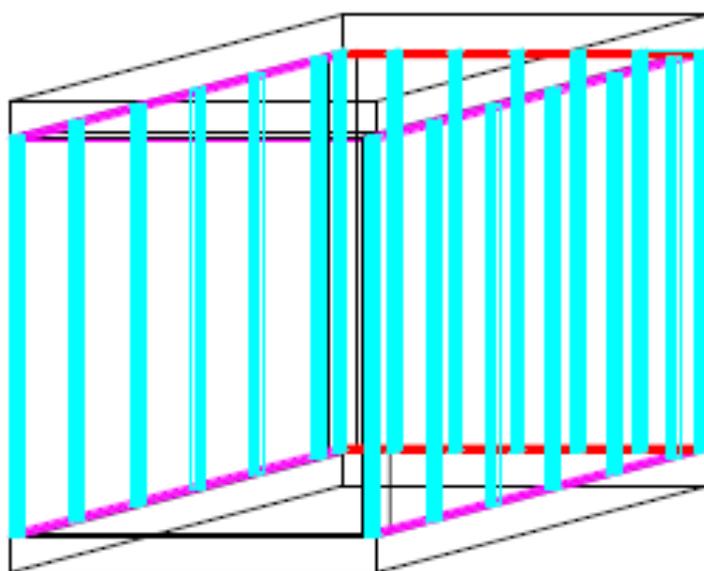


圖 3-5 試驗框架組合示意圖

(資料來源：本研究整理)

內政部建築研究所防火實驗中心有一座舊有的 C 型鋼實驗屋，將其依照圖 3-2 至圖 3-5 設計圖裁切建造出符合 CNS15213-1 其尺寸要求的實驗框架，地板為方便施工及放置燃燒器，所以鋪設矽酸鈣板（如圖 3-6 及圖 3-7）。



圖 3-6 舊有的 C 型鋼實驗屋截切建造實驗框架

(資料來源：本研究整理)

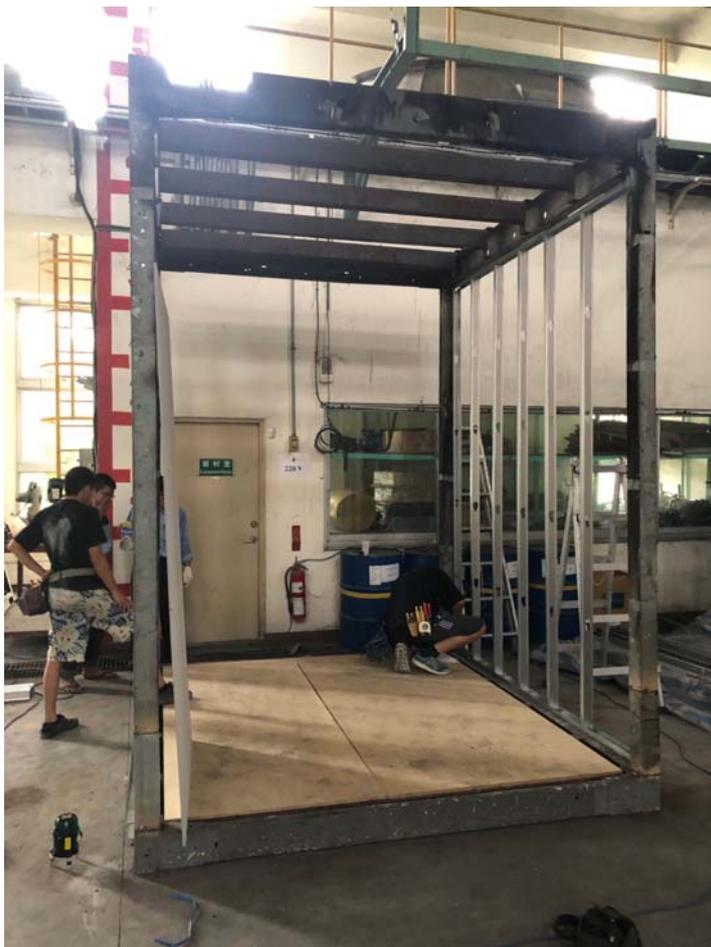


圖 3-7 實驗框架

(資料來源：本研究整理)

2. 試體支撐架：由支撐背牆、支撐側牆、支撐邊牆組成。

(1) 支撐背牆：由二層高度 2.8 m、寬度 2.4 m、密度 100 kg/m^3 之岩棉板構成，而考量受測試體能容易固定，則在室內側裝設鍍鋅鋼板立柱（如圖 3-8 及圖 3-9）。

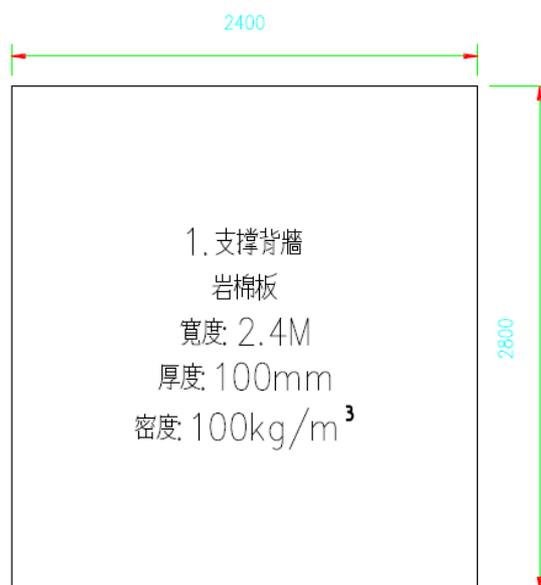


圖 3-8 支撐背牆設計圖

(資料來源：本研究整理)

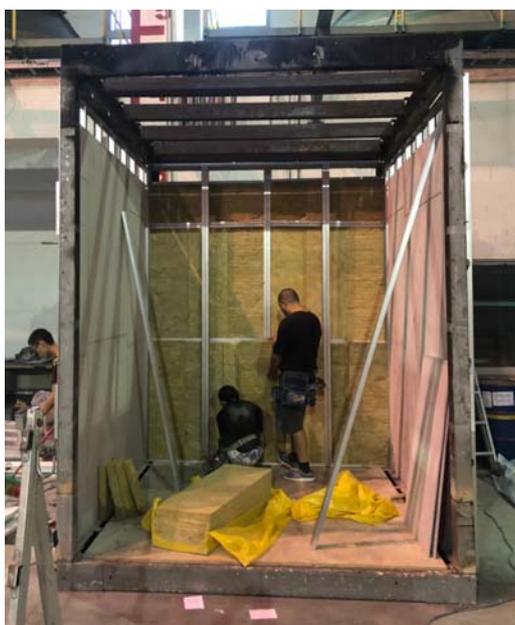


圖 3-9 支撐背牆及固定試體用立柱

(資料來源：本研究整理)

(2) 支撐側牆：二面之支撐側牆其高度 2.8 m、寬度 2.4 m、密度 $(700 \pm 200) \text{ kg/m}^3$ 之矽酸鈣板構成（如圖 3-10 及圖 3-11）。

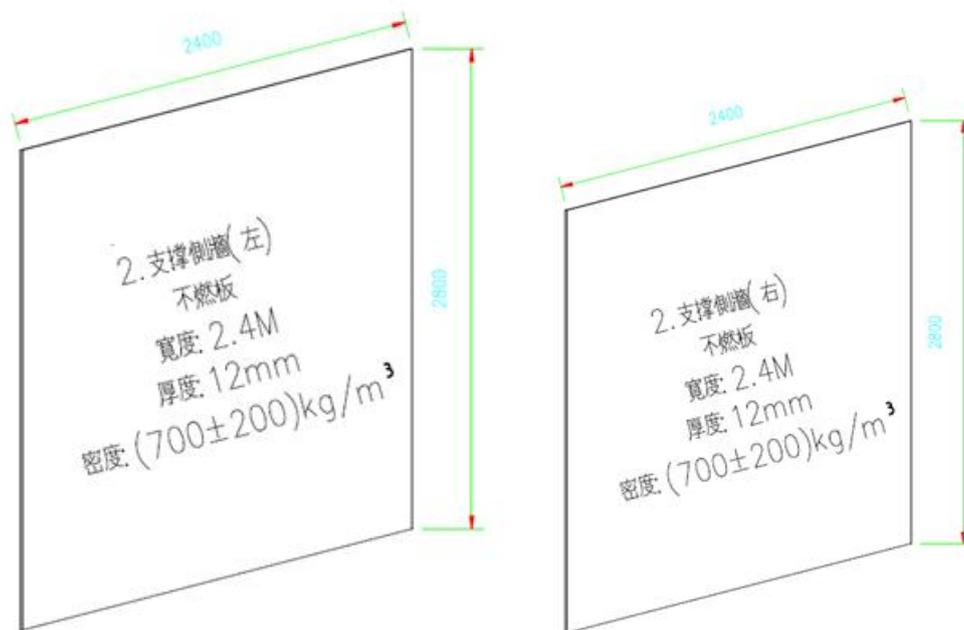


圖 3-10 左右支撐側牆設計圖

(資料來源：本研究整理)



圖 3-11 左右支撐側牆

(資料來源：本研究整理)

- (3) 支撐邊牆：高度 2.8 m、寬度 12 m、密度 (700 ± 200) kg/m³ 之矽酸鈣板構成。



圖 3-12 支撐邊牆

(資料來源：本研究整理)

- (4) 支撐背牆與二面支撐側牆及支撐背牆相互垂直，主立面試體應貼附於支撐牆中間，側立面試體應貼附於支撐邊牆上。

3. 引燃源配置：為長 1.2 m × 寬 0.1 m × 高 0.15 m 的槽狀容器(如圖-13)，使用之燃料為純度 90% 以上之丙烷，為使丙烷能均勻由孔隙逸出，容器內部填滿粒徑 4~8 mm 礫石及 2~3 mm 砂石（參考 CNS CNS 15048「建築材料耐燃性試驗法—全尺度燃燒試驗法」）[32]，使得丙烷能均勻燃燒。引燃源放置於主立面試體下地板處，背部應貼附於支撐背牆（如圖-14）。



圖 3-13 引燃源容器

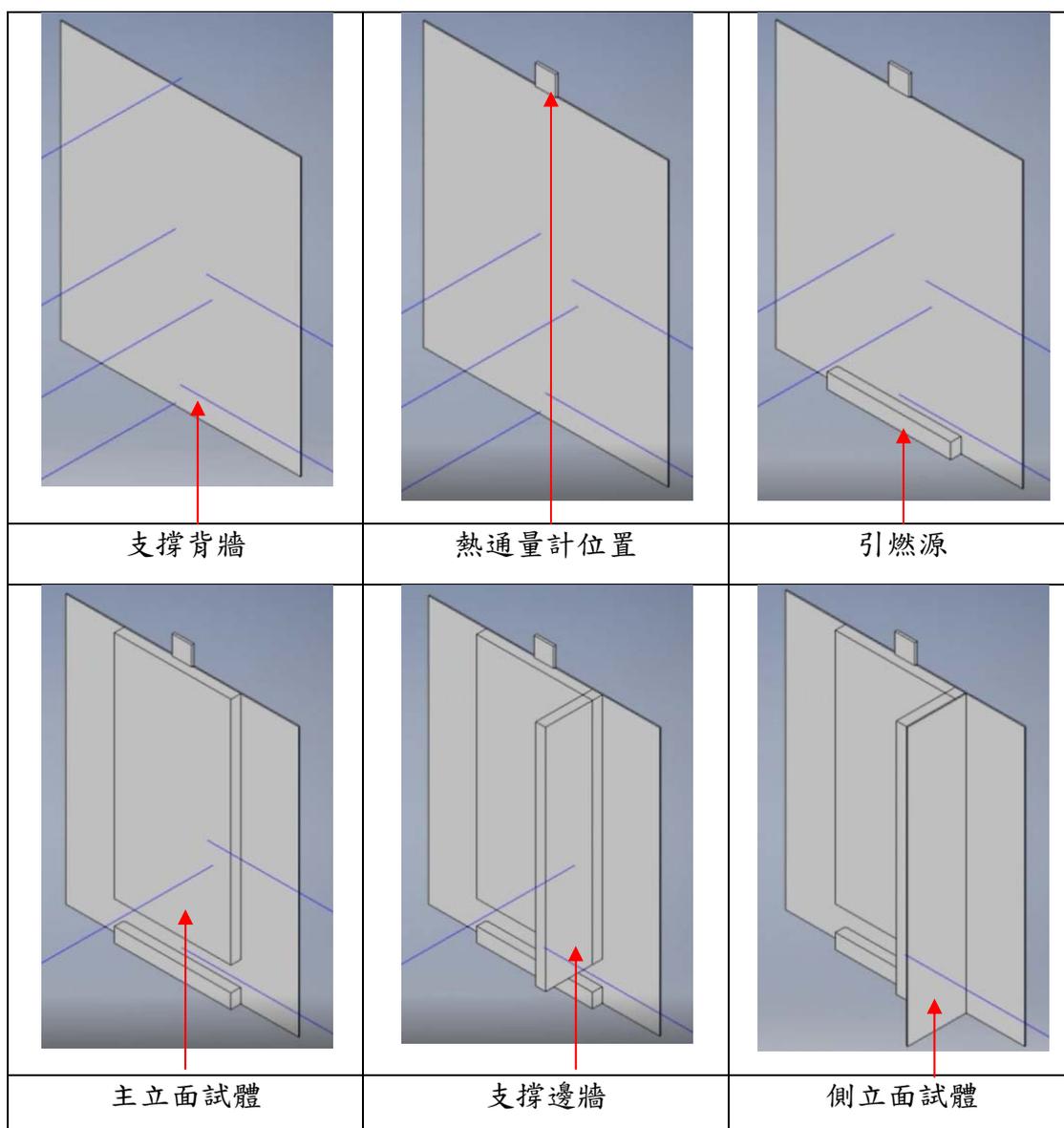
(資料來源：本研究整理)



圖 3-14 引燃源容器填置粒徑

(資料來源：本研究整理)

4. 設備組裝分解圖及建置完成的設備：(圖 3-15 及圖 3-16)



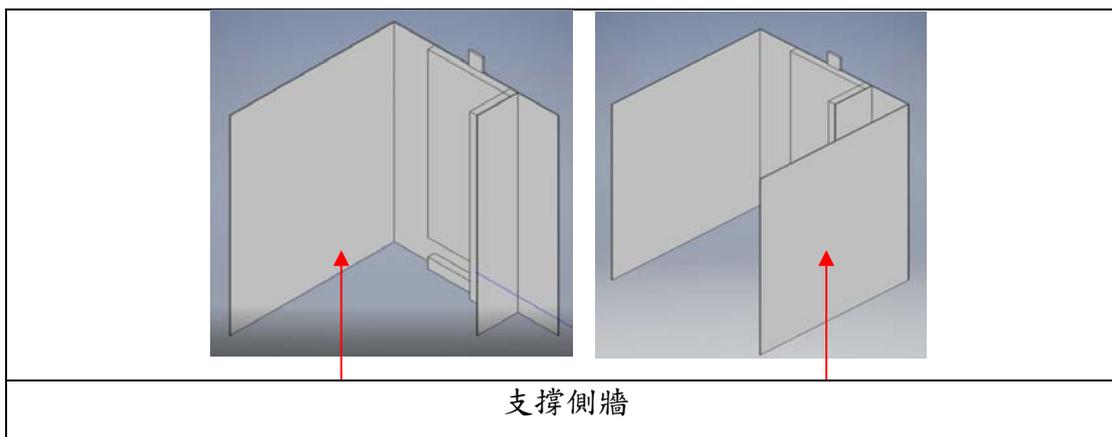


圖 3-15 設備架構分解圖

(資料來源：本研究整理)



圖 3-16 實驗設備建置完成

(資料來源：本研究整理)

第二節 引燃源熱釋放測試

火災模擬燃燒器一邊連接瓦斯管路，一邊連接引燃源容器，依計算的流量值設定流量控制器再供應引燃源，使其能準確的提供標準要求的燃燒熱值（圖 3-17~3-20）。

燃燒器熱值設計：依 CNS 15213-1 試驗要求，試驗時給予的熱釋放率應為 (100 ± 5) kW，熱釋放率 (kW) 計算方式為流量 (g/s) 與燃燒熱 (46.4 KJ/g) 的乘積。

丙烷分子量 = 44g

丙烷燃燒熱 = 46.4 kJ/g

依理想氣體體積定律，氣體在 25°C、1 atm 環境時，

1 莫耳 = 24.6 公升 (L)

火災模擬燃燒器流速的控制值計算結果為：

$24.6/44=0.56$ l/g (丙烷每公克體積)

1 g/s = 0.56 l/s (丙烷每公克流量)

46.4 kJ/g \times 1g/s = 46.4kW (丙烷每公克/秒 熱釋放率)

設定值： $100/46.4 \times 0.56 = 1.21$ l/s = 72.6 l/min (100kW 熱釋放率所需丙烷每分鐘流量)



圖 3-17 火災模擬燃燒器

(資料來源：本研究整理)

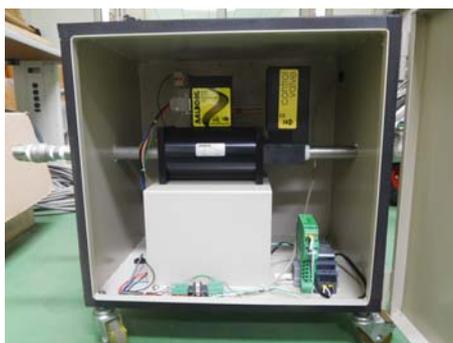


圖 3-18 火災模擬燃燒器的質量流量控制器

(資料來源：本研究整理)



圖 3-19 燃燒器連接設計

(資料來源：本研究整理)



圖 3-20 熱釋放率 (100 kW)

(資料來源：本研究整理)

第三節 試體安裝及量測方法

壹、試體尺寸及安裝：

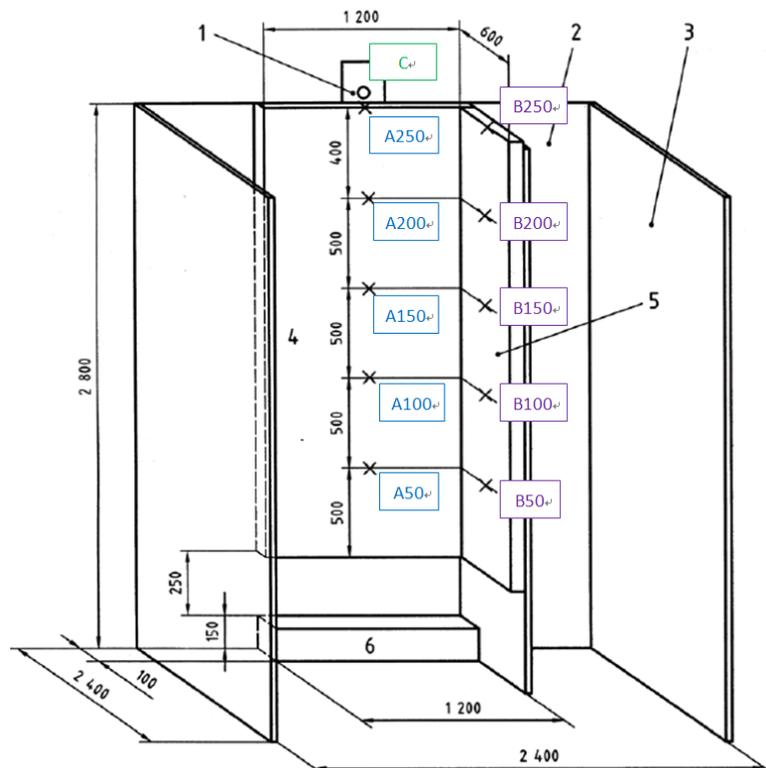
1. 試體包含主立面及側立面二個區域，主立面試體尺寸為寬 120 cm×高 240 cm，安裝時應貼付於支撐背牆中間，且應包含一位於中央高度之水平接合部及

位於中心線之垂直接合部。側立面試體為寬 60 cm×高 240 cm，安裝時要貼付於支撐邊牆上。試體的上緣要切齊試體支撐架上緣，底部距地板面的距離為 0.4 m。

2. 試體安裝後需自表面底部每隔 0.5 m 處畫上明顯記號，以面觀察試體表面火焰延燒情形（如圖 3-21）。

貳、量測儀具

1. 熱電偶：試體表面應個別安裝 5 支熱電偶，其量測位置為試體垂直中心線上，從底部起算高度分別為 0.5m 1.0m 1.5m 2.0m 2.5m 處（如圖 3-21）。
2. 熱通量計：熱通量計安裝於主立面試體最上方（如圖 3-21），須能量測 $0 \text{ kW/m}^2 \sim 50 \text{ kW/m}^2$ 以上之熱通量，其接收表面圓直徑約 25 mm，以水冷方式冷卻。並放置於尺度 200 mm × 200 mm，最小厚度 25 mm 不燃板中心線之上之 25 mm 直徑圓孔內，圓孔中心距不燃板底部 30 mm（如圖 3-22）。
3. 資料擷取器：記錄及儲存熱電偶及熱通量計量測的資料，其資料擷取間隔不得超過 10 秒。
4. 計時器：具 1 秒刻度，以便觀察試驗過程中所觀任何現象的時間。



圖例：

1. 熱通量計位置
2. 支撐背牆
3. 支撐側牆
4. 主立面試體
5. 側立面試體
6. 引燃源
7. ×試體熱電偶位置

圖 3-21 量測位置

(資料來源：本研究整理)



圖 3-22 熱通量計安裝位置

(資料來源：本研究整理)

參、試驗程序

1. 引燃源引燃前 2 分鐘開啟所有紀錄設備及量測儀具，引燃源引燃後其熱輸出功率須於 10 秒內達 100 kW 。
2. 試驗期間要記錄試體引燃、火焰頂端平均位置達試驗高度 0.5m 1.0m 1.5m 2.0m 2.5m 處及火焰從試體背部竄出的時間（如圖 3-21）。
3. 當試體上緣布滿火焰或試驗時間經過 30 分鐘後，試驗結束。

第四節 試體規劃與試驗結果

本次研究計畫以市售且於 107 年自辦案「建築外牆飾板防火性能研究初探」進行圓錐量熱儀試驗及小尺寸延燒試驗的 2 種隔熱材料(PU-25 mm及 PU-1)，進行 CNS15213-1 建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗，以驗證其材料的防火性能。

壹、試體一

1. 試體說明：

表 3-1 PU-25mm 試體資料表

名稱	PU-25 mm
厚度	2.5 cm
尺寸	主立面試體 寬 120cm 高 240cm 側立面試體 寬 60cm 高 240cm
成份	高度聚氨酯 (PU) 發泡材
各項試驗 結果	耐重力 ≤ 20.42 Kn 抗曲強度 4254 KPa 吸水量 0.26 g/cm^2 熱導係數 0.0301 W/m.K ASTM E 648 $\text{CRF} \geq 0.45 \text{ W/cm}^2$ (Class 1) UL-94 一級防火建材 (燃燒速度小於 75 mm/min) 未符合 CNS 14705-1 耐燃級別(級外) 小尺度延燒於 50 kW 及 100 kW 熱源下有延燒

(資料來源：本研究整理)

2. 試驗結果：

- (1) 火焰延燒現象：試體受熱後於 39 秒時有大量可燃氣體釋放，燃燒器的火焰變大變長，造成黏貼熱電偶線的膠帶及熱電偶線脫落，體於 43 秒時被引燃且火焰長度即達到主立面試體 150 cm 處，燃燒非常快速，46 秒時達主立面試體 150 cm 處，50 秒火焰長度即達到主立面試體 250 cm 處，1 分 5 秒的時候主立面及側立面試體已全面燃燒，因為火勢持續非常猛烈怕危害試驗屋旁的其他設備，因此於 2 分 16 秒時關閉燃燒器，試體仍大量燃燒持續至 4 分 38 秒火焰才逐漸變小，於 11 分 01 秒時火焰熄滅結束試驗 (如圖 3-23)。

- (2) 溫度量測值結果：試驗開始後 30 秒時固定熱電偶的膠帶脫落，此時熱電偶也已未緊貼於試體固定點位上，且因試體燃燒過程中火勢太大，造成資料收集器因過熱故障，因此僅量測到 0 秒~220 秒區間的溫度值。雖然本次試驗的溫度量測值並非量測到試體表面的溫度，但其量測的高度並未改變，因此仍可供作研究參考。

試驗時間於 40 秒時主立面試體 50 cm 處的溫度已達 552°C，之後則整個試體溫度便快速成長，而主立面及側立面試體最高溫度都是在 250 cm 處，溫度分別為 110 秒時 855.5°C、170 秒時 814°C，且每個點位的溫度都在 750°C 至 850°C 之間（如圖 3-24、3-25 及表 3-2、3-3）。

- (3) 熱通量量測結果：因火焰快速延燒至頂端造成熱通量計冷卻水管破裂，熱通量計即刻因過熱而損壞，因此本次試驗並未收集到相關資料。

			
00 分 00 秒	00 分 20 秒	00 分 39 秒	00 分 43 秒
試驗開始	燃燒器引燃情形	受熱後固定膠帶及測溫線脫落	主立面試體引燃，延燒長度 150cm
			
00 分 46 秒	00 分 50 秒	01 分 05 秒	02 分 16 秒
主立面試體延燒長度 200cm	主立面試體延燒長度 250cm	主側立面試體全面燃燒，開始有碎片掉落	關閉燃燒器，試體持續全面燃燒
			
04 分 38 秒	11 分 01 秒		
試體火焰變小	試體火焰熄滅		

圖 3-23 PU-25mm 試驗歷程

(資料來源：本研究整理)

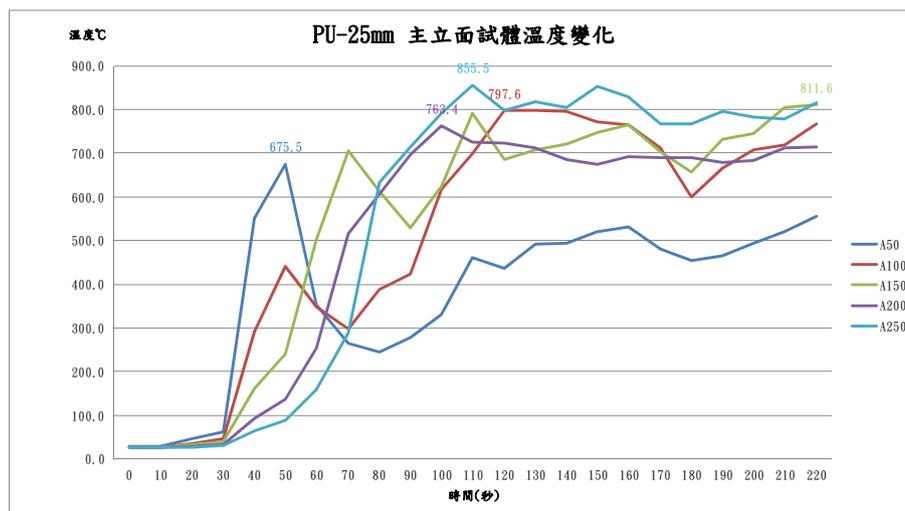


圖 3-24 PU-25mm 主立面試體溫度變化

(資料來源：本研究整理)

表 3-2 PU-25mm 主立面試體溫度量測時間表

	A50	A100	A150	A200	A250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
0	28.0	27.3	27.3	27.2	26.3
10	28.2	27.4	27.2	27.1	26.3
20	45.4	36.5	33.4	29.3	27.6
30	61.4	46.6	39.3	33.0	30.2
40	552.0	291.8	162.0	91.9	64.1
50	675.5	440.8	240.6	136.4	87.7
60	353.8	348.3	502.8	254.6	159.6
70	264.1	297.0	705.9	516.8	289.1
80	245.5	387.4	612.3	606.3	632.8
90	276.9	424.3	528.1	697.7	714.7
100	330.4	616.7	624.2	763.4	792.4
110	460.7	699.5	791.5	725.4	855.5
120	436.4	797.0	684.7	723.6	798.5
130	491.3	797.6	707.8	713.1	818.3
140	492.8	795.0	721.2	686.3	805.2
150	520.6	772.2	747.2	675.1	853.8
160	530.8	764.2	764.2	692.7	828.9
170	481.5	711.9	702.4	690.7	766.7
180	454.3	599.3	658.0	690.7	768.1
190	465.8	665.2	732.5	678.8	796.5
200	494.3	706.7	744.3	683.9	782.8
210	519.4	718.9	804.1	711.6	779.2
220	555.5	767.8	811.6	714.7	816.7

■ 火焰延燒距離的時間

(資料來源：本研究整理)

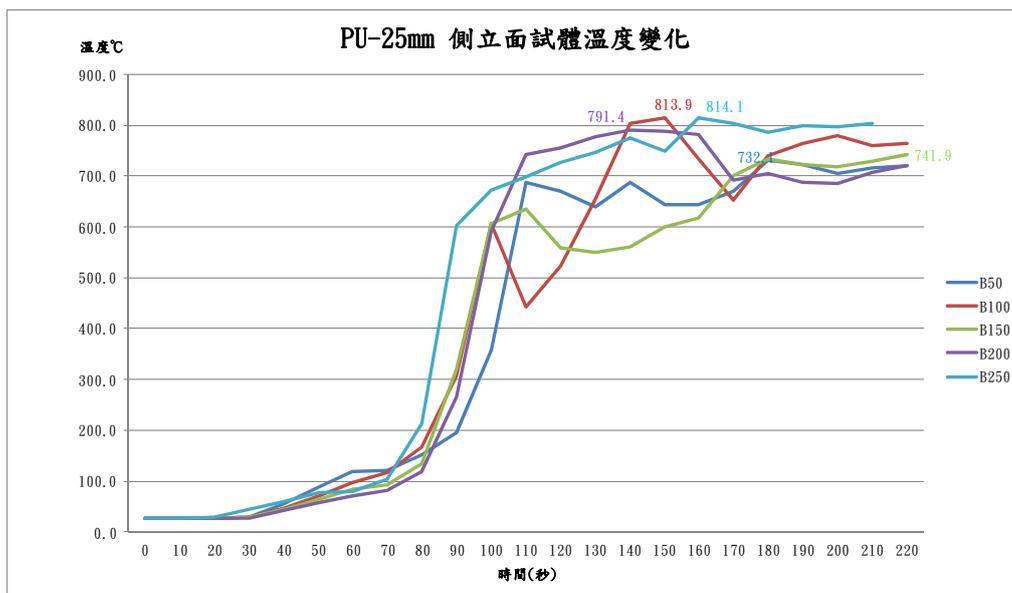


圖 3-25 PU-25mm 側立面試體溫度變化

(資料來源：本研究整理)

表 3-3 PU-25mm 側立面試體溫度量測時間表

	B50	B100	B150	B200	B250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
0	27.2	27.1	27.1	27.1	27.4
10	27.1	27.1	27.0	27.1	27.4
20	27.6	27.3	27.1	27.1	28.2
30	29.3	29.1	28.6	28.1	28.6
40	54.9	46.5	45.3	43.2	43.7
50	88.2	71.8	63.9	57.3	60.0
60	119.6	97.6	85.1	71.7	77.5
70	120.8	116.1	92.1	81.4	80.2
80	151.8	166.6	135.3	118.8	103.8
90	196.4	306.6	319.3	265.8	212.9
100	357.3	607.7	606.7	592.4	601.7
110	687.6	443.4	635.4	741.3	673.2
120	669.5	523.1	559.5	755.7	699.0
130	640.2	655.1	549.8	777.3	728.0
140	688.4	802.9	560.0	791.4	747.6
150	643.8	813.9	601.0	788.2	776.1
160	644.9	733.2	617.7	781.6	749.1
170	669.7	652.6	701.1	692.7	814.1
180	732.1	740.0	733.7	704.3	803.6
190	722.9	763.0	722.1	687.3	785.2
200	704.3	778.9	717.5	685.6	798.9
210	716.8	759.0	729.2	707.2	795.9
220	721.0	764.8	741.9	719.6	804.2

■ 火焰延燒距離的時間

(資料來源：本研究整理)

貳、試體二

1. 試體說明：

表 3-4 PU-1 試體資料表

名稱	PU-1
厚度	5 cm
尺寸	主立面試體 寬 120cm 高 240cm 側立面試體 寬 60cm 高 240cm
成份	聚氨酯 (PU)，以發泡成型，添加無機粉體及助劑
各項試驗結果	符合 CNS 14705-1 建築材料燃燒熱釋放率試驗法 耐燃 1 級 小尺度延燒試驗於 50 kW 及 100 kW 熱源無延燒現象

(資料來源：本研究整理)

2. 試驗結果：

- (1) 火焰延燒現象：試體於加熱後於 1 分 50 秒左右時有煙產生，且煙量持續變多，主立面試體於 4 分 30 秒時被引燃，引燃處為 50 cm 的接合處，5 分 24 秒長度達 100 cm 處，之後延燒速度變快，5 分 24 秒長度達試體 100 cm 處，5 分 28 秒長度達試體 150 cm 處，5 分 31 秒長度達試體 200 cm 處。主立面試體接合處開始有縫隙產生，而側立面試體 100 cm 也被引燃，速度也非常快速，5 分 55 秒延燒長度即達 250 cm 處，此時試體達全面燃燒。8 分 40 秒後主立面試體的拼接處陸續有試體掉落，試驗於 16 分時關閉引燃器，火焰於加熱試驗後 20 分鐘時熄滅並結束試驗（如圖 3-27）。
- (2) 溫度量測值結果：為防止與第一組試驗發生因受熱膠帶與熱電偶都脫落的情形發生，本次以鐵絲折成冂字型插入試體固定熱電偶線。主立面試體各點的溫度都超過 600°C 以上，50 cm 處的溫度最高達 857°C，各點的高溫區間發生在 300 秒~700 秒區間，因此時火焰已延燒到每個點位，其平均溫度為由 300°C 上升至 700°C。其溫度值在，之後則因燃燒量變小溫度則慢慢下降。側立面試體各點約在 5 分 50 秒至 55 秒間陸續被引燃，

但火焰微小，於 13 分左右，50cm 處火焰變大，因此溫度有上升現象維持時間約有 80 秒。(如圖 3-28、3-29 及表 3-5、3-6)

- (3) 熱通量量測結果：為避免火焰延燒至最頂端燒斷冷卻水管，本次熱通量計冷卻水管以耐火棉包覆，試體於 8 分 37 秒時延燒至 250cm 處，此時熱通量值變大(如圖 3--30)，但在 14 分左右試體頂端由後側燃燒產生最大熱通量(如圖 3-26)，其值為 24 kW/m^2 。(如表 3-7)



圖 3-26 PU-25mm 試驗歷程

(資料來源：本研究整理)

			
0 分 00 秒 試驗開始	00 分 10 秒 點燃燃燒器	04 分 30 秒 主立面試體 50cm 試體引燃	05 分 24 秒 主立面試體 延燒長度 100cm
			
05 分 28 秒 主立面試體 延燒長度達 150cm	05 分 31 秒 主立面試體 延燒長度達 200cm	05 分 48 秒 主立面試體 50cm 拼接處有縫隙	05 分 50 秒 側立面試體 延燒長度 100cm
			
05 分 52 秒 側立面試體 延燒長度 150cm	05 分 54 秒 側立面試體 延燒長度達 200cm	05 分 55 秒 側立面試體 延燒長度達 250cm	08 分 37 秒 主立面試體 延燒長度 250cm
			
08 分 40 秒	09 分 03 秒	10 分 58 秒	13 分 22 秒

主立面試體 150cm 拼接處有縫隙	主立面試體 200cm 拼接處有縫隙	主立面試體 50cm 處左側試體掉落	主立面試體 50cm 處右側試體掉落
			
13 分 59 秒	14 分 14 秒	16 分 00 秒	20 分 00 秒
主立面試體 100cm 處左側試體掉落	主立面試體 100cm 處右側試體掉落	關閉燃燒器	火焰熄滅 試驗結束

圖 3-27 PU-1 試驗歷程

(資料來源：本研究整理)

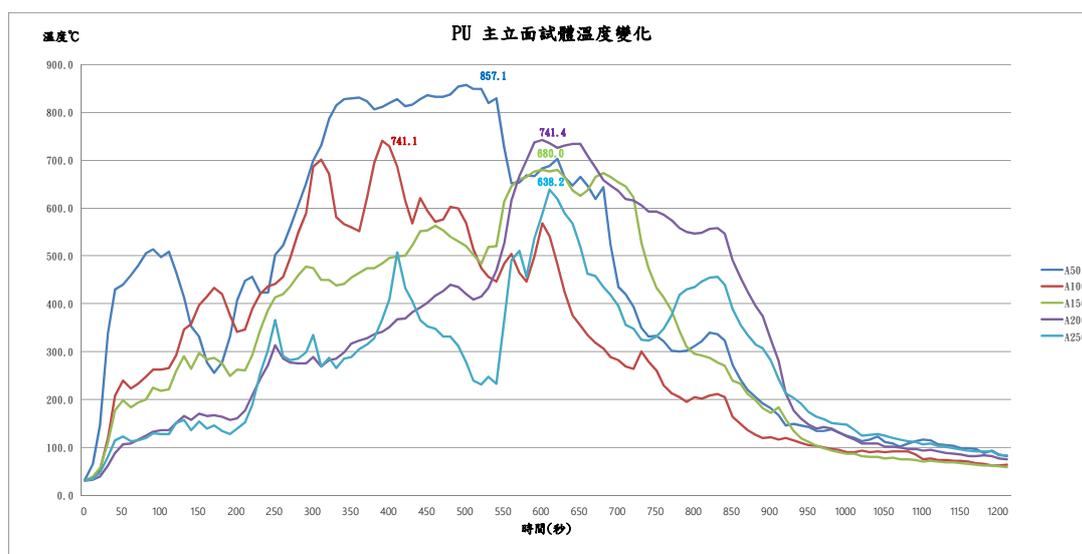


圖 3-28 PU-1 主立面試體溫度變化

(資料來源：本研究整理)

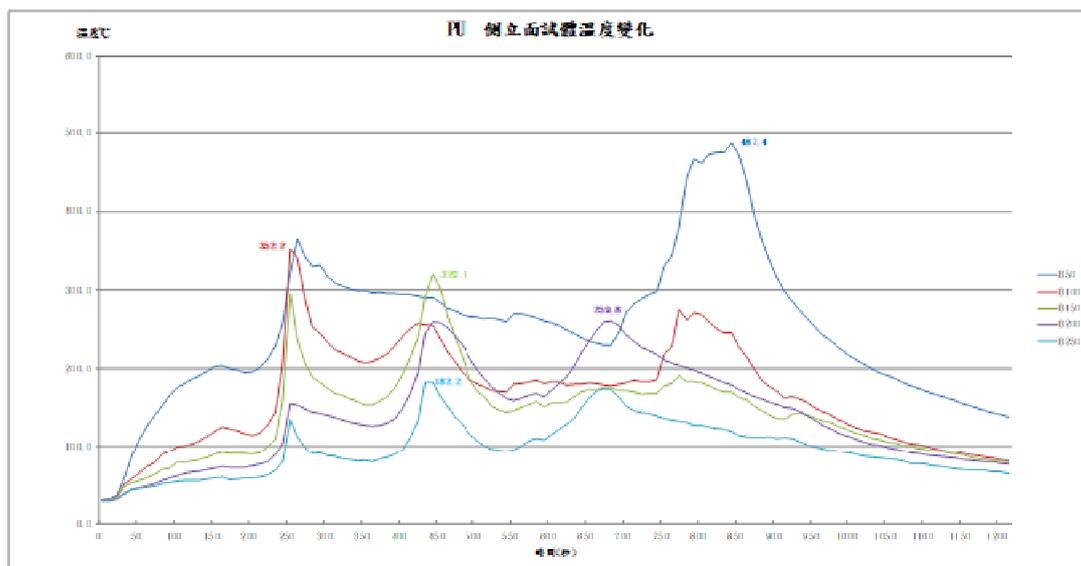


圖 3-29 PU-1 側立面試體溫度變化

(資料來源：本研究整理)

表 3-5 PU-1 主立面試體溫度量測時間表

	A50	A100	A150	A200	A250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
0	32.9	31.3	31.6	30.7	30.6
10	65.3	36.3	38.8	33.3	35.4
20	146.0	52.3	57.7	39.4	47.5
30	337.9	120.2	110.9	62.8	80.0
40	429.8	208.5	176.8	89.6	115.2
50	440.2	239.4	198.4	107.3	123.5
60	459.0	223.2	184.7	108.3	113.2
70	479.7	234.0	193.7	117.4	115.9
80	506.4	248.5	200.8	125.0	120.2
90	513.6	263.5	225.6	133.9	129.9
100	497.0	262.6	218.0	135.9	129.0
110	508.2	266.6	221.5	136.3	127.8
120	466.9	293.1	259.7	152.0	151.0
130	413.9	347.2	290.3	166.4	157.6
140	353.5	357.9	264.9	157.2	136.8
150	331.5	397.8	297.6	170.5	154.8
160	276.9	415.5	283.6	165.3	140.3
170	255.8	432.8	286.8	168.3	147.0
180	276.8	420.9	276.2	164.1	135.3
190	330.9	376.2	248.9	157.3	128.5
200	407.2	341.5	263.1	161.1	140.5
210	448.0	346.1	260.4	176.8	153.6
220	457.1	389.0	293.1	208.3	189.0
230	423.7	420.3	344.5	243.0	254.3
240	423.3	437.3	388.3	272.2	304.1
250	501.6	441.9	414.4	314.3	365.6
260	522.8	456.1	420.8	285.8	290.6
270	559.5	495.5	437.2	276.9	282.7
280	606.0	548.6	460.3	275.6	285.4
290	652.0	589.9	477.0	276.5	299.3
300	698.8	686.1	473.9	289.8	334.7
310	730.1	700.2	449.3	268.9	269.7
320	786.3	670.8	449.1	282.4	286.8
330	813.9	581.7	438.1	286.1	265.8
340	827.1	567.0	442.3	299.2	286.3
350	829.6	560.3	455.2	316.4	289.5
360	830.8	552.3	464.9	322.8	304.8
370	822.9	622.2	474.0	328.0	315.8
380	805.8	694.3	474.7	337.0	327.8
390	811.4	741.1	483.6	341.5	367.7
400	819.6	728.6	496.0	351.1	409.2
410	827.8	685.9	499.4	368.1	508.1
420	813.0	614.8	500.8	369.1	433.1
430	815.5	567.9	522.3	382.4	405.0
440	827.9	620.0	552.1	392.0	366.3
450	834.8	595.1	553.3	402.1	352.6
460	832.8	570.9	562.3	417.7	348.7
470	832.6	576.5	553.3	427.1	331.3
480	837.4	602.0	539.6	439.7	331.6
490	853.2	598.7	531.0	434.4	312.2
500	857.1	567.3	520.8	421.0	277.8

建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究

	A50	A100	A150	A200	A250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
510	848.6	513.7	501.7	408.4	239.2
520	848.1	474.1	483.7	414.7	231.6
530	819.0	457.1	518.1	433.8	247.7
540	829.7	446.9	520.8	469.9	233.9
550	725.0	485.0	614.2	527.4	366.6
560	651.2	504.0	645.4	615.6	491.6
570	653.1	464.2	660.4	666.1	509.8
580	668.2	446.0	664.2	698.5	456.6
590	666.0	499.9	676.4	736.6	537.3
600	682.2	568.1	680.0	741.4	587.7
610	688.2	541.8	675.9	735.1	638.2
620	702.1	482.0	678.8	725.7	619.1
630	664.5	426.0	665.0	730.5	588.9
640	647.6	376.4	637.7	733.7	567.5
650	665.3	354.3	625.7	733.7	519.3
660	646.0	335.6	636.5	708.5	462.5
670	618.5	318.2	664.3	685.3	458.3
680	642.9	306.6	673.0	658.8	434.5
690	524.2	288.8	665.2	647.1	418.5
700	435.4	282.0	653.8	635.0	396.1
710	419.8	268.8	644.9	619.1	355.8
720	394.4	263.8	621.4	616.0	347.9
730	349.1	300.0	527.4	605.3	324.7
740	332.1	279.3	474.7	593.0	323.7
750	334.0	261.6	433.4	592.6	331.0
760	322.3	229.2	414.3	586.1	348.6
770	302.8	213.7	385.9	574.0	376.3
780	300.2	205.9	342.9	558.7	418.7
790	302.1	195.7	311.1	550.3	429.8
800	312.8	206.1	295.8	546.7	435.4
810	322.2	202.5	291.6	548.3	446.7
820	339.1	208.4	287.0	556.0	454.9
830	336.5	212.6	278.1	557.6	456.3
840	323.9	206.1	270.4	547.2	439.3
850	273.3	163.9	240.4	490.5	388.4
860	242.0	150.2	232.7	454.8	356.2
870	219.7	136.3	211.2	425.7	334.8
880	204.7	126.4	198.9	396.4	315.4
890	192.4	119.2	182.9	373.7	307.6
900	182.9	121.9	172.1	327.6	282.3
910	168.0	116.6	183.7	281.1	243.3
920	146.1	120.3	159.4	214.2	213.9
930	149.0	114.6	134.9	178.0	203.2
940	146.6	109.9	119.3	160.3	192.3
950	142.4	106.0	111.4	148.3	174.7
960	134.8	104.3	103.7	140.2	163.6
970	135.1	100.2	97.9	142.9	159.9
980	138.2	96.6	94.2	138.9	151.4
990	131.5	95.0	91.0	131.0	149.7
1000	125.7	89.9	87.4	122.8	148.0

	A50	A100	A150	A200	A250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
1010	120.1	90.3	87.3	116.5	135.9
1020	113.1	93.6	82.7	108.1	125.6
1030	117.5	90.1	80.6	108.1	126.1
1040	122.6	91.3	80.3	109.2	127.5
1050	111.5	91.2	77.4	102.0	125.3
1060	108.5	92.8	79.5	102.7	120.3
1070	102.4	92.9	76.1	100.3	116.8
1080	108.2	91.5	74.9	97.7	112.7
1090	113.7	85.8	73.7	97.7	112.0
1100	116.7	76.5	70.7	93.7	107.5
1110	114.4	77.6	72.9	95.0	107.9
1120	106.9	74.8	70.8	92.1	103.8
1130	105.6	73.4	69.3	89.6	101.6
1140	103.1	72.9	69.3	87.8	98.2
1150	98.8	71.7	67.9	85.2	94.8
1160	99.0	70.5	65.3	82.0	93.0
1170	97.2	67.0	63.9	82.2	92.1
1180	89.6	65.4	61.8	83.3	92.7
1190	93.0	63.2	62.1	81.7	91.3
1200	85.4	62.4	60.9	76.9	84.4
1210	83.0	64.6	59.8	76.4	83.1

■ 火焰延燒距離的時間

(資料來源：本研究整理)

表 3-6 PU-1 側立面試體溫度量測時間表

	B50	B100	B150	B200	B250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
0	30.2	30.5	30.2	30.0	30.8
10	31.4	31.3	30.6	30.2	30.9
20	36.4	34.6	33.9	31.3	32.2
30	60.6	51.5	48.5	38.4	39.6
40	87.3	57.6	52.3	43.8	44.6
50	110.4	65.4	55.9	46.3	45.8
60	125.8	73.9	58.3	48.5	46.2
70	140.5	78.6	63.1	51.5	48.8
80	152.8	89.0	69.3	55.8	51.3
90	165.7	93.8	71.9	58.7	52.5
100	175.7	99.1	79.1	61.7	54.8
110	181.3	100.6	78.5	64.5	55.5
120	187.0	103.5	80.3	66.7	56.1
130	190.9	107.2	82.1	67.6	55.9
140	196.9	113.2	85.6	69.6	57.9
150	202.7	119.4	89.9	71.7	58.3
160	204.0	124.8	92.1	73.2	59.4
170	199.5	121.8	90.1	72.5	57.0
180	197.4	120.4	90.5	72.8	58.1
190	194.5	115.8	90.4	72.8	58.2
200	195.8	114.5	89.4	74.3	58.6
210	200.7	117.4	91.7	76.3	60.0
220	211.7	127.0	99.6	79.9	62.7
230	229.0	143.8	109.7	88.9	68.4
240	256.4	204.7	158.3	103.5	79.0
250	323.4	352.2	295.2	154.9	134.6
260	364.4	340.9	236.9	152.8	112.1
270	342.0	286.5	206.0	147.8	98.2
280	330.1	252.6	189.1	144.0	90.7
290	332.4	245.0	182.1	142.5	91.3
300	317.4	233.2	174.7	140.2	87.9
310	309.2	224.0	167.8	136.9	86.1
320	305.2	219.5	165.6	134.3	83.9
330	301.3	214.8	161.1	131.3	82.9
340	299.4	209.7	157.6	129.0	80.9
350	299.1	207.2	153.5	127.1	81.1
360	296.3	208.3	153.1	126.2	79.9
370	296.9	213.6	159.2	127.5	83.0
380	295.5	218.3	163.6	130.3	85.7
390	295.7	229.5	176.2	136.4	89.9
400	294.4	241.2	193.8	150.0	96.2
410	294.2	250.7	213.4	168.0	110.9
420	291.8	257.8	239.4	194.8	133.3
430	290.6	255.4	291.5	244.7	182.2
440	290.4	254.6	320.1	259.4	181.5
450	284.3	238.3	303.6	258.7	164.8
460	276.5	220.8	265.0	251.4	150.9
470	273.2	208.4	241.5	241.2	138.2
480	268.4	195.3	214.6	230.0	128.6
490	266.2	185.6	188.9	214.8	117.6
500	265.3	180.7	171.6	199.4	107.9

第三章 建築物外牆立面防火試驗

	B50	B100	B150	B200	B250
秒	℃	℃	℃	℃	℃
510	263.9	176.9	164.6	188.0	101.0
520	264.1	171.9	152.4	177.2	96.6
530	262.4	170.6	146.9	168.6	95.1
540	259.3	169.5	144.6	161.8	93.6
550	269.2	179.5	146.4	159.5	95.4
560	269.7	181.3	150.5	161.8	100.2
570	267.9	183.1	154.1	165.7	107.4
580	264.0	184.7	158.2	168.4	109.9
590	260.2	180.7	150.7	163.9	108.1
600	258.4	183.2	156.3	172.3	115.4
610	254.4	182.6	156.1	181.3	122.3
620	250.0	178.6	157.5	188.7	128.3
630	244.9	180.0	163.9	202.5	136.4
640	239.3	179.9	169.8	219.5	149.3
650	234.8	182.1	172.7	234.3	161.7
660	232.8	181.3	172.5	247.6	170.8
670	229.8	179.2	174.7	259.8	174.1
680	229.4	178.1	175.0	260.2	172.7
690	246.8	180.3	172.3	254.5	163.5
700	271.6	182.2	171.6	242.4	152.4
710	282.5	185.3	169.6	234.9	145.9
720	289.1	182.8	167.0	226.2	143.0
730	294.6	183.3	168.1	222.3	142.0
740	298.3	185.7	168.0	217.4	139.1
750	329.9	217.8	178.0	211.2	136.6
760	343.6	227.8	180.6	206.7	133.9
770	379.5	275.1	190.6	203.5	132.0
780	443.7	261.5	182.9	201.1	131.6
790	467.7	271.2	183.4	197.4	127.2
800	461.3	268.7	182.2	193.9	127.6
810	473.6	259.1	177.6	189.8	124.9
820	475.2	250.7	173.4	185.4	122.8
830	475.6	245.1	169.6	181.5	122.4
840	487.4	245.3	169.6	179.3	118.9
850	472.3	227.3	163.5	172.9	113.9
860	439.8	215.2	160.5	169.1	112.1
870	396.7	200.0	152.1	164.5	111.6
880	364.3	185.3	146.0	161.3	111.6
890	337.5	177.3	139.9	156.9	112.5
900	316.2	171.0	135.8	154.5	110.4
910	298.6	162.1	135.0	150.3	111.6
920	286.1	164.3	140.8	149.5	110.1
930	274.4	161.4	143.3	145.6	106.0
940	264.2	156.9	140.5	140.5	102.1
950	253.9	150.4	137.6	134.0	99.6
960	243.9	145.4	133.3	128.6	97.5
970	236.4	141.1	131.1	123.5	94.9
980	229.3	136.5	127.4	119.3	94.8
990	222.4	131.9	123.8	115.6	92.6
1000	215.9	127.1	120.7	111.9	91.0

	B50	B100	B150	B200	B250
秒	°C	°C	°C	°C	°C
1010	210.2	123.0	116.2	108.4	88.5
1020	204.9	120.5	114.1	105.5	86.8
1030	199.2	118.0	110.5	102.7	85.4
1040	194.2	116.1	108.8	100.9	84.2
1050	190.8	112.7	105.7	98.4	83.6
1060	187.0	109.3	103.9	96.1	82.0
1070	182.3	106.3	101.8	94.0	80.5
1080	178.3	103.7	100.0	91.9	77.5
1090	175.0	102.8	97.7	90.3	77.1
1100	170.9	99.9	96.1	88.4	76.4
1110	167.6	97.7	93.8	87.0	74.3
1120	164.9	95.3	93.0	86.0	73.8
1130	161.6	93.6	91.2	85.1	72.5
1140	158.8	92.1	89.9	84.1	70.1
1150	155.4	90.5	88.0	82.8	69.7
1160	152.2	88.3	85.9	81.6	68.3
1170	149.3	87.5	83.8	80.5	68.8
1180	146.4	85.4	82.9	79.5	68.2
1190	143.6	84.1	81.7	79.0	67.0
1200	140.9	82.3	80.1	77.5	66.7
1210	138.3	80.7	79.0	76.8	64.8

■ 火焰延燒距離的時間

(資料來源：本研究整理)

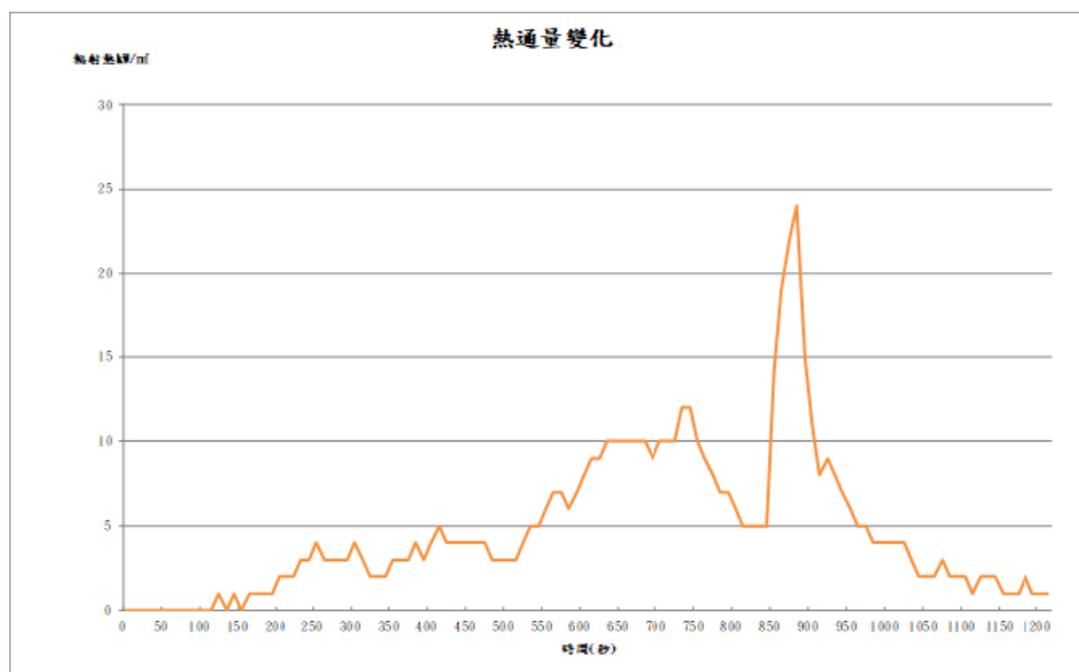


圖 3-30 PU-1 熱通量計變化

(資料來源：本研究整理)

表 3-7 PU-1 熱通量量測時間表

秒	kW/m ²	秒	kW/m ²	秒	kW/m ²
0	0	510	3	1020	4
10	0	520	4	1030	3
20	0	530	5	1040	2
30	0	540	5	1050	2
40	0	550	6	1060	2
50	0	560	7	1070	3
60	0	570	7	1080	2
70	0	580	6	1090	2
80	0	590	7	1100	2
90	0	600	8	1110	1
100	0	610	9	1120	2
110	0	620	9	1130	2
120	1	630	10	1140	2
130	0	640	10	1150	1
140	1	650	10	1160	1
150	0	660	10	1170	1
160	1	670	10	1180	2
170	1	680	10	1190	1
180	1	690	9	1200	1
190	1	700	10	1210	1
200	2	710	10		
210	2	720	10		
220	2	730	12		
230	3	740	12		
240	3	750	10		
250	4	760	9		
260	3	770	8		
270	3	780	7		
280	3	790	7		
290	3	800	6		
300	4	810	5		
310	3	820	5		
320	2	830	5		
330	2	840	5		
340	2	850	14		
350	3	860	19		
360	3	870	22		
370	3	880	24		
380	4	890	15		
390	3	900	11		
400	4	910	8		
410	5	920	9		
420	4	930	8		
430	4	940	7		
440	4	950	6		
450	4	960	5		
460	4	970	5		
470	4	980	4		
480	3	990	4		
490	3	1000	4		
500	3	1010	4		

(資料來源：本研究整理)

第四章 結論與建議

第一節 研究成果

1. 依據 CNS 15213-1 試驗法的要求內容，建置建築物外牆立面防火試驗的設備，並利用實驗中心原有廢棄的 C 型鋼架，配合設備尺寸改裝成一組試驗框架，實驗設備放置於試驗框架中則可配合其他實驗設備同時進行數據收集，或依實驗場地靈活移動設備。
2. 模擬燃燒器的瓦斯與流量之間的熱質與時間控制，經過多次測試其熱釋放率符合標準要求的於 10 秒內達 100kW。
3. 目前依標準已完成 2 次外牆隔熱材料的延燒性試驗，試體選用 107 自辦案「建築外牆飾板防火性能研究初探」中的 2 項材料。(1) 試體 PU-20mm 與 107 年的耐燃試驗及小尺寸延燒試驗其試驗結果有一致性，皆易引燃且都會快速燃燒至試體頂端，過程中也都產生大量濃煙，顯示其試體雖然符合 ASTM E648 「以輻射熱源量測地坪材料之臨界輻射熱通量」一級試驗，但耐燃及延燒試驗皆未符合標準要求。(2) 試體 PU-1 為耐燃 1 級材料，且在小尺度 100kW 熱源下加熱 10 分鐘皆未被引燃，但在中尺度試驗時，試體於 4 分 30 秒時被引燃後則持續燃燒至試體頂端，直至燃燒後的試體掉落火勢才漸漸變小、熄滅，試驗結果與耐燃試驗及小尺寸延燒試驗結果不太相同。

第二節 主要建議事項

建議一

中長期建議：對國內市售外牆隔熱飾板進行實測，以驗證其防火性能

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

本研究所建置完成之標準防火試驗設備主要針對外牆隔熱飾板其防火性能之

試驗。國內目前未有其他實驗室建置符合此項標準的設備，而今年僅對隔熱材料進行試驗，與實際應用外牆系統並不相同，建議後續能針對國內市售不同外牆隔熱飾板之防火性能進行驗證。

中長期建議：進行外牆飾板的小尺度及中尺寸的試驗比對，找出其相關性，作為其系統初步防火性判定的參考。

主辦機關：內政部建築研究所

協辦機關：內政部建築研究所

圓錐量熱儀試驗法為我國對建築材料耐燃性判定的試驗方法，其試驗結果能得知材料自身的燃燒性能及是否具備火焰傳播能力，也可用於外牆隔熱系統可否通過中大尺寸防火實驗的初步判定。建議可持續對圓錐試驗及中尺度試驗進行材料驗證與比對，以找出其 2 者相互聯聯性，作為日後業者開發外牆隔熱系統時能以小尺度實驗結果，對其系統可否通過中尺度或大尺度防火實驗的初步判定。

附錄

(一) 期初審查會議紀錄與回應

審查意見	研究回應
<p>1. 本案題目請考量國內氣候環境需求及參考與會人員意見酌修為「建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究」。</p> <p>2. 國內對於中尺度外牆延燒實驗應用資料較少，請後續研究中多加收集相關資料及文獻，以更清楚了解大尺度及中尺度使用的範圍、目的及二者差異性。</p> <p>3. 因我國為亞熱帶氣候，且實驗需大量人力及經費，請補充說明市場應用隔熱飾板之需求及普及性，以加強本案研究的重要性。</p> <p>4. 實驗樣品應與大尺度實驗要有共通性，且為市場較廣泛性之產品進行試驗，以提高驗證結果之防火安全的可信度。</p> <p>5. 實驗材料可同時進行 Cone、中尺度及大尺度實驗，以尋求其實驗結果相關性，以作為訂定法規的參考依據。</p>	<p>1. 依審查意見研究題目修正為「建築外牆隔熱飾板中尺度立面延燒研究」。</p> <p>2. 將於文獻中廣泛收集各國對於外牆隔熱飾板其不使用場所時需進行大尺度或中尺度防火性的法規要求及其判定方法。</p> <p>3. 建築物使用隔熱材料後，可以節省50%~50%的耗能，對於亞熱帶氣候且能源有限的我國，於夏季時能達到隔熱遮陽的功能，牆隔熱確實是能有效的手法之一。</p> <p>4. 本研究將以我國已市售的隔熱材料進行試驗，以驗證其防火及安全性能。</p> <p>5. 將選用選用 107 年自辦案「建築外牆飾板防火性能研究初探」已完成 CONE 試驗之試體進行中尺度延燒試驗，以比較其小尺寸與中尺度試驗結果之相關性。</p>

(二) 期中審查會議紀錄與回應

審查委員	審查意見	研究回應
鄭教授復平	建置本試驗設備有其必要性及急迫性，儘量且儘快籌備建置經費。	設備購置因限於經費，後續將盡量籌集經費，依序完成設備建置與性能查驗。
	礫石層及砂土層要注意其均勻性。	謝謝委員意見，二種材料混合時會注意其拌合的均勻度，以確保燃料能均勻燃燒。
	建議設計一個試體框架結合試體及支撐牆。	設備建置時將建置試驗框架，以方便依實驗需求移動設備。
教授興陽	本研究建置中尺寸設備，對未來我國建築外牆隔熱材測試，非常有意義。	感謝委員意見。
	本報告之相關資料，蒐集完整。	感謝委員意見。
	有關引燃源報告書圖 3-8 及 3-9，可否有較完整的配置圖。	已補充說明。
柯教授佑沛	報告文字的撰寫、編排有些別字、疏漏，請加以修正	已修正報告書。
	蒐集國外外牆隔熱飾板相關防火標準是本計畫目的之一，建議除了中國的標準外，再蒐集一、二個亞洲國家的資料。	將持續收集相關文獻資料。
	第三章說明將依標準驗證市售隔熱材(首段末行)，是否可對將進行的	已補充說明。

	試燒規劃加以說明。	
李教授訓谷	本案期中成果符合預期成果效益。	感謝委員意見。
	建議納入圓錐量熱儀、中尺度、大尺度測試之關聯性與適用性。	已補充說明。
	中尺度試驗中的試體安裝過程建議加入在計畫報告中。	感謝委員意見，將於期末報告補充於報告書。
張建築師尚文	研究成果符合預期。	感謝委員意見。
	可以考慮去年小尺寸研究成果比對。	感謝委員意見，將於期末報告補充於報告書。
蔡主任銘儒	有關熱傳名詞請參考 CNS 標準引用。	已修正報告書。
	CNS 14705-1、CNS 15213-1 及 CNS 15213-2 之引用時機及限制。	CNS 15213-1 其試體較 CNS 15213-2 小型，因此其測試成本也較為低廉，未來可提供業界其建材研發階段之實驗需求。
梁教授漢溪 (書面意見)	本研究因須進行試驗設備建置，研究時程建議先以設備建置分析與校準為考量，或許研究計畫名稱可加以修正。	感謝委員意見。
	中尺度試驗需求與防火性能分級之應用亦可加以描述，以利與小尺度試驗加以區別。	感謝委員意見。
中華民國全國 建築師公會 楊建築師勝德	請考慮法規防火區劃的相關問題。	感謝委員意見。

(三) 期末審查會議紀錄與回應

審查委員	審查意見	研究回應
鄭教授復平	建議對常見及可能有危險之外牆隔熱系統進行中尺度試驗，建立外牆系統其防火特性的分類及篩選，對於有危險疑慮的系統則再進行大尺度試驗。	透過試驗建立中尺度試驗結果建立材料防火安全的分類，將參考規劃納入後續研究中。
	試體PU-25 mm其試驗溫度曲線（圖3-24）其溫度急劇上升、下降又上升，建議探討原因。	第一波溫度上升乃為可燃氣體裂解被引燃造成，之後則因試體材料燃燒而導致溫度再上升。
方教授一匡	外牆隔熱飾板的防火規定與試驗方法相關文獻蒐集完整。	感謝委員意見。
	建議能有後續計畫以確認中尺度設備的試驗結果與大尺度設備的試驗結果有穩定的合理關聯性，期能作為本所防火試驗室未來可供對外檢驗的項目。	對國內現有外牆隔熱系統透過實驗比對，建立小尺度、中尺度及大尺度其結果的關聯性，將參考規劃納入後續研究中。
梁教授漢溪	實驗設備建置已完成，未來實驗過程中亦應針對實驗安全規則予以規範。	建立實驗安全規則等議題，將參考規劃納入後續研究中。
	報告書第43 頁表3-1 之各項試驗結果是否改為試體基本資料（規格）。	已修正報告書。
	報告中可引述其他研究成果有關其	感謝委員意見。

	他隔熱材料之相關資料，以強化未來判定準則之擬定。	
張建築師尚文	研究符合預期成果需求。	感謝委員意見。
	結論與建議可以考慮依預期成果之目標整理。	感謝委員意見。
	歷次會議之建議與回應，可考量放置報告書內。	已修正報告書。
	可考慮對技術規則建築設計施工編79-3 或79-4 有關外牆防火規定4的條文中，建議增列「外牆並應為不燃材料」等文字。	感謝委員意見。
中華民國結構工程技師公會 全國聯合會 陳技師正平	外牆玻璃帷幕受鄰房火害破裂後成為延燒路徑是否亦應納入考量。	感謝委員意見。
主席 蔡組長 綽芳	對於小尺寸、中尺度、大尺度其試驗結果之關聯性與功能性請加以說明。	CNS 14705-1 小尺寸可得知材料的燃燒性能，而CNS 15213-1 中尺度試驗則可得知外牆隔熱系統在水平或垂直的火焰傳播能力，可作為材料是否要進行大尺度實驗的初步篩選，且二者試驗成本相較於大尺度試驗較為低廉，未來亦可提供業界其建

		材研發階段之實驗需求。
	另現有試驗標準中是否未針對延燒速率有所規定。	各國對於外牆隔熱飾板系統延燒試驗結果判定，並未對其延燒速率有特別要求。
	簡報提及試體PU-25 mm試驗時，因火焰過大而燒毀水管的情形，若將來在建築物外牆失火時是否有與消防水管有關請說明。	試體PU-25 mm試驗實驗時為熱輻射計冷卻水管被火焰燃燒破裂，因此造成輻射資料未能完整收集，並非建築物用消防水管。

參考書目

- [1] 內政部不動產資訊平台，<http://pip.moi.gov.tw/V2/Default.aspx>
- [2] 內政部建築研究所，2015 綠建築評估手冊基本型 EEWB-BC 技術手冊。
- [3] 內政部營建署，2018，建築技術規則建築設計施工編，。
- [4] 經濟部能源局，2013，建築節能應用技術手冊。
- [5] 內政部建築研究所，2015，外牆節能技術指南草案。
- [6] 陳嘉懿，鄭泰昇，潘晨安，馬瑜嬪，黃紹筑，陳思吟，2015，建築物節能外牆之應用研究，內政部建築研究所委託研究報告。
- [7] EIMA, 外牆外節能系統，
<https://www.eima.com/about-eifs.shtm1#sthash.y2AsiXTW.dpuf>
- [8] 楊維菊，高燕，2007，淺析高層建築外牆保溫飾面，工業建築。
- [9] 劉建平，2016，關於外牆保溫的類型和應用，低碳地產。
- [10] 外断熱のメリット PUF 外断熱構法，
<http://www.perma-stone.com/merit.html>
- [11] 顧宗沛，2004，以雙重壁原理探討外牆改修構法，國立成功大學建築研究所碩士論文。
- [12] 鄭超群，2016，建築外牆整修維護之材料與技術發表會，台灣物業管理學會。
- [13] 朱春玲，2018，外保溫的火災案例調研及分析，建築節能。
- [14] 轉角國際，2018，致命災難兩關鍵：倫敦惡火一年後的「格倫菲調查報告」，
https://global.udn.com/global_vision/story/8662/3181469?direct#prettyPhoto
- [15] Chow, C. L. and Chow, W. K., "Fire Safety Concern on Well-Sealed Green Buildings with Low OTTVs" . International High Performance

Buildings Conference, 2010.

- [16] 陳建忠、蔡銘儒、吳展維、蕭宜峯、蒲仁勇、林大惠，2003，圓錐量熱儀之發展與應用，中華民國力學學會。
- [17] 朱春玲、呂振鋼、季廣其，2010，行業標準建築外牆保溫系統防火試驗方法介紹，建築科學第 26 卷第 12 期。
- [18] 曾緒斌、趙成剛、盧國建、劉軍軍，2014，不同應用的聚氨酯外牆保溫系統防火性能研究，建築材料科學報第 17 卷第 5 期。
- [19] 萬復森，2005，牆面火焰延燒寬度效應之研究，國立高雄第一科技大學環境與安全生工程系碩士論文。
- [20] 曾緒斌、趙成剛、劉松林、鄧小兵，2013，燃燒性能對外保溫系統防火性能的影響，滅火劑與阻燃材料。
- [21] 蔡綽芳、林大惠、胡幃傑、蘇鴻奇、羅啟文、陳俊貴、楊明聰、黃俊諭，2017，帷幕牆層間縫隙，構造防火性能及設計構法之研究，內政部建築研究所協同研究報告。
- [22] 陳佳玲，建築外牆飾板防火性能研究初探，2018，內政部建築研究所自行研究報告
- [23] 宋長友、季廣期、陳丹林、黃振利，2008，外牆保溫體系防火試驗方法、防火等級評價標準及建築應用範圍的科技研究，建築科學第 24 卷第 2 期。
- [24] Liang Zhou, Aiping Chen, Lei Gao, Zhifeng Pei, Effectiveness of vertical barriers in preventing lateral flame spread over exposed EPS insulation wall. Fire Safety Journal, 91(2017), 155-164.
- [25] NFPA 285, Standard Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Non-Load-Bearing Wall Assemblies Containing Combustible Components, NFPA, 2012.
- [26] Sarah Colwell, Tony Baker, BR 135 classified external cladding systems, BRE, 2013.
- [27] BRE Global Client Report ,2017, BRE-BS8414 試體尺寸圖

- [28] Gaurav Agarwal, Richard Davis and Yi Wang, Evaluation of the Fire Performance of ACM Wall Assemblies , Society of Fire Protection Engineers, 2018.
- [29] GB/T 29416 , 2012 , 建築外牆外保溫系統的防能試驗方法 , 中國國家標準化管理委員會。
- [30] CNS15213-2-建築物外牆立面防火試驗法-大尺度試驗 , 2008 , 經濟部標準檢驗局。
- [31] CNS15213-1-建築物外牆立面防火試驗法-中尺度試驗 , 2008 , 經濟部標準檢驗局。
- [32] CNS CNS 15048 「建築材料耐燃性試驗法—全尺度燃燒試驗法」 , 2007 , 經濟部標準檢驗局。